全国职业培训推荐教材
劳动保障部培训就业司组织评审认定

专用于国家职业技能鉴定

国家职业资格培训教程

变配电室值班电工

（初级、 中级）

劳动和社会保障部
中国就业培训技术指导中心 组织编写

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

出版说明

本书根据《变配电室值班电工国家职业标准》的要求，由劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心，按照标准、教材、题库相衔接的原则组织编写，是职业技能鉴定的指定辅导用书。

本书主要内容包括监盘与抄表、巡回检查、倒闸操作、异常运行、事故处理和低压电器运行及维护。

国家职业资格培训教程—变配电室值班电工系列

变配电室值班电工国家职业标准	定价：10.00元
变配电室值班电工（基础知识）	定价：18.00元
变配电室值班电工（初级、中级）	定价：18.00元
变配电室值班电工（高级、技师、高级技师）	定价：29.80元

ISBN 7-5083-1181-7

9 787508 311814 >

ISBN 7-5083-1181-7
定 价：18.00 元

CEPP
CHINA ELECTRIC POWER P
T
LC

·专用于国家职业技能鉴定

国家职业资格培训教程

变配电室值班电工

（初级、 中级）

劳动和社会保障部
中国就业培训技术指导中心 组织编写

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

本书是根据《变配电室值班电工国家职业标准》的要求编写的。全书分两部分，共11章，主要内容包括监盘与抄表、巡回检查、倒闸操作、异常运行、事故处理、低压电器运行及维护。

本书适用于初级、中级变配电室值班电工的培训，是变配电室值班电工职业技能鉴定的指定辅导用书。也可供各级培训中心、职业学校的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

变配电室值班电工（初级、中级）/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心组织编写. -北京：中国电力出版社，2003

国家职业资格培训教程

ISBN 7-5083-1181-7

Ⅰ.变… Ⅱ.劳… Ⅲ.变电所-配电系统-电工-职业技能鉴定-教材 Ⅳ.TM63

中国版本图书馆CIP数据核字（2003）第015389号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn）

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003年4月第一版 2003年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12印张 264千字

印数0001—3000册 定价18.00元

版权专有 翻印必究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

《电力互感器产品样本》
编　委　会

主任委员：熊幼京

副主任委员：白忠敏　张文亮　王　勤

委　　员：赵永清　时　晓　王晓琪　郭克勤

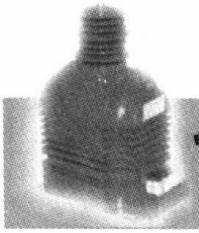
叶国雄　余春雨　舒　娜　袁连浩

袁东来　彭旭东　姚　敏　陈心佳

丁　雁　刘克兴　刘　波

主　　编：王晓琪

副 主 编：余春雨



前言

为了适应电力线路及变电站的设计、规划、建设、生产和管理部门对电力互感器选型定货及产品更换的需要，国家电力公司发输电部组织中国电力科学研究院、国家电力公司武汉高压研究所、河南省电力勘探设计院和广东省中山市古镇互感器厂的有关技术人员编写了新版《电力互感器产品样本》。样本分两册，上册为10～35kV电压等级产品；下册覆盖了110kV（含66kV）～500kV电压等级产品。样本中列有产品的型号、名称、主要技术参数、外形照片、安装尺寸、生产厂家及型式试验报告编号。按机械电力两行业管理要求，对于110kV（含66kV）及以上电压等级产品需两行业鉴定，故本手册还列上了两（部）行业的鉴定证书号，以供广大电力用户在设计改造中选用。

电力工业部电气设备质量检验测试中心（设在国家电力公司武汉高压研究所）承担着国内电力互感器产品大部分型式试验任务，多年来积累了丰富的互感器制造、运行经验并造就了一批专家和专业队伍，如有技术方面的相关问题（如试验方法、产品性能指标等）可与他们联系。

本样本编写过程中得到了各互感器生产厂的大力支持，特此表示感谢。

由于时间短促，编者水平有限，如存在出入和错误之处，请制造厂和用户批评指正。

本书编委会

目　　录

前言

第一部分　变配电室值班电工　初级

第一章　监盘与抄表 …… 1
第一节　监视变配电控制盘 …… 1
第一单元　识读变电所控制室的设备配置图 …… 1
第二单元　识读控制屏的屏面布置图 …… 2
第三单元　识读继电保护屏的屏面布置图 …… 4
第四单元　监视一次系统、所用电、直流电等系统的电气设备 …… 5
第二节　抄表 …… 5
第三节　填写运行日志 …… 13
第一单元　能填写运行日志 …… 13
第二单元　根据运行日志布置当值的工作 …… 14
第二章　巡回检查 …… 16
第一节　检查一次电气设备 …… 16
第一单元　进行室内配电装置的巡视 …… 16
第二单元　进行室外配电装置的巡视 …… 20
第二节　检查变压器 …… 21
第一单元　进行变压器运行温度及温升检查 …… 21
第二单元　变压器过负荷情况的检查 …… 22
第三单元　进行变压器冷却装置的检查 …… 24
第四单元　对变压器进行本体检查 …… 25
第五单元　对变压器油的运行情况进行检查 …… 26
第三节　检查断路器 …… 27
第一单元　对送电前的断路器进行检查 …… 27
第二单元　对运行中的断路器进行检查 …… 27
第三单元　对运行中的真空断路器进行检查 …… 28
第四单元　对运行中的 SF_6 断路器进行检查 …… 29
第四节　检查隔离开关 …… 30
第三章　倒闸操作 …… 32
第一节　填写操作票 …… 32
第一单元　填写操作票 …… 32
第二单元　默写变电所一次回路的运行方式 …… 33
第三单元　在监护人的监护下进行一般的倒闸操作 …… 33
第二节　进行线路停送电操作 …… 35
第一单元　在监护下进行线路的倒闸操作 …… 35

第二单元　正确地布置检修前的安全措施 …… 37
第四章　异常运行 …… 41
第一节　监视变压器的异常运行 …… 41
第二节　监视开关设备的异常运行 …… 47
第一单元　断路器的异常运行 …… 47
第二单元　真空断路器的异常运行 …… 48
第三单元　隔离开关的异常运行 …… 50
第三节　监视线路与电缆的异常运行 …… 54
第一单元　电力电缆的异常运行 …… 54
第二单元　母线及架空线路的异常运行 …… 55
第五章　事故处理 …… 61
第一节　检查变电所继电保护装置 …… 61
第一单元　继电器的种类及作用 …… 61
第二单元　继电保护的配置原则 …… 68
第二节　检查断路器的控制、信号回路 …… 70
第一单元　断路器控制、信号回路的检查 …… 70
第二单元　断路器的操作 …… 71
第三单元　断路器控制回路异常情况的处理 …… 79
第三节　处理故障 …… 82

第二部分　变配电室值班电工　中级

第六章　监盘与抄表 …… 85
第一节　监视变配电控制盘 …… 85
第一单元　识读电气二次回路的接线图和安装图 …… 85
第二单元　检查电气二次回路的接线和电缆走向 …… 89
第二节　抄表 …… 89
第三节　填写运行日志 …… 92
第七章　巡回检查 …… 98
第一节　检查互感器 …… 98
第一单元　对运行中的电流互感器进行检查 …… 98
第二单元　对运行中的电压互感器进行检查 …… 99
第二节　检查直流系统 …… 101
第一单元　对运行中的铅酸蓄电池组直流系统进行检查 …… 101
第二单元　对运行中的镉镍蓄电池直流系统进行检查 …… 104
第三单元　对运行中的硅整流直流系统进行检查 …… 106
第三节　检查继电保护及其二次回路 …… 108
第八章　倒闸操作 …… 119
第一节　做好倒闸操作前的准备 …… 119
第一单元　填写倒闸操作票 …… 119
第二单元　担任倒闸操作的监护人 …… 124
第二节　进行变压器停送电操作 …… 125

第三节　进行母线倒闸操作 …… 126
第九章　异常运行 …… 129
第一节　处理电压降低 …… 129
第二节　寻找单相接地故障 …… 132
第十章　事故处理 …… 137
第一节　处理变压器故障 …… 137
第一单元　变压器主保护动作的处理 …… 137
第二单元　变压器故障的处理 …… 143
第二节　处理线路故障 …… 150
第一单元　电力电缆的事故处理 …… 150
第二单元　输电线路的事故处理 …… 153
第十一章　低压电器运行及维护 …… 157
第一节　维护接触器 …… 157
第一单元　运行中接触器的检查 …… 157
第二单元　接触器的故障处理 …… 157
第三单元　接触器控制电动机回路的检查 …… 163
第二节　维护低压断路器 …… 163
第一单元　运行中低压断路器的检查 …… 163
第二单元　低压断路器的故障处理 …… 164
第三节　维护熔断器 …… 170
第一单元　运行中熔断器的检查 …… 170
第二单元　熔断器的故障处理 …… 171
第四节　维护照明电路及电动机 …… 175
第一单元　照明电路的接线布置 …… 175
第二单元　双联开关及日光灯的接线 …… 178
第三单元　运行中异步电动机的检查 …… 179

变配电室值班电工 初级

第一部分

第一章 监盘与抄表

第一节 监视变配电控制盘

第一单元 **识读变电所控制室的设备配置图**

一、学习目标

通过本单元的学习，能看懂变电所控制室的设备配置图。

二、相关知识

变、配电所（室）是企、事业单位的重要场所，是保证企、事业单位正常工作的基础。值班人员应认真监视其运行情况，以便及时发现问题，处理问题。

（一）变、配电所（室）的形式

变、配电所（室）一般为独立式建筑物，也可附设于电力负荷较大的厂房内。

（1）车间内变电所。设于车间内部，能深入电力负荷中心，但对防火要求较严。

（2）独立式室内变电所。变压器和配电装置均装于室内。它是独立建筑物，一般用于供电给分散的负荷以及有爆炸和火灾危险场所。

（3）独立式露天变电所。变压器和配电装置均装于室外，结构简单。

（二）变、配电所（室）的布置

变、配电所（室）的布置主要考虑下列因素：

（1）设备应布置紧凑、合理，要便于设备的操作、巡视、搬运、检修和试验，还要考虑发展的可能性。

（2）尽可能利用自然采光和自然通风。要适当安排建筑物内各房间的相对位置，应使变、配电所（室）的位置便于进、出线。低压配电室应靠近变压器室。电容器室应尽量与高压配电室相毗连。控制室、值班室和辅助间的位置应便于运行人员工作和管理等。

（3）变压器室和电容器室尽量避免西晒，控制室尽可能朝南。

（4）配电室、控制室、值班室等的地面，一般应比室外地面高出 150mm ~ 300mm，当附设在车间内时则可与车间的地面相平。变压器的地坪标高视需要而定。

（5）有人值班配电所应有单独的控制室或值班室，并设有其他辅助间及生活设施。车间变电所一般不设专职值班人员。

图 1-1 为变电所的二种布置方案。设计时可根据设备选型方案并结合建筑模式作适当调整。

（三）控制室

控制室一般毗连于10kV～35kV配电室。对屏的布置要求是运行、调试方便；控制电缆路径短；并注意整齐美观。应避免眩光和西晒。既要满足近期的需要，又要考虑到发展的可能。

控制室内，一般将能直接监视变电所运行状态的控制屏放在前排，便于值班人员监视，如进出线屏、直流屏，所用电屏；而将继电保护等二次柜放在后几排。

10kV～35kV配电装置的继电保护和计量仪表，可装在相应的开关柜上，就地操作，信号装置设在值班室内；当有必要时亦可在控制室集中操作控制，室内设置集中的事故和预告等信号装置。室内安装的设备主要有控制屏、信号屏、所用电屏、电源屏等。

各种屏的排列方式视屏的数量多少而定，常采用L形或一字形布置。控制屏和信号屏布置在正面，电源屏及所用电屏一般布置在侧面或正面边上，如图1-2所示。控制屏上的模拟接线应清晰，并尽量与实际配置相对应。

控制室各屏间及通道距离可参考表1-1所列尺寸。在工程设计中根据房间大小，屏的排列长度可作适当的调整。

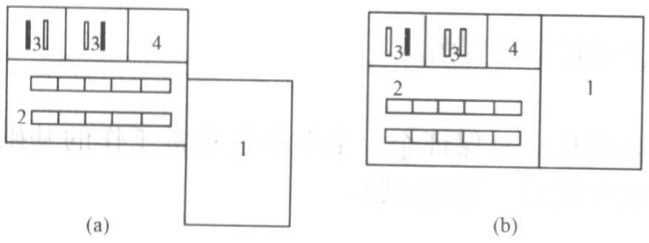


图1-1　变电所布置

（a）方案一；（b）方案二

1—控制室；2—高压室；3—变压器室；4—工具室

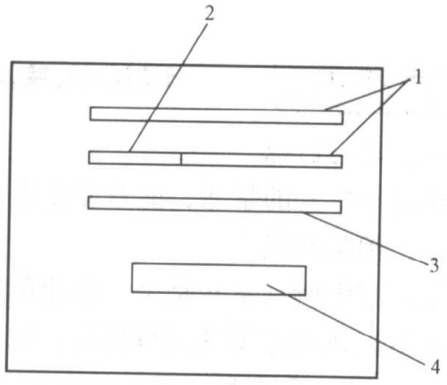
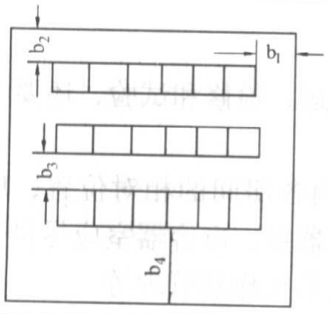


图1-2　控制室的布置

1—继电器屏；2—直流屏；3—控制屏；4—值班台

表1-1　　**控制室各屏间及通道距离**　　（mm）

简　图	符　号	名　称	一　般　值	最　小　值
	b_1	屏正面——屏背面	1300～1500	1200
	b_2	屏背面——墙	1000～1200	800
	b_3	屏边——墙	1000～1200	800
	b_4	主屏正面——墙	3000	—

三、注意事项

变电所的控制室的布置型式，因变电所的实际情况各不相同，其屏的布置方案也有所不同。

第二单元　识读控制屏的屏面布置图

一、学习目标

通过本单元的学习能看懂控制屏的屏面布置图。

二、相关知识

变电所的控制屏是保证电力系统安全经济运行的重要设备，用于变电值班人员监控设备运行状况，由控制屏获得的计量数据也是统计负荷、积累技术资料和计算生产指标等所需的基础数据的来源。

屏面布置图是由于屏面开孔及安装的一种图纸，也是运行人员监视设备运行状况所必须熟悉的。有运行人员值班的变电所，运行人员应熟悉控制室内各控制屏及继电保护屏的屏面布置情况，以便正确监视运行中的设备。

变电所的控制屏上主要装有交流电流表、交流电压表、有功功率表、无功功率表、直流电流表、直流电压表、主变压器的温度表、功率因数表、三相有功电能表、三相无功电能表等。图 1-3 是 35kV 线路的控制屏的屏面布置图。图中，1 是电流表，2～5 是光字牌，6 是合闸按钮，7 与 8、12 是隔离开关，9、10 是分合闸指示灯，11 是断路器。

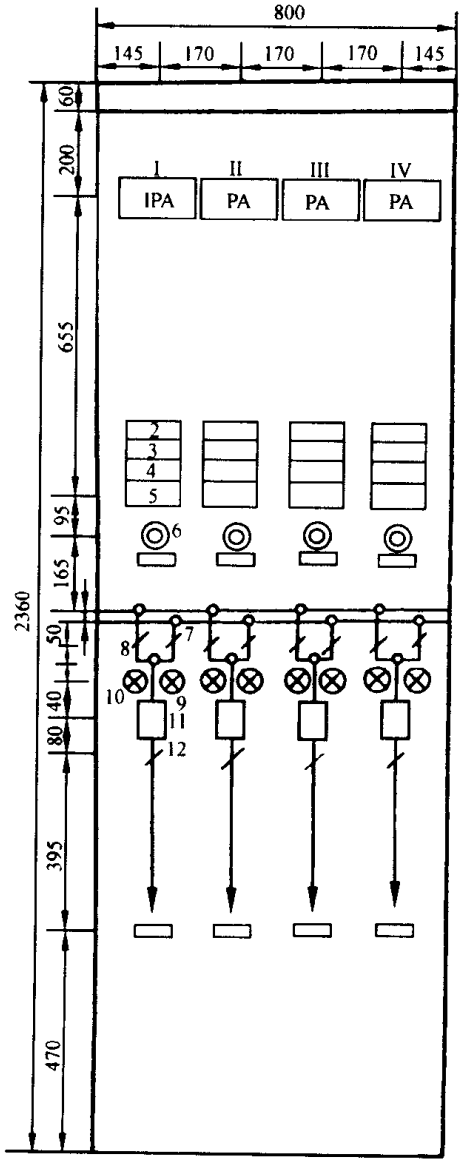


图 1-3　控制屏的屏面布置

三、注意事项

变电所控制屏的屏面布置方案，主要应满足运行监视、操作方便的要求，也要考虑到便于检修工作。

第三单元　识读继电保护屏的屏面布置图

一、学习目标

通过本单元的学习能看懂继电保护屏的屏面布置图。

二、相关知识

继电保护是保证变电所正常运行的必不可少的装置。继电保护屏上装有电压继电器、电流继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等。图 1-4 是某继电保护屏的屏面布置

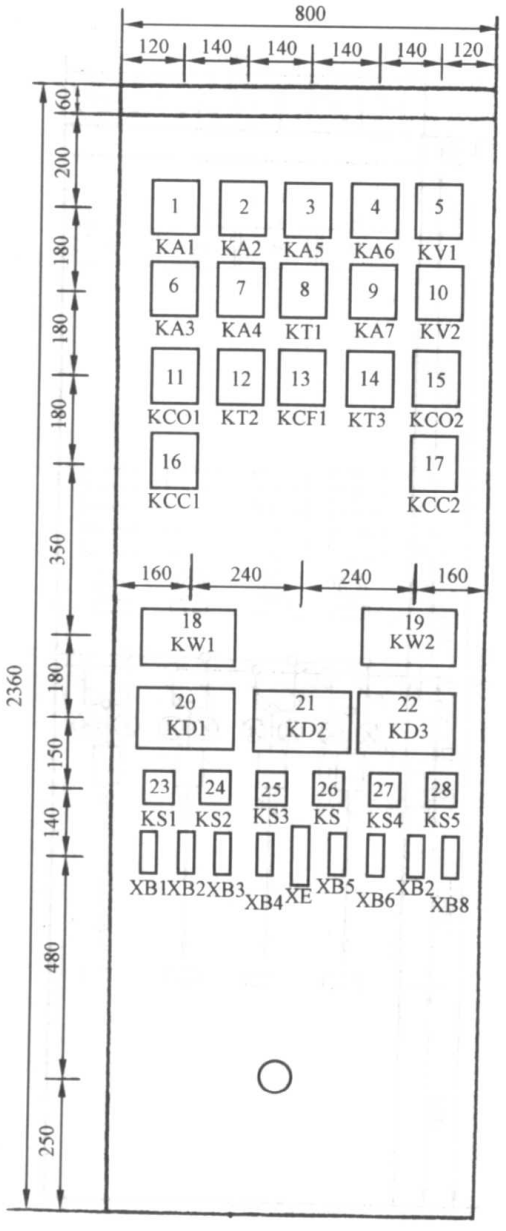


图 1-4　继电保护屏的屏面布置图

图。为了工作方便，一般将调试工作量较小的简单继电器，如电压、电流、时间、中间继电器等布置在屏的上部，将调试工作量较大的复杂继电器，如差动、重合闸继电器等布置在屏的中部，而将信号继电器、连接片等布置在屏的下部。继电器与继电器之间保持适当的距离，以便于拆装和进行调试。

三、注意事项

看继电保护屏主要是掌握各元件的布置位置。

第四单元　监视一次系统、所用电、直流电等系统的电气设备

一、学习目标

通过本单元学习应能学会对本所一次设备、所用电、直流电等系统的电气设备监视。

二、相关知识

见本书有关章节。

三、注意事项

(1) 值班人员应监视表计的指示值，并明确是否在正常范围内。

(2) 为了便于判断设备的运行状况，通常用红线在电流表、电压表和温度表等表计盘面上标出设备的额定值或允许范围。值班人员在监视这些设备时要特别注意指针是否超越红线。

(3) 各种表计指示不得超过其测量极限，否则会损坏表计，而且大幅度的过电压、过电流还会损坏主设备。

(4) 当系统或设备发生异常或事故时，应首先检查表计指示情况并记录。

(5) 各种表计都有规定的校验周期，不应超期服役。

第二节　抄　　表

一、学习目标

通过本单元学习会抄录有关测量仪表的读数。

二、相关知识

(一) 电工仪表和测量仪表的作用

变电所主要装有交流电流表、交流电压表、有功功率表、无功功率表、直流电流表、直流电压表、主变压器的温度表、功率因数表、三相有功电能表、三相无功电能表等。这些仪表可分为两大类，一类是指示仪表；一类是计量仪表。平时抄录的主要是指示仪表。指示仪表的作用如下：

1. 交流电流表　用在变压器回路、线路回路以及分段中，测量各进出线中负荷电流的大小。

2. 交流电压表　用在交流各电压等级的各段母线上，监视各段母线电压的大小。

3. 有功功率表　用在交流各进出线回路中，监视各回路负荷的有功功率。

4. 无功功率表　常用在交流进线回路中，监视变电所无功功率的大小。

5. 直流电流表　用在直流系统中，监视各直流回路中负荷电流的大小。

6. 直流电压表　用在直流系统的各电压母线上，监视直流系统各母线电压的大小。

7. 温度表　用在变压器上，监视变压器上层油温度的高低。

8. 功率因数表　监视变电所功率因数的高低。

（二）指示仪表的结构原理及测量

1. 仪表的误差及基本要求

电气仪表是保证电气设备安全、经济运行和电能质量的重要测量工具。指示仪表主要有电压表、电流表、有功功率表、无功功率表、功率因数表等。

（1）误差。不论仪表制造得多么精确，测量时仪表的读数和实际数值之间总有差异，此差异称为仪表误差。产生误差的原因有两种：一是仪表结构和制作工艺不完善引起的基本误差；另一种是仪表不在规定的条件下使用而引起的附加误差。

表达仪表误差的形式有三种：绝对误差、相对误差和引用误差。

1）绝对误差 Δ 绝对误差等于仪表测量值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值，即

$$\Delta = A_x - A_0 \tag{1-1}$$

绝对误差 Δ 的单位与被测量的单位相同，绝对误差值有正负之分。

2）相对误差 γ

相对误差是指绝对误差 Δ 与被测量值 A_0 之比，并用百分数表示为

$$\gamma = (\Delta/A_0) \times 100\% \tag{1-2}$$

3）引用误差 γ_m

引用误差是仪表的绝对误差 Δ 与该仪表的最大量程（满刻度）值 A_m 之比的百分数，即

$$\gamma_m = \Delta/A_m \tag{1-3}$$

式中　A_m——仪表的最大量程。

对 A_m 值的规定：单向标度尺的仪表，为标度尺工作部分的上限；双向刻度的仪表，为标度尺工作部分两个上限绝对值之和。

我国指示仪表的准确度等级，根据国家标准的规定共分七个等级，其用引用误差表达的基本误差不应超过表 1-2 的规定。

表 1-2　　**仪表的基本误差**

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差（%）	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

（2）使用仪表的基本要求。为了减小仪表的测量误差，使用仪表时应注意如下各项要求：

1）仪表要有足够的准确度。

2）受外界影响小。外界因素（如温度、磁场等）变化所引起的仪表指示误差愈小愈好。

3）具有最合适的灵敏度。灵敏度表示对被测量的反映能力，它反映了仪表所能测量的最小被测值。

4）仪表本身所消耗的功率小。因为若被测电路的功率很小，而仪表所消耗的功率却太大，这将改变电路中的工作情况，从而造成较大的测量误差。因此，仪表本身的功率消耗越小越好。

5）有良好的读数装置。在测量工作中，一般希望标度尺的分度均匀，便于读数。

6）有足够的绝缘电阻、耐压能力和过载能力。

7）接线要正确。

8）正确使用仪表。使用前要调零位，测量时要正确读数，应使视线与仪表度尺的平面垂直。

2. 电压表

（1）直流电压表的原理。直流电压表的测量机构属于磁电式。磁电式仪表的基本构造分固定和可动两部分，如图 1-5（a）所示。固定部分包括：永久磁铁 1、极掌 2、圆柱铁心 3。极掌与圆柱铁心之间有一均匀的空气隙，并在空气隙形成一个较强的磁场。可动部分包括：转动线圈 4、指针 5 和反作用游丝 6。它们固定在同一轴上。这种结构称为外磁式。若把永久磁铁做成圆柱体放在转动线圈内，则称为内磁式。

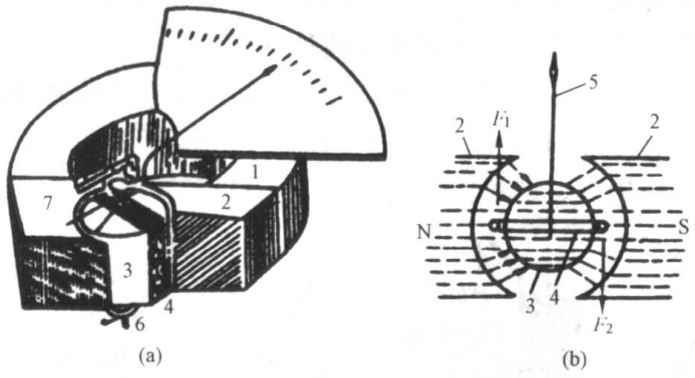


图 1-5　磁电式仪表的构造及转动原理图

（a）构造图；（b）转动原理图

1—永久磁铁；2—极掌；3—圆柱铁芯；4—转动线圈；5—指针；6—反作用游丝；7—零位调节器

我们已知通电导体在磁场中要受到电磁力的作用，磁电式仪表就是应用这个原理制作的。在图 1-5（b）中，当电流通入转动线圈后，线圈受到电磁力 F_1 和 F_2 的作用（其方向按左手定则确定），产生转动力矩 M，其大小与通电线圈的电流成正比。在转动力矩 M 的作用下，线圈和转轴的指针一起偏转。当转动力矩与反作用游丝的反抗力矩平衡时，可动部分即停留在某一位置，则指针偏转的角度表示出通过线圈电流的大小。因此，磁电式测量机构可以制成电流表。根据欧姆定律，由于线圈的电阻值是固定的，则通过线圈的电流与加在线圈两端的电压成正比，因此只要把刻度盘的电流刻度值改成对应的电压值，就构成了磁电式电压表。由于磁电式测量机构的磁场是永久磁铁产生的，转动线圈所受的电磁力方向只决定于通入线圈的电流方向。因此，在使用磁电式仪表时，应当注意仪表的极性。电流必须从标有“+”极的端子流入，否则指针将反方向偏转。另外，当交变电流通入磁电式仪表时，转动力矩的方向是周期性变化的，由于转动部分具有惯性，指针只能作微小振动，而不能指示读数。因此，磁电式仪表不能直接测量交流。当它与半导体整流器配合使用时，先将被测交流整流成直流后，然后用磁电式测量机构进行测量，故也能测量交流，但这种仪表称为整流式仪表。

（2）直流电压的测量。要测量直流电路中某两点之间的电压，电压表必须与被测电路两端并联，并要注意正、负极性要正确，量程选择要合理。图 1-6 所示为直流电压表的接线图。当电压表接入后，由于电压表支路通过电流 I_V，减小了负载上的电压降，因而会引起

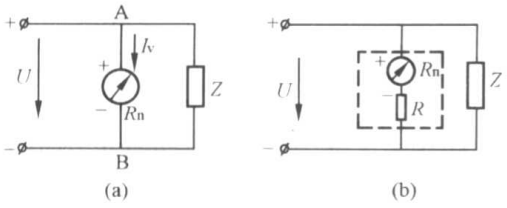


图 1-6　直流电压表的接线图

（a）接线图；（b）电压表的附加电阻

被测电路 AB 之间电压的测量误差。为了减小这种影响，要求电压表的内阻越大越好，一般是在磁电式测量机构上串联一个电阻值很大的附加电阻 R_{ad}。同一个磁电式测量机构串联不同数值的附加电阻，可以制成不同量程的电压表。

（3）交流电压表的原理。交流电压的测量，通常采用电磁式（也称动铁式）仪表，其工作原理也是依据电和磁的相互作用关系。它与磁电式仪表的区别，在于其磁场不是由永久磁铁产生的，而是由被测量的电流通过固定线圈产生的磁场。

电磁式仪表的测量机构有吸入式和推斥式两种形式。

1）吸入式（扁线圈式）。图 1-7 所示为吸入式仪表的测量机构和转动原理图。当固定线圈 1 通入电流后产生磁场，并对可动铁片 2 产生吸力。由于可动铁片 2 是偏心地装在轴上的，所以在磁场吸力的作用下，铁片便带动转轴和指针偏转。

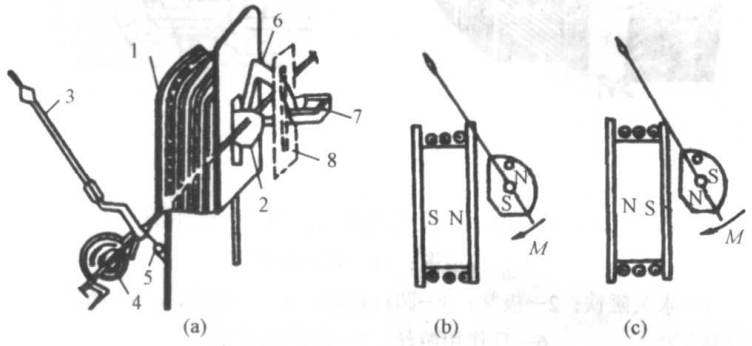


图 1-7　吸入式仪表的测量机构和转动原理图

（a）测量机构图；（b）、（c）转动原理图

1—固定线圈；2—可动铁片；3—指针；4—反作用弹簧；5—平衡锤；

6—阻尼器铝片；7—永久磁铁；8—磁屏

由于通入线圈的电流方向改变时，线圈磁场的极性及被磁化铁片的极性也随着改变，因此磁场对铁片的吸力方向不变，如图 1-7（c）所示。所以，这种测量机构既可以测量直流电流和电压，也可以测量交流电流和电压。

2）推斥式（圆线圈式）。图 1-8 所示为推斥式测量机构的构造和转动原理图。当固定线圈通入电流后产生磁场，使固定铁片 2 和可动铁片 3 同时被磁化。这两个铁片的同一侧为同极性，因而相互排斥，则可动铁片 3 将因受到固定铁片 2 的斥力而偏转，从而带动转轴和指针偏转，如图 1-8（b）、（c）所示。如果通入线圈的电流方向改变了，则两个铁片被磁化的极性将同时改变，它们仍然是相斥的，故可动部分的转动方向不变。所以，推斥式仪表既可测量直流电流和电压，也可测量交流电流和电压。

不论是吸入式的测量机构还是推斥式的测量机构，它们的转动力矩 M 的大小都与通入线圈电流的平方成正比。在转动力矩的作用下，可动部分发生偏转，使游丝扭紧而产生反抗力矩 M_i。当 M 和 M_i 达到平衡时，指针停止在某一位置，其偏转角度即可表示电流和电压的数值。

由于动铁式测量机构仅需使电流通过固定线圈，所以电流的引入比较方便，而且固定线圈可以用较粗的导线绕制，故可直接通入较大电流。动铁式仪表的主要优点是结构简单、坚固耐用、交直流两用、过载能力较大，因而得到广泛地应用。其缺点是准确度差、刻度不均匀。

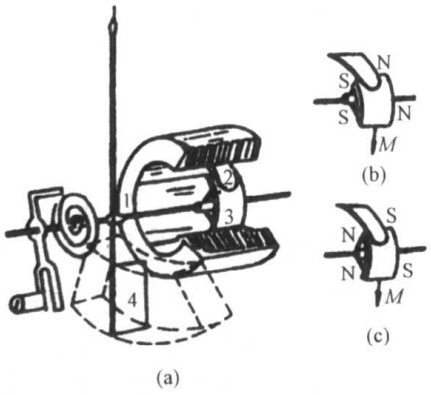


图 1-8　推斥式测量机构的构造和转动原理图

(a) 测量机构图；(b)、(c) 转动原理图

1—固定线圈；2—固定铁片；3—可动铁片；4—空气阻尼器

(4) 交流电压的测量。

1) 低电压的测量。测量低电压电路的电压时，可将电压表直接并接在被测电路的两端进行直接测量。

2) 高电压的测量。测量交流高压时，必须经过电压互感器，扩大电压表的量限。这样还可使仪表和工作人员与高电压隔离，以保证安全。

电压互感器的二次电压通常为 100V。当电压表和电压互感器配套使用时，电压表的刻度按一次侧电压标度，这样就可以直接读出被测电压值。

3. 电流表

电流表的原理和电压表的原理是基本相同的，不再重述。

(1) 直流电流的测量

要测量直流系统中某一电路的电流，必须将电流表串联在被测电路中。图 1-9 (a) 所示为直流电流表的接线图。由于电流表线圈具有一定的电阻（称为内阻，用 R_i 表示），因此当电流表串入被测电路之后，会使被测电流略有减小。这种由于接入电流表而引起的测量误差是不可避免的。但是要求这种影响越小越好，所以电流表的内阻 R_i 一般都很小。

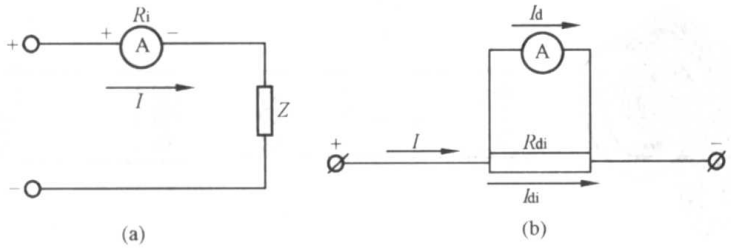


图 1-9 直流电流表的接线图

(a) 接线图；(b) 电流表的分流器

磁电式测量机构测量的电流是经游丝引入线圈中的，由于游丝和线圈的导线都很细，不容许直接通入较大的电流，所以它本身只能用作微安表或毫安表。测量较大电流时，需在测量机构两端并联一个电阻很小的分流电阻 R_{di}（又称分流器），如 1-9 (b) 所示。并联分流器后，通过测量机构的电流 I_n 只是被测电流 I 的一部分，大部分电流则通过分流器了。根据并联电路中的电流分配规律，I_d 与 I 成正比，因此表盘上可以按比例直接标出被测电流 I 的数值。同一个磁电式测量机构并联不同数值的分流器，可以制成不同量程的电流表。

当内阻和分流电阻的数值一定时，电流的分配比例是一定的。通常，分流电阻 R_{di} 比测量机构内阻 R_i 小得多，则电流表量程可远大于测量机构允许通过的电流。

（2）交流电流的测量

交流电流的测量可分为下列三种情况：

1）低压（380/220V）电路中电流的测量，在低压电路中，若被测电流不超过电流表的量程，可将电流表直接串联在被测电路内。

2）高电压电路或大电流的测量：测量高电压电路的电流或者被测电流超过电流表的量程时，必须经过电流互感器进行测量。

通过电流互感器可以将大电流成比例地变为小电流，从而扩大了电流表的量限。更重要的是，经过电流互感器能使仪表和工作人员与高电压隔离，可确保安全。

3）在不断电情况下电流的测量：用钳形电流表可以在不断电的情况下测量电流。它是由单匝穿心式电流互感器和磁电式电流表（内有整流器）组成的。通过电流的导线相当于电流互感器的一次绕组，其二次绕组和电流表相连。

4. 功率表和功率因数表

测量电路功率的仪表称为瓦特表或功率表。它的测量机构属于电动式的。

（1）电动式有功功率表的结构和转动原理。电动式有功功率表的测量机构和转动原理，如图 1-10 所示。固定线圈 1 匝数较少、导线较粗。测量电路的功率时，固定线圈与负载电路串联，线圈中通过负载电流，故又称为电流线圈。可动线圈 2 匝数较多、导线较细(串联附加电阻)。测量电路功率时，可动线圈与负载电路并联，故又称电压线圈。可动线圈与轴和指针固定在一起。轴上装有两个游丝，它除产生反作用力矩外，还起着引入动圈电流的作用。

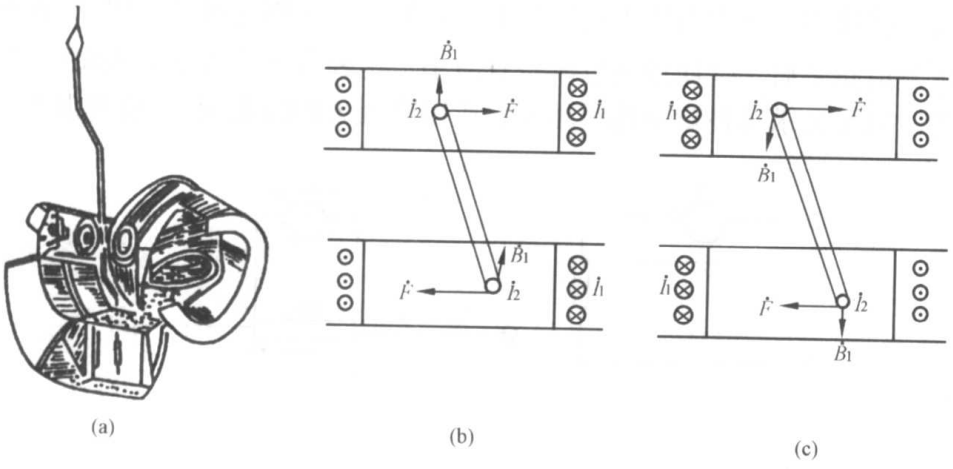


图 1-10　电动式有功功率表的测量机构和转动原理

（a）测量机构；（b）、（c）转动原理

图 1-10（b）所示为电动式有功功率表的转动原理。固定线圈通过 $\dot{I}_1$ 而产生磁场（磁感应强度为 $\dot{B}_1$），其方向按右手螺旋定则确定。当可动线圈通过电流 $\dot{I}_2$ 时，则 $\dot{B}_1$ 和 $\dot{I}_2$ 产生电磁力 $\dot{F}$，其方向用左手定则确定，它作用于可动线圈的两个有效边上，形成转矩 M 而使可动部分转动。当 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{I}_2$ 的方向同时改变时，转矩方向不变，如图 1-10（c）所示。假如只改变其中一个线圈电流的方向，则转矩方向将改变。

电动式仪表通入直流时，转矩 M 与通过两个线圈的电流的乘积成正比，即 $M \propto I_1 I_2$。

（2）单相功率表的接线。电动系测量机构测量单相电路功率时的接线，如图 1-11 所示。通过电流线圈的电流等于负载电流，即 $\dot{I}_1 = \dot{I}$。通过电压线圈的电流为 $\dot{I}_2$，由于附加电阻

R_{ad}较大，并联支路的感抗 x 可略去不计，只需考虑并联支路电阻 R_2，即可认为 $\dot{I}_2$ 和 $\dot{U}$ 同相，且 $\dot{I}_2$ 值和 $\dot{U}$ 值成正比。所以 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{I}_2$ 之间的相位差 φ 及其相量关系如图 1-12 所示。这样测量元件的指针偏转角 α 可由下式得出，即

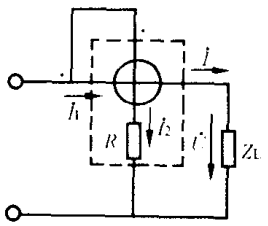


图 1-11　电动系测量机构测量单相电路接线图

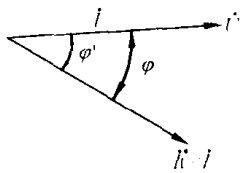


图 1-12　被测电流电压相位关系图

$$\alpha = K\dot{I}_1\dot{I}_2 = KI(U/R_2)\cos\varphi = K_pUI\cos\varphi \tag{1-4}$$

式中　K、K_p——系数。

分析表明，偏转角 α 的大小反映了电路的有功功率（$P = UI\cos\varphi$）值。

在功率表电流线圈（定圈）和电压线圈（动圈）的一端都标有极性符号“*”，称电源端。接线时，先将功率表有“*”号的两个端子短接在一起，然后接电源，再按电压线圈应并联、电流线圈应串联的关系接入负载电路。若接线错误会使指针反转或烧坏仪表。

（3）三相电路有功功率测量的接线。由于三相交流供电系统有三相三线制和三相四线制两种供电方式，所以测量三相电路功率的方法也有所不同。

1）三相四线制电路有功功率的测量。三相负载不平时，可采用三只单相功率表测量有功功率，其接线如图 1-13（a）所示。图中每只功率表的读数为一相的有功功率，三只有功功率表的读数之和即为三相总的有功功率。

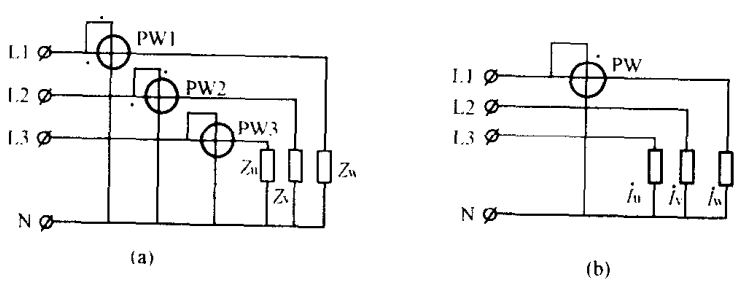


图 1-13　测量三相四线制电路有功功率的接线图

（a）不对称的三相四线制电路；（b）对称的三相四线制电路

若三相负载完全平衡时，各相的有功功率相等。则用一只单相功率表测量一相功率即可，而一相功率的三倍即为三相总功率。其接线如图 1-13（b）所示。

2）三相三线制电路有功功率的测量。测量三相三线制电路的有功功率，通常采用两功率表法，其接线如图 1-14 所示。图中，每只功率表的电流线圈通过的都是线电流，而电压线圈则接入线电压。每只功率表的读数虽不代表某一相的有功功率，但两只功率表的读数之和则等于三相总的有功功率。不论负载是星形接法还是三角形接法，也不论三相负载是否平衡，按此种接法测量三相有功功率都是正确的。

为了使用方便起见，制造厂生产了两元件的三相功率表，即把两只功率表的测量机构放

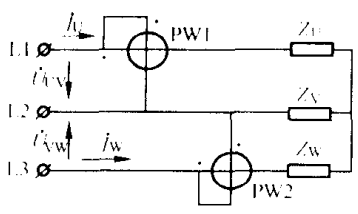


图 1-14　用两功率表法测量三相三线制电路有功功率的接线图

在一个外壳内，两个可动线圈固定在一个转轴上。由于偏转角是由两个线圈转矩的代数和决定的，所以指针所指示的读数就是三相功率。两元件三相功率表的背面共有七个接线柱，其中的四个属于两个电流线圈的，另外的三个属于两个电压线圈（其中一个为共用）的，其接线方法如图 1-15 所示。

（4）三相电路无功功率测量的接线。在三相对称电路中，三相无功功率 $Q=\sqrt{3}IU\sin\varphi$。测量三相无功功率时，一般采用将两只有功功率表按跨相法接线测量。在三相对称电路中把功率表 PW1 的电流线圈接 U 相，电压线圈接 V、W 相，功率表 PW2 的电流线圈接 W 相，而电压线圈接 U、V 相，如图 1-16 所示。这种接法称跨相 90°接线。

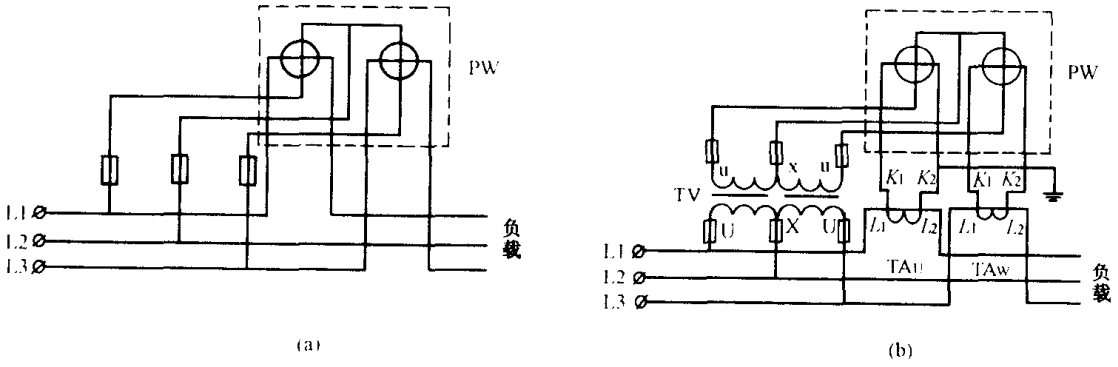


图 1-15　两元件三相功率表的接线图
（a）直接接线；（b）经互感器的接线

这种接线的测量原理也可由分析得出，此处从略。1DI－Var 型和 16D2－Var 型无功功率表就是按以上原理接入电路测量的。图1-17所示为 1DI－Var 原理接线图。它的结构和动作原理与 1DI－W 型及 16D2－W 型的有功功率表完全相同。配用互感器时，其电流为 5A，电压为 100V。

由电动式测量机构的转动原理可知，只要改变功率表中电流的方向，其动圈的转动方向就随着改变。因而功率表可做成双向测量的，用来测量双电源线路的功率。

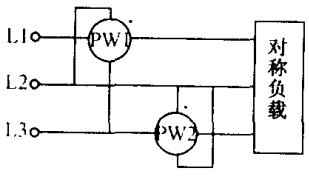


图 1-16　跨相 90°接线

（5）功率因数表。三相交流功率因数表又称相位表，它是用来测量交流电路中电压与电流间的相位差角或者电路功率因数的。

电动式功率因数表的特点，是没有产生反作用力矩的游丝，它的反作用力矩和转矩是由两个转动线圈、一个固定线圈通电后相互作用产生的。这两个电磁力矩方向相反，当它们的大小相等时，指针就静止在力矩平衡的位置上。图 1-18 所示为电动式三相功率因数表的内部接线图。

在三相功率因数表接线时，除了应按说明书的规定接线外，还应当注意三相交流电的相序关系。

（三）变电所绝缘监察装置的作用

绝缘监察装置有两种，一是直流绝缘监察装置，一是交流绝缘监察装置。

直流绝缘监察装置用在直流系统中，直流系统的接线比较复杂，发生接地的机会较多，当直流系统发生一点接地时，由于没有短路电流通过，系统仍可运行。但这种故障必须及早发现并排除，否则当又有一点发生接地时，就可能引起控制回路、信号回路、继电保护及自动装置等误动作。

直流绝缘监察装置的作用就是当系统发生一点接地时，发出预告信号，提示值班人员在规定时间内寻找出接地点。

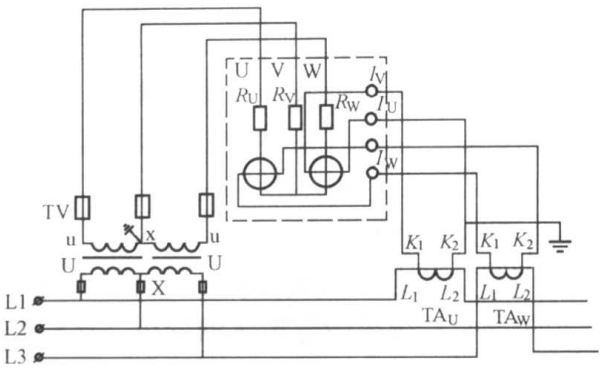


图 1-17　三相二元件 1D1 – Var 型无功功率表的原理接线图

交流绝缘监察装置是用在中性点非直接接地系统中的，当发生单相接地故障时，故障相对地电压降低（在 0 ~ 额定相电压之间），其他两相对地电压升高（在额定相电压 ~ 额定线电压之间），但线电压不变，此时用电设备仍可正常工作。但若单相接地的故障如不被及时发现和处理，则可能引起非故障相的绝缘薄弱处绝缘击穿而造成相间短路。因此应装设交流绝缘监察装置，以便在系统中发生单相接地时，及时发出信号，提醒值班人员注意。

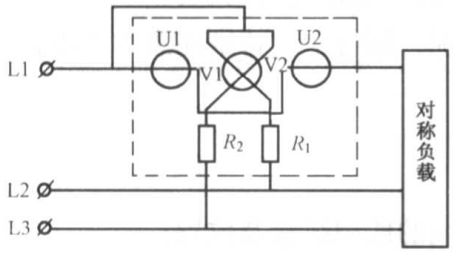


图 1-18　电动式三相功率因数表的接线图

U1、U2—固定线圈；V1、V2—活动线圈；

R_1、R_2—附加电阻

三、操作步骤

（1）预先准备好抄表纸和笔。

（2）按照规定的时间进行抄表。

（3）按抄表纸上规定的先后次序进行抄表。

四、注意事项

有人值班的变电所，值班人员应及时抄表。各变电所都根据需抄录的数据制备专用的抄表纸，其格式应与各变电所的实际情况相适应。

为了保证抄表应起到的作用，须按如下要求抄表：

（1）值班人员应按规定准时抄录表计的指示值，并注意是否在正常范围内。过负荷运行时，应缩短抄表时间。

（2）为了便于判断设备的运行状况，通常用红线在电流表、电压表和温度表上标出设备的额定值或允许范围。抄表时要特别注意相关表计的指示是否超越红线。

（3）抄表时，人的眼睛所处的位置一定要与表的位置在同一个水平线上，对于表面有弧度的表，人的眼睛所处的位置要与表面的位置相垂直。

第三节　填写运行日志

第一单元　能填写运行日志

一、学习目标

通过本单元学习应会填写运行日志。

二、相关知识

运行日志是保证变配电所设备安全运行的重要技术文件资料。变配电所的运行日志主要有以下几种：交接班记录薄、设备缺陷记录薄、断路器跳闸记录薄、继电保护调试记录薄、设备检修试验记录薄、反事故演习记录薄、运行分析记录薄、安全活动记录薄、培训记录薄。

三、注意事项

填写运行日志要认真和及时。值班人员应认真和及时地填写各种记录，以便于对变配电所运行工况及系统故障等情况的分析、比较和查阅。

第二单元　根据运行日志布置当值的工作

一、学习目标

通过本单元学习能布置当值的工作。

二、相关知识

运行值班人员，在交接班时要交清下列内容，接班人员应到现场进行检查：

（1）设备的运行方式、设备变更和异常情况及处理情况，运行中应特别注意的事项；

（2）设备的检修情况；

（3）巡视发现的缺陷和处理情况；

（4）继电保护和自动装置的运行、维护工作；

（5）当值收到的工作票和已许可工作的工作票，接地线的使用组数及位置；

（6）当值内已完成的工作和未完成的工作及有关措施；

（7）上级指示、各种记录和技术资料的收管工作；

（8）设备整洁、通信录音设备使用情况及其他。

接班人员应会同交班人员认真核对上一班人员填写的各种记录及审核上一班执行的停电申请、两票的正确性。

接班人员应认真听取交班人员的介绍，接班负责人应将本值人员进行分工，然后会同交班人员分别到现场进行以下检查工作：

（1）核对模拟图版是否与设备的实际位置相符，对上值操作过的设备进行重点检查；

（2）对存在缺陷的设备，要检查其缺陷是否有进一步扩展的趋势；

（3）检查继电保护、跳闸回路连接片、切换开关、信号装置等是否正确；

（4）了解设备的检修工作情况，检查设备上的临时安全措施是否完整；

（5）查看直流系统运行方式及蓄电池充放电情况，检查直流系统的绝缘情况；

（6）检查图纸、技术资料以及工具、仪表、备品、备件、钥匙是否齐全，录音设备是否完好等；

（7）检查设备及环境卫生。

接班人员检查设备后，分别汇报各自的检查情况，检查中发现问题需详细向交班人员询问清楚。

交接班双方一致认为交接清楚无问题后，应在运行日志上分别签名，交接班工作即告完成。

三、注意事项

值班负责人应组织全班人员开好碰头会，根据系统设备运行、检修及天气变化等情况，

提出本值运行中应注意的事项和事故预想，布置本班工作，主要内容有：

（1）对班内倒闸操作进行分工；

（2）布置对设备存在的薄弱环节、重要缺陷及重要负荷有关的设备加强监视；

（3）落实其他管理工作。

思　考　题

一、名词解释

1. 绝对误差

2. 相对误差

二、判断题

1. 配电室、控制室、值班室等的地面，一般比室外地面高出 300mm ~ 500mm。（　　）

2. 在继电保护屏的屏面布置图中，应将信号继电器、连接片等布置在屏的中部。（　　）

三、问答题

1. 工矿企业的变配电所有哪几种形式？

2. 变电所的控制室是如何布置的？

3. 控制屏上布置的表计有哪些种类？

4. 线路的控制屏是如何布置的？

5. 继电保护屏的屏面是如何布置的？

6. 说明磁电式电压表的工作原理。

7. 电压表内阻的大小对测量的正确度有何影响？

8. 如何测量交流电压？

9. 为了保证测量电流的准确性，对电流表的内阻有何要求？

10. 为了测量电压和电流，电压表和电流表应如何接入被测电路中？

11. 三相四线制电路有功功率的测量有几种接线，分别用在什么情况下？

12. 交流和直流绝缘监察装置的作用各是什么？

13. 抄表的主要目的是什么？

14. 运行日志的种类有哪些？

第二章　巡　回　检　查

第一节　检查一次电气设备

第一单元　进行室内配电装置的巡视

一、学习目标

通过本单元学习能进行室内配电装置的巡视。

二、相关知识

变、配电所（室）的配电装置是指按电气主接线的要求将所装的开关电器、载流导体以及保护、测量电器等设备，按照一定要求连接起来所构成的电工建筑物。配电装置是变配电所的重要设施。配电装置可分为屋内和屋外两大类。它的作用是：正常情况下，接受和分配电能；在系统发生故障时，迅速切除故障部分，保证正常部分的运行。

1. 配电装置的表达方法

为了表示整个配电装置的结构，通常采用三种图，即：平面图、断面图和配置图。

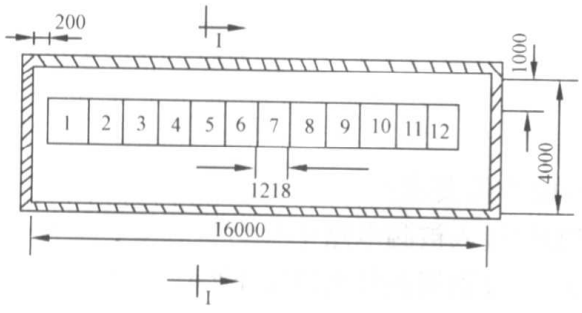


图 2-1　某屋内配电装置的平面图

（1）平面图。平面图应按比例画出房屋及其间隔、走廊和出口等处的平面布置轮廓，如图 2-1 所示。平面图上的间隔只表示间隔数、排列位置及相关尺寸，并不画出所装设备。

（2）断面图。断面图是表明配电装置指定间隔纵向断面，各设备的具体布置结构图如图 2-2 所示。断面图亦按比例画出。

（3）配置图。配置图是一种示意图，是根据设备实际情况表示配电装置室的房屋走廊、间隔名称设备以及一次系统的连接情况，如图 2-3 所示。它不按比例画出，故不表明设备的具体安装情况。配置图的作用主要是便于了解整个配电装置设备的配置。

2. 配电装置的布置

配电装置可分为屋内和屋外两大类。

屋内配电装置是将电气设备布置在屋内。按其布置形式可分为单层式和双层式。单层式就是把所有电气设备布置在一层房屋内，占地面积较大，采用成套开关柜可缩小占地面积。双层式就是把所有电气设备分别布置在两层房屋内，在一般中小型变电所双层式屋内配电装置采用较少，这里不作详述。

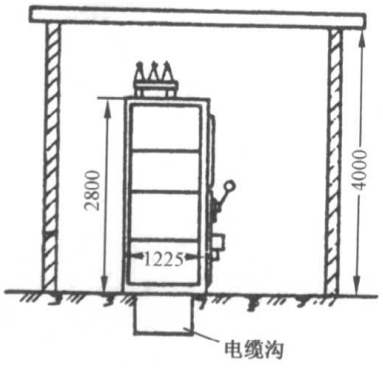


图 2-2　某屋内配电装置的断面图
（图 2-1　I—I 断面）

屋内配电装置的特点是：占地面积小；巡视、操作、维

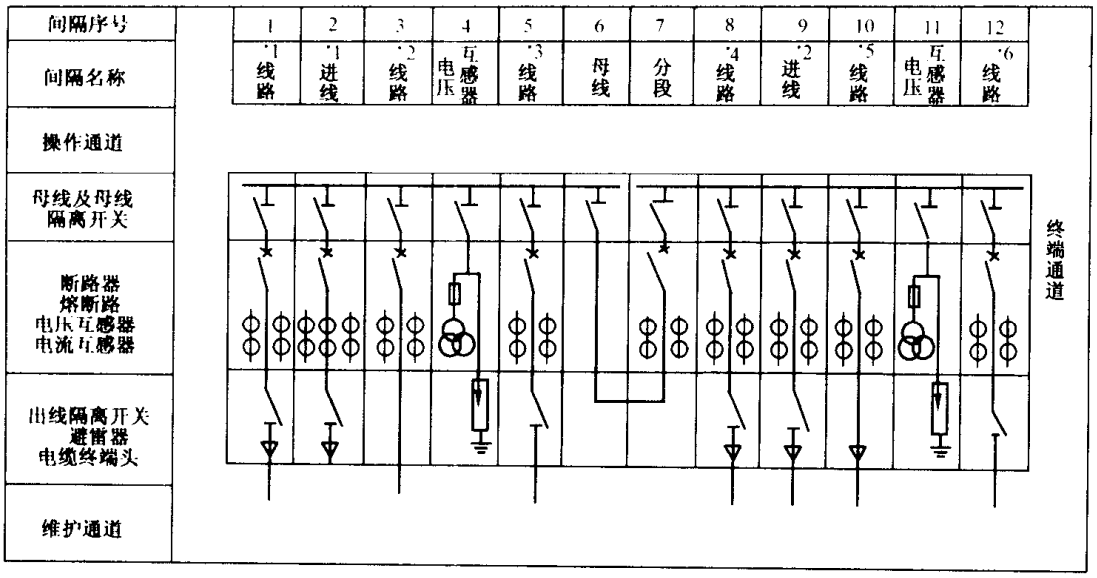


图 2-3　某屋内配电装置的配置图

护在室内进行，比较方便；外界污秽对电气设备影响小，维护工作量少；但需建造房屋，投资大。

屋外配电装置是将电气设备布置在屋外，露天安装。屋外配电装置把所有电气设备都安装在地面的基础上或设备的支架上，设备稳固并能保持带电部分与地之间必要的距离。各种电气设备基本处在同一水平面内，母线布置在比电气设备较高的水平面内。母线和各种电气设备均不上、下重叠布置。

屋外配电装置的特点是：土建工程量小，投资少；工期短；易扩建；占地面积大；运行、维护条件差；易受污秽和气候条件影响。

3. 屋内配电装置的建造规则

(1) 间隔　为了将设备故障的影响限制在最小的范围内，避免波及相邻的电路，并考虑到在检修电气设备时，避免检修人员与邻近回路的电气设备接触，屋内配电装置，通常是将一个回路的电气设备用墙形成间隔。如果是成套配电装置，则一个开关柜就是一个间隔。

(2) 母线及隔离开关　母线通常装在配电装置的上部，一般呈水平布置，见图 2-4 (b) 所示。母线采用水平布置方式，建筑部分简单，可降低建筑物的高度，安装比较容易。但观察不便，常用于中、小容量的配电装置中。母线垂直布置时，结构复杂，建筑物高度增加，间隔深度可不变，但便于观察，见图 2-4 (a) 所示。此种布置可用于短路电流较大的配电装置中。

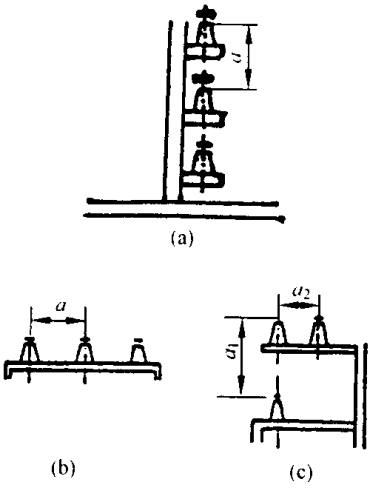


图 2-4　母线的布置
(a) 垂直布置；(b) 水平布置；(c) 混合布置

图中，a 是母线之间的距离，决定于相间电压高低，并应考虑短路时的电动稳定性及安装条件。l（图中未示出）是每相母线支持绝缘子的跨距，决定于短路时对母线机械强度的要求，水平布置当机械强度满足要求时，l 宜采用间隔宽

度，这样绝缘子便可安装在隔墙上，使结构简化。

双母线布置的两组母线应利用垂直的隔板分开，以便在一组母线检修时，另一组母线仍可继续运行。母线分段布置时，在两段母线之间也应利用隔墙隔开。

母线隔离开关通常设在母线下方。为防止带负荷误拉隔离开关造成电弧短路而延燃至母线，宜在母线与母线隔离开关之间装设耐弧隔板。

(3) 断路器及其操动机构　断路器通常设在底层单独小间内。断路器小间的形式，按照使用断路器的不同及防爆结构的要求，可分为敞开式及防爆式。

断路器的操动机构设在操作通道侧，手动和轻型远距离控制操动机构均装在正面壁上。

(4) 互感器和避雷器　电流互感器应和断路器放在同一小间内。穿墙式电流互感器应尽可能作为穿墙套管使用。

电压互感器须经隔离开关和熔断器接到母线上，占用专门的间隔，但同一间隔内，可以装设几个不同用途的电压互感器。

当母线上接有架空线路时，母线上应装设阀型避雷器，它可和电压互感器共用一个间隔。

(5) 配电装置室的通道和出口　配电装置室的通道分为维护通道和操作通道。用于维护和搬运配电装置中电气设备的通道，称为维护通道。通道内设有断路器或隔离开关的操动机构、就地控制屏等，称为操作通道。各种通道的最小宽度应符合规程要求。

为了保证工作人员的安全及工作的便利，对不同长度的配电装置室设有出口处，出口数目按规定要求设置。出口处的门应向外开，相邻配电装置室间的隔门，应能向两个方向开。

(6) 电缆沟　电缆沟一般为带盖板的沟道，深度小于 1m。电力电缆与控制电缆敷设在同一沟内时，宜分开排列在沟道两侧；如布置在一侧时，控制电缆应布置在下方，并用耐火隔板隔开。

(7) 其他　配电装置室可以开窗采光和通风（自然通风），但应有防止雨雪和小动物进入室内的措施。

4. 成套配电装置

成套配电装置（亦称开关柜），是以断路器为主的成套电气设备。制造厂根据一般电气主接线的要求，结合使用场合、控制对象及主要电气元件的特点，将断路器、隔离开关、互感器、避雷器、电容器等设备按一定方式，装配在封闭式的或敞开式的金属柜内，作接受和分配电能的装置之用。根据需要，柜内还可以装设控制、测量、保护等设备。装置内的设备在制造厂已组装好，现场仅需做少量的安装调试工作。

(1) 成套配电装置的特点

1) 成套配电装置有金属外壳（柜体）保护，使电器设备和载流导体不易被灰尘侵蚀弄脏，便于维护。特别对处在污秽地区的变、配电所，这一优点更加突出。

2) 成套配电装置是在制造厂进行机械化成批生产，易于实现系列化、标准化。同用户自行组合的装配式配电装置相比较，具有安装质量高、建造速度快、运行可靠性高的特点。

3) 成套配电装置的电器安装、线路敷设可与变电站、配电室的施工分开进行，从而可使基建时间缩短。同时，由于成套配电装置是在制造厂中按定型设计生产的，布置合理，开关柜的体积小，占地面积小，造价降低。

4) 成套配电装置便于运输，易于迅速扩建配电室。

（2）成套配电装置的分类

1）按柜体的结构特点可分为开启式和封闭式。开启式的开关柜高压母线外露，柜内各元件也不隔开。其结构简单，造价低。封闭式开关柜的母线、电缆头、断路器和量测仪表等均用小间隔开，较开启式安全，并能防止事故扩大。适用于工作条件差，对运行可靠性要求高的用电单位。

2）按电气元件固定的特点可分为手车式与固定式。手车式柜的断路器连同操动机构（有时还包括互感器、仪表等）装在可从柜内拖出的手车上，便于检修。断路器在柜内经插入式触头与固定在柜内的电路连接。而固定式柜的全部电器均固定在柜内。

3）按其母线套数可分为单母线和双母线两种。35kV 以下的配电装置，一般多采用单母线方式。

4）按电压等级可分为高压开关柜和低压开关柜。

（3）高压开关柜

高压开关柜是按一定的接线方案将有关的一、二次设备组合起来的一种高压成套配电装置。它广泛应用在工厂变、配电所中。

高压开关柜的每个柜就是一个间隔，构成一个电气回路。制造厂生产有各种一次接线方案的开关柜，以便构成不同的电气回路的间隔。应用时，可按设计的电气主接线方案，选用各种接线方案的开关柜，组合起来便构成整个配电装置。

高压开关柜由以下几部分组成：母线和母线隔离开关、断路器及其操动机构、隔离开关及其操动机构、电流互感器及电压互感器、电力电缆及控制电缆、仪表、继电保护和操作控制部件。

我国目前生产常用的高压开关柜有如下几种。

1）JYN1－35 型交流金属封闭型移开式高压开关柜；

2）GG1A－10 型固定式高压开关柜；

3）JYN2－10 型交流金属封闭型移开式高压开关柜；

4）KYN－10 型交流金属铠装式移开式高压开关柜；

5）GFC－15（F）、GFC－15Z（F）型防误手车式高压开关柜；

6）GFC－J 型手车式高压计量柜。

上述型号中各字母的含义如下：

第一个字母 J－间隔式开关柜；K－金属封闭铠装式；G－高压开关柜。

第二个字母 Y－移开式；F－封闭式；G－固定式。

第三个字母 N－户内型；C－手车型。

（4）低压开关柜

1）PGL_2^1 型低压开关柜

PGL 型低压开关柜是 1981 年以后由天津电气传动设计研究所组织全国统一设计的产品，1984 年完成并通过产品鉴定。该型开关柜取代原 BSL 型低压开关柜，是目前国内低压配电设备行业全国统一设计的产品。它适于发电厂、变电站和厂矿企业中作为交流 50Hz、额定工作电压不超过 380V 的低压配电系统中的动力、配电和照明之用。PGL 开关柜按主电路方案和分断能力分为 PGL1 和 PGL2 两个系列数十个品种。

PGL 型的主要技术参数：

绝缘电压 500V，主电路额定工作电压 380V，辅助电路额定工作电压：交流 220、380V，直流 110、220V；

分断能力：PGL1 为 l5kA、PGL2 为 3OkA（均为有效值）。

2）GCL1 系列动力中心

GCL1 系列动力中心系三相交流 50Hz、额定电压至 660V、作为电能分配的户内抽出式成套设备。

GCL1 系列由柜体和功能单元两大部分组成。按其用途区分为可抽出的进线、馈线、照明切换、母联单元等四种，此外还有固定安装的进线计量、照明及功率因数补偿三种型式。

三、注意事项

值班人员当值期间，应接规定的巡视路线、时间对全所的电气设备进行认真的巡视检查。在巡视检查时，应遵循下列原则和规定：

1. 遵守《电业安全工作规程》（发电厂和变电所电气部分）中高压设备巡视的有关规定。

2. 为了防止巡视设备时漏巡设备、重复巡视设备，每个变电所应绘制出设备巡视检查路线图，并报上级主管部门批准。运行人员应按规定的巡查路线进行巡查。

3. 巡视时要集中精神，发现缺陷应分析起因，并采取适当的措施限制其发展，遇有严重威胁人身和设备安全的情况时，应按上级主管部门制定的《变电所运行规程》、《倒闸操作规程》及《事故处理规程》进行处理。

4. 对备用设备的运行维护要求同于运行中的设备。

5. 有下列情况时，必须增加检查次数：

1）雷雨、暴风、大风、浓雾、冰雪、高温等天气时；

2）出线和设备在高峰负荷或过负荷时；

3）设备产生一般缺陷又不能消除，需要不断监视时；

4）新投入或修试后的设备。

进行室内配电装置的巡视，除按照上述规定外，还应满足下列要求：

1. 高压设备发生接地时，不得靠近故障点 4m 以内。进入上述范围必须穿绝缘靴；接触设备的外壳时，应带绝缘手套。

2. 进出高压室，必须随手将门关上。

3. 高压室钥匙至少应有三把，其中一把按值移交。

第二单元　进行室外配电装置的巡视

一、学习目标

通过本单元学习会进行室外配电装置的巡视。

二、相关知识

屋外配电装置是将所有电气设备和母线都装设在露天的基础、支架或构架上。

（1）母线及构架　屋外配电装置的母线有硬母线和软母线两种。软母线多为钢芯铝绞线，三相呈水平布置，用悬式绝缘子悬挂在母线构架上。采用软母线时，相间及对地距离要适当增加。硬母线常用的有矩形和管形母线，固定于支柱绝缘子上。采用硬母线可节省占地面积。

屋外配电装置的构架，可由钢筋混凝土制成。目前，我国在各类配电装置中推广应用一种以钢筋混凝土环形杆和钢梁组成的构架。

（2）电力变压器　采用落地布置，安装在双梁形钢筋混凝土基础上，轨道中心距等于变压器的滚轮中心距。当变压器油重超过 1000 公斤以上时，按照防火要求，在设备下面应设置贮油池或周围设挡油墙，其尺寸应比设备的外廓大 1 米，并应在池内铺设厚度不小于 0.25 米的卵石层。主变压器与建筑物的距离，不应小于 1.25 米。

（3）断路器　断路器安装在高 0.5 ~ 1 米的混凝土基础上，其周围应设置围栏。断路器的操动机构须装在相应的基础上。

（4）隔离开关和电流、电压互感器　这几种设备均采用高式布置，其要求与断路器相同。

（5）避雷器　一般 110kV 以上的避雷器多采用落地式布置，即安装在 0.4 米高的基础上，四周加围栏。磁吹避雷器及 35kV 的阀型避雷器体形矮小，稳定性较好，一般可采用高位布置。

（6）电缆沟　其结构与屋内配套电装置的相同。

（7）道路　根据运输设备和消防及运行人员巡视电气设备的需要，在配电装置的范围内铺有道路。电缆沟盖板可作为巡视小道。

三、注意事项

对室外配电装置的巡视除应遵循室内配电装置巡视的前五项原则和规定外，还应遵循下列要求：

1. 遇有雷雨时，如要外出进行检查，必须穿绝缘靴，并不得靠近避雷针和避雷器。

2. 高压设备发生接地时，不得靠近故障点 8m 以内，进入上述范围必须穿绝缘靴；接触设备的外壳时，应带绝缘手套。

第二节　检 查 变 压 器

第一单元　进行变压器运行温度及温升检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对变压器运行温度及温升进行检查。

二、相关知识

变压器的允许温度，是由变压器所使用的绝缘材料的耐热能力所决定的。我国电力变压器大部分采用 A 级绝缘材料，即浸渍处理过的有机材料，如纸、木材、棉纱等，其允许温度为 105℃。变压器运行时，由于电流流过绕组产生的铜损和磁通在铁芯中产生的铁损引起变压器发热使其温度升高的。温度最高的地方是绕组，其次是铁芯，变压器油的温度则较低。

为了便于监视变压器运行时各部件的温度，我们规定以变压器上层油温来确定变压器允许温度。变压器的上层油温一般比绕组高 10℃，按 A 级绝缘允许温度为 105℃，规定变压器的上层油温最高不得超过 95℃。而在正常情况下，为使变压器油不致过快氧化，上层油温应不超过 85℃。

变压器在规定的允许温度下连续运行，其最合理的寿命为20年。当变压器绕组的温度超过允许温度时，每升高6℃其使用期限便减少一半。

变压器的允许温度与周围最高环境温度之差称为允许温升，我国规定油浸自冷式变压器的最高环境温度为40℃，则允许温升为55℃。当周围空气温度超过40℃时，不允许变压器满负荷运行。这是因为变压器温度与周围空气温度之差减小了，散热困难，会使绕组温度上升。当周围空气温度低于40℃时，尽管变压器温度与周围空气温度之差增大，有利于散热，但绕组的散热能力受结构条件的影响，不会与温差成正比地增加。

三、工作程序

（1）检查变压器遥测温度计所指示的数值是否在规定的范围内。

（2）检查变压器本体温度计所指示的数值是否在规定的范围内。

（3）检查变压器的室外环境温度，判断温升是否在规定的范围内。

四、注意事项

变压器的上层油温一般应在85℃以下，如温度突然升高，则可能是冷却装置故障，也可能是变压器内部有故障。

检查变压器的室外环境温度，判断温升是否在规定的范围内。如：一台油浸自冷式变压器，当周围空气温度为30℃时，其上层油温为60℃，没有超过上层油的允许温度95℃，上层油的温升为60℃－30℃＝30℃，没有超过允许温升55℃，变压器运行正常。当周围空气温度为0℃时，其上层油温为60℃，没有超过上层油的允许温度95℃，但上层油的温升为60℃－0℃＝60℃，超过了允许温升55℃，则变压器运行不正常。

第二单元　变压器过负荷情况的检查

一、学习目标

通过本单元学习会对变压器的过负荷情况进行检查。

二、相关知识

变压器的过负荷能力是指在较短时间内允许输出的较大功率（电流）的能力。这种允许是有条件的，即是在不损坏变压器绕组的绝缘和不缩短变压器使用寿命的前提下。正常过负荷能力就是指在上述条件下，它可以在大于变压器额定容量的负荷下运行的负荷限值及相应的时间限值。

变压器的过负荷能力分为正常过负荷和事故过负荷两种。

（一）变压器的正常过负荷

变压器在额定条件下工作可连续运行20年。但变压器运行中的负荷是经常变化的，其上层油温可能长时间没有达到允许限值。原因是：

（1）变压器的日负荷有高峰和低谷。在低谷时，变压器的铜损小，发热少，使变压器在较低的温度下运行。

（2）在一年内，季节气温是变化的。则变压器周围环境的温度也是变化的，在冬季，环境温度低变压器的散热条件好。

（3）变压器在设计时考虑有一定的裕度。

综上所述原因，变压器在平时运行中使用寿命的损失可能达不到设计预期的速度，故在不损害变压器绕组的绝缘和不缩短变压器使用寿命的前提下，必要时变压器可以过负荷运

行。由昼夜负荷变动所允许的过负荷时间可按过负荷前的空气温度（或过负荷前上层油的温升）和需要过负荷的倍数决定，见表 2-1。

表 2-1　　油浸自冷或油浸风冷变压器的正常过负荷的允许时间（时：分）

过负荷倍数	过负荷前上层油的温升（℃）						
	18	24	30	36	42	48	54
1.05	5：50	5：25	4：50	4：00	3：00	1：30	
1.10	3：50	3：25	2：50	2：10	1：25	0：10	
1.15	2：50	2：25	1：50	1：20	0：35		
1.20	2：05	1：40	1：15	0：45			
1.25	1：35	1：15	0：50	0：25			
1.30	1：10	0：50	0：30				
1.35	0：55	0：35	0：15				
1.40	0：40	0：25					
1.45	0：25	0：10					
1.50	0：15						

由于季节温度变化而允许的过负荷，规定为夏季的最高负荷低于额定容量时，每低于额定容量的 1%，允许在冬季负荷高峰时过负荷 1%，但以 15%为限。过负荷百分数的计算方法为：

$$I\% = (I - I_N)/I_N \times 100\%$$

式中　I——负荷电流；

I_N——变压器的额定电流。

上述两种允许过负荷可以迭加使用，但过负荷的总数对室外变压器而言应不超过 30%，对室内变压器而言应不超过 20%。

（二）变压器的事故过负荷

当工厂变、配电所发生事故时，为了保证对重要车间、设备的连续供电，可允许变压器在短时间内过负荷运行，称为事故过负荷。此种过负荷主要是考虑不造成重大经济损失，确保人身和设备的安全，而变压器绝缘损伤速度的加快，运行效率的降低等已退居次要地位。

变压器事故过负荷的倍数及允许时间，应按制造厂的规定执行。若无制造厂的规定可按表 2-2 执行。

表 2-2　　变压器允许事故过负荷的倍数及时间

过负荷倍数	1.30	1.45	1.60	1.75	2.00	2.40	3.00
允许持续的时间（分）	120	80	30	15	7.5	3.5	1.5

（三）变压器电源电压变化的允许范围

1. 变压器电源电压变化的允许范围

变压器电源电压可以比额定值高，但一般不得超过额定值的 5%。同时，变压器输出电

压的允许变化范围应在额定电压的±5%范围内。

2. 电压的调整

变压器在运行中，随着一次侧电源电压的变化，以及负荷的变动，二次侧电压会有较大的变化。从用电的角度上来看，总是希望电源电压尽量稳定。电压波动越小，说明供电的质量越高。为了保证二次侧电压波动在一定数值范围内，就必须进行调压。

变压器调压的方法是改变变压器高压侧运行绕组的匝数，调压方式分为有载调压和无载调压。

三、工作程序

(1) 检查变压器负荷电流的大小应在规定范围内。

(2) 检查变压器的上层油的温度，一般不应超过85℃，温升应不超过55℃。

(3) 检查变压器各种负载状态下的输出电压，并判断其波动幅度是否在允许范围内。

四、注意事项

正常时负荷电流应不超过允许值（额定电流值）。过负荷时，过负荷数对室外变压器而言最多不得超过额定值的30%，对室内变压器而言最多不得超过额定值的20%。

变压器的温度一般应不超过85℃，变压器的温升无论何时都不应超过55℃。

第三单元　进行变压器冷却装置的检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对变压器冷却装置进行检查。

二、相关知识

在变压器运行时，绕组中通过电流所产生的损耗和铁芯通过磁通时所产生的损耗都将转化为热能，使其温度升高。为了防止变压器温度、温升太高，超过其允许值，就需要采取冷却降温措施。

下面介绍不同类型变压器的冷却方式。

1. 干式变压器风冷

为了防止采用油浸式变压器有发生火灾的可能性，目前不少安装在重要场所及高层建筑中的变压器采用了无油的干式变压器。这种变压器的绝缘采用环氧树脂，它的冷却是在铁心及绕组间留有风道，用鼓风机吹风冷却。

2. 油浸式自然空气冷却

这种冷却方式的变压器，容量一般为7500kVA及以下，它将变压器的铁心和绕组直接浸入变压器油中。由于变压器在运行中内部产生的热量使油的温度升高，体积膨胀，密度减小，因此油就向上浮动。而变压器的上层油，经过散热器冷却后，密度增大而下沉。油的这种流动方式，称为对流。由于冷、热油的不断对流，便将变压器铁心和绕组的热量带走而传给了油箱散热器，再靠油箱壁的辐射散热和散热器与周围空气之间的自然散热，把热量散发到空气中去。

这种变压器运行时，只要保证油箱和散热器连接处的阀门在敞开位置，即可达到散热效果。

3. 油浸风冷式

对容量较大的变压器，一般容量为10000kVA以上，为了加强油的冷却效果，在散热器

上加装风扇（每组散热器上装设两台小风扇），即用风扇将风吹于散热器上，以使热油能迅速冷却，加速热量的散出，降低变压器的油温。变压器的这种冷却方式称为油浸风冷式。为了节约厂用电，当周围空气温度在规定值以下，变压器的上层油温不超过55℃时，可停用风扇。若油温超过55℃，负荷超过额定值的70%时，则应起用风扇。

容量更大变压器的冷却方式，还有强迫油循环水冷和强迫油循环风冷。

三、工作程序

（1）检查变压器的散热器有无漏油。

（2）查看冷却装置运行是否正常，有无异常声响。

（3）冷却风扇应无反转、卡住现象。

四、注意事项

变压器的冷却装置应在变压器投运前投入，在变压器停役后退出。干式风冷变压器当冷却风扇有故障时，其允许运行的时间应由生产厂家规定。

第四单元　对变压器进行本体检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对变压器本体进行正常的巡视；在特殊情况下，会对变压器进行特殊项目的巡视。

二、工作程序

（一）变压器正常时的检查项目

（1）变压器的油位、油色是否正常。

（2）检查油温是否正常。

（3）检查声音是否正常。

（4）检查引线、桩头及套管是否正常。

（5）变压器主、附设备应不渗油、漏油。

（6）呼吸器油封应畅通，呼吸应正常。呼吸器内的变色硅胶变色不应超过2/3。

（7）压力释放阀装置应密封，或防爆管上的隔膜应完整。

（8）气体继电器内应无气体。气体继电器及接线端子盒应密封。

（9）冷却装置运行应正常，风扇无反转、卡住现象，潜油泵运行无异常。

（10）有载调压分接开关动作情况应正常。

（11）外壳接地应无锈蚀，铁心接地引线经小套管引出接地连接应完好。

（二）特殊巡视检查项目

在天气变化、高峰负荷或出现异常时，应对变压器进行特殊巡视检查。

（1）大风时，对室外变压器检查，附近应无易被吹动飞起的杂物，以防止吹落至变压器带电部分。应查看引线摆动情况和有无松动现象。

（2）大雾、毛毛雨时，应检查套瓷瓶有无严重电晕和放电闪络现象。

（3）气温骤冷或骤热时，应检查油温、油位是否正常。

（4）雷雨后，应检查变压器各侧避雷器计数器动作情况，检查套管应无破损、裂纹和放电痕迹。

（5）超额定电流运行期间，应加强检查负载电流、上层油温和运行时间。

事故后，应检查变压器外部有无异常现象。

三、注意事项

（1）变压器本体油位及有载调压开关油位应在规定的油位线范围内。油色正常应为透明微黄色，若油色变成红棕色或黑色，则可怀疑油质已经劣化，应对油进行简化分析。

（2）分别检查变压器本体温度计和遥测温度计所指示的数值均应在规定的范围内。变压器的上层油温一般应在85℃以下，如温度突然升高，则可能是冷却装置故障，也可能是变压器内部有故障。还要检查室外环境温度，温升不应超过规定值。

（3）变压器正常运行时，会发出连续均匀的“嗡嗡”电磁声，附属设备发出均匀的振动声。如电磁声不均匀，可能是变压器铁心的穿心螺丝松动，如内部有劈啪的放电声，则可能绕组间有击穿现象。

（4）引线、桩头应无松动、松股和断股现象，套管及法兰应清洁，无裂纹和放电痕迹。

第五单元　对变压器油的运行情况进行检查

一、学习目标

通过本单元学习，了解变压器油的作用，会对变压器油进行检查。

二、相关知识

变压器油在变压器中起绝缘和冷却作用。

变压器内的油可以增加变压器内各部件间的绝缘强度，因为油是易流动的液体，它能充满变压器内各部件间的任何空隙，将空气排除，从而避免了部件因与空气接触而受潮所引起的绝缘降低。其次，因为油的绝缘强度比空气大，从而增加了变压器内各部件之间的绝缘强度，使绕组与绕组之间、绕组与铁心之间、绕组与油箱外壳之间均能保持良好的绝缘。

变压器的绝缘油还可以使变压器的绕组和铁心得到冷却。因为变压器运行中，靠近绕组与铁心的油受热后，温度升高，体积膨胀，密度减少而上升，经冷却装置冷却后，再进入变压器油箱的底部，从而形成油的循环流动。这样，在油的循环过程中，将热量散发给冷却装置，使绕组和铁心得到冷却。

另外，绝缘油能使绝缘物如木质、纸等保持原有的化学和物理性能，对金属（如铜）能起到防腐作用，还能熄灭电弧。

综上所述，绝缘油的运行，主要是要解决变压器的散热、防潮及防止油劣化三个问题。解决油的防劣化，以便使油在经济、合理的基础上延长其使用期限，便成为一项很重要的工作。

油的散热作用，主要决定于油的粘度及变压器的外形结构。降低油的粘度对提高设备的散热能力实际意义不大，而变压器采用适当的外形结构（散热面积）和冷却方式，对提高变压器的散热能力具有很大的实际意义。变压器油在运行中，有可能与空气接触，空气中的湿度会使油受潮。受潮后的油中有水分，它不仅会降低油的击穿电压，增加介质损失值，而且在变压器油中的水分会加速铜、铁的腐蚀作用，引起油中大量沉淀物的生成。受潮的油比干燥的油劣化速度要快2～4倍。

三、工作程序

变压器油的检查内容已列入变压器本体检查的项目中。

四、注意事项

运行中检查变压器油，主要是检查油色、油位、油温及有无漏油现象。

第三节　检查断路器

第一单元　对送电前的断路器进行检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对送电前的断路器进行检查。

二、工作程序

（1）断路器在检修结束后送电前，应收回所有的工作票，拆除安全措施，恢复常设遮栏，并对断路器进行全面的检查。

（2）检查断路器两侧隔离开关均应在断开位置。

（3）断路器本身清洁，无遗留工具，断路器三相均在断开位置。

（4）油断路器油位应在正常位置，油色透明呈淡黄色，不应发黑，无漏油现象。

（5）断路器的套管应清洁、无裂纹及放电痕迹。

（6）操动机构动作应良好，清洁完整，连杆、拉杆瓷瓶、弹簧等应完整无损。

（7）分、合闸指示器应在“分”的位置。

（8）端子箱内端子排和二次线应完好，无受潮、锈蚀现象。

（9）断路器的接地装置应紧固不松动。

三、注意事项

检查送电前的断路器时，最主要的是要检查其分、合闸指示器应在“分”的位置。

第二单元　对运行中的断路器进行检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对运行中的断路器进行检查；掌握在特殊情况下对断路器进行巡视检查内容。

二、相关知识

断路器的巡视周期：

（1）断路器正常运行情况下巡视检查，每天应不少于 1 次（交接班巡视除外）。

（2）夜巡应每周一次。

（3）天气变化及过负荷情况下应适当增加巡视次数。

（4）新投运或大修后的断路器，在 72 小时内应适当增加巡视次数。

（5）SF_6 断路器发生漏气现象时，应加强监视。

三、工作程序

运行中的断路器的巡视检查项目如下：

（1）检查油断路器的油位、油色。

1）油断路器中的油位应在规定的范围内。

2）油色应呈透明淡黄色。

3）油断路器充油部位不应有渗油、漏油现象。

（2）检查声音。

1）断路器内部应无放电声或烧开时水的翻滚声。

2）套管和引线应无放电声及放电痕迹。

3）SF_6 断路器应无气体泄漏声、振动声。

（3）引线接头应良好，无发热变色及松动，套管瓷瓶应清洁无破损。

（4）检查分合闸机构指示与断路器实际状态应相符。

（5）操作机构的检查。

1）操动机构与断路器本体的连接应无松脱，分合闸指示器指示正确。

2）SF_6 断路器应每班定时记录 SF_6 气体压力和温度。

3）断路器的机构箱门、端子箱门应开启灵活，关闭严密。端子箱内的二次线端子应无受潮、锈蚀现象。

四、注意事项

在事故跳闸后应对断路器进行下列检查：

（1）检查油断路器有无喷油现象，油位和油色是否正常。

（2）断路器各部件有无位移变形和损坏，瓷件有无裂纹现象。

（3）各引线触点有无发热变色现象。分合闸线圈有无焦味。

高峰负荷期间，应检查断路器各连接部位有无发热变色或打火现象。雾天、雷雨后应检查瓷套管有无闪络痕迹。天气骤冷骤热应检查油位是否正常。机构加热器应根据环境温度与规定，及时投退。

第三单元　对运行中的真空断路器进行检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对真空断路器进行运行检查。

二、工作程序

1. 正常运行的真空断路器在合闸状态时的检查

（1）真空断路器操动机构应在合闸位置。

（2）真空断路器主轴滚轮应离开油缓冲器。

（3）分闸弹簧应处于贮能拉伸状态。

（4）真空灭弧室动触杆留露在导向板下的长度应约为 4～5mm。

（5）真空灭弧室内的波纹管应可见（采用陶瓷管的无此项）。

（6）真空断路器上下支架的试温片应无明显变化。

2. 导电部位的检查

（1）上下支架的外部连接螺栓不应松动。

（2）上支架固定真空灭弧室螺栓不应松动。

（3）下支架导电夹螺栓不应有松动。

3. 传动部件的检查

（1）拐臂与灭弧室动端杆的 3 根轴，均应两端挡卡。

（2）拉杆与拐臂的固定螺母及犟母应紧固。

（3）6只固定支柱绝缘子的M20螺栓（在真空断路器框架）应紧固。

（4）固定真空断路器的安装螺栓应紧固。

（5）机构大轴与断路器拐臂的连接螺母及罩母应紧固。

（6）传动连接杆的焊接部位应无断裂。

（7）主传动轴的轴销应无松动脱落。

4. 真空灭弧室内部的检查

（1）触头烧损情况的检查。

真空断路器灭弧室经过多次开断短路电流后，触头在电弧作用下会有烧损，规定电损失应不大于3mm。检查方法是：测量真空开关管（灭弧室）的开距，并与上次测量结果作比较；用测量直流电阻法检查回路电阻应小于80μΩ；测量压缩行程是否有明显变化。触头有烧损后，经过调整满足技术参数要求，仍可继续使用（与其他要求综合判断）。

（2）真空断路器灭弧室真空度的检查。

看真空断路器灭弧室外玻璃管（陶瓷）有无裂纹、破损。真空灭弧室两端焊接面应无明显的变化、移动、脱落。拆开拉杆与拐臂的连接轴销，用手拉动触杆检查其是否能自动返回，使真空灭弧室动触头始终自保持在闭合状态（外部气压使触头接触）。当自闭力很小或不返回时，说明真空度已减小。

还可利用做耐压试验的方法来检验开关管内部压力是否合格。当绝缘水平低于42kV/min时，表明真空度下降，应予以更换。

三、注意事项

1. 真空断路器的检查项目中最重要的是对灭弧室真空度的检查。

2. 禁止将任何东西放在真空断路器上静支架，以防止落下时打坏真空灭弧室。

第四单元　对运行中的SF_6断路器进行检查

一、学习目标

通过本单元学习，会对SF_6断路器进行运行检查。

二、工作程序

运行人员在正常巡视时，应对SF_6断路器进行仔细检查，发现缺陷，及时消除，以确保人身和设备的安全。检查的要点如下：

（1）加强对断路器内气体含水量的监视，用微小量水份测试仪检测，含水量应不大于300ppm体积比。

（2）检查绝缘瓷套管有无裂纹、放电及脏污现象。检查外部连接导体和电气设备接头处有无过热现象。检查SF_6气体管道系统及阀门，有无损伤和裂缝。

（3）加强SF_6气体压力的监视。

1）每周抄表1次，必要时应根据实际情况增加抄表次数。

2）为使环境温度与SF_6断路器内部气体温度尽可能一致，抄表时间应选择在日湿变化较平坦的一段时间的末尾进行。

3）通过抄表能及早发现漏气情况，若发现真空度降低或发现有异臭时，应立即通知有关专业人员，查明原因，及时处理。否则会使绝缘性能和灭弧能力降低。还应检查气体压力

表有无生锈及损伤。

(4) 检查断路器各部分通道有无漏气声及振动声，有无异臭。若有上述现象，应查明原因，及时处理。

(5) 检查声音有无异常。

(6) 检查操动机构。35kV 的 SF_6 断路器使用弹簧操动机构。弹簧操动机构的运行检查如下：

1) 断路器在运行状态时，储能电动机的电源开关或熔断器应在投入位置，并不得随意断开。

2) 检查储能电动机，其行程开关触点应无卡住和变形，分、合闸线圈无冒烟及异味。

3) 断路器在分闸状态时，分闸连杆应复归，分闸锁扣应钩住，合闸弹簧应储能。

4) 运行中的断路器应每隔 6 个月用万用表检查其操作熔断器是否良好。

三、注意事项

(1) SF_6 断路器中水分较多时，SF_6 会水解成有毒的腐蚀性气体；当水分超过一定量，在温度降低时会凝结成水滴，粘附在绝缘表面。这些都会导致设备腐蚀和绝缘性能降低。因此必须严格控制 SF_6 气体中的含水量。SF_6 气体中含水量标准：交接试验时，在断路器气室内为 150ppm，在其他设备气室内为 250ppm；在运行中，断路器气室内为 300ppm，在其他设备气室内为 500ppm。含水量测试周期：在设备投入运行后每三个月检测 1 次，直至稳定后，方可每年检测 1 次。

(2) SF_6 气体压力正常值为 0.4～0.6MPa，为保持气体压力在正常值范围内，所以应对气体压力表加强监视，并及时调整压力。

(3) 在检查声音时，倾听金属筒内传出的声音，若金属筒内出现局部放电，就会发出“嘶、嘶”的类似小雨落在金属外壳上的声音。若断定是内部放电声，则应立即停电检修。若听到的声音与日常巡视听到的电磁声不同时，说明存在螺丝松动等状态变化，需做进一步检查。

第四节 检查隔离开关

一、学习目标

通过本单元学习，会对隔离开关进行运行检查。

二、工作程序

隔离开关巡视检查的要点：

(1) 隔离开关本体检查。隔离开关本体应完好，三相触头在合闸时应同期到位，无错位或不同期到位现象。

(2) 触头检查。运行中应保持不偏斜、不振动、不过热、不锈蚀、不变形。夜巡时，应看触头是否烧红。

(3) 绝缘的检查。绝缘部位应清洁完整，无放电闪络痕迹，无机械损坏。

(4) 操动机构检查。操动机构各部件应无变形锈蚀、无机械损伤，部件之间连接应牢固，无松动脱落现象。

(5) 底座检查。底座连接轴上的开口销应完好，底座法兰螺栓紧固无松动，法兰无裂

纹。

(6) 接地部分检查。隔离开关接地部分接地应良好。接地体可见部分应无断裂现象。

三、注意事项

检查隔离开关时，最重要的是弄清楚隔离开关当时的状态，是检查在断开位置还是检查在合上位置。这就要求检查时注意力要集中，严防带负荷拉合隔离开关事故的发生。

思 考 题

一、名词解释

1. 间隔

2. 成套配电装置

二、判断题

1. 进行室内配电装置的巡视时，若高压设备发生接地，则不得靠近故障点 8m 以内。 ( )

2. 变压器正常运行时，其上层油温不应超过 85℃。 ( )

三、问答题

1. 表达配电装置的图有哪几种?

2. 配置图的作用是什么?

3. 室内配电装置的优点是什么? 缺点是什么?

4. 室内配电装置中，互感器和避雷器是如何布置的?

5. 采用成套配电装置有何优点?

6. 变压器一般采用何种等级的绝缘材料? 它的允许温度是多少?

7. 为什么变压器允许正常过负荷?

8. 变压器油的作用是什么?

9. 正常运行时对变压器本体检查的项目有哪些? 什么情况下需要对变压器进行特殊检查?

10. 变压器油的检查主要检查哪几项内容?

11. 断路器送电前的检查内容有哪些? 运行中的断路器应作哪些检查?

12. 什么情况下需要对断路器进行特殊检查?

13. SF_6 断路器的检查项目有哪些?

14. 真空断路器的检查项目有哪些?

15. 隔离开关的检查项目有哪些?

第三章　倒　闸　操　作

第一节　填　写　操　作　票

第一单元　　填　写　操　作　票

一、学习目标

能正确地理解并按调度或企业有关职责部门的命令填写操作票。

二、相关知识

在变电所中运行的电气设备，常会遇到检修、试验及消除设备缺陷的工作，这就需要改变设备的运行状态或主接线系统的运行方式。当电气设备由一种状态转换到另一种状态或改变主接线系统的运行方式时，需要进行一系列的操作才能完成，这种操作统称为电气设备的倒闸操作。

倒闸操作的内容，主要是指拉合某些断路器和隔离开关，拉合某些断路器的操作熔断器和合闸熔断器（或储能电源熔断器），投切某些继电保护装置和自动装置或改变其整定值，拆装临时接地线等。

电气设备的倒闸操作，是一项既重要又复杂的工作。若发生误操作事故，可能导致设备损坏，危及人身安全及造成大面积停电。

在电力系统中，电气误操作事故频繁发生，据统计，1998 年共发生电气误操作事故占全年事故总数的 11.5%；1998、1999 两年中共发生带负荷拉合隔离开关、带接地线合隔离开关、带电挂接地线、误拉合断路器及误入带电隔间等五项误操作事故共 300 余次，占电气误操作事故的一半以上。

从大量电气误操作事故统计分析得出，其事故原因是运行人员未认真执行两票三制和电气设备缺乏防误操作装置造成的。

为了防止和大幅度减少电气误操作事故，必须采取组织措施和技术措施，才可防止误操作事故的发生。

三、工作程序

操作票上填写的内容有：

（1）拉开或合上的断路器及隔离开关；

（2）取下或装上的操作熔断器（投切断路器的操作电源）、合闸熔断器（或储能电源熔断器）；

（3）投切的电压互感器的隔离开关以及取下或装上它的熔断器；

（4）检查相关断路器和隔离开关的实际开合位置；

（5）使用验电器检验需接地部分是否确已无电；

（6）起用或停用的继电保护及自动装置，或改变其整定值、投切它们的直流电源；

（7）应拆、装的接地线并检查有无接地；

(8) 检查断路器合闸后，相关线路、变压器等的负荷分配。

四、注意事项

倒闸操作时使用和不使用操作票的范围如下。

1. 使用操作票的范围

对 1000V 以上的电气设备进行正常操作时，均应填写操作票。

2. 不用操作票的范围

(1) 处理事故时，为了能迅速断开故障点，缩小故障范围，以限制事故的发展，及时恢复供电，故不需填写操作票。但在事故处理结束后，应尽速向有关领导人汇报，并作好记录。

(2) 隔离开关和断路器之间有联锁装置，且全部隔离开关或断路器均系控制屏远方操作时，可不需填写操作票。这是因为有了隔离开关与断路器间的连锁装置后，误操作的可能性大为减少。同时，由于是远方操作，即使发生隔离开关误操作事故，也不会危及人身安全。

(3) 在简单设备上进行单一操作时，如拉合断路器、拉合接地开关、拆装一组临时接地线、380V 开关室内的单项设备的停送电操作等。

(4) 寻找直流接地。

上述操作，应记入操作记录簿内。

第二单元　默写变电所一次回路的运行方式

一、学习目标

会默写本变电所的一次接线及其正常运行方式。

二、注意事项

电气一次接线的运行方式是指一次设备在一次接线上的实际连接情况。是电气运行人员监视设备正常运行，进行倒闸操作、事故分析及事故处理的基本依据。因此，电气运行人员必须熟悉和掌握电气一次接线及其运行方式。

变电所值班人员，应熟悉本所的一次接线，当值期间应掌握变电所的一次接线的运行方式。

变电所的一次接线，详见第三章第四节的有关内容。

第三单元　在监护人的监护下进行一般的倒闸操作

一、学习目标

会在监护人的监护下正确进行一般的倒闸操作，会布置安全措施。

二、相关知识

(一) 倒闸操作的顺序

(1) 发布和接受任务。在需要进行操作前，应由调度或值班负责人先布置操作任务，并讲清目的和操作设备的状况。操作人接到操作命令后，应复诵一遍后将此任务记入操作簿内，并做好操作前的准备工作，待接到正式操作命令后再进行操作。

(2) 填写操作票。在进行倒闸操作以前，应由操作人员中之一人填写操作票。操作人员应根据操作任务，查对模拟系统图，在操作票上逐项填写操作项目，并由操作人和监护人在操作票上共同签名。

(3) 审核批准。操作人填写好操作票后，由监护人、值班负责人逐级审核，操作票经审核确认无错误后签名批准，将操作票交还给操作人。

(4) 发布操作命令。当值班负责人接到操作人已作好执行任务的准备的报告后，在实际操作时，发布正式操作命令，并在操作票上填入发令时间。

(5) 核对模拟系统图板。在发布操作命令后、正式操作前，由监护人按操作票的项目顺序唱票，由操作人翻正模拟图板，以核对其操作票的正确性。

(6) 高声唱票及逐项勾票。进入现场操作时，操作人和监护人携带操作工具进入操作现场后，应先核对被操作设备的名称是否相符，即核对编号。设备名称应与操作票相同。此外，核对断路器和隔离开关的实际位置及检验有关辅助设施的状况，如信号灯的指示，表计的指示，继电器和连锁装置等的状况。经核实完全正确后，操作人要做好必要的安全措施，如戴好绝缘手套等。

监护人按操作顺序及内容逐项高声唱读，由操作人复诵一遍，监护人认为复诵无误后应答“对，执行”，然后操作人方可进行操作。监护人在操作开始时，应记录操作开始时间，并将已执行的操作项目立即在操票上作记号“√”，然后再读下一操作项目，直至完成全部操作项目。这是为了防止误操作及漏项等。

(7) 检查设备。全部操作完毕后，进行复查操作过的设备。操作人在监护人的监护下检查操作结果，包括表计的指示、连锁装置及各项信号指示是否正常。

(8) 汇报。操作票上全部项目操作完成后，监护人向值班负责人报告××号操作票已经操作结束及起终时间，经值班负责人认可后，由操作人在操作票上盖“已执行”的图章。

(9) 记录入簿。监护人将操作任务及起终时间记入操作记录簿中。操作票应保存三个月。

(二) 倒闸操作的基本原则

断路器具有接通及断开负荷电流及切断短电流的能力，故可用它接通和断开有负荷的电路。而隔离开关由于没有灭弧装置，通常不能切断负荷电流。因此，在一般情况下，将断路器为操作电器，而隔离开关不作为操作电器，仅当断路器断开后，再靠隔离开关的断开，使有电与无电部分有明显的隔离。

倒闸操作的中心环节和基本原则是遵循不能带负荷拉、合隔离开关。因此，在倒闸操作时，应遵循下列具体原则：

(1) 在拉闸时，必须用断路器接通或断开负荷电流及短路电流，绝对禁止用隔离开关接通或断开负荷电流。

(2) 在合闸时，应先从电源侧进行，在检查断路器确在断开位置后，先合上母线侧隔离开关，后合上负荷侧离开关，再合上断路器。

(三) 倒闸操作的基本要求

1. 操作断路器的基本要求

在操作断路器时，应满足下列要求：

(1) 在一般情况下，断路器不允许带电手动合闸。这是因为手动合闸慢，易产生电弧，但特殊需要时例外。

(2) 远方操作断路器时，不得用力过猛，以防止损坏控制开关；也不得返回太快，以防止断路器合闸后又分闸。

(3) 在断路器操作后，应检查有关信号及测量仪表的指示，以判断断路器动作的正确性。但不能仅从信号灯及测量仪表的指示来判断断路器的实际开、合位置，而应到现场检查断路器的机械位置指示器来确定实际开、合位置，以防止在操作隔离开关时，发生带负荷拉、合隔离开关的事故。

2. 操作隔离开关的基本要求

(1) 在手动合隔离开关时，开始要缓慢，当刀片接近刀嘴时，必须迅速合闸，在快要合到底时，不能用力过猛，以防合过头及损坏支持绝缘子。在合闸时如发生弧光或确认已误合时，则应将隔离开关迅速合上。隔离开关一经操作，不得再行拉开，因为带负荷拉开隔离开关，会使弧光扩大，造成弧光短路事故。误合闸后，只能先用断路器切断该回路后才允许将误合的隔离开关拉开。

(2) 在手动拉开隔离开关时，应按“慢—快—慢”的过程进行，刚开始时应缓慢而谨慎，这是因为需看清是否确是需拉的隔离开关和触头刚分开时是否有电弧产生。如有电弧则应立即合上，停止操作。但在切断小容量变压器空载电流、一定长度的架空线路和电缆线路的充电电流、少量的负荷电流以及解环操作时，均有小的电弧产生，此时应迅速将隔离开关断开。操作到后阶段时也应缓慢，以防止用力过猛损坏支持绝缘子。

(3) 在操作隔离开关后，必须检查隔离开关的开合位置。因为有时可能由于操动机构有问题或调整得不好，经操作后而实际上并未合好或未拉开。

三、注意事项

倒闸操作必须由两人执行，由其中对设备较熟悉者作监护人。单人值班的变电所倒闸操作可由一人执行。特别重要和复杂的倒闸操作，应由熟练的值班员操作，值班负责人监护。在倒闸操作过程中发生疑问时，不准擅自更改操作票，不准随意解除闭锁装置，应立即停止操作并向值班调度员或值班负责人报告，弄清楚后，再进行操作。在雷电时，禁止进行倒闸操作。

第二节　进行线路停送电操作

第一单元　在监护下进行线路的倒闸操作

一、学习目标

能在监护下进行线路的倒闸操作。

二、相关知识

线路倒闸操作票的填写及有关规定。

线路倒闸操作票分为两类：一类是线路检修；另一类是线路的断路器检修。一般断路器检修的操作票，仅写到将断路器改为冷备用状态为止，而由冷备用状态改为检修状态则由值班人员根据工作票填写安全措施操作票。对线路检修操作票，是将操作票一直写到线路检修状态。

(1) 线路检修操作票的填写

线路停送电的原则是：停电时先断开断路器，后先拉负荷侧隔离开关，再拉母线侧隔离开关；送电时先合母线侧隔离开关，后合负荷侧隔离开关，再合线路断路器。线路检修是直

接由运行状态改检修状态，在拉开线路断路器及两侧隔离开关后，应在其操作把手上挂上“禁止合闸，线路有人工作”的标示牌，以提示操作人员。

（2）断路器检修操作票的填写

断路器检修的操作票和线路操作票的填写基本相同，只是仅写到冷备用状态。设备从冷备用状态到检修状态在值班员得到值班负责人的许可后，根据安全措施要求填写安全措施操作票。

（3）线路检修操作票填写的其他有关操作事项

线路冷备用时，接在线路上的所用变压器高低压熔断器一律取下，高压隔离开关拉开，如高压侧无法断开，则应断开低压侧。

三、操作步骤

（一）由运行改检修的操作步骤

以图 3-1 所示接线中线路 WL1 由运行改检修为例说明。

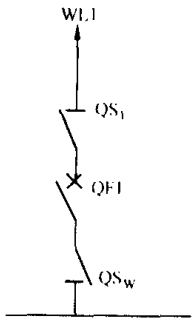


图 3-1 出线回路的接线

1. 停用 WL1 线路的自动重合闸；
2. 拉开 WL1 线路的断路器 QF1；
3. 取下 WL1 线路的断路器操作熔断器；
4. 检查 WL1 线路的断路器 QF1 确在断开位置；
5. 拉开 WL1 线路侧隔离开关 QS1；
6. 拉开 WL1 线路母线侧隔离开关 QSW；
7. 取下 WL1 线路的断路器合闸熔断器；
8. 在 WL1 线路上验明无电后挂一组接地线；
9. 在 WL1 线路的操作把手上挂“禁止合闸，线路有人工作”的标示牌。

（二）线路由检修改运行的操作步骤

线路 WL1 检修后恢复送电的操作步骤。

1. 收回 WL1 线路的检修工作票，拆除临时安全措施；
2. 检查 WL1 线路的断路器 QF1 确在断开位置；
3. 放上 WL1 线路的断路器合闸熔断器；
4. 合上 WL1 线路母线侧隔离开关 QSW；
5. 合上 WL1 线路线路侧隔离开关 QS1；
6. 放上 WL1 线路断路器的操作熔断器；
7. 合上 WL1 线路的断路器 QF1；
8. 投入 WL1 线路自动重合闸。

（三）线路断路器检修的操作步骤

线路 WL1 的断路器 QF1 由运行改检修。

1. 停用 WL1 线路的自动重合闸；
2. 拉开 WL1 线路的断路器 QF1；
3. 取下 WL1 线路的断路器操作熔断器；
4. 检查 WL1 线路断路器 QF1 确在断开位置；
5. 拉开 WL1 线路线路侧隔离开关 QS1；

6. 拉开 WL1 线路母线侧隔离开关 QSW；

7. 取下 WL1 线路断路器合闸熔断器；

8. 在断路器 QF1 与隔离开关 QS1 之间验明无电后挂一组接地线；

9. 在断路器 QF1 与隔离开关 QSW 之间验明无电后挂一组接地线。

在断路器四周设围栏，挂有关标示牌等。

四、注意事项

线路的停、送电操作，关健在于拉开线路断路器后一定要到现场看断路器的分合闸指示器，看清断路器是否确已分闸或是否确已合闸。否则仅根据表计的指示或信号灯的指示就断定断路器已经断开或合上，可能造成带负荷拉隔离开关事故。

第二单元　正确地布置检修前的安全措施

一、学习目标

能正确地做好检修前的各项安全措施。

二、操作程序

在全部停电或部分停电的电气设备上工作，必须完成下列安全技术措施：

（1）停电；

（2）验电；

（3）装设接地线；

（4）悬挂标示牌和装设遮栏。

（一）停电

（1）断开检修设备两侧的断路器；

（2）拉开检修设备两侧的隔离开关；

（3）与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于表 3-1 规定的设备必须停电；

表 3-1　　工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离

电压等级（kV）	10 及以下	20～35	110
安全距离（m）	0.35	0.60	1.50

（4）在 35kV 及以下的设备上进行工作，上述安全距离虽大于表 3-1 规定，但小于表 3-2 规定，同时又无安全遮栏措施的设备也必须停电；

表 3-2　　设备不停电的安全距离

电压等级（kV）	10 及以下	20～35	110
安全距离（m）	0.70	1.00	1.50

（5）带电部分在工作人员后面或两侧，又无可靠安全措施的设备；

（6）断开断路器（开关）和隔离开关（刀闸）的操作电源。

（二）验电

（1）验电前，应先在有电设备上进行试测，以确证验电器良好。

（2）验电时，在检修设备进出线两侧各相分别验电。

（三）装设接地线

（1）装设接地线必须由两人进行；

（2）在规定地点装、拆接地线；

（3）装设接地线必须先接接地端，后接导体端，且必须接触良好。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套；

（4）装、拆的接地线，应做好记录，交接班时应交待清楚。

（四）悬挂标示牌和装设遮栏

（1）在一经合闸即可送电到工作地点的断路器（开关）和隔离开关（刀闸）的操作把手上，均应悬挂“禁止合闸，有人工作！”的标示牌；

（2）如果线路上有人工作，应在线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上悬挂“禁止合闸，线路有人工作！”的标示牌；

（3）部分停电的工作，安全距离小于表 3-2 规定距离的未停电设备处，应装设临时遮栏，并悬挂“止步，高压危险！”的标示牌；

（4）在室内高压设备上工作，应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和禁止通行的过道上悬挂“止步，高压危险！”的标示牌；

（5）在室外地面高压设备上工作，应在工作地点四周用绳子做好围栏，围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌。

（6）在工作地点悬挂“在此工作！”的标示牌。

（7）在室外架构上工作，则应在工作地点邻近带电部分的横梁上，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。

（8）在工作人员上下用的铁架上应悬挂“由此上下”标示牌。而在邻近可能上下的另外铁架上、运行中变压器的梯子上应悬挂“禁止攀登，高压危险！”标示牌。

三、注意事项

（一）停电

将检修设备停电，必须把各方面的电源完全断开（任何运行中的星形接线设备的中性点，必须视为带电设备）。禁止在只经断路器（开关）断开电源的设备上工作，必须拉开隔离开关（刀闸），使各方面至少有一个明显的断开点。与停电设备有关的变压器和电压互感器，必须从高、低压两侧断开，防止向停电检修设备反送电。

隔离开关（刀闸）操作把手必须锁住。

（二）验电

（1）验电时，必须用电压等级合适而且合格的验电器。如果在木杆、木梯或木架构上验电，不接地线不能指示者，可在验电器上接地线，但必须经值班负责人许可。

（2）高压验电必须戴绝缘手套。

（3）表示设备断开和允许进入间隔的信号、经常接入的电压表等，不得作为设备无电的判据。但如果指示有电，则禁止在该设备上工作。

（三）装设接地线

（1）当验明设备确已无电压后，应立即将检修设备接地并三相短路。这是保护工作人员在工作地点防止突然来电的可靠安全措施，同时设备断开部分的剩余电荷，亦可因接地而放尽。

（2）对于可能送电至停电设备的各方面或停电设备可能产生感应电压的，都要装设接地线，所装接地线与带电部分应符合安全距离的规定。

（3）检修母线时，应根据母线的长短和有无感应电压等实际情况确定地线数量。检修长10m及以下的母线，可以只装设一组接地线。在门型架构的线路侧进行停电检修，如工作地点与所装接地线的距离小于10m，工作地点虽在接地线外侧，也可不另装接地线。

（4）检修部分若分为几个在电气上不相连接的部分（如分段母线以断路器或隔离开关隔开分成几段），则各段应分别验电、接地短路。接地线与检修部分之间不得连有断路器（开关）或熔断器（保险）。降压变电所全部停电时，应将各个可能来电侧的部分接地短路，其余部分不必每段都装设接地线。

（5）在室内配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的油漆应刮去，并划下黑色记号。

所有配电装置的适当地点均应设有接地网的接头，接地电阻必须合格。

（6）装设接地线必须由两人进行。若为单人值班，只允许使用接地刀闸接地，或使用绝缘棒合接地刀闸。

（7）接地线应采用多胶软铜线，其截面应符合短路电流的要求，但不得小于25mm^2。接地线在每次装设以前应经过详细检查，损坏的接地线应及时修理或更换。禁止使用不符合规定的导线作接地或短路之用。

接地线必须使用专用的线夹固定在导体上，严禁用缠绕的方法进行接地或短路。

（8）高压回路上的工作，需要拆除全部或一部分接地线后始能进行工作时［如测量母线和电缆的绝缘电阻，检查断路器（开关）触头是否同时接触］，如：拆除一相接地线；拆除接地线，保留短路线；将接地线全部拆除或拉开接地刀闸等，必须征得值班员的许可（根据调度员命令装设的接地线，必须征得调度员的许可），方可进行。工作完毕后应立即恢复。

（9）每组接地线均应编号，并存放在固定地点。存放位置亦应编号，接地线号码与存放位置号码必须一致。

（四）悬挂标示牌和装设遮栏

（1）“禁止合闸，有人工作！”标示牌的尺寸有200×100mm和80×50mm两种。采用白底红字。“禁止合闸，线路有人工作！”标示牌的尺寸为200×100mm和80×50mm两种。采用白底红字。

标示牌的悬挂和拆除，应按调度员的命令执行。

（2）临时遮栏与带电部分距离，不得小于表3-1规定的数值。临时遮栏可用干燥木材、橡胶或其他坚韧绝缘材料制成，装设应牢固，并应悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。标示牌的尺寸为250×200mm。

35kV及以下设备的临时遮栏，如因工作特殊需要，可用绝缘挡板与带电部分直接接触。但此种挡板必须具有高度的绝缘性能，并必须符合《电业安全工作规程》（发电厂和变电所电气部分）附录五的要求。

（3）“止步，高压危险！”的标示牌为白底红边，黑字、有红色箭头。

（4）在室外地面高压设备上工作，应在工作地点四周用绳子做好围栏，围栏上悬挂适当数量的“止步，高压危险！”标示牌，标示牌必须朝向围栏外面。

（5）在工作地点悬挂“在此工作！”的标示牌，其尺寸为250×250mm。采用绿底、中有

直径200mm白圆圈，黑字写于白色圆圈中。

（6）在室外架构上工作，则应在工作地点邻近带电部分的横梁上，悬挂“止步，高压危险！”的标示牌。此种标示牌在值班人员的监护下由工作人员悬挂。在工作人员上下用的铁架和梯子上应悬挂“从此上下！”的标示牌，尺寸为250×250mm，采用绿底、中有直径200mm白圆圈，黑字写于白色圆圈中。在邻近其他可能误登的带电架构上，应悬挂“禁止攀登，高压危险！”的标示牌。

（7）“禁止攀登，高压危险！”标示牌的尺寸为250×200mm，白底红边，黑字。

（8）严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌。

上述措施由值班员执行。对于无经常值班人员的电气设备，由断开电源人执行，并应有监护人在场。

思　考　题

一、名词解释

1. 倒闸操作
2. 运行方式

二、判断题

1. 处理事故时，可以不用操作票。（　）
2. 在操作隔离开关时，开始时要快，以便将电弧拉开。（　）
3. 装设接地线必须先接接地端，后接导体端。（　）

三、问答题

1. 变电所的倒闸操作主要包括哪些内容？
2. 什么情况下不用操作票？
3. 倒闸操作的基本原则是什么？
4. 倒闸操作的基本程序是什么？
5. 操作断路器的基本要求有哪些？
6. 操作隔离开关的基本要求有哪些？
7. 默出自己所在变电所的正常运行方式。
8. 线路停送电的原则是什么？
9. 保证安全的技术措施有哪些？
10. 如何进行验电？如何装设接地线？
11. 写出线路断路器检修时的操作步骤。
12. 操作断路器时为什么一定要到现场看断路器的分合闸指示器？
13. 输电线路的断路器检修时，应做哪些安全措施？

第四章　异　常　运　行

第一节　监视变压器的异常运行

一、学习目标

会对变压器各种异常运行情况进行巡查，并能进行相应处理。

二、相关知识

变压器并列运行时应满足以下条件：

1. 各变压器的接线组别应相同；

2. 各变压器的电压比相同（允许有±0.5%的差值）；

3. 各变压器的短路电压相等（允许有±10%的差值）。

除满足以上三个条件外，并列运行变压器的容量比一般不宜超过3∶1。

以上变压器的并列运行条件中，前两个条件保证了变压器空载时绕组内不会有环流，第三个条件保证了负荷分配与容量成正比。考虑到容量不同时短路电压也不同，一般容量小的变压器短路电压也小，因此并列运行变压器的容量比不宜太大。

三、工作程序

（一）变压器异常现象的直观判断、分析

1. 声音的监视

变压器在正常运行时，由于铁心的振动而发出轻微的“嗡嗡”声，声音清晰而有规律。这是由于交流电通过变压器的绕组时，在铁心里产生周期性变化的交变磁通，磁通的变化引起铁心的振动，从而发出的响声。如果产生不均匀响声或其他异音，都属不正常现象。

（1）“嗡嗡”声大或比平时尖锐，但声音仍均匀。这通常不是变压器本身的故障，而是由于电源电压过高所致。可通过电压表查看电压的实际值。通常造成电压高的原因，一是高压线路电压过高；二是高压侧投入电容器容量过大造成过电压。可根据实际情况或与供电部门联系降低电压；或切除高压侧的部分电容器。

（2）“嗡嗡”声忽高忽低地变化但无杂音。一般是变压器负载变化较大引起的。可通过调整使变压器负荷尽量均衡。只要变压器在额定容量内运行，一般不会造成危害。

（3）“嗡嗡”声大而沉重，但无杂音，一般是过负荷引起。可通过调整负荷加以解决。变压器不同程度的过负荷，允许在一定时间内运行。自然冷却油浸变压器的过负荷允许时间参见表2-1。在变压器中性点直接接地系统中发生单相接地、铁磁共振及大型电动机起动、短时穿越性短路等故障时，由于变压器发生过电流也会引发上述声响。

（4）“嗡嗡”声大而嘈杂，有时会出现惊人的“叮当”锤击声或“呼呼”的吹气声。通常是因内部结构松动受到振动而引起的。内部结构松动一般为铁心缺片，铁心未夹紧，铁心紧固螺丝松动等。可停电进行吊芯检查并做相应处理。若不能停电处理，应加强监视，并适当减小负荷。

（5）有“吱吱”放电声或“辟啪”爆裂声。这可能是跌落式熔断器有接触不良，或变压

器内部有放电闪络或绝缘击穿引起的。当绝缘击穿造成严重短路时，甚至会出现巨大的轰鸣声，并伴有喷油或冒烟着火。此时应停电进行检查。重点检查绝缘套管、高低压引线连接处、高低压绕组与铁心之间的绝缘是否有损坏等。若变压器油箱内有“吱吱”放电声，且伴随着放电声电流表指示明显变化，有时瓦斯保护发出信号，此故障现象多为调压分接开关故障，或为触头接触不良、或为抽头引出线处的绝缘不良引起的放电闪络现象。此时应对变压器调压分接开关进行检修。

(6) 有“嘶嘶”声。这可能是变压器高压套管脏污、表面釉质脱落或有裂纹而产生的电晕放电所致。也可能是由于引线离地面的距离不足而出现间隙放电，这种情况可伴有放电火花。

(7) 有“轰轰”声。这常是因变压器低压侧的架空线发生接地引起的。

(8) 有“咕噜咕噜”声。这可能是变压器绕组有匝间短路，产生的短路电流使变压器油局部发热沸腾。

(9) 间歇性的“哧哧”声。常由铁心接地不良引起。应及时处理，避免故障扩大。

2. 气味、颜色的监视

变压器内部故障及各部件过热可能引起一系列的气味、颜色的变化。

(1) 瓷套管端子的紧固部分松动，表面接触面过热氧化，会引起变色和异常气味。

(2) 变压器漏磁路的隔磁能力不好及磁场分布不均，可引起涡流，也会使油箱的相关部位发生局部过热引起油漆变色。

(3) 瓷套管污损产生电晕、闪络，会发出奇臭味。冷却风扇、油泵烧毁会发出烧焦气味。

(4) 吸湿剂变色是吸潮过度、垫圈损坏、进入油箱的水量太多等原因造成的。通常用的吸湿剂是活性氧化铝（矾土）、硅胶等，干燥时呈蓝色。当吸湿剂从蓝色变为粉红色时，应作再生处理。

3. 变压器体表的监视

变压器故障时都伴随着体表的变化，主要有：

(1) 防爆膜龟裂、破损。当呼吸口不畅不能正常呼吸时，会使内部压力升高引起防爆膜破损。但当气体继电器、压力继电器、差动继电器等动作，则可判断为内部故障引起的。

(2) 因温度、湿度、紫外线等方面的异常情况或周围的空气中含酸、盐等，会引起箱体表面漆膜龟裂、起泡、剥离。

(3) 大气过电压、内部过电压等，会引起瓷件、瓷套管表面龟裂，并有放电痕迹。

4. 监视变压器的风扇

采用吹风冷却的变压器一般装有变压器风扇。变压器风扇的正常运行可提高油箱及散热器表面的冷却效率，从而保证变压器的安全运行。造成变压器风扇损坏的常见原因有：风扇进水受潮，运行维护差，缺相运行等。

(1) 风扇进水受潮。变压器风扇一般安装于室外电力变压器的散热器处，因此它极易进水受潮。进水受潮的部位多在止口处，严重者雨水可沿电动机轴向浸入。进水会使电动机绝缘性能降低、轴承锈蚀。因此在安装变压器风扇时，可在电动机止口处涂以密封胶，安装叶轮时一定要将叶轮安装到位，并在轴伸键槽处用密封胶封好，以防止雨水进入。另外在轴承盖螺钉头处也应涂以密封胶，电动机接线盒螺栓应紧固，出线应自然下垂，防止进水。

(2) 运行维护差。在实际运行中，运行值班人员往往只对变压器进行巡视检查，而忽视了对风扇的维护。因此应注意加强对风扇的运行维护管理。

1) 对新投入运行的风扇，一周内应加强巡视检查，若发现剧烈振动、声音异常、电流过大、轴承过热等异常现象，应及时停机检查，排除故障后方可投入运行。

2) 平时应根据实际运行情况定期进行巡视检查，发现故障或异常现象时要及时处理。

3) 风扇在较长时间停止运行后重新投运时，应先转动叶轮进行检查，如有卡阻应进行处理；若受潮严重（用500V绝缘电阻表检测低于1MΩ），应进行干燥后再投入运行。

(3) 缺相运行。风扇电动机由于一相熔丝熔断或其他原因（电动机振动使熔丝松动等）造成单相运行，是风扇电动机烧坏的常见原因。将电动机的熔断器安装在风扇电动机的控制箱内，可避免因振动引起的熔丝松动。

5. 监视变压器的温度及温升

变压器的上层油温一般不应超过85℃，最高不得超过95℃。变压器温升异常是指在同样负荷条件下，油温比平时高出10℃以上，或者在负荷基本不变的情况下温度却不断上升。变压器温升过高说明变压器内部发生了故障，例如调压开关接触不良，绕组匝间短路或铁心片间短路等。铁心片间短路时可使铁损增大，油温升高，油的老化速度加快。在进行油样分析时，可发现油泥沉淀较多，油色变暗，闪光点降低等。铁心片间短路多由夹紧铁心用的穿心螺栓绝缘损坏所致，严重时会引起铁心着火过热熔化。因此，当变压器温升过高时应判明原因，采取办法使其降低。一般必须进行下列工作：

(1) 核对油温。核对变压器在同一负荷和冷却介质温度下的油温。

(2) 核对温度表是否指示正确。

(3) 检查变压器冷却装置。若为冷却系统故障而使温度升高，如无法在运行中修理时，则应立即停用变压器，并进行修理。若是部分风扇故障或为强油循环变压器的部分冷却器故障，则值班人员应按现场规程的规定，调整变压器的负荷，并对冷却器的故障部分进行修理。

若发现油温较平时同一负荷和冷却介质温度下高出10℃以上，或变压器负荷不变时油温却不断上升，而检查结果证明冷却装置正常、变压器通风良好、冷却介质温度正常，则可认为变压器内部有故障，如铁心严重短路、绕组匝间短路等。此时，如变压器保护装置因故拒绝动作，也应立即停用变压器，并进行修理。

6. 监视变压器油的异常运行

(1) 变压器油质变坏。对油质的简易鉴别可从油的颜色、透明度和气味等方面加以判断。

好油一般为浅黄色，而氧化后的颜色变深。因此，若在运行中油的颜色变暗，说明油质已经变坏。好油在玻璃瓶中是透明的并带有兰紫色的荧光。在运行中的油若已经失去兰紫色的荧光，则说明油中有机械杂质和游离炭存在。好油应是无味或略带一点煤油味，若掺杂有烧焦味、酸味、乙炔味等都说明油质已变。

变压器油质变坏的主要原因是长期运行后受热变质，或变压器发生故障时产生气体引起的。

变压器油应定期（每1～2年）进行取样检验。取油样应在晴朗、干燥的天气进行，要避雾、避霜，不能在雨后初晴时进行。取样瓶最好用有毛玻璃塞的容积为500毫升的玻璃

瓶。使用前要用汽油、肥皂液洗净，再用自来水冲洗至不呈碱性，最后再用蒸馏水洗刷数次，在烘箱内烘干，用瓶塞盖好。取油样时，应先将变压器底部的积水和积存的油污放掉，并用干净布将放油阀门擦净，再放少量油进行冲洗，之后把油接入瓶内摇荡清洗数次后，即可取样装瓶。装瓶时，要稍空出一点空隙，以免油温升高时溢出。装油后将瓶口塞紧并用蜡封口，注明油样标号、来源、取样日期、取样人等。取样后要迅速送验。

变压器油变质应经检验后决定是否需要换油或净化再生。净化再生一般采用过滤法。

(2) 变压器呼吸器内硅胶变为白色。在大中型变压器的呼吸器中常装有硅胶作为吸湿剂。进入变压器的空气通过呼吸器时可滤去其中的水分，防止变压器油质变坏。硅胶在未吸湿以前呈鲜艳的兰色，若硅胶变为白色，说明硅胶已吸入足够的水分，此时应及时予以更换。特别是在雨季，运行人员应加强对呼吸器的巡视检查。更换硅胶时，应在干燥的晴朗天气进行，并保持与带电部分的安全距离。硅胶的装入量以呼吸器容积的 2/3 为宜。换下的硅胶可加热烘干后继续使用。

(3) 变压器渗漏油。变压器运行中渗漏油的现象是比较普遍的。变压器漏油常出现在焊缝、密封圈、套管等处，其中主要原因是油箱与零部件连接处的密封不良，焊件或铸件存在缺陷，运行中额外荷重或受到振动等。变压器外表面闪闪发光或粘着黑色的液体有可能是漏油所致。小型变压器装在配电柜中，因为漏出的油流入配电柜下部的坑内而流不到外面来，所以不易被及时发现。变压器内部故障会使油温升高，引起油的体积膨胀，也会发生漏油，有时还会发生喷油。若油位计显示油面大大下降，但没有发生以上现象，则可能是油位计损坏。

(4) 变压器油位不正常。变压器的油位可通过油枕上的油位表进行监视。变压器油位过高或过低（超过油位表极限线）均属不正常。

造成油位不正常的原因有：变压器温升过高、长时间过负荷或三相电流严重不平衡导致某一相电流超过额定电流、变压器漏油等。

若为长时间过负荷引起，应减轻负荷，使之在额定功率下运行。若为三相电流严重不平衡引起，则应通过调整负荷达到基本平衡。对常用的 Y，yn 0 联结组的变压器，应使中线电流在额定电流的 25%以下。

当值班人员在油位计内看不到油位时，说明油位过低，此时必须及时补油。补油时应注意所补之油必须为合格的变压器油；补油前要将重瓦斯保护改接至信号以防误动作；补油后要及时放气，待 24h 内无问题时再将重瓦斯保护接入。

对大型强油循环水冷却的变压器，若发现油位降低，应先检查水中是否有油花，以防止油中渗水危及变压器绝缘。确认水中无油后方可补油。

因季节变化引起变压器油位升高或降低，属正常现象。但若油位过高（如夏季），应设法放油；油位过低（如冬季），应设法补油，以维持正常油位，确保变压器的安全运行。

(5) 变压器油枕或防爆管喷油。变压器油枕或防爆管薄膜破裂喷油，说明变压器内有严重损伤。当由于喷油使油面降低到油位指示计的最低限度时，还可能引起气体继电器动作。若变压器无气体继电器或继电器没有动作，油面可继续降低。当油面低于变压器顶盖时，由于引出线绝缘的降低，可引发击穿放电造成油质变坏。因此，当变压器油枕或防爆管薄膜破裂喷油时，值班人员应立即切断变压器电源，以防事故进一步扩大。

(6) 变压器油标损坏引起喷油。某厂一台 1250kVA 变压器由于油标上端损坏，而未与油

枕连通，加之吸湿器的密封胶圈没有取掉，所以在使用不久，当油枕内的空气膨胀，压力增加时，便造成油标上端喷油。后来虽将密封胶圈去掉，仍有喷油现象发生。直到最后更换了油标，才将故障消除。可见，一定要保证变压器呼吸畅通。

在没有吸湿器的小容量变压器中，其油枕注油孔除作注油用之外，还可通过其内部设置的弹子依靠气压变化自动启闭，起到呼吸作用。在有吸湿器的变压器中，应将注油孔加胶垫后拧紧，使进入油枕的空气都经过吸湿器下部的盛油器先滤去杂质，再通过硅胶吸去水分，从而保证变压器油的绝缘性能。

（7）小型配电变压器喷油和油箱炸裂。小型配电变压器喷油和油箱炸裂的原因主要有以下几个：

1）变压器过负荷。变压器过负荷会引起变压器内部过热，加快绝缘材料的热分解，变压器内产气量增大、产气速度加快，使油箱内的气体压力增高。当气体压力大于大气压力时，便可能在吸湿器或呼吸器等密封薄弱处喷油。

2）分接开关和绕组接头等接触不良。分接开关和绕组接头等接触不良会使变压器发生局部过热，同样会造成喷油。

3）变压器内部发生绝缘击穿、短路和接地故障。此类故障可使气体压力剧增，如果值班人员不能及时发现或继电保护拒绝动作，除可能在吸湿器或呼吸器处发生喷油外，还可能在变压器箱体上承受压力的薄弱点（如箱盖下的密封垫等处）发生喷油。当油箱内压力超过油箱的允许压力时，可发生箱体炸裂。

防止喷油和油箱炸裂的措施：

1）做好变压器的负荷管理。应避免变压器负荷超过允许的正常过负荷能力或事故过负荷能力，以保证变压器的正常散热条件。变压器散热条件不良或在夏季户外运行时，应适当减低负荷或加强散热，保证变压器运行在允许的温升范围内。

2）保持分接开关和绕组接头等接触部位的良好接触。焊接接头要防止虚焊、夹渣、脱焊；螺丝连接的接头要防止氧化和松动；调压分接开关要保证有效的接触面积和压力，要定期将分接开关反复转动几次，以去除触头表面的氧化膜和油污，调节后还应复查变压器线圈的直流电阻。

3）保持变压器的良好绝缘。变压器的绝缘包括绕组、变压器油、瓷套管、铁心等处的绝缘。应按规定定期进行预防性试验。

4）应配备完善可靠的保护装置。变压器的保护装置主要包括一、二次侧的继电保护和油箱防爆保护装置。对一次侧电压为 10kV 及以下、二次侧电压为 0.4/0.23kV、Y，yn0 联结组的变压器，容量为 180kVA 以下的，可用熔断器作为单相及多相短路保护；180～320kVA 的，可用熔断器作多相短路保护，用负荷开关和零序过电流继电器作单相短路保护；对 400kVA 以上的，一次侧电流互感器采用相差接线方式，使用 GL 型反时限电流继电器作过流和多相短路保护，用接在二次侧中性线上的零序过电流继电器作单相短路保护。

5）建立切实可行的变压器运行规章制度。明确岗位责任，提高人员素质。

（二）变压器信号报警的故障处理

1. 变压器过负荷的处理

（1）过负荷的判断。当变压器发生过负荷时，会出现如下现象。

1）油温上升；

2）变压器声音有变化；

3）过负荷信号可能动作；

4）冷却装置可能起动；

5）电流表、功率表指示大于额定值。

（2）过负荷的处理。当发生上述异常现象时，应按以下原则进行处理。

1）解除警报，并汇报值班长，作好记录；

2）及时调整运行方式，如有备用变压器，应立即投入；

3）及时调整负荷的分配，联系用户转移负荷；

4）如属正常过负荷，应根据正常过负荷倍数确定允许时间。当超过允许时间时，应立即减少负荷。而且应加强对油温的监视，使其不超过允许值（参见表2-1）；

5）若为事故过负荷，则允许的倍数和时间应按制造厂的规定执行。若无制造厂资料，可参照表4-1执行。如倍数和时间超过允许值，应按规定减小负荷；

6）对变压器本体及与其有关的系统应进行全面检查，发现异常应立即汇报。

表4-1　　油浸自然循环冷却变压器允许事故过负荷及其允许时间（小时：分）

过负荷倍数	环境温度（℃）				
	0	10	20	30	40
1.1	24：00	24：00	24：00	19：00	7：00
1.2	24：00	24：00	13：00	5：50	2：45
1.3	23：00	10：00	5：30	3：00	1：30
1.4	8：30	5：00	3：10	1：45	0：55
1.5	4：45	3：10	2：00	1：10	0：35
1.6	3：00	2：05	1：20	0：45	0：18
1.7	2：05	1：25	0：55	0：25	0：09
1.8	1：30	1：00	0：30	0：13	0：06
1.9	1：00	0：35	0：18	0：09	0：05
2.0	0：40	0：22	0：11	0：06	0

2. 冷却系统的故障处理

冷却器全停故障的处理方法如下：

1）及时汇报调度，密切注意变压器上层油温的变化。如果故障难以在短时间内查清并排除，在变压器跳闸之前，冷却装置不能很快恢复运行，应作好投入备用变压器或备用电源的准备。冷却器全停的时间接近规定（20min）时，若无备用变压器或备用变压器不能带全部负荷时，如果冷却器全停的变压器上层油温未达75℃，可根据调度的命令，暂时解除冷却器全停跳闸回路的压板，继续处理问题，使冷却装置恢复工作。同时，严密注视上层油温变化。冷却器全停跳闸回路中，有温度闭锁（75℃）接点的，不能解除其跳闸压板。若变压器上层油温上升超过75℃、或虽未超过75℃但全停时间已达1h未能处理好故障时，应投入备用变压器，转移负荷，故障变压器停止运行。

2）一般情况下，冷却器失去工作电源，而电源切换又不成功时，应尽量先用备用冷却电源恢复冷却器工作，再检查处理原冷却器工作电源的问题。若仍用原工作电源恢复冷却器的工作，会因电源故障不能短时恢复而拖延冷却器投运时间。

3）回路中有短路故障，外部检查未发现明显异常时，只能更换熔丝试投一次。防止多

次向故障点送电而使故障扩大，影响所用电的安全运行。

四、注意事项

变压器与其他电气设备相比，发生故障是很少的。这是因为变压器没有转动部分，而且元件都浸在油中，有一个可靠的工作条件的缘故。所以只要对变压器的运行加强监视，做好经常性的维护工作，及时消除设备缺陷，定期进行检修和预防性试验，变压器的事故是可以避免的。但是变压器在运行中，由于运行人员操作不当，检修质量不良，设备缺陷没有及时消除，运行方式不合理等，也可能引起事故。如果主变压器一旦发生事故，则要限制发电机的出力，减少和中断对部分用户的供电，延长变压器的修理时间。为了确保变压器的安全可靠运行，一方面应采用有效的反事故措施，将事故消灭在萌芽状态，防止事故的发生；另一方面应在巡视时能及时发现变压器的异常运行情况。

第二节　监视开关设备的异常运行

开关设备能否保持正常运行，与运行人员的检查和维护工作有很大的关系。在运行中若发现设备缺陷，应及时消除。

第一单元　断路器的异常运行

一、学习目标

在对断路器的巡查中，能对各种异常运行情况进行正确判断，并能做相应处理。

二、工作程序

断路器在运行中的巡视检查是十分重要的。在巡视中通过目测、耳听、和鼻嗅等，能及时发现断路器的各种异常现象，以便加以处理。

（一）断路器的声音异常

1. 运行中或刚合闸后的断路器内部有较规律的噼啪声。这可能是断路器内部绝缘损坏，带电部分对外壳放电。

2. 如是不规则的放电声，则可能是断路器内与带电部分等电位的绝缘部分连接松脱，形成悬浮电位放电。

3. 如有开水似的“咕噜”声，则可能是断路器动静触头接触不良，形成主电流回路跳火，使油在电弧作用下受热翻滚。

上述三种异常，对运行中的断路器威胁很大，应尽快处理。一般先用上一级断路器将所在电路断开，再将该断路器拉开，然后拉开其两侧隔离开关，转为冷备用后认真进行内部检查和油的分析化验，以确定故障的性质。

（二）断路器油位异常

运行中的油断路器油位指示异常，如油面过低或过高，都应作相应调整。

油面过高会使断路器内部缓冲空间减少，当遮断较大的故障电流时，所产生的电弧会将油气化并生成很高的压力，此时由于缓冲空间太小，就会使断路器喷油。

运行中的断路器是否缺油，要认真地进行判断，以防将因气候的变化使油标看不见油位的现象作为缺油来处理。只有断路器因大量漏油而看不到油位时，才能确定是断路器缺油。缺油断路器不能安全地切断电路并灭弧，为此必须立即取下该断路器控制熔断器，并挂“不

准分闸”的标示牌。设法用旁路断路器将该断路器负荷转移，然后停下该断路器进行检修加油。如无转移负荷的可能，则应立即退出该断路器所有保护，同时申请用上一级断路器断开该回路，但这样就扩大了停电范围。

（三）断路器油色变黑及跳闸后严重喷油冒烟

断路器内绝缘油正常情况下显浅黄色。当断路器切断负荷电流，特别是多次切断故障电流时，电弧会使油迅速分解，大量金属粉末和游离碳的存在使绝缘油绝缘能力下降。在配有自动重合闸装置的电路中，可能出现短时间内二次断弧，情况更为严重。因此，运行规程中均规定了各断路器的极限跳闸次数。当断路器切断故障的次数达到规定值或油已发黑时，应申请停运该断路器，并安排换油或临时检修。

当断路器切合故障发生喷油现象时，运行人员不应对该断路器盲目强送，应报告调度，待检修排除故障后，方可继续投运。

（四）监视断路器在运行中的其他异常现象

1. 断路器本体故障

（1）断路器中间机构连板弯曲，可能是缓冲机构的缓冲效果不好或失灵所致，影响断路器正常分闸，应停电处理。

（2）断路器本体内漏油，如 SW4 型少油断路器，因动触杆密封圈损坏，或制造工艺不良，引起断路器断口与中间机构窜油，此时需停电处理。

2. 运行中的断路器，发现下列故障之一时，禁止将断路器断开，以免发生爆炸事故：

（1）油断路器严重缺油和油质严重劣化。

（2）断路器灭弧室破裂或触头熔化。

（3）SF_6 断路器和空气断路器气压过低且不能维持。

3. 值班人员正常巡视检查时，若发现下列异常现象，应立即退出断路器自动重合闸装置，并迅速拉开断路器，将其停电：

（1）断路器套管炸裂或严重流胶，断路器灭弧室以外部分起火；

（2）断路器套管穿心螺丝熔断或熔化；

（3）发生需要立即断开断路器的人身事故。

三、注意事项

当巡视检查发现下列情况之一时，应立即用上一级断路器先切断该断路器的电源，再将该断路器停电：

1. 断路器套管爆炸断裂；

2. 断路器着火；

3. 内部有严重的放电声；

4. 油断路器严重缺油，SF_6 断路器 SF_6 气体严重外泄；

5. 套管穿心螺栓与导线（铝线）连接处发热熔化等。

第二单元　真空断路器的异常运行

一、学习目标

在对真空断路器进行巡查中，能对各种异常运行情况做出正确判断，并能进行相应处理。

二、相关知识

真空电弧的熄灭是基于高真空度介质（一种压力低于 13.33×10^{-2}Pa 的稀薄气体）的高绝缘强度和在这种稀薄气体中电弧生成物（带电粒子和金属蒸汽）具有很高的扩散速度，因而可使电弧电流过零后触头间隙的介质强度能很快恢复的原理而实现的。真空断路器利用在燃弧过程中电弧电流过零、电弧暂时熄灭时，弧隙中金属蒸汽和带电粒子强烈地扩散并附着于屏蔽罩上为其所冷凝，使弧隙真空的绝缘强度得以恢复，从而达到熄灭电弧的目的。

三、工作程序

（一）真空断路器的真空室损坏

在巡视中若发现真空断路器的真空室损坏，但没有造成接地或短路时，应立即向调度申请将该路负荷倒出，同时打开其重合闸连接片。

（二）真空断路器在使用中真空度异常

真空断路器是利用高真空的高介电强度作绝缘和灭弧的。真空断路器的灭弧性能良好，几乎不需要检修，寿命较长，具有频繁操作能力，工作可靠，适宜操作高压电动机电容器组等户内式 6～35kV 的高压电器。触头用铜铬材料，额定电流达 1000～3150A，额定开断电流可达 25～40kA，全容量开断可达 30～50 次。多配用电磁或弹簧操动机构。在变电所使用日益增多。真空断路器的灭弧室其真空值必须保持压力在 13.3×10^{-2}Pa 以下，才能可靠的运行，如低于此真空度，则不能灭弧。由于现场测量真空度以判别是否合格有一定的困难，目前尚无完善的检测手段，因此一般均以工频耐压试验合格为标准。正常巡视检查时应注意屏蔽罩的颜色应无异常变化。特别要注意断路器分闸时的弧光颜色，正常情况下弧光呈微蓝色，若真空度降低则变为橙红色。真空度降低应及时申请停用检查，更换真空灭弧室。造成真空断路器真空度降低的主要原因有：使用材料的气密性能不良；金属波纹管密封质量不良；在调试过程中，行程超过波纹管的范围，或超行程过大、冲击力太大造成损伤。

此外，检查超行程减少（即检查触头的磨损量），当磨损量累计超过规定值（4mm）时，应更换真空灭弧室。

真空断路器可能出现的故障和处理方法参见表 4-2。

表 4-2　　真空断路器的故障原因及处理方法

故障情况	故障原因	处理方法
电动合不上闸	铁心与拉杆松脱	调整铁心位置，卸下静铁心即可调整，使之手力可以合闸，合闸终了时，掣子与滚轮间应有 1～2mm 间隙
合闸空合	掣子扣合距离太少，未过死点	将调整螺钉向外调，使掣子过死点。完毕，应将螺钉紧固，并用红漆点封
电动不能脱扣	1. 掣子扣得太多； 2. 分闸线圈的连接线松脱； 3. 操作电压低	1. 将螺钉向里调，并将螺母紧固； 2. 重新接线； 3. 调整电压
合闸线圈、分闸线圈烧坏	辅助开关接点接触不良	用砂纸研磨接点或更换辅助开关

四、注意事项

对于真空断路器，应掌握其检修周期、跳闸次数、耐压强度、回路电阻、触头的电磨损量和其他技术数据，以保证断路器的安全运行。表 4-3 示出了较频繁操作场合的 ZN3－10 断

路器的检修周期和项目。

表 4-3　　真空断路器的检修周期

性　质	周　期	项　目	备　注
维　修	200 次操作	清扫检查	包括接触器
大　修	2 年	检查、校验、调整	包括吸收元件全套预试项目

在运行中的真空断路器，如果真空度下降超过规定值，应更换真空灭弧室。真空灭弧室的真空度直接关系到断路器的绝缘和灭弧性能，但在实际工作中要正确定量地判断真空度合格与否是比较困难的，常用的方法是通过规定的工频耐压试验来定性分析。当发生疑问而不能判断时，可适当减小触头开距，通过相与相之间的耐压值比较来加以判断。也可将真空灭弧室拆下来检查其自闭力，因为在真空灭弧室完好条件下，大气压力可使触头闭合，其数值应等于波纹管上的有效大气压与波纹管本身弹性力的代数和。所以通过测量使触头分离所需要力量的大小可以判别其真空度的好坏。当没有数据时，可通过比较来定性判断。一经确定为真空度受到破坏时，应调换合格备品。需要注意的是，由于一般发生需要调换真空灭弧室的情况极少，所以当需要更换备用品时有可能备件是已出厂多年了，为防止差错，在向制造厂订购备品时应详细说明设备情况。

第三单元　隔离开关的异常运行

一、学习目标

对隔离开关进行巡查中，能对各种异常运行情况做出正确判断，并能进行相应处理。

二、工作程序

值班人员的任务之一是利用隔离开关进行切换操作并对其进行监视。在正常运行时，应监视隔离开关的电流不得超过额定值，温度不超过允许温度。隔离开关的触头在运行中不应有过热现象，否则应尽快停用。若由于电网负荷的需要不允许停电时，则应采取降温措施，待高峰负荷过去后，再停用修理。

（一）监视隔离开关在运行中接触部分的过热

正常情况下，隔离开关不应出现过热现象，其温度不应超过 70℃，若接触部分温度达 80℃时，则应减少负荷或将其停用。

值班人员在巡视配电装置时，对隔离开关触头发热的情况，可根据隔离开关接触部位的变色漆或示温片颜色的变化来判断，也可以根据刀片的颜色发暗程度来确定。

产生上述现象的原因是：在刀片和刀嘴接触的地方，电流通路的截面大大缩小，因而出现很大的斥力，减少了弹簧的压力，使压紧弹簧或螺丝松弛；刀口合得不严，造成表面氧化，接触电阻增大，使触头发热；其次，隔离开关在拉合过程中，会引起电弧，烧伤触头，或者由于用力不当而使接触位置不正，引起触头压力降低，隔离开关接触不良而导致发热；此外，隔离开关过负荷，亦会造成发热。

在处理上述故障时，应根据不同的接线方式分别采取相应的处理方法。

（1）双母线接线时，必须将发热隔离开关上的负荷转移掉。即利用母联断路器进行负荷的转移工作，先把发热隔离开关的负荷转换到备用母线侧的隔离开关上去，然后将发热隔离

开关退出运行。

（2）单母线接线时，必须降低它的负荷，并加强监视。如果条件许可，应尽可能停止使用；只有在停用该隔离开关将引起对用户停电时，才允许暂时继续使用。但此时应加装临时风扇对隔离开关进行吹风冷却，以降低其温度，并加强监视。

（3）在有可能的条件下应尽量采用带电作业，将螺丝等零件拧紧；若发热仍未消除，则可采用接短线的方法，临时将发热的隔离开关短接，以避免对用户的停电。

（4）线路隔离开关发热时，其处理方法与单母线接线时基本相同。但由于线路上有串联的断路器，可以防止发展为事故，故发热隔离开关可继续运行，但需加强监视，直到可以停电检修时为止。

（5）若因开关容量不够或长期过负荷引起触头过热，则应更换大容量隔离开关或降低其负荷。

进行隔离开关操作时，用力应适当，操作后应检查触头的接触情况。

【例 4-1】 母线隔离开关触头发热。

主接线如图 4-1 所示。线路 WL1 的母线侧隔离开关 QS1 触头严重发热时，则应采取下列措施：

（1）将母联断路器保护装置的电流和时间整定值改为最小值，合上母联断路器 QFc，使备用母线带电，以检查备用母线是否良好。

（2）如备用母线良好，则将母联断路器的继电保护整定值改为原值。

（3）取下母联断路器的操作熔断器，即改为非自动。

（4）将电源线路 WL1 备用母线侧的隔离开关 QS2 合上，将发热隔离开关 QS1 从工作母线上断开，使其退出运行。

（5）放上母联断路器的操作熔断器，即改为自动。

（6）待电力系统高峰负荷过去后，将线路 WL1 和工作母线停电，检修该发热隔离开关 QS1，以保证安全运行。

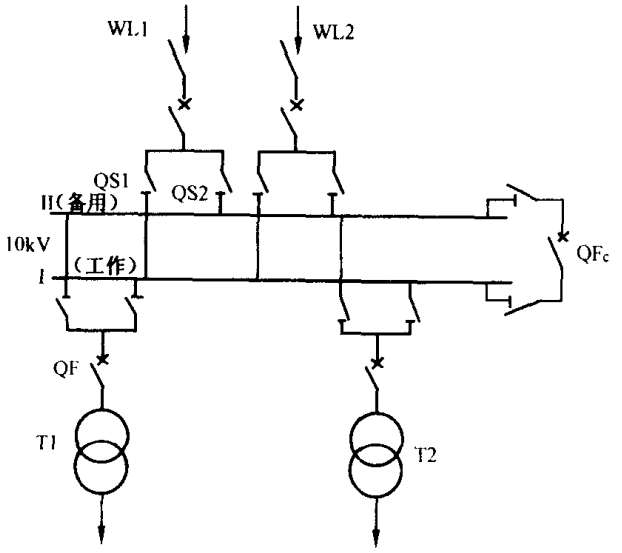


图 4-1 某变电所电气主接线简图

【例 4-2】 变压器母线隔离开关 QS2 上发生火花。

主接线如图 4-2 所示。1 号主变压器 T1 检修即将结束，2 号主变压器 T2 运行，在这种运行方式下，如果主变压器 T2 的母线隔离开关 QS2 上有火花而且严重发热，则应采取下列措施：

（1）如主变压器 T1 未修好，应加速修理，如主变压器 T1 已修好，应尽快投入运行。

（2）要求用户把负荷转移到备用电源上去。

（3）要求三类用户暂时把负荷降低。

（4）对发热的隔离开关 QS2 进行监视。当隔离开关 QS2 处于危险状态时，则应按发生地

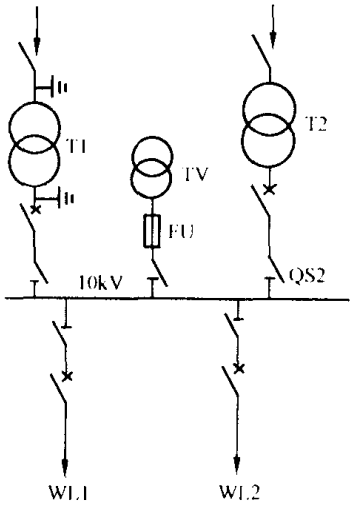


图 4-2 某变电所电气主接线简图

区事故时的拉闸顺序切断用户线路。

（二）隔离开关的绝缘子裂纹或破损

母线或隔离开关绝缘子有裂纹或轻微破损，只要没有放电或闪络现象，一般不影响正常供电，但应加强监视并尽快安排检修。一旦发现放电或闪络现象，应立即停电检修。

（三）监视隔离开关刀片的弯曲

造成隔离开关刀片弯曲的常见原因，是由于刀片之间电动力方向的交替变化或调整部位发生松动，使刀片偏离原来位置，造成不能顺利合闸所致。在强行合闸或用力不当时也可使刀片变形。

刀片弯曲时应进行调整，调整后应使刀片的接触面平整，其中心线应在同一直线上。同时还要调整好刀片和瓷柱的位置，并加以紧固。

（四）隔离开关拒绝分合闸的处理

1. 拒绝分、合闸的原因

（1）操动机构失修，发生严重锈蚀卡涩和梗塞。

（2）触头严重接触不良。因长期通过大电流或短路电流，使触头烧坏，甚至熔焊在一起，导致动静触头分不开。

（3）连杆、拐臂、齿轮等部位开焊、断裂、脱销、脱扣等，使操动机构失灵。

（4）隔离开关架构和基础发生严重不均匀下沉，造成连动机构错位、变形、卡涩，使机构卡死。

（5）严寒地区熔雪结冰后，冰块将机构或触头杆冻结在一起，使机构拒绝动作。

2. 拒绝分、合闸的处理

若隔离开关拒绝合闸，则应用绝缘棒进行操作，或在保证人身安全的情况下，用扳手转动每相隔离开关的转轴。隔离开关合不上主要是操作机构故障，可检查垂直拉杆的销子与拉杆的销孔是否配合不好、有间隙、连接销子切断或脱落等，导致转动部件不灵活。此时应修复销孔，更换合适的销子，或对轴销、楔栓或其他转动部位进行检查修整，更换损坏零部件。也可检查动静触头的接触面是否不在一直线上。动触头没有进入静触头内可能是静触头或支持瓷瓶柱没有安正，此时应调正静触头和支持瓷瓶柱，调整好后加以紧固。

隔离开关拉不开，主要是由于传动机构不灵活，刀闸的转动轴生锈或接触处发生熔焊，如在冬季也有可能是操作机构被冰冻所致。可将手柄轻轻摇动后找出卡住的部位并作相应处理，然后再试拉一次。若卡住部位在触刀的接触装置上，应考虑变更设备运行方式或停电检修，不可强行硬拉，以免支持瓷瓶受损而引起重大事故。

对隔离开关平时应注意维护，操作机构应定期检查，转动部件应定期加油，以保证其灵活可靠。

（五）隔离开关自动掉落合闸的处理

隔离开关在断开位置时，如果操动机构的机械闭锁装置失灵，会造成自动掉落合闸事故。如弹簧的锁住弹力减弱、销子行程太短等，遇振动大时，使机械闭锁销子滑出来，便会造成隔离开关自动掉落合闸事故。例如 35kV 系统上用的 GW2—35 型隔离开关，在断开状态

时，由于刀片较长，刀片趋向合闸的惯性力也大，加上销子存在锈蚀毛病，当检修人员在隔离开关的手动操动机构上用锤子打击物体时，销子由于受振动而可能自动滑出，造成隔离开关自动掉落合闸，引起系统带接地线合闸事故。

（六）误合、误拉隔离开关的处理

1. 误合隔离开关

当把隔离开关合向有故障的回路，或把不同期的系统用隔离开关连接等误合隔离开关时，不管是合上一相、二相或三相，均不允许把已合上的隔离开关再拉开。因为往回拉开时将产生弧光，造成弧光短路而损坏设备。只有用断路器将该回路断开后，或用跨条将该隔离开关跨接后，才允许将误合的隔离开关拉开。

2. 误拉隔离开关

当在隔离开关拉闸过程中发生误操作，并引起电弧时，不得继续拉开，应迅速果断地重新将隔离开关合上，以熄灭电弧。如隔离开关已拉开，并已切断电弧时，则不必将已误拉的隔离开关再合上。

某厂一电工在抄表时发现无功补偿超前，即在未断开油断路器的情况下，用隔离开关断开电容器负荷。结果引起相间拉弧短路，隔离开关及高压进线烧坏，断路器跳闸，并险些造成人身事故。这次事故的教训在于进行高压操作不执行操作规程；断开负荷时不执行先断开断路器，后拉隔离开关的操作程序；断路器与隔离开关没有联锁装置（即在断路器闭合状态下不能拉开隔离开关）；没有执行高压操作一定要一人操作、一人监护的规定。

（七）分合闸操作中的故障处理

1. 合闸不到位或三相不同期

隔离开关如果在操作时不能完全合到位，会造成接触不良，运行中会发热。出现刀闸合不到位、三相不同期时，应拉开重合，反复合几次，并且操作动作应符合要领，用力要适当。如果无法完全合到位，或不能达到三相完全同期，应戴绝缘手套，使用绝缘棒，将隔离开关的三相触头顶到位。汇报上级，安排计划停电检修处理。

2. 分合闸操作中途停止故障的处理

隔离开关在电动操作中，出现中途自动停止故障，如果触头之间距离较小，会长时间拉弧放电。原因多是操作回路过早打开或回路中有接触不良之处而引起的。

拉隔离开关时，出现中途停止，应迅速手动将其拉开，汇报上级，由专业人员处理。合隔离开关时，出现中途停止，若时间紧迫、必须操作，应迅速手力操作，合上隔离开关，汇报上级，安排计划停电检修；若时间允许，应迅速将隔离开关拉开，待故障排除后再操作。

三、注意事项

严禁带负荷拉、合隔离开关。隔离开关本身没有灭弧能力，因此，在变电所运行中，严禁用隔离开关拉、合负荷电流。

1. 误拉隔离开关。运行人员因跑错间隔、违反倒闸操作规定等原因，发生带负荷拉隔离开关。其处理方法有两种：

（1）刀片刚离开刀口（已起弧），应立即将未拉开的隔离开关合上，避免弧光短路；

（2）隔离开关已被拉开，则不允许再合上。保持隔离开关在断开位置，然后用该回路的断路器或上一级断路器断开电流后方可再合隔离开关。

2. 误合隔离开关。对运行人员因误操作而带负荷误合的隔离开关，无论什么情况下都不允许再拉开。如确需拉开，应在该回路负荷电流用断路器切断后，再拉开。

第三节　监视线路与电缆的异常运行

第一单元　电力电缆的异常运行

一、学习目标

能对电力电缆的各种异常运行情况进行处理。

二、工作程序

35kV 变电所的电力电缆绝大部分都敷设于地下。与架空线路相比较，电力电缆具有成本高，敷设后不易移动，寻找故障点困难及修复时间长等缺点。因此，防止电力电缆故障更为重要。

（一）电力电缆的正常运行

电力电缆的正常运行是指在额定电压、允许环境温度条件下，长期连续地通过额定电流的运行方式。电力电缆的正常发热不应超过允许值；当发生短路流过短路电流时，短时发热也不应超过短时发热的允许值，即热稳定不被破坏。35kV 及以下的电力电缆多为三芯电缆，因此正常运行时相间及相对地间绝缘应完好，电缆头绝缘应良好。

（二）电力电缆的异常运行及处理

1. 电压异常

为了保证电力电缆运行中有足够的绝缘性能，要求电力电缆的正常运行电压不得超过额定电压的 15%，如超过此值应视为电压异常，容易造成电缆绝缘击穿。对 35kV 中性点不接地系统，发生单相接地允许带接地点运行的时间内除外。对 35kV 以下的电力电缆，电压稍偏高不会对正常运行构成威胁，一般不需要采取紧急措施，只需汇报主管部门加强监视即可。

2. 温度异常

温度异常对电力电缆的正常运行威胁较大，电力电缆在运行中的长期允许工作温度，不应超过厂家规定。限制其最高允许温度的原因是：电缆过热会加速绝缘老化，缩短使用寿命并可能造成事故。电缆长时间过热会造成以下危害：

（1）电缆终端头外部接触部分损坏。

（2）电缆绝缘降低、老化。

（3）铅包龟裂、膨胀，铠装缝隙开裂。

（4）沥青绝缘胶受热膨胀，使电缆端头、中间接头胀裂。

电力电缆运行中的温度高低，主要取决于所带负荷的大小。因此，值班人员可以通过监视和控制其负载，使电力电缆不至于温度过高。

如电力电缆已运行 30 年以上，会发生绝缘严重老化，垂直部分电缆铅包龟裂，油浸式电缆的油干枯，易造成事故。

3. 渗漏油

电力电缆多为充油电缆，为了防止外部潮气侵入，内部绝缘油有一定的压力。当电力电

缆头外部受伤，内部温度过高、压力增大或是电缆内部短路、温度剧增使电缆头炸裂后，内部绝缘油就会大量外溢。渗漏油将造成内部绝缘油受潮，严重时若内部绝缘油流尽，即使在正常运行时内部相间不击穿、相间绝缘也已十分薄弱，则当系统异常（如发生单相接地）时就会发生相间短路或接地短路等故障。因此，严重渗漏油的电力电缆应尽快处理。

如运行中发现漏油，则应视为较严重的缺陷加以记录，同时应注意该电力电缆高位端电缆头绝缘情况，以防高位置电缆头缺油严重而降低绝缘水平，甚至引起放电击穿等现象。

4. 电缆头故障

由于制作材料、施工工艺等方面的原因使电缆头电压分布不均，引起绝缘破坏；或者由于运行维护不当使电缆头损坏而引起闪络放电等，则该电力电缆应退出运行。

5. 机械损伤

外力伤害电力电缆会造成铠装破坏、铅包断裂等故障。若铠装断裂脱落但铅包完好，说明内部绝缘未受到伤害，可以继续使用；若铅包断裂，渗漏油或严重鼓肚，说明内部受损，应退出运行。

三、注意事项

接地小电流系统发生单相永久性接地故障时，该系统上的电缆连续运行的时间最长不应超过 2h。

第二单元　母线及架空线路的异常运行

一、学习目标

能对母线及架空线路的各种异常运行情况进行监视并处理。

二、工作程序

（一）母线的运行及巡视检查

35kV 变电所的 35kV 配电装置多为室外布置，采用钢芯铝绞线作母线，即软母线。10kV 配电装置多为室内布置，采用矩形铝排作母线，即硬母线。

1. 母线的正常运行

母线的正常运行是指母线在额定条件下，能够长期、连续地汇集和传输额定功率的工作状态。母线的电压等级取决于对绝缘子绝缘水平的要求。因此，母线在正常运行时，支持绝缘子和悬式绝缘子应完好无损，无放电现象；软母线弧垂应符合要求，相间距离应符合规程规定，无断股、散股现象，硬母线应平、直，不应弯曲，各种电气距离应满足规程要求。

2. 母线的巡视检查

母线是变电所最重要的设备之一，它起着汇集和分配电能的作用。一旦母线故障，将会造成部分或全所停电。因此，加强对母线的运行和维护，对保证变电所安全运行至关重要。

母线的巡视检查项目为：

（1）检查绝缘子是否清洁，有无裂纹损伤、有无电晕及严重放电现象。

（2）检查设备线卡、金具是否紧固，有无松动脱落现象。

（3）检查母线有无断股，连接处有无发热，伸缩是否正常。

（4）检查所有构架的接地是否完好、牢固，有无断裂现象。

（二）架空线路的异常运行及事故处理

架空线路分布广泛，长期暴露在大自然中运行，经常受周围环境和大自然变化的影响，

因而在运行中会发生各种故障。

架空线路的杆塔、绝缘子、导线等元件除了承受正常的机械负荷和电力负荷外，还经受风、雨、雪、冰、雷电及其他自然条件的袭击，因而会使线路各元件日趋损坏而引起故障。例如：由于空气潮湿，会使木杆腐朽，铁塔和金属构件发生锈蚀；由于温度变化，会引起导线张力变化、易造成绝缘子和其他部件损坏；由于风力增大，会使导线产生振动、跳跃甚至碰线，易造成断线、倒杆；由于雨水，会引起木杆、木横担腐朽及水灾冲倒杆塔；由于小雨和雾，易引起脏污的绝缘子发生闪络；由于空气中有灰尘，会使绝缘子迅速脏污，造成铁塔和其他金属部件锈蚀；由于有露霜和粘雪，会造成脏污绝缘子发生闪络和在线路上结冰；由于雷击，引起绝缘子发生闪络甚至击穿，造成线路分闸事故，且对木杆线路还会引起劈杆和烧杆；另外，还有飞鸟、树木、风筝、洪水等，都能引起架空线路发生故障。

1. 架空线路常见的机械和电气故障

(1) 机械故障

1) 倒杆。由于各种原因，使杆塔失去平衡状态，造成倒杆，中断供电。

2) 断线。因导线承力过大，造成导线的断裂，导致供电中断。

(2) 电气故障

1) 单相接地。线路一相导线的任一点丧失绝缘性能，该相电流经故障点流入大地。

2) 两相短路。线路两相之间造成直接放电，导致两相短路，并在放电点形成强烈电弧，烧坏导线，造成供电中断。

(3) 三相短路。在线路同一地点三相导线之间直接放电，造成三相短路。

(4) 缺相运行。断线不接地，受电端一相无电流，用户三相电动机变单相或二相运行。

2. 寻找线路故障的基本方法

(1) 根据运行人员提供的线路故障时保护动作情况，初步分析故障性质和范围。

(2) 人工巡线，分段检查。地面巡查用高放大倍数的望远镜进行检查，必要时结合登杆检查（应视线路带电情况）。如查出故障，应将故障点的线段、杆号、相别、故障性质及设备损坏情况报告负责生产的领导。

(3) 在分支线较多的线路上发生故障时，可在变电所通过线路上的断路器查找并切除故障线路。

(4) 对于不易发现的轻微故障，要收集沿线居民反映的情况，了解事故发生时的现象，以帮助分析找出故障点。

3. 导线断股、损伤和闪络烧伤事故

(1) 事故原因

这种事故多是由导线的振动引起。导线振动是指由于风力的作用而引起导线、避雷线的周期振荡。风力使导线、避雷线产生的摆动，可能是不同期摆动，即各相导线不是同时往一个方向摆动。因而会引起导线间互相碰撞，形成相间短路故障，使部分导线烧断，导致导线断股。导线的振动和断股一般发生在导线悬挂处。

1) 引线弛度较大，且细长而轻，受风吹易摆动，长期以后，在被线夹握住的铝线处因反复曲折而在弯曲部分“疲劳”，开始发生单股折断，逐渐发展到由外层到内层断股。导线断股后，有效面积减少，机械强度降低，每股所受的拉力增加，因此便加速了断股的发展。同时因未断股的电流密度增加，引起导线因过载而发热，最后造成断线。

2）风速为0.5～4m/s时，相当于1～3级风，当这种微风以垂直于线路方向作用于导线或避雷线时，则背风面上、下侧交替形成空气旋涡，会对导线或避雷线在垂直方向受到冲击。当冲击频率与导线或避雷线的某一自然振动频率相等时，便产生共振，则导线或避雷线在垂直平面内就发生上、下振动。当导线或避雷线应力大于其极限拉断强度时便损坏而断股，甚至导致断线。

3）当风速为5～20m/s时，相当于4～8级风，由于振幅较大，易引起全档导线波浪式的起伏运动，造成碰线事故。

4）在大风（如9级风以上）时，架空线路的各相导线摆动不一，若线间距离较小或各相导线弛度不均衡，就会发生碰线事故或线间放电闪络故障。

5）导线、避雷线在制造上有缺陷，如有断股等情况，或因受大气中水分及腐蚀性气体的作用，使导线氧化、生锈变质而降低机械强度，于是在刮大风时亦会引起断线。

（2）预防措施

1）对于风吹摆动较大的导线，应进行调整，松的应调紧；或在两杆之间加装一根杆塔，以缩短档距，使导线稳定。

2）用护线条或特殊线夹来防止振动所引起的损坏。

3）在线夹附近的导线上加装防振锤或阻尼线，以吸收振动的能量，消除振动。护线条是用与导线相同的材料制成的，外形是中间粗两头细的一根铝棍，如图4-3（a）所示。在线夹处用护线条将导线缠裹起来，就能加强导线的机械强度，使架空线在振动时不致引起断股。当导线发生振动时，可以防止导线在线夹出口处发生剧烈的波折，减少了导线因连续波折而造成疲劳、破劲和损伤，提高了导线的机械强度。

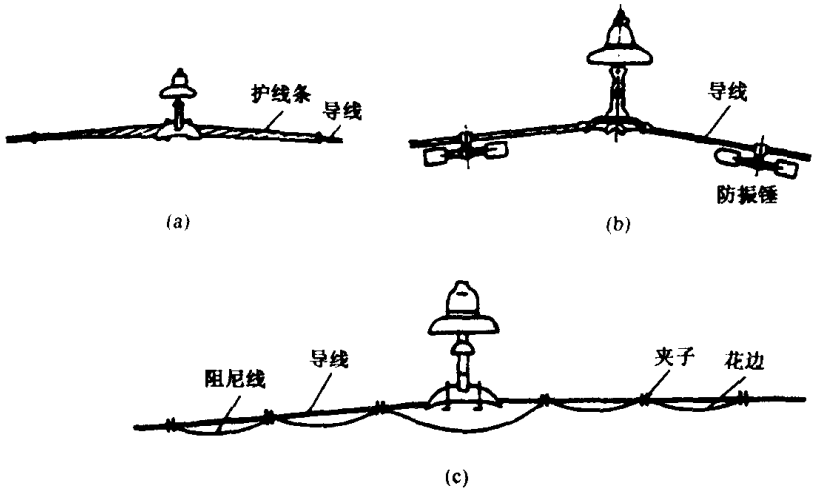


图4-3　导线的防振措施

（a）用护线条保护导线；（b）用防振锤保护导线；（c）用阻尼线保护导线

运行经验证明，采用护线条不仅能很好的保护导线，而且能减少导线的振动。为了施工方便，近年来推广了“预绞式护线条”。它是全长等粗的，根据不同规格导线的需要，在制造厂内把铝棒扭绞成型，安装时套在导线上即可，避免线路工人在高空中的扭绞作业。

防振锤由两个形状如杯子的铸铁重锤构成，两锤分别固定在一根钢绞线的两端，中间装有专为接挂于导线或避雷线上的线夹。使用时，防振锤的中间钢绞线用线夹固定在导线上，

如图 4-3（b）所示。当导线振动时，线夹随导线一同上、下振动，由于两端重锤的惯性，使钢绞线两端不断上、下弯曲，则防振锤产生了与导线振动方向相反的运动，从而消耗了振动能量，减少了架空导线振动的幅值，避免了架空导线的疲劳断股。防振锤的效果，只能使导线振动限制在无危险的低振幅振动内。

阻尼线具有较好的消振效果，在高频情况下其消振效果比防振锤更好，因而常用于振动频率较高的小直径或大跨越导线。阻尼线最好采用与导线型号相同的材料或用挠性好的钢丝绳，一般可取约 7～8m，成花边，悬挂于导线悬挂点两侧，如图 4-3（c）所示。其防振原理相当于多个联合的防振锤，能将档内传到线夹附近振动波所具有的能量，被阻尼花边逐渐地消耗。沿线两边的递减型垂直花边波浪线，可使传到线夹出口的传动波大大衰减。

4. 导线发热故障

目前，输电线大部采用钢芯铝绞线，而钢芯铝绞线的允许温度为 70℃。导线在正常运行时，不应超过允许温度，则应监视导线的实际负荷电流不应超过安全电流。因为导线的过负荷运行，会使导线温度超过允许值，从而引起导线激烈氧化，使铝导线表面起泡或发白，铜导线表面发红或有红斑，长时间过负荷运行，就会损坏导线。

导线因过负荷而发热后，会使金属抗拉强度降低，如铝线超过 100℃、铜线超过 150℃、钢线超过 300℃时，其抗拉强度便迅速下降。此外，导线长期发热，会使金属慢性退火，从而也会降低导线的机械强度。此时如遇短路故障，由于电动力的作用，就会使导线变形或断裂。因此，发现导线过负荷时，应降低负荷，使负荷电流在安全电流以内，从而确保输电线路的安全运行。

5. 导线的雷害事故

架空线路杆塔一般高出地面 8～9m 或数十米，暴露在旷野或高山之上。一条线路的长度有的可达数十或数百公里，所以受雷击的机会是很多的。

根据事故统计资料，在高压架空线路的全部事故中，约有 40%～60%的事故是由于雷击所引起的。

如果雷直接落在线路上，由于雷电的电压很高，因此对任何电压等级的线路都有击穿的危险。

如果雷直击木杆或铁塔时，杆塔上会产生很高的电压，可达几百万伏，从而引起的雷电波反击导线现象，会使杆塔与导线间的绝缘发生闪络。导线上产生很高的感应过电压，一般可达 1000～4000kV，可能引起相邻两相导线间的绝缘子闪络。此外，当雷直击木杆时，常会引起木杆和横担发生劈裂，甚至发生烧杆现象。当雷直击导线时，也会引起杆塔与导线间的绝缘发生闪络。当雷直接落在杆塔中间的避雷线上时，高压的雷电波一般经过接地线而流入大地，但若杆塔的接地装置不合格，或导线与避雷线间的距离不够时，亦可能在避雷线与导线之间发生闪络。

雷电过电压所引起的绝缘闪络或相间闪络主要是发生电弧短路，由于系统短路容量大小以及电弧持续时间长短的不同，其破坏程度也不同，可能引起绝缘子烧伤或完全破坏，甚至使导线过热熔化或烧断。

当线路遭受雷击发生故障引起分闸后，电弧就会熄灭。此时，如果绝缘子和导线的烧伤并不严重，则可以重新合闸送电；如果绝缘子和导线的烧伤严重，则应将线路停电进行修理。

6. 线路绝缘子闪络及“污闪事故”

供电线路特别是户外线路的绝缘子处于大气尘埃的包围之中，其表面常常积聚污垢而使其绝缘性能下降，在潮湿或雾雨天气，会发生绝缘子表面的放电现象——“闪络”。

连续不断的闪络极易形成相对地的击穿，使线路的保护装置动作，自动跳闸停止供电，这就是所谓的“污闪事故”。

“污闪事故”多发生在冬、春季节的后半夜或清晨。因此，要预防“污闪事故”，应在每年的冬春污闪季节到来之前对绝缘子进行一次普遍清扫，在污染严重的地区还可多清扫几次。清扫时可采用停电擦拭或不停电水冲法。对“污闪事故”多发地区可适当提高线路的绝缘水平，增加泄漏距离，如选用泄漏距离大的绝缘子、增加绝缘子片数或选用防污绝缘子，甚至选用高一级电压的绝缘子，以减少“污闪事故”的发生。也可以采用有斥水性防尘涂料（如硅油）的绝缘子或选用耐污性能较好的合成绝缘子，以提高绝缘子的抗污性能。斥水性防尘涂料可使水分在绝缘子表面形成水珠但不能连成一片，这就可以减小泄漏电流。在一般地区，绝缘子串或瓷横担的单位泄漏距离不应小于 1.6cm/kV（以额定线电压计算）；空气污秽地区，应加大到 2.0～2.5cm；严重污垢地区及沿海地带应增大到 2.6～3.2cm/kV；在最严重的条件下，泄漏距离还应增大到大于或等于 3.8cm/kV。此外还应对绝缘子进行定期测试，及时更换绝缘不良的绝缘子。测试一般 1～2 年进行一次。但应注意，测试应在晴朗天气进行。

三、注意事项

1. 母线通过额定电流时本身温度不应超过 70℃。

2. 为确保线路安全运行，必须采取防雷措施。

常用的线路防雷装置有避雷线、避雷针、管型避雷器、保护间隙等，而这些防雷装置的接地必须良好。

（1）架空线路架设避雷线。这是为了防止雷电波直击档距中的导线，产生危及线路绝缘的过电压。装设避雷线后，雷电流即沿避雷线经接地引下线进入大地，从而确保线路的安全供电。

根据过电压保护规程规定，对于 35kV 及以下电压的水泥杆或铁塔线路，一般不沿线架设避雷线，但仍然需要逐基杆塔接地。这是因为若有一相导线遭受雷击，良好接地的杆塔实际上起到了避雷线的作用。

架设在轻雷区（年平均雷电日不超过 15 日）的 110kV 线路，一般不沿全线架设避雷线，系统采用中性点经消弧线圈接地方式，以有效地消除单相接地故障。其次，要装设自动重合闸装置，可以减少停电次数。

（2）采用进线段和管型避雷器防雷。线路着雷后，雷电进行波会沿线路传到变电所，变电所用避雷器作为电气设备绝缘的防雷保护。

为了限制雷电进行波的幅值和陡度，一般靠近变电所 1～2km 的一段线路（即进线段）上装设避雷线（相当串联一个电感 L），如图 4-4 所示。利用导线的波阻抗，限制通过管型避雷器的雷电流幅值；利用导线上产生的冲击电晕（相当增大导线半径，使对地电

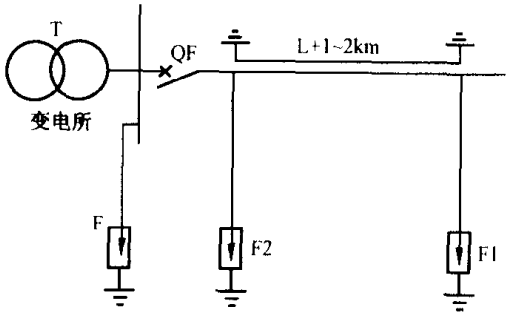


图 4-4　变电所进线段保护

容增大），降低雷电波的陡度。为了防止雷绕击和反击，避雷线的保护角一般不超过20°，最大不应超过30°，使进线段内不致发生雷的绕击和反击。

为了保护线路进出线的断路器或隔离开关，装设一组管型避雷器F2和F1，如图4-4所示。这是因为在冲击绝缘强度特别高的线路上，雷电流幅值可能超过5kA，从而损坏断路器或隔离开关。在雷雨季节，这些断路器或隔离开关可能经常断开，并且还有可能带有所用变压器和电压互感器等。这样，当线路侧又带有电压时，就会在雷击时产生全反射电压，因而需要管型避雷器F2进行保护。F2外部火花间隙的整定，应使断路器断开时能得到可靠的保护。当断路器合闸时，F2不应动作，并处于阀型避雷器F的保护范围内。如F2整定有困难，可用保护间隙来代替。

（3）利用保护间隙防雷。保护间隙的作用和避雷器一样，能在过电压时击穿，以保护并联着的设备。在中性点非直接接地的电网中，当两相间隙同时击穿时，就要发生相间短路。由于保护间隙击穿只能限制过电压，不能自动灭弧，所以在间隙击穿时，会引起电源断路器跳闸。因此，虽然保护间隙对设备能起防雷保护作用，但不能保证对用户的连续供电。为了保证线路的连续供电，在装有保护间隙的线路上，应有自动重合闸装置，以减少线路停电事故。

思　考　题

一、名词解释

1. 耐压试验
2. 污闪

二、问答题

1. 如何监视变压器的温度与温升？
2. 变压器并联运行的条件是什么？
3. 简述真空断路器的故障原因及处理方法。
4. 隔离开关拒绝分合闸的原因有哪些？
5. 电力电缆的巡查内容有哪些？
6. 寻找线路故障有哪些方法？

第五章　事　故　处　理

第一节　检查变电所继电保护装置

第一单元　继电器的种类及作用

一、学习目标

掌握本所继电器的种类及作用。

二、相关知识

（一）继电保护装置的任务

电力系统在运行中，可能出现故障和不正常工作状态。电力系统最常出现且最危险的故障是短路。电力系统短路的基本形式有三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路，电机和变压器同一相绕组不同线匝之间的短路（简称匝间短路）等。电力系统的正常工作状态遭到破坏，但未形成故障，称为不正常工作状态。电气设备的过负荷、由于功率缺额引起的系统频率下降、发电机突然甩负荷造成的过电压以及系统同期振荡等，都属于不正常工作状态。

电力系统短路可能产生如下的后果：

（1）故障点的电弧使故障设备损坏。

（2）比正常工作电流大得多的短路电流产生的热效应和电动力效应，使故障回路中的设备遭到伤害。

（3）部分电力系统的电压大幅度下降，使用户的正常工作遭到破坏，影响供电质量。

（4）引起系统振荡，破坏电力系统运行的稳定性，甚至使电力系统瓦解，造成大面积停电的恶性事故。

故障和不正常工作状态若不及时正确予以处理，都可能引起事故。事故是指对用户少送电、电能质量降低到不允许的程度、人身伤亡及电气设备损坏。

继电保护装置是一种重要的反事故措施，它的基本任务是：

（1）当电力系统出现故障时，继电保护装置应能快速、有选择地将故障元件从系统中切除，使故障元件免受损坏，保证系统其他部分继续运行。

（2）当系统出现不正常工作状态时，继电保护能及时反应，一般发出信号、告诉值班人员予以处理。在无值班人员的情况下，保护装置可作用于减负荷或跳闸。这种保护一般具有一定的延时，以免不必要的动作。

电力工业的发展，对继电保护装置不断提出新的更高的要求。电工理论和元件制造技术的进步，是提供继电保护装置技术更新、适应要求的必要条件。从继电保护原理来看，早期继电保护是反应系统基本电量（电流、电压等）的变化，逐步发展为反应复杂量（对称分量、阻抗等）的变化，近年来又从反应稳态量的变化发展到反应暂态量。从原理上为进一步提高保护的性能提供了条件。再从构成继电保护装置的元件来看，早期是采用有触点的继电

器，由于半导体整流元件及晶体管的发展，出现了整流型和晶体管型继电保护装置。近年来，计算机保护的广泛应用，使继电保护技术发生了重大的变革。传统的继电保护都是模拟式的，计算机保护则是数字式的，只要采用不同的软件，同一种计算机保护装置便可实现不同的保护功能，而且可以构成任意特性的保护，以适应电力系统的需要。

（二）对继电保护的基本要求

对于反应短路故障的继电保护装置，其技术性能一般应满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性等四个基本要求。

1. 选择性

继电保护的选择性是指继电保护装置动作时，只能把故障元件从系统中切除，使系统的无故障部分继续运行。在图 5-1 所示的网络中，当线路 L4 的 K_2 点发生短路时，应由保护 6 动作，跳开断路器 6QF，将 L4 切除，继电保护的这种动作是有选择性的。K_2 点故障，若保护 5 动作，将 5QF 跳开，则变电所 C 和 D 都将停电，继电保护的这种动作是无选择性的。同样，K_1 点故障时，由保护 1 和保护 2 动作于跳开 1QF 和 2QF，将故障线路 L1 切除，才是有选择性的。

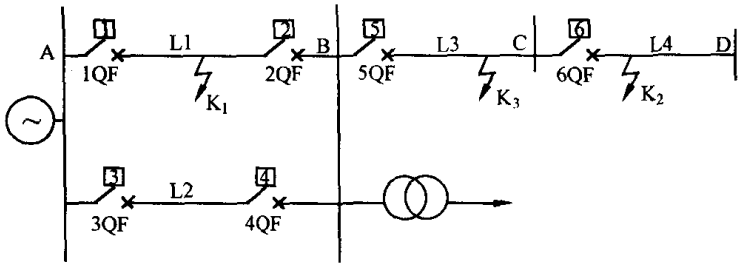


图 5-1　电网保护选择性动作说明图

必须指出，继电保护和断路器都可能因失灵而拒动，因此需要设置后备保护。如在 K_3 点故障，而保护 5 或断路器 5QF 拒动，保护 1 和保护 3 应动作于跳开 1QF 和 3QF，将故障切除。保护 1 和保护 3 即为线路 L3 的后备保护。由于这种后备作用是在远处实现的，成为远后备保护。后备保护也可采用近后备方式，即在被保护元件上装设两套保护，一套为主保护，另一套为后备保护，当主保护拒动时，由后备保护动作切除故障。采用近后备保护时，应装设断路器失灵保护，当断路器失灵拒动时，由失灵保护动作于切除故障。例如在 L3 上 K_3 点故障而保护 5 中的主保护拒动时，由保护 5 中另一套后备保护动作于跳开 5QF，将故障切除。

2. 速动性

切除故障的时间包括继电器的动作时间和断路器的跳闸时间，保护动作速度快，可以缩短切除故障的时间。快速切除故障，可以减小故障元件的损坏程度，缩短用户在低电压下的工作时间，并能提高系统并列运行的稳定性。

应该指出，不能片面追求保护的快速动作。因为速动而又有选择的保护装置，一般都比较复杂，而且价格较高。应当根据电力系统的实际情况，对保护的速动性提出适当的要求。如在高压电网中，涉及范围广，为了保证系统并列运行的稳定性，必须快速切除故障，要求保护的动作时间为 0.02～0.04s。但是电力系统在许多情况下，允许继电保护带一定时间的

延时切除故障。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性是指对其保护范围内发生的故障或不正常工作状态的反应能力。继电保护的灵敏性，通常用灵敏系数来衡量。灵敏系数应根据对继电保护动作最不利的条件进行计算。

对于反应故障时参数增大的继电保护，其灵敏系数为

K_{sen} = 保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值/继电保护的动作参数

对于反应故障时参数降低的继电保护，其灵敏系数为

K_{sen} = 继电保护的动作参数/保护区首端金属性短路时故障参数的最大计算值

考虑到故障可能是非金属的短路等因素，因此要求 $K_{sen} > 1$。在部颁《继电保护和安全自动装置技术规程》中，对各类保护的最小灵敏系数都作了规定。

4. 可靠性

继电保护的可靠性，是指保护在应动作时不拒动，而在不应动作时不误动的性能。一般来说，保护装置元件的质量好、接线简单、运行维护调试水平高，保护的可靠性就高。保护动作不可靠，是系统事故的原因之一。为了提高保护动作的可靠性，工作人员应加强职业责任感，提高技术水平，高质量地完成岗位工作。

在提高继电保护可靠性的措施中，防止保护误动与防止保护拒动的措施往往是矛盾的。若采用两套保护分别作用于同一出口跳闸回路，有利于防止保护拒动，但却增大了其误动作的可能性。若采用两套保护以“与”方式作用于出口跳闸回路，有利于防止保护误动，但不利于防止其拒动。因此，提高保护可靠性的措施，是以防止拒动为主还是以防止误动为主，应根据系统的具体情况，适当加以选择。

上述四个基本要求，对于动作于跳闸的继电保护装置，应同时满足。这个满足只能是相对的，因为在四个性能的要求之间，存在着矛盾。如速动性和选择性较高的保护，往往接线和技术都比较复杂，可靠性就比较低；为了提高保护的灵敏性，将增加其误动作的可能性，从而降低了可靠性；为了获得选择性，往往要降低速动性。为此，必须从电力系统的实际情况出发，适当处理这些矛盾关系，使得继电保护能全面满足这四个基本要求。

此外，在选择继电保护装置时，还应考虑经济性。经济性首先要着眼于对整个国民经济有利，而不应局限于节省继电保护装置的投资。同时，对于那些次要而数量很大的电气元件，也不应装设复杂而昂贵的继电保护装置。

三、工作程序

变电所中常用的电磁式继电器有：电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等。

（一）电磁式电流和电压继电器

1. 基本结构、接线和型号

常用的 DL－10 系列电磁式电流继电器，其结构原理如图 5-2 所示，其内部接线如图 5-3 所示。

电磁式继电器的型号表示如下：

□ □—□ □

第一个□：D 表示电磁式；G 表示感应式

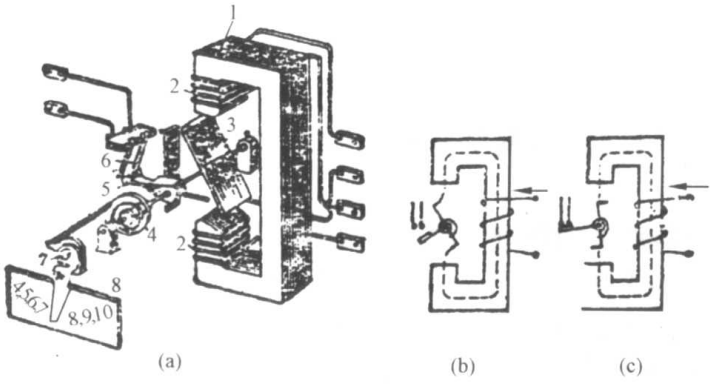


图 5-2　DL－10 系列电磁式电流继电器图

（a）结构图；（b）通入电流较小时，继电器不动作；

（c）通入电流较大时，继电器动作

1—电磁铁；2—线圈；3—钢舌片；4—反作用弹簧；5—动触点；

6—静触点；7—调整把手；8—刻度盘

第二个□：L 表示电流继电器；J 表示电压继电器；Z 表示中间继电器；S 表示时间继电器；X 表示信号继电器

第三个□：为数字，表示设计序号

第四个□：以数字表示接点规格，1 表示一对常开触点，2 表示一对常闭触点，3 表示一对常开、一对常闭触点。

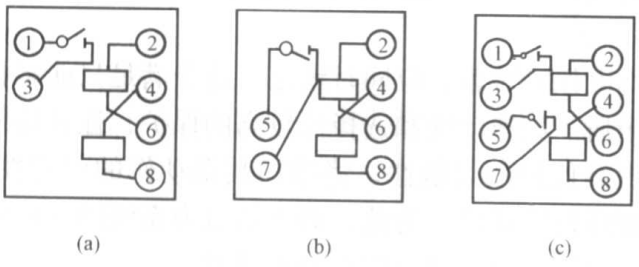


图 5-3　DL－10 系列电磁式电流继电器的内部接线图

(a)DL－11 型(一对常开触点)；(b)DL－12 型(一对常闭触点)；

(c)DL－13 型(一对常开、一对常闭触点)

2. 工作原理

对图 5-1 所示电流继电器的工作原理说明如下。

当继电器线圈 2 通过电流时，在电磁铁 1 中产生的磁通力图使 Z 形的钢舌片 3 向凸出的磁极偏转。与此同时，轴上的反作用弹簧 4 又力图阻止钢舌片 3 偏转。当继电器线圈中的电流增大到电磁铁 1 使钢舌片所受的转矩大于弹簧的阻力矩和轴承的摩擦力矩时，钢舌片便被吸近磁极，使常开接点闭合，常闭接点断开，继电器即处于动作（或起动）状态。

使继电器动作的最小电流叫做继电器的动作电流，用 I_{op} 表示。在继电器动作后，当线圈电流减小到一定值时，钢舌片在反作用弹簧的作用下将返回到起始位置。使继电器由动作状态返回到起始位置的最大电流，叫做继电器的返回电流，用 I_r 表示。继电器的返回电流与动作电流的比值，叫做继电器的返回系数，用公式表示则为

$$K_r = I_r / I_{op}$$

对于过电流继电器，K_r 总小于 1，，但大于 0.8，K_r 越接近于 1，继电器越灵敏。对于电磁式继电器，K_r 不允许大于 0.95，否则接点接触不良。

这种继电器的动作行为取决于网络电流，所以叫做电流继电器。由于电流继电器通过的

电流较大，所以线圈导线较粗，而匝数较少。其线圈一般分为两段，可以并联也可以串联，从而可使动作电流成倍地改变。动作电流还可通过调整把手7改变反作用弹簧4的拉力来平滑地调节。继电器的动作时间为0.02～0.04s；当动作电流整定值为最小时，消耗功率为0.1VA。

3. DL－20C、DL－30系列电磁型电流继电器

目前采用的电磁型电流继电器，除DL－10系列外，还有DL－20C、DL－30系列，其构造如图5-4所示。DL－20C、DL－30C系列的电流继电器为组合式继电器，在成套保护屏上用得较多。其工作原理与DL－10系列相同，只是对电磁铁和接点系统作了某些改进，并改为插件式的，更换较为方便，体积也较小。

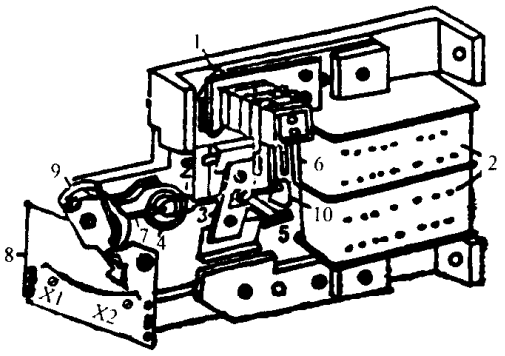


图5-4　DL－20C、DL－30系列电流继电器的结构图

1—电磁铁；2—线圈；3—Z形舌片；4—弹簧；5—动接点；6—静接点；7—限制螺杆；8—刻度盘；9—定值调整把手；10—轴承

4. 电压继电器

电压继电器的线圈一般通过电压互感器接在网络电压上，可反应网络电压是否正常。继电器动作与否取决于网络电压的高低。电压继电器的结构与电流继电器相同，由于它是并接在网络电压上的，所以其线圈的匝数多而导线细。为了改善返回系数，减少系统频率和环境温度变化对继电器工作的影响，电压继电器的线圈一般采用电阻线绕制，或在线圈中串联一个由温度系数很小的电阻线（如康铜线）绕制的具有较大阻值的附加电阻。

电压继电器有过电压继电器（如DJ－111）和低电压继电器（如DJ－121）两种，一般低电压继电器用得较多。图5-5为电压继电器的内部接线图。

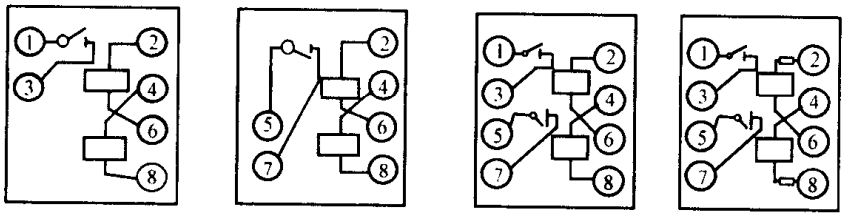


图5-5　电压继电器的内部接线图

（a）DJ－111、112型；（b）DJ－121、122型；（c）DJ－131、132型；（d）DJ－131/60CN型

低电压继电器在电网正常工作电压下，Z形舌片被长期吸向磁极而处于振动状态。长期的振动易使继电器的轴尖和轴承磨损，因而降低了它的工作可靠性，调试时应设法使这种振动减小到最低程度。

目前，结构小的DY－10C、DY－30系列的电压继电器已应用在许多保护屏上。它们的工作原理和DJ－100系列电压继电器相同，其构造与DL－20C、DL－30系列电流继电器相同。

（二）电磁式时间继电器

时间继电器的作用是使继电保护和自动装置获得一定的延时。

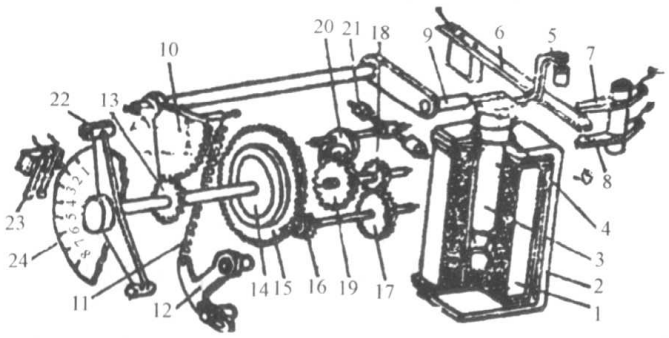


图 5-6　DS－110、120 系列电磁式时间继电器的结构图
1—线圈；2—磁路；3—铁心；4—返回弹簧；5—轧头；6—可动瞬动触点；7、8—固定瞬动触点；9—曲柄销；10—扇形齿轮；11—主弹簧；12—改变弹簧拉力的卡板；12—齿轮；14—摩擦离合器；15—主齿轮；16—钟表机构齿轮；17、18—钟表机构中间齿轮；19—制齿；20—卡钉；21—重锤；22—动触点；23—静触点；24—刻度盘

1. 基本结构、接线和型号

变电所中常用的 DS－110、120 系列电磁式时间继电器的基本结构，如图 5-6 所示，图 5-7 为它的内部接线图。

电磁式时间继电器的型号表示如下：

□ □—□ □ □ □

第一个□：结构形式，D 表示电磁式

第二个□：产品代号，S 表示时间继电器

第三个□：设计序号

第四个□：电流类别，1 表示交流；2 表示直流

第五个□：特征代号，1 表示延时 0.1～1.3s；2 表示延时 0.25～3.5s；3 表示延时 0.5～9s；5 表示延时 0.25～3.5s(带常开滑动触点)；6 表示延时 0.5～9s(带常开滑动触点)

第六个□：附加符号，C 表示线圈能长期带电。

2. 动作原理

当线圈接入电压后，铁心 3 即被瞬时吸入电磁线圈中，因而放松了附在铁心上的曲柄销 9。在主弹簧 11 作用下，使扇形齿轮 19 顺时针方向转动，并且传动齿轮 3、动触点 22 及与它同轴的摩擦离合器 14 作逆时针方向的转动，通过主齿轮 15 传动钟表机构而控制了动触点轴的旋转角速度。由于动触点 22 要经过一定行程去闭合静触点 23，因此需要一定的时间。

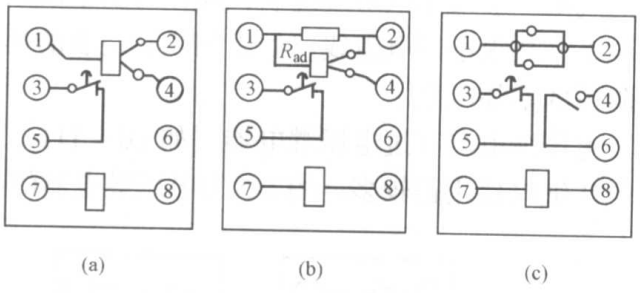


图 5-7　DS－110、120 系列时间继电器的内部接线图
(a) DS－111、112、113、122、123 型；(b) DS－111C、112C、113C 型；(c) DS－115、116、125、126 型

当线圈 1 的电流消失后，在返回弹簧 4 的作用下，通过曲柄销 9 立即使扇形齿轮 10 复原。因为返回时动触点轴是按顺时针方向传动的，因此使摩擦离合器 14 与主齿轮 15 脱开，这时钟表机构不参与返回过程，所以返回是瞬时的。

改变静触点的位置也就是改变动触点的行程，即可调整时间继电器的动作时间。

为了缩小时间继电器的尺寸，它的线圈一般不按长期通过电流来设计，如图 5-6 (b) 所示。因此，当需要长期（大于 30s）加电压时，需采用 DS－100C 系列时间继电器。其内部有一附加电阻 R_{ad}。在时间继电器线圈上没有加电压时，电阻 R_{ad} 被继电器下面的瞬动常闭触点短路，见图 5-8 所示；在动作电压加入继电器线圈的最初瞬间，全部直流电压加到时间继电器的线圈上，继电器一旦动作后，其瞬动常闭触点断开，R_{ad} 即被串入继电器线圈回路中，以限制通过继电器线圈的电流，提高了继电器的

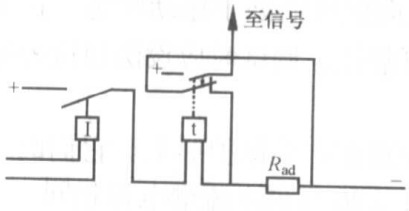


图 5-8　时间继电器接入附加电阻的电路图

热稳定性。时间继电器接入附加电阻的电路，如图 5-8 所示。DS－20A、DS－30 系列时间继电器的工作原理仍为电磁型的，只是在延时机构上作了一些改变。

（三）电磁式中间继电器

中间继电器的用途很广。若主继电器（电流、电压继电器等）的接点容量不足；或为了同时接通和断开几个回路需要多对接点时；或一套装置有几套保护需要用共同的出口继电器等，都要采用中间继电器。

图 5-9 为 DZ－10 型中间继电器的结构图。当线圈 2 加上 70%以上的额定电压时，衔铁 3 被吸合，并使衔铁 3 上的动触点 5 与静触点 4 闭合；当失电后，衔铁受反作用弹簧 6 的拉力而返回原位。

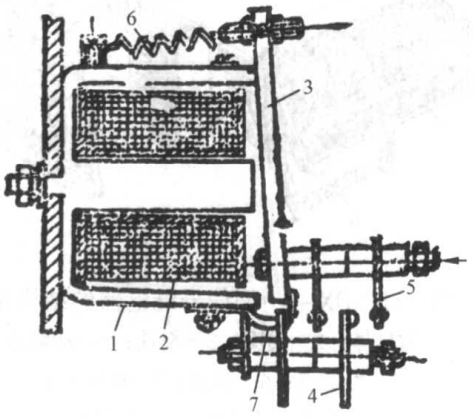


图 5-9　DZ－10 型中间继电器的结构图
1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4—静接点；5—动接点；6—反作用弹簧；7—衔铁行程限制器

中间继电器由于用途不同，类型较多。变电所常用的中间继电器除上述 DZ 系列外，还有 DZS、DZB、ZJ3 及 YZJ1 型等。DZS 型中间继电器带有延时动作或延时返回的接点，它的结构与一般瞬时动作的 DZ 型中间继电器的区别，仅在于其铁心上套以若干片铜质阻尼环。当接通或断开继电器线圈的电源时，在铜环中将感应出涡流，并阻止线圈中电流的增大或减小。若铜环具有较大的电导和电磁耦合能力，这个作用更为显著，因此可稍为延长继电器的动作时间和返回时间。对要求瞬时动作、延时返回的继电器，铜环装在铁心根部，如 DZS－145 型；对延时动作的继电器，铜环装在铁心顶部，如 DZS－127 型。延时动作的继电器，返回也具有延时。有的延时动作和返回的中间继电器，是采用阻尼线圈来获得延时特性的，如 YZJ1－3 型。

DZB、ZJ3、YZJ1 型的中间继电器都带有两种型式的线圈。其中一组为电压起动线圈；另一组为一个或几个电流线圈，作为继电保护的自保持线圈。不论哪组线圈有电，继电器都能动作。ZJ3 系列的导磁体采用Ⅱ型结构，其起动的电压线圈串有电阻，以降低功率消耗和温升，且动作时间很短；其他系列的都采用Ⅲ型导磁体。

图 5-10 为变电所中常用的几种中间继电器的内部接线图。

（四）信号继电器（DX－11 型）

信号继电器在继电保护和自动装置中是用来作动作指示器的。当信号继电器动作后，一方面其本身有掉牌指示，以便于进行事故分析；另一方面其触点闭合，接通灯光或音响回路，可引起值班人员的注意。其任务完成后，由值班员手动复归。

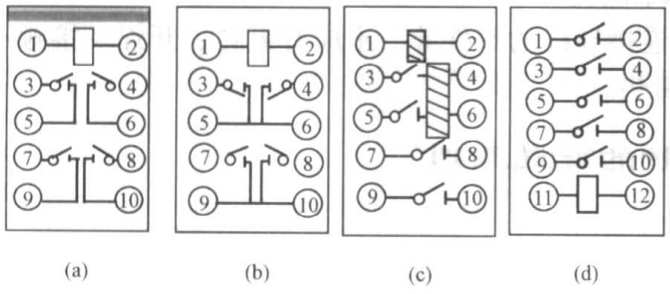


图 5-10　常用的几种中间继电器的内部接线图
（a）DZ－17 型；（b）DZS－117 型；（c）DZB－127 型；（d）YZJ1－1 型

图 5-11 示出了 DX－11 型信号继电器的结构。在正常运行情况下，继电器线圈中没有电流通过，衔铁 3 被弹簧 6 拉住，信号牌 9 在水平位置，这时衔铁的边缘支持着信号牌，并且使它保持在这个位置上。当信号继电器线圈中流过

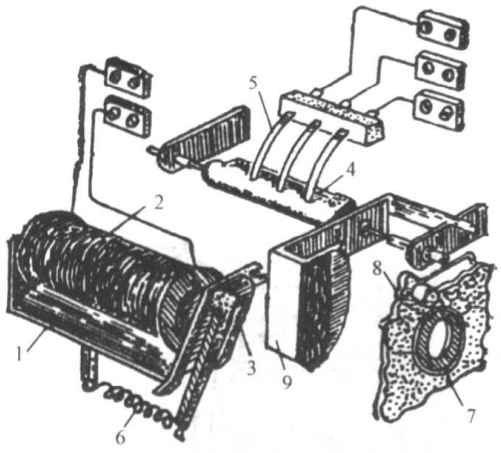


图 5-11　DX－11 型信号继电器的结构图
1—磁导体；2—线圈；3—衔铁；4—动触点；5—静触点；6—弹簧；7—玻璃孔；8—手动复归旋纽；9—信号牌

电流时，电磁力吸引衔铁而释放信号牌，信号牌在其本身的重力作用下而下落，并且停留在垂直位置。这时从继电器外面的玻璃孔 7 上便可以看见带颜色标志的信号牌。在信号牌下落时，固定信号牌的轴同时转动 90°，则固定在这轴上的动触点 4 与静触点 5 将接通灯光或音响信号回路。

信号继电器按其接入电路的方式可分为串联信号继电器（电流型信号继电器）和并联信号继电器（电压型信号继电器）两种，图 5-12 为这两种信号继电器的内部接线图。信号继电器接入保护回路的接线方式也有两种，如图 5-13 所示。

四、注意事项

继电器是继电保护及自动装置的主要组成部分，运行状态是否良好是被保护网络安全运行的关键。因此，在运行中应做好检查维护工作，检查及维护工作的项目有：

1. 要经常清扫继电器外壳尘土，保持清洁干净。清扫时应避免大的振动以免引起保护装置的误动。

2. 检查继电器的触点是否有烧损、断裂及脱轴现象，各连接线接触是否坚固。

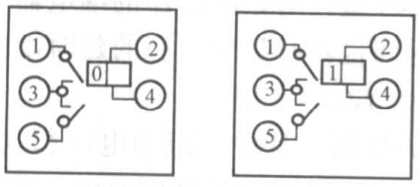


图 5-12　信号继电器的内部接线图
（a）电压型信号继电器；（b）电流型信号继电器

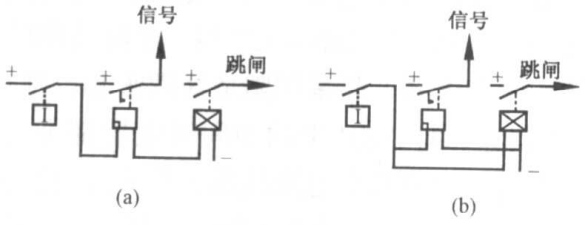


图 5-13　信号继电器的接线方式
（a）串联连接信号继电器；（b）并联连接信号继电器

3. 继电器外壳不应有破损现象，密封应严密。

4. 对长期带电的继电器应检查线圈有无过热、冒烟及烧焦气味，触点应无抖动和异常现象。

5. 检查继电器指示元件是否与运行方式相符。

6. 检查导电部分的螺丝、接线柱以及连接导线的部件等，不应有氧化、开焊及接触不良等现象，螺丝及接线柱均应有垫片及弹簧垫。

第二单元　继电保护的配置原则

一、学习目标

掌握本所继电保护的配置情况。

二、相关知识（继电保护的基本原理）

为了实现继电保护的功能，它必须能够区分系统正常运行与发生故障或不正常工作状态之间的差别。

电力系统发生短路故障时，有些参数发生变化，与正常运行时不同，例如电流增大、电压降低、线路始端测得的阻抗减小以及电流与电压之间的相位差发生变化等。根据这些参数的变化，可以构成各种不同原理的继电保护。反应电流增大而动作的保护称为过电流保护；反映电压降低而动作的保护为低电压保护；反应故障点到保护安装处之间的距离（或线路始端测量阻抗的减小）而动作的保护为距离保护（过低阻抗保护）。此外，尚可根据线路内部故障时，线路两端电流相位差发生的变化构成各种差动原理的保护。

继电保护装置一般是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成，其原理框图如图 5-14 所示。测量部分测量被保护元件某些运行参数的变化，并与保护的整定值进行比较，以判断被保护元件是否发生故障。如果运行参数达到或超过整定值，测量部分向逻辑部分发出信号，表明发生了故障，且保护装置已经起动。逻辑部分接受测量部分送来的信号后，按照预定的逻辑条件，判断保护装置是否该动作于跳闸，即实现选择性的要求，并向执行部分发出信号。执行部分根据逻辑部分送来的信号，按照预定的任务，动作于断路器跳闸或发出信号。

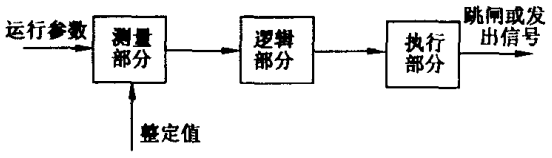


图 5-14　继电保护装置基本组成框图

三、工作程序

（一）输电线路继电保护的配置

1. 反应相间短路的电流和电压保护

在电力系统中，输电线路发生相间短路故障的特点是，线路中的电流突然增大、电压突然下降。由于电流突然增大（超过整定值）而引起电流继电器动作的保护，就是线路的继电保护。根据保护的工作原理，可分为定时限过电流、反时限过电流、电流速断及电压速断等保护。

2. 线路的方向过电流保护

一般的过电流保护只靠动作时限获得选择性，但对于双侧电源的线路和环形网络，要实现保护的选择性，须在各电流保护上加装一方向元件，构成方向过电流保护。

3. 线路的接地保护

在中性点直接接地系统中通常采用零序电流保护作为线路单相接地故障的保护。而在小接地电流系统中，单相接地并不影响正常供电，因此只列为不正常的工作状态。

（1）小电流接地系统，可通过交流绝缘监察装置来发出信号并判断故障地点；

（2）中性点直接接地系统，可利用故障线路的零序电流大于非故障线路的零序电流这一特点，来实现有选择的零序过电流保护。

4. 线路的距离保护

线路的方向过电流保护尽管能实现双电源辐射型网络和单电源环形网络有选择性地动作，但越靠近电源，要求保护的动作时限越长。而越靠近电源短路电流越大，越需要保护快速地动作切除故障。因此，对 35kV、110kV 环网和 220kV 以上的网络，为保证有选择而又迅速地切除故障，应采用距离保护。

5. 横差保护

在平行的双回输电线路上，正常运行时，两线路的电流和相位相等；当一回线路故障时，通过两线路故障电流的大小将不等，利用这个特点便可构成横差保护。

（二）电力变压器继电保护的配置

变压器保护是变电所中最重要的保护装置。尽管变压器的结构可靠，但运行经验表明，在实际运行中仍可能发生各种故障和不正常的运行情况。变压器故障对系统的安全运行和供电可靠性会带来严重的影响，因此，必须对变压器装设专用的继电保护装置。

电力变压器都为油浸式的，其高、低压绕组均在油箱内，故在变压器内部发生相间短路的可能性较小。其常见的内部故障是匝间短路；常见的外部故障是绝缘套管闪络或击穿，这些故障可能引起出线端相间短路或单相碰接外壳。此外，变压器还可能出现外壳损坏而漏油及过负荷等不正常的工作状况。为此，变压器通常需装设下列保护装置：

1. 瓦斯保护

容量在800kVA（车间内容量为400kVA）以上的变压器应装设瓦斯保护，作为变压器油箱内部故障和油面降低的主保护。重瓦斯保护作用于跳闸，轻瓦斯保护作用于信号。

2. 纵差动保护或电流速断保护

单独运行的、容量在10000kVA（并列运行时，容量在6300kVA）及以上的变压器，采用纵差动保护，作为变压器内部绕组、绝缘套管及引出线相间短路的主保护。对容量在10000kVA以下的变压器，且其过电流时限大于0.5s，可用电流速断保护代替纵差动保护。对于2000kVA以上的变压器，当电流速断的灵敏度不能满足时，则也宜装设纵差动保护。

3. 过电流保护

作为变压器外部相间短路及瓦斯和纵差动（或电流速断）保护的后备保护。

4. 零序电流保护

当变压器中心点直接接地或经放电间隙接地时，装设零序电流保护，以提高发生单相接地时保护的灵敏度。

5. 过负荷保护

变压器过负荷时，一般由保护发出信号；但在无人值班的变电所内，也可作用于跳闸或自动切除一部分负荷。

（三）母线保护的配置原则

变电所中6～10kV母线一般都不装设专用的母线保护，只有当出线多、负荷性质又极其重要的双母线或单母线分段的母线上装设差动保护。在双电源或多电源的35kV母线上，一般需装设母线差动保护。

四、注意事项

线路故障可根据各段保护动作的情况来确定巡线的范围。

1. 当速断Ⅰ段动作时，应在本线段范围内寻找故障。

2. 当Ⅱ段保护动作时，可在本段线路末端和下段线路首端范围内寻找故障。

3. 过流保护动作时，故障可能发生在下段线路的首端之后。

第二节　检查断路器的控制、信号回路

第一单元　断路器控制、信号回路的检查

一、学习目标

能对断路器控制、信号回路的常见异常情况进行检查及处理。

二、工作程序

（一）断路器控制、信号回路熔断器熔断的处理

信号回路熔断器熔断后，信号灯熄灭；控制回路熔断器熔断后，有预告信号和光字牌“控制熔断器熔断”出现。此时，值班人员应尽快更换熔体。更换时，注意应当使用同样规格的熔体备用件。

（二）端子排连接松动的处理

二次回路中任何端子排都应安装牢固，接触良好。若发现二次回路端子排接线松动，甚至有发热现象，应立即紧固。注意紧固时不要误碰其他端子排，更不要造成端子间的短路。

（三）小母线引线松脱的处理

小母线引线松脱是在巡视检查中不易发现的隐患。变电所中小母线很多，对小母线引线接触不良缺陷应根据仪表、信号灯、光字牌等出现的现象来分析、判断。发生故障要及时报告工段（区）安排检修。

（四）指示仪表卡涩、失灵

指示仪表是运行人员的眼睛，如果指示错误或无指示，将会造成值班人员的错误判断。仪表无指示的可能原因有：回路断线，接头松脱，熔断器熔体熔断，指针卡死，表针损坏。

三、注意事项

1. 发现以上异常现象应尽快进行处理。

2. 查找故障时，必须遵守《电业安全工作规程》和现场规程中有关规定。

第二单元　断路器的操作

一、学习目标

能对断路器进行操作、控制。

二、工作程序

（一）断路器的控制开关

发电厂和变电所中常见的控制开关主要有两种类型，一种是跳、合闸操作分两步进行的，手柄有两个固定位置和两个操作位置的控制开关；另一种是跳、合闸操作只用一步进行的，手柄有一个固定位置和两个操作位置的控制开关。前者广泛用于火力发电厂和有人值班的变电所中，后者主要用于遥控及无人值班的变电所及水电站中。

1）LW2 系列转换开关。图 5-15 为 LW2—Z 型控制开关的外型。

控制开关的正面为一个操作手柄，安装于屏前，与手柄固定连接的转轴上装有数节触点盒，触点盒安装于屏后。每个触点盒中都有四个固定触点和一个动触点：动触点随转轴转动；固定触点分布在触点盒的四角，盒外有供接线用的四个引出端子。依动触点的凸轮与簧片的形状及安装位置的不同，构成不同型式的触点盒。触点盒是封闭式的，每个控制开关上所装的触点盒的节数及型式可根据设计控制回路的需要进行组合，所以这种开关又称为封闭式万能转换开关。

LW2 系列封闭式万能转换开关在发电厂和变电所中应用很广，除了在断路器及接触器等的控制回路中用做控制开关外，还在测量表计回路、信号回路、各种自动装置及监察装置

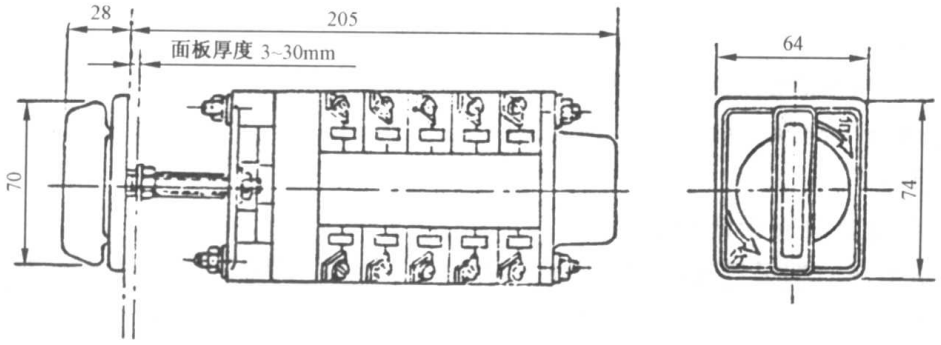


图 5-15　LW2 – Z 型控制开关的外形

回路以及伺服电动机回路中用做切换开关。

LW2 系列转换开关是旋转式的，它从一种位置切换到另一种位置，是通过将手柄向左或向右旋转一定角度来实现的。可以每隔 90°角设一个定位，也可以每隔 45°角设一个定位，前者最多有四个定位，后者最多有八个定位。定位的数目可以用限位机构加以限制。操作手柄可以做成在操作后自动复归原位的，也可以做成不能自动复归的。在控制回路中发跳、合闸命令的触点要求只在发命令时接通，因此应当选用能够自动复归的，其他做切换用的开关不要求带自复机构。

根据手柄的构造（有无内附信号灯）、有无定位及自复机构，LW2 系列封闭式转换开关有如下不同型式：

LW2 – YZ	手柄内带信号灯，有自复机构及定位；
LW2 – Z	有自复机构及定位；
LW2 – W	有自复机构；
LW2 – Y	手柄内带信号灯，有定位；
LW2 – H	手柄可以取出，有定位；
LW2	有定位。

其中 LW2 – YZ、LW2 – Z 及 LW2 – W 三种型式可以做控制开关用；LW2 – H 型用于需要互相闭锁的场合，例如同期系统中，LW2 – Y 型用于需要利用手柄中的信号灯监视熔断器状态的场合，例如直流系统中，LW2 型广泛用于一般切换电路中。

根据动触点的凸轮和簧片形状以及在转轴上安装的初始位置不同，触点盒可为 14 种型式，其代号为：1、1a、2、4、5、6、6a、7、8、10、20、30、40、50 等，如图 5-16 所示。其中动触点的基本类型为两种：一种是触点片紧固在轴上，随轴一起转动的；另一种触点片是与轴有一定角度的相对运动（自由行程）的。后一种类型触点当手柄转动角度在其自由行程以内时，可以保持在原来的位置上不动。上述的 1、1a、2、4、5、6、60、7、8 型触点是紧随轴转动的；10、40、50 型触点在轴上有 45°的自由行程；20 型触点在轴上有 90°的自由行程；30 型有 135°的自由行程。有自由行程的触点只适用于信号回路，其触点切断能力较小。

LW2 系列转换开关的额定电压为 250V，当电流不超过 0.1A 时，允许使用电压为 380V。其触点切断能力如表 5-1 所示。

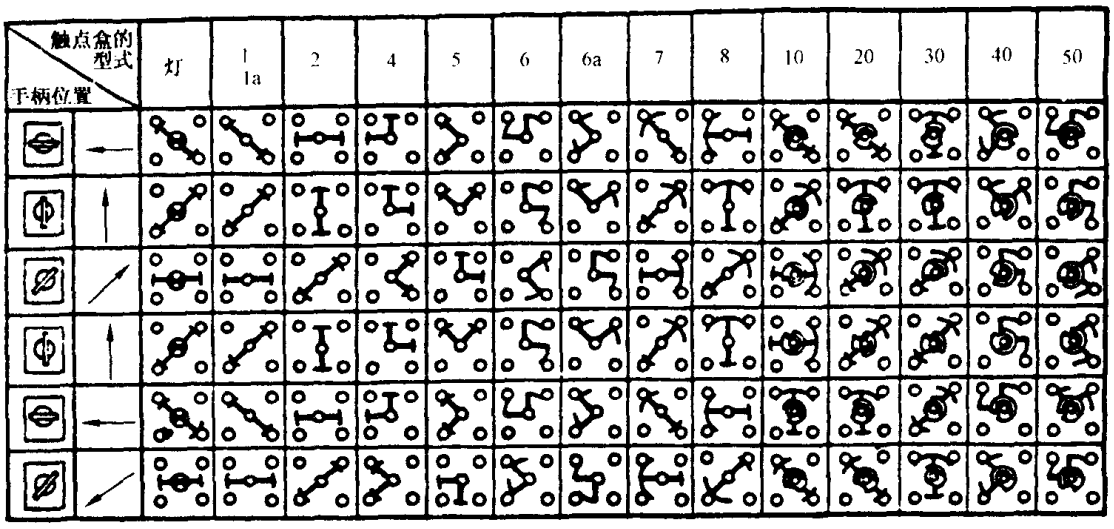


图 5-16　LW2－Z 和 LW2－YZ 型控制开关中各型
触点盒的触点随手柄转动示意图（正视图）

表 5-1　　**LW2 系列转换开关的触电切断容量**　　（A）

电流种类 / 负荷性质	交流		直流	
	220V	127V	220V	110V
纯电阻	40	45	4	10
电感	15	23	2	7

经常闭合的触点允许长期通过的电流为 10A。1a、10、20、30、40、50 等型信号触点的容量为表 5-1 中所列数值的 10%。

2）触点图表。为了说明操作手柄在不同位置时触点盒内各触点的通、断情况，一般列出触点图表。图 5-17 所示为 LW2—Z—1a、4、6a、40、20、60/F8 型控制开关的触点图表。

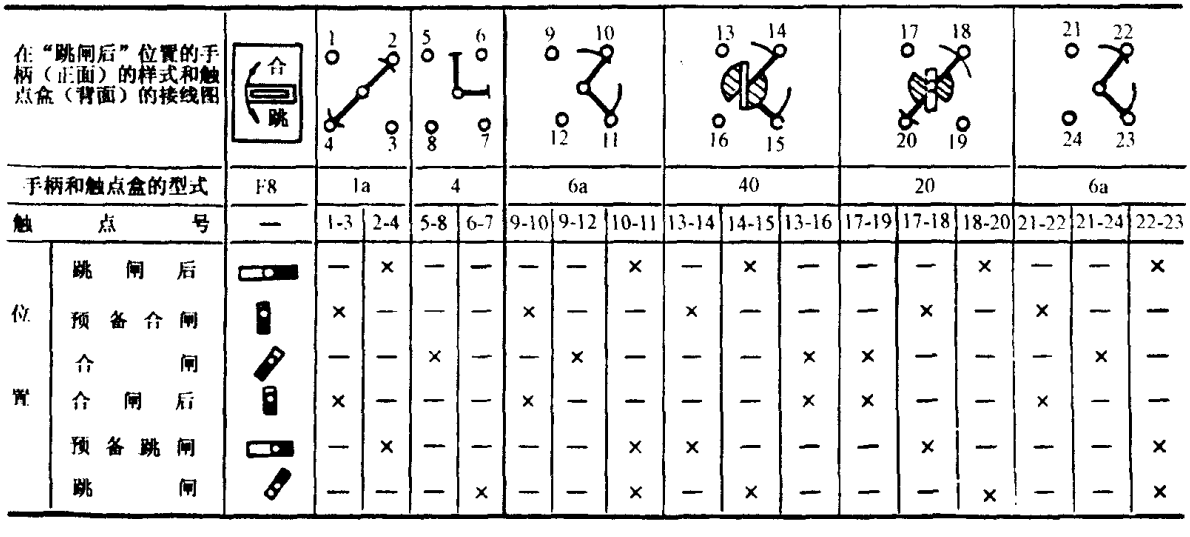


图 5-17　LW2－Z－1、1a、4、6a、40、20、6a/F8 控制开关触点图表

型号中：LW2—Z 为开关型号；1a、4、6a、40、20、60 为开关上所带触点盒的型式，它们的排列次序就是从手柄处算起的装配顺序；斜线后面的 F8 为面板及手柄的型式。面板有两种，方形用 F 表示；圆形用 O 表示。手柄有 9 种，分别用数字 1～9 表示。

表中手柄式样是正面图，这种控制开关是有两个固定位置（垂直和水平）和两个操作位置（由垂直位置再顺时针转 45°和由水平位置再逆时针转 45°）的开关，由于有自由行程的触点不是紧跟着轴转动，所以按操作顺序的先后，触点位置实际上有六种，即："跳闸后"，"预备合闸"，"合闸"，"合闸后"，"预备跳闸"和"跳闸"。其操作程序是：如断路器是在断开状态，操作手柄是在"跳闸后"位置（水平位置），需要进行合闸操作时，应首先顺时针方向将手柄转动 90°至"预备合闸"位置（垂直位置），然后再顺时针方向旋转 45°至"合闸"位置，此时 4 型触点盒内的触点 5～8 接通，发出合闸命令，此命令称为合闸脉冲。合闸操作必须用力克服控制开关中自动复位弹簧的反作用力。当操作完成松开手后，操作手柄在复位弹簧的作用下自动返回到原来的垂直位置，但这次复位是在发出合闸命令之后，所以称其为"合闸后"位置。从表面上看，"预备合闸"与"合闸后"手柄是处在同一个固定位置上，但从触点图表中可以看出，对于具有自由行程的 40、20 两种型式的触点盒，其接通情况是前后不同的，因为在进行合闸操作时，40、20 型触点盒中的动触点随着切换，但在手柄自动复归时，它们仍保留在"合闸"时的位置上，未随着手柄一起复归。

跳闸操作是从"合闸后"位置（垂直位置）开始，逆时针方向进行。即先将操作手柄逆时针方向转动 90°至"预备跳闸"位置，然后再继续用力旋转 45°至"跳闸"位置。此时 4 型触点盒中的触点 6～7 接通，发出跳闸脉冲。松开手后，手柄自动复归，此时的位置称为"跳闸后"位置。这样，跳、合闸操作都分成两步进行，对于防止误操作有很大的意义。

LW2—YZ 型控制开关与 LW2—Z 型在操作程序上完全相同，只是前者操作手柄内多一个指示灯，其触点图表如图 5-18 所示。

LW2—W 型控制开关只有一个固定位置（垂直位置），顺时针方向旋转 45°为合闸操作，逆时针方向旋转 45°为跳闸操作，操作后即自动回到原位。

在看触点图表时，必须明确图表中所给出的是触点盒背面接线图，即是从屏后看的，而

在"跳闸后"位置的手柄（正面）的样式和触点盒（背面）的接线图		合 跳	1 2 4 3	5 6 8 7	9 10 12 11	13 14 16 15	17 18 20 19	21 22 24 23						
手柄和触点盒的型式		F1	灯	1a		4		6a			40			20		
触点号		—	—	5-7	6-8	9-12	10-11	13-14	13-16	14-15	17-18	18-19	17-20	21-23	21-22	22-24
位置	跳闸后			—	×	—	—	—	—	×	—	×	—	—	—	×
	预备合闸			×	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	×	—
	合闸			—	—	×	—	—	×	—	—	—	×	×	—	—
	合闸后			×	—	—	—	×	—	—	—	—	×	×	—	—
	预备跳闸			—	×	—	—	—	—	×	×	—	—	—	×	—
	跳闸			—	—	—	×	—	—	×	—	×	—	—	—	×

图 5-18　LW2－YZ－1a、4、6a、40、20/F1 控制开关触点图表

手柄是从屏前看的。两者对照看时，当手柄顺时针方向转动，触点盒中的可动触点应逆时针方向转动，两者恰好相反。图表中有“×”号者表示触点接通，有“-”号者表示断开。

（二）断路器的控制

下面以具有灯光监视采用电磁操作机构的断路器控制回路为例加以说明。

图 5-19 所示是具有 CD10 型电磁操动机构的断路器控制回路。图中 1L+ 和 1L- 为控制小母线，它与操作电源的直流母线相连，是控制回路的电源；L（+）是闪光小母线。当控制开关手柄位置和断路器位置不对应时，闪光装置起动，产生断续脉冲送至闪光小母线。所谓“不对应”即控制开关与断路器位置不一致。例如断路器原来是合闸位置，控制开关置于“合闸后”位置，两者是对应的。当发生事故断路器自动跳闸时，控制开关仍在“合闸后”位置，两者即为不对应。同理，当断路器和控制开关均在断开位置时，由自动装置将断路器合上，而控制开关仍在“跳闸后”位置，亦为不对应。此时会接通闪光电源，指示灯闪光。2L± 为断路器的合闸电源，是为断路器合闸线圈提供电能的合闸小母线。该控制回路的动作情况叙述如下。

1. 合闸状态

当断路器处于合闸状态时，手柄 SA 在“合闸后”位置，此时断路器辅助触点中的动合触点 Q2 是闭合的，SA 的触点 16-13 也是闭合的，回路 1L+→16-13→红灯 HR→附加电阻

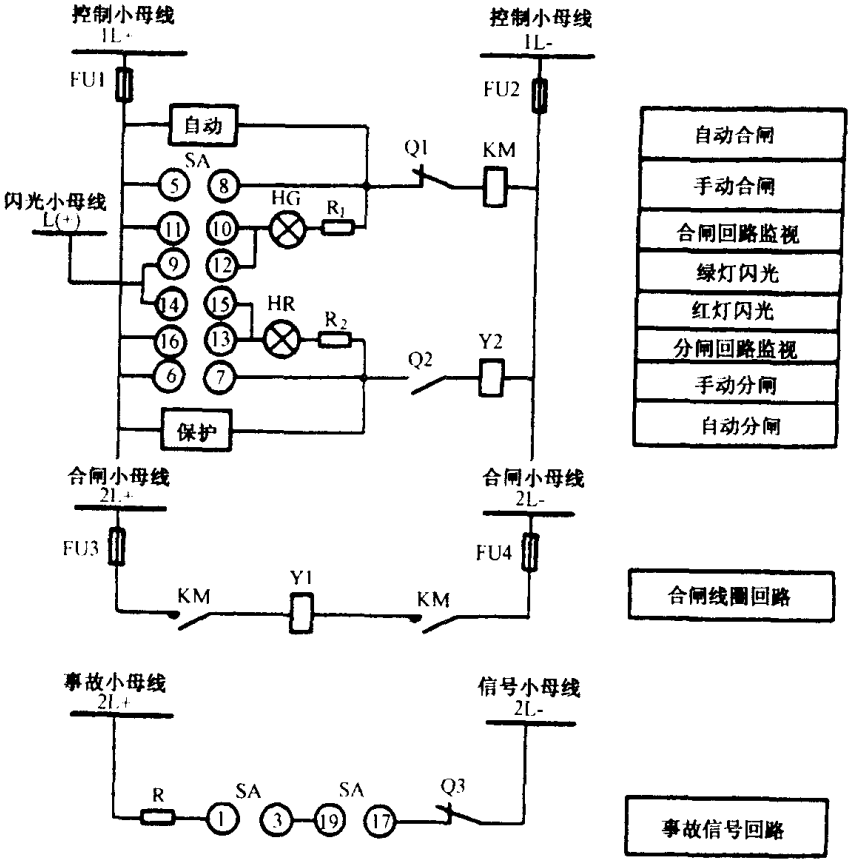


图 5-19 灯光监视的断路器控制回路

SA—控制开关；Q1、Q2、Q3—断路器辅助接点；KM—合闸接触器；Y1—合闸线圈；Y2—跳闸线圈

R2→常开触点 Q2→断路器跳闸线圈 Y2→1L－，形成通路，红灯亮且发平光。此时跳闸线圈 Y2 中虽有电流流过，但因红灯 HR 和 R2 电阻的分压，Y2 中的电流很小，电磁力不足以将跳闸铁心吸上，断路器不会动作跳闸。指示灯所以要带附加电阻，是防止灯泡两端短路时造成断路器误跳闸。红灯发平光，一方面指示断路器在合闸位置，另一方面说明电源及跳闸线圈回路完好，可对下次要操作的跳闸回路起监视作用。如运行中红灯熄灭，若不是红灯的灯丝断开所引起的，则表明电源熔断器熔断或跳闸线圈回路断线。在这种情况下进行下一步操作跳闸或继电保护动作跳闸时，断路器将拒绝动作，因此必须及时检查修复。所以，这种电路就称为具有灯光监视的控制回路。

2. 跳闸状态

断路器处于跳闸状态时，控制开关 SA 在“跳闸后”位置，此时回路 1L＋→11－10→绿灯 HG→R1→Q1→KM→1L－接通，绿灯发平光，同样，由于绿灯 HG 和 R1 电阻的作用，使 KM 中流过的电流较小，KM 不动作，因而也不会使断路器合闸。同理，由于绿灯 HG 是接在合闸操作回路，它监视着合闸回路的完好性，为下一步合闸操作做好准备。

3. 手动跳闸

在进行断路器手动跳闸操作时，首先将手柄反时针方向旋转到预备跳闸位置，此时断路器处于合闸状态，控制开关 SA 处在预备跳闸位置，两者是不对应的，SA 的触点 13－14 接通，使闪光装置起动，这时回路 L（＋）→13－14→RD→Q2→Y2→1L－接通，红灯闪光，以引起值班人员的注意，然后将 SA 手柄继续旋转到跳闸位置，这时 SA 的触点 6－7 接通，将红灯和附加电阻短接，因而流过跳闸线圈 Y2 的电流增大，使操动机构脱扣，断路器跳闸。断路器跳闸后，一方面其辅助动合触点 Q2 断开，使跳闸线圈回路断开；另一方面辅助动断触点 Q1 接通，使合闸接触器线圈 KM 及绿灯 HG 回路，经 SA 的触点 11－10 接通（此时触点 11－10 在跳闸操作及跳闸后均是接通的）。绿灯 HG 发平光，指示断路器已经断开。随后运行人员松手，控制开关自动反弹到“跳闸后”位置，此时 SA 的触点 6－7 断开，触点 11－10 仍接通，故绿灯一直发平光。虽然合闸接触器线圈 KM 有电流流过，但电流很小，不会误合闸。绿灯还监视了电源及合闸回路是否完好。

4. 手动合闸

在进行断路器手动合闸操作时，先旋转控制开关手柄到预备合闸位置，此时控制开关位置与断路器位置不对应，绿灯发出闪光。然后将手柄继续顺时针方向旋转到合闸位置，控制开关 SA 的 5－8 触点接通，将绿灯和附加电阻短接，流过合闸接触器线圈的电流增大，合闸接触器动作，接通断路器操动机构的合闸线圈，使断路器合闸。

断路器合闸后，辅助动断触点 Q1 断开，使合闸接触器线圈 KM 电路断开，因而合闸接触器触点断开，使合闸线圈 Y1 断电。因 SA 的触点 16－13 在合闸位置是接通的，断路器合闸后，辅助动合触点 Q2 闭合，故红灯发平光。红灯亮指示断路器已合闸，随后手柄弹回到“合闸后”位置，SA 的触点 5－8 断开，而触点 16－13 仍接通，故红灯一直发平光，监视着电源及跳闸回路为完好。

5. 事故跳闸

运行中的一次电路发生事故时，继电保护动作，保护出口继电器触点闭合，同样可将红灯和附加电阻短接，接通跳闸回路，使断路器跳闸。断路器跳闸后，一方面控制开关 SA 依然在“合闸后”位置，由于断路器与控制开关位置不对应，回路 L（＋）→9－12→HG→R1

→Q1→KM→1L－接通，绿灯发闪光；另一方面又通过断路器的辅助动断接点 Q3 和 SA 的 1－3 及 19－17 接通事故信号回路，发出事故信号，值班人员根据事故音响信号知道了发生事故，并根据绿灯闪光知道是哪一台断路器发生了事故跳闸。处理事故时，应首先停止音响信号，保留闪光。在事故处理完毕后，再将 SA 手柄旋转到“跳闸后”位置，使断路器位置与控制开关位置对应，闪光便解除，同时事故信号回路也断开。

6. 自动合闸

断路器自动合闸时，由自动装置（如自动重合闸装置）动作将绿灯 HG 和附加电阻短接，合闸回路接通，使断路器合闸。但由于控制开关 SA 依然处于“跳闸后”位置，与断路器的位置不对应，故自动合闸后红灯发闪光。

综上所述，可得出如下几点：

（1）红灯亮表示断路器在合闸状态；绿灯亮表示断路器在跳闸状态。

（2）手动操作时，在预备合闸和预备跳闸时灯光发闪光，以提醒操作人员注意，防止误操作，操作完毕，红灯发平光；自动操作的结果是红灯发闪光。

（3）当控制回路断线时，断线回路的指示灯不亮，若为熔断器 FU1、FU2 熔断时，红灯和绿灯均不亮。

7. 断路器的“防跳”闭锁电路

图 5-19 所示的控制回路是未设电气防跳闭锁电路的。所谓防跳就是防止断路器合闸到有故障的线路上时，发生多次合、跳闸的跳跃现象。这是因为合闸于有故障线路时，SA 的触点 5－8 接通，使断路器合闸。在合闸的瞬间，线路的短路故障立即反映出来，继电保护即刻动作于故障线路使之跳闸。但若此时操作人员还未来得及松手使控制开关手柄仍停在“合闸”位置，或在控制开关 SA 触点 5－8 及自动装置的合闸触点被卡死的情况下，断路器就会再次合闸。接着继电保护又再次动作使其跳开，如此循环，形成断路器的跳跃现象。一直到控制开关的手柄弹回，卡住的触点断开，才停止跳跃。这种断路器的跳跃现象是不允许的，因为多次跳跃，断路器短时反复断、合短路电流，极易使其损坏；另一方面也使一次系统的工作受到严重影响，易破坏系统稳定。为此，必须采取措施，防止跳跃。

“防跳”措施有机械防跳和电气防跳两种。机械防跳即指断路器操作机构本身具有防跳性能，如 6～10kV 断路器的电磁型操动机构（CD2）就具有机械防跳措施。电气防跳是指不管断路器的操动机构本身是否带有机械闭锁，均在断路器控制回路中加设电气防跳电路，即加装防止跳跃的闭锁继电器。

图 5-20 所示为具有防跳跃闭锁继电器的控制回路。此回路采用了一个防跳跃闭锁继电器 K1，该继电器有一个电压线圈和一个电流线圈，并有两对动合触点和两对动断触点。电流线圈与断路器跳闸线圈 Y2 串联。在 SA 的触点 5－8 接通后的合闸过程中，若一次电路有故障，继电保护动作，出口继电器触点 K2 闭合，使断路器跳闸。此时 K1 的电流线圈中通过故障电流，使 K1 动作，一方面其动断触点 K1.2 断开，切断合闸回路，以免再次合闸；同时其动合触点 K1.1 闭合使防跳闭锁继电器的电压线圈经 SA 的触点 5－8 形成回路，而使 K1 得以自保持，直至 SA 的手柄返回，触点 5－8 断开为止。

在图 5-20 中，防跳闭锁继电器 K1 还有一对动合触点 K1.3 串有电阻 R 的回路，其作用是保护继电保护出口继电器的触点 K2。因为当由继电保护动作使断路器跳闸时，跳闸后，本应由断路器的辅助动合触点 Q2 来切断跳闸回路的电流，但若在 Q2 断开之前，继电保护

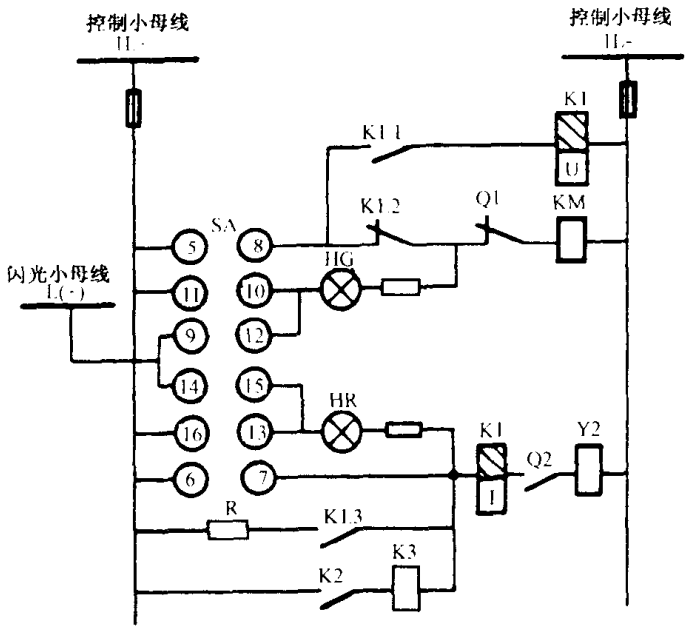


图 5-20　具有电气防跳的断路器控制回路

Q1、Q2—断路器辅助接点；KM—接触器；K1—防跳跃闭锁继电器；
SA—控制开关；K2—出口继电器触点；K3—信号继电器

出口继电器就返回了，则其触点 K2 就会断开，这样就由触点 K2 承担了切除跳闸回路电流的任务。由于电流过大，会烧坏此触点，为此，并联一触点 K1.3 可使跳闸电流在 K2 断开后，仍有通路，直至最终由断路器辅助动合触点 Q2 来切断跳闸回路电流，从而保护了触点 K2。

与触点 K1.3 串联的电阻的作用是，当出口继电器触点 K2 回路串接有电流型的信号继电器线圈 K3 时（见图 5-20 所示），若 K2 闭合，则信号继电器 K3 会流过跳闸电流而起动，但若 K3 还来不及掉牌而触点 K1.3 就已经闭合时，如果无电阻 R 串入，就将电流型信号继电器的线圈 K3 短接，那么，K3 失电而不能掉牌。所以，串联电阻 R 可使触点 K1.3 闭合后，K3 中仍有电流流过，从而保证掉牌可靠。电流型信号继电器线圈的电阻通常小于 1Ω，故 R 的阻值选取 1Ω 即可。若保护出口继电器触点回路不串接电流型信号继电器线圈时，则电阻 R 也没有必要接入。

三、注意事项

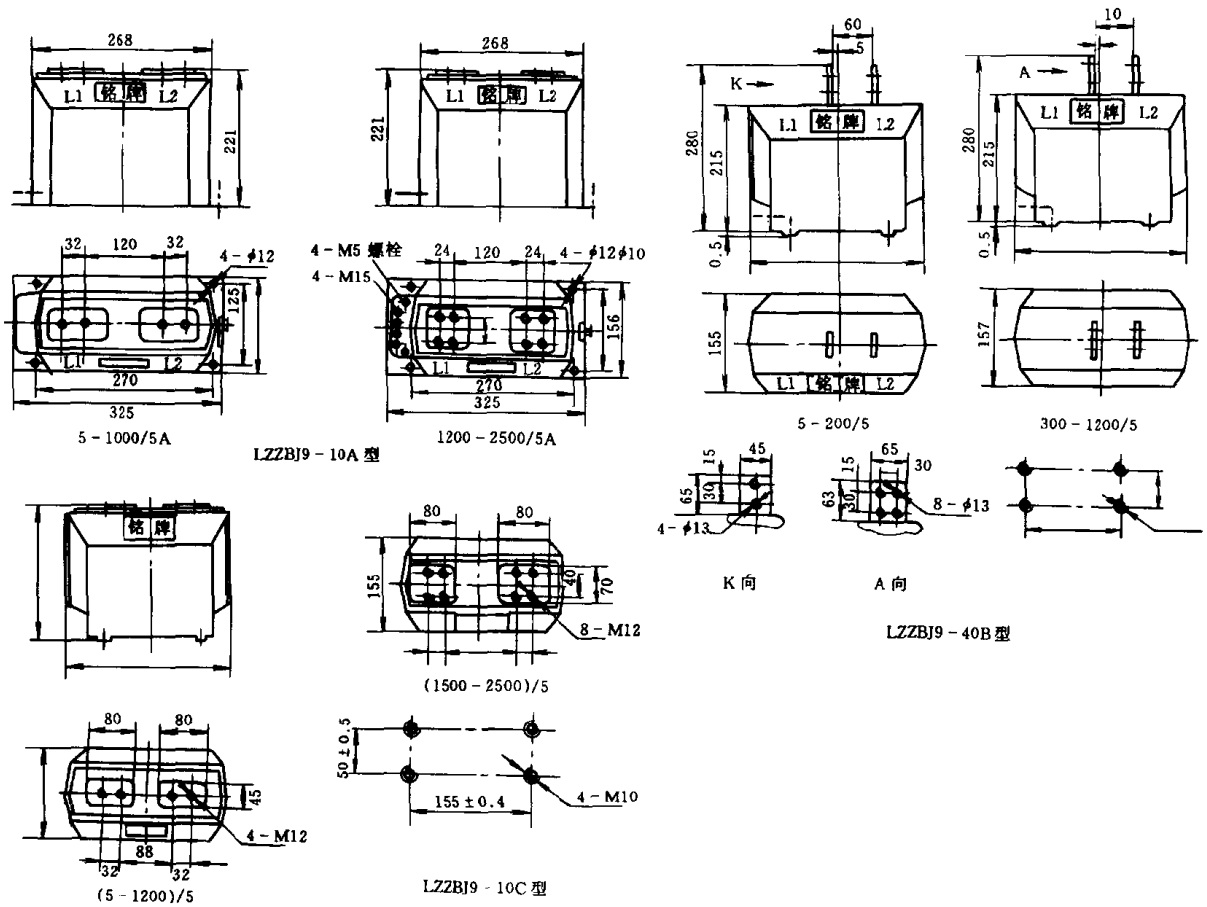
在发电厂和变电所内对断路器的控制，按控制地点可分为集中控制与就地控制两种。一般对主要设备，如发电机、主变压器、母线分段或母线联络断路器、旁路断路器、35kV 及以上电压的线路以及高、低压厂用工作与备用变压器等，采用集中控制方式，对 6～10kV 线路以及厂用电动机等，一般采用就地控制方式。所谓集中控制方式就是集中在主控制室（或单元控制室）内进行控制，被控制的断路器与主控制室之间一般都有几十米到几百米的距离，因此也称之为“距离控制”。所谓就地控制就是在断路器安装地点进行控制。将一些不重要的设备下放在配电装置内就地控制，可以大大地减小主控制室的建筑面积和节省控制电缆。

断路器的控制通常是通过电气回路来实现的，为此必须有相应的二次设备。在主控制室的控制屏台上应当有能发出跳、合闸命令的控制开关（或按钮），在断路器上应当有执行命

LZZBJ9—10 型 10kV 电流互感器

额定一次电流(A)	级次组合	准确级及额定输出(VA)			保护级		额定短时热电流(kA)/时间(s)	额定动稳定电流(kA)
		0.2 级	0.5 级	10P 级	额定输出(VA)	准确级及准确限值系数		
5	0.2/10P 0.5/10P	10	10	15	15	10	2/1	5
10							4/1	10
15							6/1	15
20							8/1	20
30							12/1	30
40							16/1	40
50							20/1	50
75							32/1	90
100							45/1	100
150 ~ 300						15	45/1	110
400 ~ 500							45/1	110
600 ~ 1000							63/1	120
1200 ~ 2500							80/1	130

（五）外形及安装尺寸



型式试验报告编号	(1999) 互字第 263	企业名称	重庆山城电器厂	
试验机构	电力工业部电气设备质量检验测试中心	地　址	重庆巴南区鱼洞镇纺织一村 94 号	
应用业绩： 该产品已有 3 千余台在重庆电器成套设备制造厂使用，有千余台在重庆电业局和成都电业局使用，无质量问题		电话	023-66221609	联系人
		传真	023-66218239	童家华

许合闸，同时应发出信号。

弹簧操动机构的断路器控制电路工作原理还有下述特点：

（1）因断路器的合闸是靠合闸弹簧作用，所以控制开关 SA 直接控制操动机构的合闸线圈 Y1。

（2）控制回路中加入了储能电动机的控制回路和三对操动机构的辅助触点 S1、S2 和 S3。当弹簧拉紧不到位时，S2、S3 闭合，起动储能电动机，拉紧弹簧。弹簧拉紧后 S2、S3 断开，电动机停转。S1 为动合辅助触点，弹簧拉紧后，S1 接通，以保证只有在弹簧拉紧的条件下，合闸回路才成通路，可以进行合闸操作。

（3）当断路器装有自动重合闸装置时，由于合闸弹簧正常运行处于储能状态，所以能可靠地完成一次重合闸的动作。如果重合不成功又跳闸，将不能进行第二次重合。但为了保证可靠“防跳”，电路中仍有防跳设施。

（4）当弹簧未拉紧时，操动机构的辅助动断触点 S4 闭合，发“弹簧未拉紧”的信号。

（二）闪光装置

在发电厂变电站中，常用灯光闪光的方式提示运行人员设备处于某种特殊状态。如有故障发生时，继电保护装置使相应断路器跳闸，监视该断路器运行的位置信号灯则发出闪光信号。所以，发电厂、变电站的直流系统通常装有闪光装置，提供闪光电源。

闪光信号是由各执行元件（如继电保护触点、断路器辅助触点等）将信号灯接于闪光小母线与负电源之间，并使闪光小母线处于带正电与不带电的状态，使信号灯发出闪光。下面是一种常用的闪光装置及其启动回路。

图 5-22 所示为由闪光继电器（DX—3 型）构成的闪光装置电路图，SB 为试验按钮，HW 为白色信号灯。

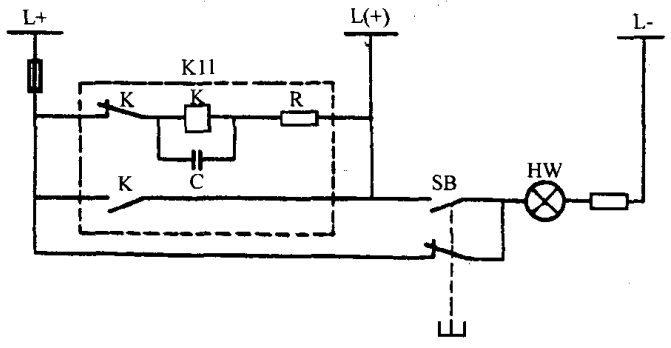


图 5-22　用闪光继电器构成的闪光装置电路图

闪光继电器 K11 是由一个中间继电器 K、电容 C、电阻 R 构成。正常工作时，试验按钮 SB 的动合触点断开，闪光继电器不启动；SB 的动断触点闭合，白灯 HW 亮，以监视直流母线和熔断器。当按下试验按钮 SB 时，其动断触点断开，动合触点闭合，接通中间继电器 K 的线圈回路。因该回路中串有电阻，故白灯 HW 很暗。这时，并联在中间继电器线圈上的电容 C 被充电，电容 C 两端电压逐渐升高，加在继电器上的电压也在逐渐升高。当电压达到它的动作电压时，继电器 K 的动合触点闭合，将正电源直接加在闪光小母线 L（+）上，白灯 HW 明亮。与此同时继电器 K 的动断触点断开，切断继电器线圈回路，电容器 C 开始对继电器 K 的线圈放电，经过一段延时，当电容 C 两端电压降到继电器 K 返回电压时，继电器 K 复归，白灯 HW 又变暗。接着电容 C 又开始充电，重复上述过程，使白灯连续闪光。当释放试验按钮 SB 后，一切恢复到正常工作状态，所以试验按钮 SB 可以试验闪光装置的工作情况。

可见，闪光小母线平时不带电，只有在闪光装置工作时，才间断地获得低电位和高电位，其间隔时间由 DX—3 型闪光继电器中电容 C 的充、放电时间决定。

三、工作程序

（一）断路器拒绝分闸的处理

当设备有故障，断路器的操动机构拒绝分闸，这可能是继电保护、操动机构和控制回路、直流电源等故障所造成。若是控制回路故障，则应检查分闸回路的正确性。采用信号灯监视操作回路熔断器完整性时，应经常监视信号灯是否亮着。若信号灯熄火，应首先检查是否灯泡坏了，换上好的灯泡试验；如果信号灯仍不亮，应检查分闸回路中的熔断器熔体是否熔断，必要时将它更换；若熔断器良好，则应认为分闸回路有断线情况，还可能是分闸线圈烧坏，或操作开关触点和断路器的辅助触点接触不良等引起。

（二）断路器误分闸的处理

当断路器自动分闸而该设备的保护装置未动作，且在分闸时主系统又未发现短路或接地现象，则说明断路器为误分闸。如不是误操作，且经检查不是操动机构的故障，则有可能是由于控制回路的异常造成的。

在图 5-23 所示分闸线圈的直流控制回路中，若发生 a 点和 b 点接地，使直流回路正、负极接地，就将造成断路器自动分闸。其故障电流方向如图中箭头所示。为此，在变电所中要求对操作回路的绝缘状态进行连续监视。当控制回路某一点发生接地时，立即发出信号。为了估计绝缘状态，信号装置上还设有电压表。当发现操作回路绝缘水平有所降低时，运行人员必须立即采取措施寻找接地点并消除之。如经检查控制回路的绝缘状态是良好的，则应对继电保护装置进行检查，看是否为保护装置误动作而使断路器自动分闸。

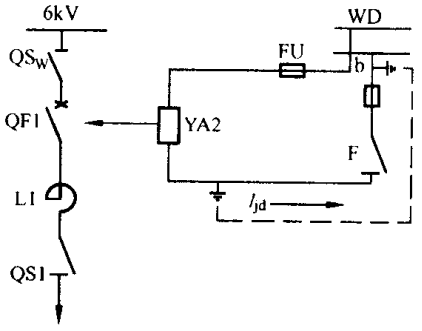


图 5-23　直流回路两点接地使断路器分闸

QF1—线路断路器；QS_W—母线隔离开关；QS1—线路隔离开关；L1—线路电抗器；I_{jd}—接地电流；YA2—跳闸线圈；WD—直流母线；FU—熔断器；F—断路器辅助接点

（三）断路器控制回路发生短路的处理

控制回路发生短路时，熔断器熔体熔断，发出信号，此时应排除故障后更换熔断器熔体。

如未排除故障点，熔断器熔体更换后会再次熔断。接点通过短路电流时会烧熔损坏，短路点会有电弧损伤现象。接点有烧伤的，该接点所控制的回路内可能有短路（因短路电流通过所致）。冒烟的线圈或烧坏的部件也可能是短路点。还要查回路中各元件的接线端子、接线柱等有无明显碰落，有无异物落上造成短路及碰金属外壳现象。若发现某一接点烧伤，可进一步查该接点所在回路中各元件，可测该回路电阻值是否较小，回路中各元件电阻值是否变小，有无损坏等。

若经上述检查未发现明显问题，当需查找的范围较大（回路分布较广）时，应采取措施缩小范围。

（四）断路器控制回路断线的处理

1. 对于无“控制回路断线”信号的断路器，发现红灯不亮时，应检查灯泡及灯具是否完好，操作熔断器是否熔断或接触不良，若灯泡、附加电阻、熔断器及控制电源正常，断路器的油压、气压在合格范围，则可能为跳闸回路断线。此时，全部保护失去作用，必须及时处理。

2. 当“控制回路断线”信号发出时，先检查操作回路熔断器是否熔断或接触不良，再

检查跳闸回路有无断线或接触不良之处。

四、注意事项

二次回路故障的检查，应重视分析判断，少走弯路。应重点先查故障范围内的绝缘薄弱环节及可能性较大的部分。

第三节　处　理　故　障

一、学习目标

能配合其他值班人员进行日常事故处理。

二、相关知识

（一）电力系统发生故障的原因

电力系统发生的每一次事故都有其一定的原因，如因设计、安装、检修和运行中存在的问题或设备各方面的缺陷都会引起事故的发生。除此以外，由于工作人员业务不熟练或违反规章制度也会造成事故。

（二）电力系统故障的种类

根据运行经验总结及事故统计可知，在电气方面比较严重的事故有以下几种：

（1）主要电气设备的绝缘损坏事故；

（2）电气误操作事故；

（3）电缆头与绝缘套管的损坏事故；

（4）高压断路器与操作机构的损坏事故；

（5）继电保护及自动装置的误动作或因缺少这些必要的装置而造成的事故；

（6）由于绝缘子损坏或脏污所引起的闪络事故；

（7）由于雷害所引起的事故；

（8）由于倒杆、倒塔、横担着火所引起的事故；

（9）导线及架空地线的断线事故；

（10）配电变压器事故。

（三）处理故障的原则

处理这些事故的一般原则是：

1. 发生事故时，值班员必须沉着、迅速、准确地进行处理，不应慌乱匆忙或未经慎重考虑即行处理，以免扩大事故。具体措施如下：

（1）尽速限制事故的发展，消除事故的根源，并解除对人身及设备安全的威胁；

（2）用一切可能的办法保持设备继续运行，对重要用户应保证不停电，对已停电的用户应迅速地恢复供电；

（3）改变运行方式，使供电恢复正常。

2. 处理事故时，除领导和当值人员外，其他外来的工作人员应退出事故现场。事前进入的人员应主动退出，不得妨碍事故处理。

3. 调度管辖范围内的设备发生事故时，值班员应将事故情况简单而准确地报告调度员，并听从调度员的命令进行处理。在处理事故的整个过程中，应与调度员保持密切的联系，并迅速地执行命令，作好记录。

4. 在事故处理的过程中，值班员除积极处理外，还应有明确的分工，要将事故发生及处理的过程详细地记入设备操作记录簿内。

三、工作程序

值班员处理事故时应遵照下列原则进行：

1. 根据表计指示、继电保护及自动装置动作情况和设备的外部征象判断事故前面情况。

2. 如果对人身和设备安全有威胁时，应立即解除这种威胁，必要时停止设备运行。反之，则应尽力保持或恢复设备的正常运行。应特别注意对未直接受到损害的设备进行隔离，保证它们的正常运行。

3. 迅速检查和正确判明事故性质、地点及范围。

4. 对所有未受到损害的设备，保持其运行。

5. 为防止事故扩大，必须主动将事故发生的时间、现象、设备名称和编号、跳闸断路器、继电保护和自动装置动作情况及频率、电压、潮流等的变化，迅速而正确地报告给当值调度员及有关领导。

6. 认真监视表计、信号指示，并作详细记录，所有电话联系均应录音，处理过程应作详细、准确记录。

四、注意事项

1. 事故处理时全部值班人员必须到自己的岗位上，集中注意力，迅速、正确地执行当值调度员命令。只有在接到当值调度员的命令或有明显和直接的危及人身安全或设备完整性时，方可停止设备的运行。

2. 如逢交接班时发生事故，则应由交班人员处理，接班人员做助手。待恢复正常时，再交班。但若一时不能恢复，则要经工区主任同意后才可交接班。

3. 当值调度员是事故处理的指挥人，变电所正值班员应及时将事故象征和处理情况向其汇报，并迅速而无争辩地执行调度命令。当值人员如果认为调度员命令有错误时，应予指出，并作必要解释，如当值调度员确认自己的命令正确时，变电所当值负责人（正值）应立即执行。如果值班调度员的命令直接威胁人身或设备安全，则无论在任何情况下，值班员均不得执行。此时，应立即将具体情况汇报生产主管领导，并按其指示执行。

4. 在下列情况下，当值人员可不经调度许可自行操作，结束后再汇报：

（1）对威胁人身安全和设备安全的设备停电；

（2）对已损坏的设备隔离；

（3）恢复所用电；

（4）确认母线电压消失，拉开连接在母线上有关的断路器。

5. 处理事故时，必须迅速、正确、果断，要“稳、准、快”，不应慌乱，必须严格执行接令、复诵、汇报、录音和记录制度，使用统一的调度熟语和操作术语，汇报内容应简明扼要。

6. 当恢复继电保护及自动装置的掉牌时，必须两人进行，即时做好记录。

思　考　题

一、名词解释

1. 继电保护的选择性

2. 瓦斯保护

二、问答题

1. 什么是断路器的“跳跃”？试画出带防跳跃继电器的断路器控制回路，并说明防跳跃原理。

2. 电力系统故障的种类有哪些？电力系统短路有什么后果？

3. 断路器控制回路断线应如何处理？

4. 断路器拒绝分闸应如何处理？

5. 断路器误分闸应如何处理？

变配电室值班电工 中级

第六章 监盘与抄表

第一节 监视变配电控制盘

第一单元 识读电气二次回路的接线图和安装图

一、学习目标

能看懂电气二次回路的接线图和安装图。

二、相关知识

(一) 二次回路的编号

为了便于施工和投入运行后进行维护检修，二次回路应进行回路编号。回路编号应做到：根据编号能了解该回路的用途和性质；根据编号能进行正确的连接。回路编号的要求是简单、易记、清晰和便于辨识。

二次回路编号的具体原则如下：

(1) 一般回路编号用二位至四位数字组成。表 6-1 为直流回路新旧编号对照表；而交流回路除有数字编号外还要标明回路的相别，可在数字编号前面增注文字符号，即在每相前加相别，用符号 U、V、W、N 表示。表 6-2 为交流回路数字编号。

表 6-1 直流回路数字编号

回路名称	新编号			旧编号		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
正电源回路	101	201	301	1	101	201
负电源回路	102	202	302	2	102	202
合闸回路	103	203	303	3 ~ 31	103 ~ 131	203 ~ 231
合闸监视回路	105	205	305	5	105	205
跳闸回路	133、1133、1233	233、2133、2233	333、3133、3233	33 ~ 49	133 ~ 149	233 ~ 249
跳闸监视回路	135、1135、1235	235、2135、2235	335、3135、3235	35	135	235
备用电源自动合闸	150 ~ 169	250 ~ 269	350 ~ 369	50 ~ 69	150 ~ 169	250 ~ 269
开关设备的位置信号	170 ~ 189	270 ~ 289	370 ~ 389	70 ~ 89	170 ~ 189	270 ~ 289
事故跳闸音响信号回路	190 ~ 199	290 ~ 299	390 ~ 399	90 ~ 99	190 ~ 199	290 ~ 299
保护回路	01 ~ 099 或 0101 ~ 0999			01 ~ 099 或 J1 ~ J99		

表 6-2　　交流回路数字编号

回路编号	用　途	U 相	V 相	W 相	中性线
保护装置及测量仪表电流回路	T1	U11 ~ U19	V11 ~ V19	W11 ~ W19	N11 ~ N19
	T1 - 1	U111 ~ U119	V111 ~ V119	W111 ~ W119	N111 ~ N119
	T1 - 2	U121 ~ U129	V121 ~ V129	W121 ~ W129	N121 ~ N129
保护装置及测量仪表电压回路	T1	U611 ~ U619	V611 ~ V619	W611 ~ W619	N611 ~ N619
	T2	U621 ~ U629	V621 ~ V629	W621 ~ W629	N621 ~ N629
	T3	U631 ~ U639	V631 ~ V639	W631 ~ W639	N631 ~ N639
经隔离开关辅助触点或继电器切换后的电压回路	6 ~ 10kV	U（W、N）760 ~ 769、B600			
	35kV	U（W、N）730 ~ 739、B600			
绝缘检查电压表的公用回路		U700	V700	W700	N700
回路编号	用途	A 相	B 相	C 相	中性线
旧回路编号组					
保护装置及测量仪表电流回路	LH	A401 ~ A409	B401 ~ B409	C401 ~ C409	N401 ~ N409
	1LH	A411 ~ A419	B411 ~ B419	C411 ~ C419	N411 ~ N419
	2LH	A421 ~ A429	B421 ~ B429	C421 ~ C429	N421 ~ N429
保护装置及测量仪表电压回路	YH	A601 ~ A609	B601 ~ B609	C601 ~ C609	N601 ~ N609
	1YH	A611 ~ A619	B611 ~ B619	C611 ~ C619	N611 ~ N619
	2YH	A621 ~ A629	B621 ~ B629	C621 ~ C629	N621 ~ N629
经隔离开关辅助触点或继电器切换后的电压回路	6 ~ 10kV	A（C、N）760 ~ 769、B600			
	35kV	A（C、N）730 ~ 739、B600			
绝缘检查电压表的公用回路		A700	B700	C700	N700

（2）对于不同用途的回路规定了编号数字的范围；对于一些比较重要的常用回路（例如直流正、负电源回路，跳、合闸回路等）都给予了固定的编号。

（3）二次回路的编号，还应根据等电位原则进行，就是在电气回路中接于一点的全部导线都用同一个编号表示。当回路经过开关或继电器触点等隔开后，因为在开关或触点断开时，其两端已不是等电位了，所以应给予不同的编号。

（4）表 6-1 中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ栏表示三个不同的编号组，每一组编号应用于一对熔断器引下的控制回路。例如对于一台变压器，每侧装一台断路器，分别为 QF1 和 QF2。这时，每台断路器的各控制回路应取相同的组号。例如对 QF1 的各控制回路取 101 ~ 199，QF2 的各控制回路取 201 ~ 299。

（5）直流回路编号是先从正电源出发，以奇数顺序编号，直到最后一个有压降的元件为止。如果最后一个有压降的元件的后面不是直接连在负极上，而是通过连接片、开关或继电器触点等接在负极上，则下一步应从负极开始以偶数顺序编号至上述的已有编号的节点为止。

（6）在工程具体实践中，并不需要对展开图中的每一个节点都进行回路编号，只对引至端子排上的回路节点加以编号即可。在同一屏上互相连接的电器，在屏背后接线图中应有相应的标志方法。

（7）交流回路数字编号组示于表 6-2。电流互感器及电压互感器二次回路编号是按其在一次接线中的电流互感器与电压互感器编号来对应分组的。例如某一变压器上分别装上两组

电流互感器，其中：一组供继电保护用，取符号为 T1－1；另一组供测量表计用，取符号为 T1－2，则对 T1－1 的二次回路编号应取 U111～U119、V111～V119、W111～W119 和 N111～N119，而对 T1－2 的二次回路编号应取 U121～U129、V121～V129、W121～W129 和 N121～N129，其余类推。

（二）安装图中的设备标注

1. 安装单位

在安装图中经常可以看到安装单位的称谓。所谓安装单位是指为了区分同一屏上属于不同一次回路的二次设备，在设备上必须标明不同的编号。常用罗马数字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ……来表示。见表 6-1。

2. 设备标注方法

设备标注方法如图 6-1 所示。由图可见：

（1）同一安装单位中的同类型的设备以阿拉伯数字按顺序来区别。如在同一安装单位中有三只电流继电器，则可分别以 1KA、2KA、3KA 来表示。

（2）设备安装的顺序号也是以阿拉伯数字来表示的，即根据设备在屏后面的位置从左到右、从上到下的顺序编号设备安装单位顺序号标示在安装单位编号的右下角。

（3）设备的型号写在设备图形的上方与设备标号并列。

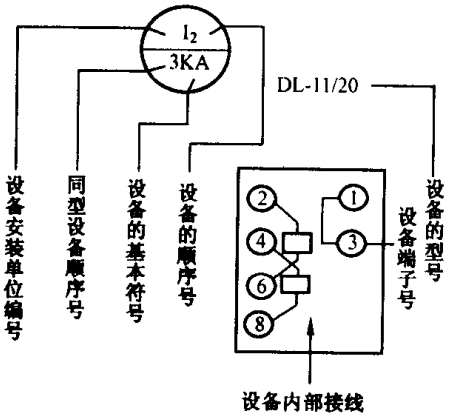


图 6-1　屏后接线图中的设备标注法

（三）屏后接线图

屏后接线图是制造厂生产过程中配线的依据，也是施工和运行时的重要参考图纸。屏后接线图上设备的相对位置应与实际的安装位置相对应，设备的尺寸及设备之间的尺寸由于已在屏面布置图中标注，屏后接线图可不按比例画出。

在屏后接线图中，二次接线通常都采用“相对编号法”。所谓“相对编号法”，就是当甲、乙两个设备需要互相连接时，我们在甲设备的接线柱上标上乙设备接线柱的标号，而在乙设备的接线柱上标上甲设备的接线柱的标号。因为编号是相互对应的，所以称“相对编号法”。

（四）端子排图

在安装接线图上，端子排一般采用三格的表示方法，除其中用一格表示端子序号及表示端子形式以外，其余的表明设备的符号及回路编号。图 6-2 所示为屏右侧端子排的三格表示方法。该端子排从左至右每格表示的内容如下：

第一格表示屏内设备的文字符号及设备的接线端子号。

第二格表示端子的序号和型号。

第三格表示安装单位的回路编号和屏外或屏顶引入设备的符号及端子号。有时将第三格分为两格分别表示上述含义。

为满足运行、检修、调试方便的要求，一般端子排的排列是遵照以下原则来布置和排列的。

（1）当同一块屏上只有一个安装单位时，则端子排的放置位置与屏内设备位置相对应。如设备的大部分靠近屏的右侧，则端子排放在屏的右侧，这样既省料又方便。

（2）当同一块屏上有几个安装单位时，则每一安装单位均有独立的端子排，它们的排列

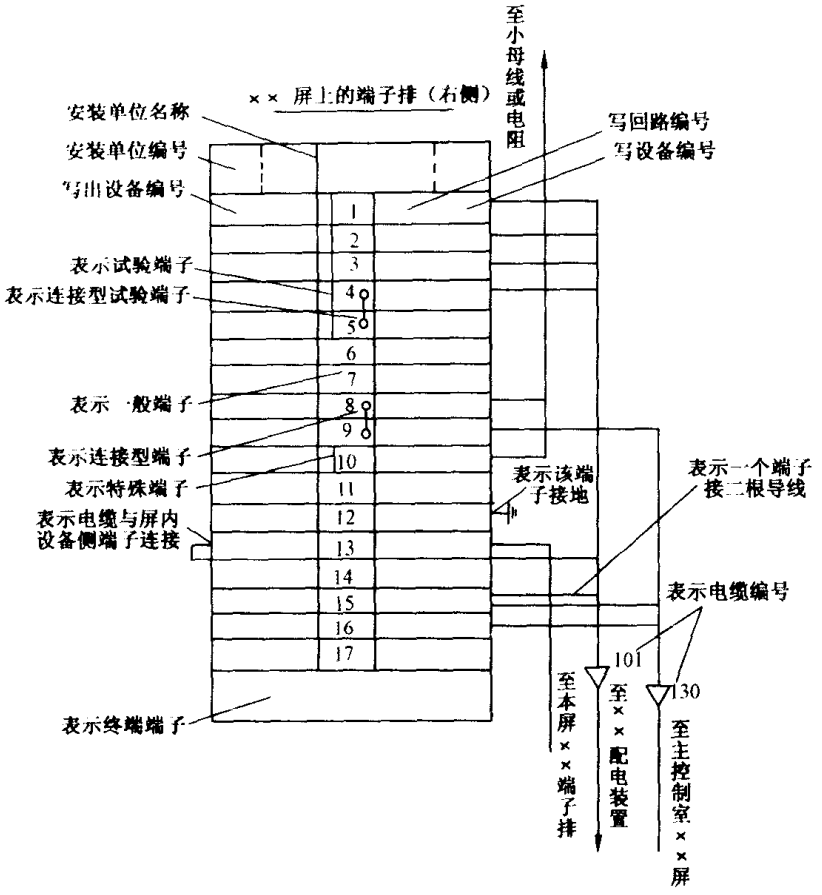


图 6-2　端子排表示方法示意图

应与屏面布置相配合。

（3）端子形式的选用，需根据具体情况来决定。一般来说，交流回路应采用试验端子，预告和信号回路及其他有时需要断开的回路，则应采用特殊端子或试验端子。

（4）每一安装单位的端子排上，必须预留一定数量的备用端子。否则，万一需要增加接线时，势必造成很大的麻烦。同时，必须在端子排的两端装设终端端子。

（5）当同一个安装单位的端子过多（一般来讲屏每侧装设端子的数目最多不要超过 135 个）或一块屏上只有二个安装单位时，可将端子排布置在屏的两侧。但此时应按交流电流、交流电压、信号、控制等回路分组排列。

（6）正、负电源之间，经常带正电的正电源，合闸和跳闸回路之间的端子不应相毗邻，一般需用一个空端子隔开，特别是户外的端子箱中更应如此。以免端子排因受潮造成短路，使断路器误动作。

（7）每一个端子的接线螺钉，一般只接一根导线。特殊情况下，最多可接两根导线。接于普通端子的导线截面，一般不应超过 $6mm^2$。

（8）端子排垂直布置时，应按自上而下依次排列交流电流回路、交流电压回路、信号回路、控制回路和其他回路。

三、注意事项

看二次回路的图纸，主要是熟悉二次回路的编号原则；设备标注的方法和端子排图的画法。

第二单元　检查电气二次回路的接线和电缆走向

一、学习目标

通过学习应会检查电气二次回路的接线和判断控制电缆的走向。

二、工作程序

（一）二次回路接线的检查

检查二次接线的主要内容有：

（1）检查接线是否松动。防止发生电流互感器开路运行而将电流互感器烧掉。

（2）检查控制按钮、控制开关等的触点及其连接，应与设计要求一致，辅助开关触点的转换应与一次设备或机械部件的动作相对应。

（3）检查盘内接线是否绑扎并固定好，绝缘应良好。

（4）室外、潮湿、污秽的场所，还应检查其防雨、防潮、防污、防尘、防腐蚀等措施。

（二）控制电缆的检查

变电所中的电缆特别是控制电缆的数量较大，容量大的变电所可能多达几十公里，所以要将电缆编号，以防弄错。检查控制电缆的内容主要有：

（1）控制电缆固定应牢固。

（2）电缆标示牌字迹应清楚。

（3）电缆应无发热现象。

（4）电缆进入沟道、隧道等构筑物和屏、柜内以及穿入管子时，出入口应密封。

三、注意事项

控制电缆的编号由安装单位或安装设备符号及数字组成。数字编号为三位数字，以不同的用途分组。

电缆编号是识别电缆的标志，故要求全厂或全所的编号不能重复，并具有明确含义和规律，应能表达电缆的特征。

每根电缆的编号列入电缆清册内。电缆牌上应标明电缆编号、规格、长度、起点、终点。电缆标示牌的大小以 60mm × 40mm 左右为宜，可用白铁皮制作，但目前大都采用烫塑，书写都采用打印方法，以保持工整。

第二节　抄　　表

一、学习目标

通过学习，会正确、按时抄录有关测量仪表数据。

二、相关知识

在运行值班过程中，除应按时抄录有关指示仪表的数据外，还应定时抄录计量仪表的数据，以了解企业的电能消耗情况，核算企业生产成本。计量仪表主要有有功电能表和无功电能表。

（一）电能表的接线

电能表的下部有一排接线柱，利用这些接线柱，可把电能表的电流线圈串接在负载电路

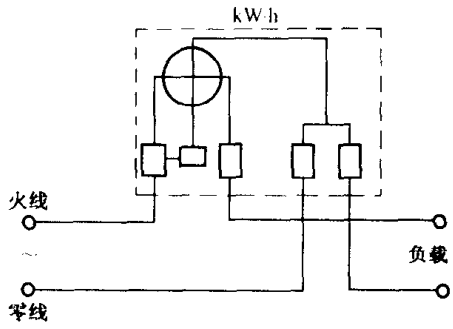


图 6-3　单相电能表的接线图

中，电压线圈并联在负载电路中。

1. 单相电能表的接线

单相电能表的接线如图 6-3 所示。

2. 三相三线制电路中电能表的接线

在低压三相三线制电路中，有功电能的量计应采用新型的 DS862、DS864 型三相有功电能表，无功电能的量计采用 DX246 型。图 6-4 为低压三相三线制电路有功电能表的接线图。

高压三相三线制电路，测量三相有功电能可采用 DS864－4 型或 DS864－2 型，额定电压 100V，标定电流 1.5（6）或 3（6）A，括号内为最大电流。把 U 相和 W 相的电流互感器分别串联接入两个电流线圈，用两台单相电压互感器接成 V，v0 型接线，如图 6-5 所示；也可以用三台单相或一台三相电压互感器，接成图 6-6 所示的 Y，y0 接线，按图接入两个电压线圈。

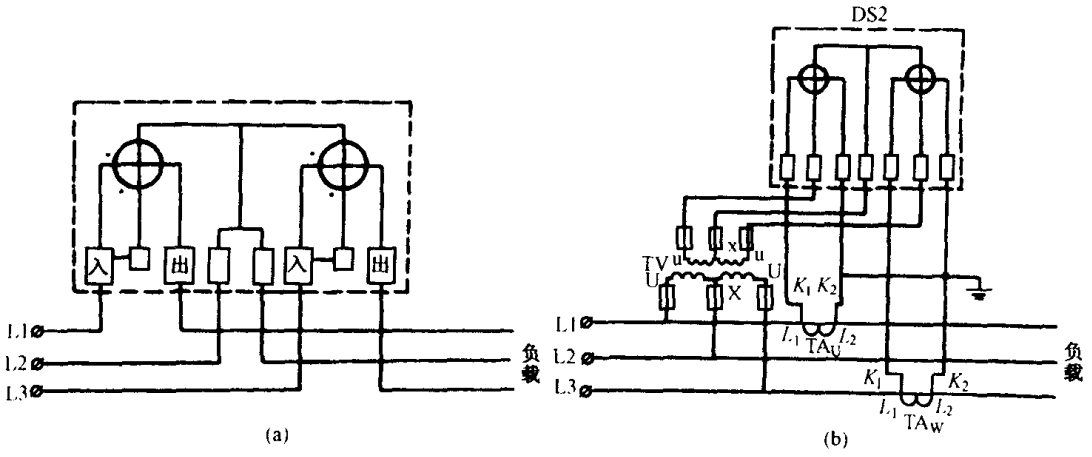


图 6-4　低压三相三线制电路有功电能表的接线图

（a）直接接入；（b）经电流互感器接入

3. 低压三相四线制电路中电能表的接线

对于低压三相四线制电路，应选用三相四线制有功电能表来计量电能，以保证在三相电压和电流不对称时，也能正确计量，其接线如图 6-7 所示。当负载功率较大时，可将电能表配用电流互感器来计量电能。

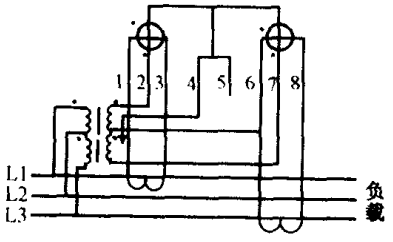


图 6-5　高压三相三线制电路中有功电能表接线图（电压互感器接成 V，v0 方式）

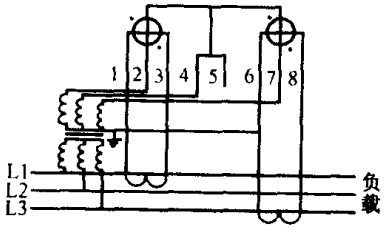


图 6-6　高压三相三线制电路中有功电能表接线图（电压互感器接成 Y，y0 方式）

4. 三相无功电能表的接线

三相三线制电路可采用二元件无功电能表接线，如图6-8（a）所示。三相交流电路无功电能的计量，可采用三元件或二元件无功电能表。三相四线制供电宜采用三元件直接接入式无功电能表，其接线如图6-8（b）所示，它采用跨相法接线，即将各组电磁元件的电压、电流分别接成90°的相角差。

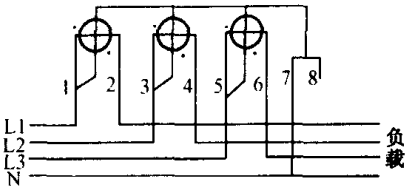


图6-7 低压三相四线制电路中电能表接线图

各种三相电能表在接线时，应特别注意电压、电流对应的相序和互感器的极性，如果相序和互感器的极性接反，则将造成计量错误。

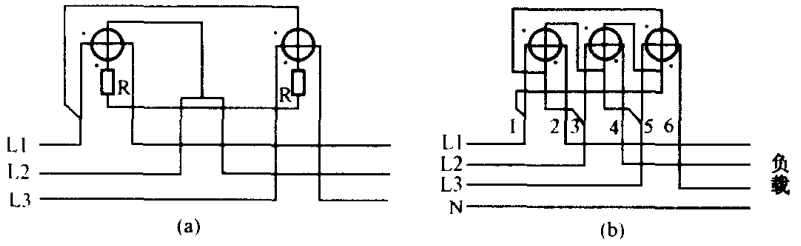


图6-8 低压三相四线制电路中无功电能表的接线图

（a）三相三线制；（b）三相四线制

（二）电能表倍率及计算

每只电能表都有铭牌，在铭牌上标明了制造厂名、型式、额定电流、额定电压、相数、准确度等级、每千瓦时（或每千乏时）的铝盘转数（即电能表的常数）。

电能表常数用符号R表示，例如DD862－4，5A、220V电能表，每千瓦时R＝600r/kW·h，说明铝盘转动600r，就显示耗电1kW·h。电能表计度器末位字轮转一周所需铝盘的转数，称为电能表的齿轮比。

电能表的倍率一般分两种，一种是由电能表结构决定的倍率，称电能表本身倍率，它等于电能表的齿轮比除以电度表常数。如电能表的齿转比及常数均为2500，其倍数实为1。则使用时将两次抄见电度数相减，即为实际用电量。另一种是电能表经互感器接入时的倍率，其读数还要乘电流和电压互感器的变比才是电量数。这种情况下电能表的倍率按下式计算。

电能表倍率＝TV变比×TA变比×电能表本身倍率

（三）测量仪表的异常运行及事故处理

无论是指示仪表，还是测量仪表，在过负荷、绝缘降低、电压过高、电流接头松动造成虚接开路等情况下，都可能发生冒烟现象。当发现接头冒烟现象后，应立即将表计电流回路短接、电压回路断开。在操作中应注意，勿将电压线圈短路、电流线圈开路。完成上述工作后，应报告上级有关部门，听候处理。

三、注意事项

为了保证电费的及时回收，抄表要按规定的时间和程序进行。

电能表在长期运行中可能出现计数器卡住不走、表内有脏物卡住、电表空转、由于检修质量不良造成字车和铝盘衔接太紧、各部螺丝松动造成不走、止逆装置失灵、轴承磨损造成表慢等异常现象。此外，因测量表回路故障（如TV熔断器熔断、TA开路、接线错误等）也能使测量仪表出现异常现象。属于测量仪表本身的问题，应立即通知有关人员修理。属于回

路问题，运行人员应判明原因，能及时自行处理的，待处理后报告上级有关部门；不能自行处理的，应报告上级有关部门，听候处理。

第三节　填写运行日志

一、学习目标

通过学习，能正确地填写运行日志并应与实际相符。

二、相关知识

运行日志主要有以下种类。

（一）交接班记录簿

记录设备运行情况，进行了哪些倒闸操作。对记录内容在接班时特别要弄清。记录簿格式如表 6-3 所示。

表 6-3　　交接班记录簿

全所无事故_____天无运行责任事故_____天_____年_____月_____日星期_____天气_____班次

1. 运行记事（操作、异常、运行）： 2. 工作票记录（种类、编号）： 3. 定期更换：	4. 设备修试情况： 5. 巡视及设备缺陷情况： 6. 操作情况： 已执行_____张，未执行　　张， 结束_____张，作废_____张 7. 工作票情况： 执行中_____张，未执行　　张， 结束_____张，间断　　张 8. 装设接地线情况： 9. 工具情况： 10. 上级通知及下一班应注意事项： 11. 运行方式： 接班者　正值_____副值_____ 交班者　正值_____副值_____

（二）设备缺陷记录簿

记录设备缺陷情况。格式如表 6-4 所示。

表 6-4　　设备缺陷记录簿

_____年　　_____页

发现日期		设备名称和缺陷内容	缺陷性质	缺陷发现人	缺陷汇报人	缺陷消除日期	消除人
月	日						

设备的缺陷通常有：

1. 变压器

（1）一般缺陷　套管掉渣，但不闪络；安全阀裂纹；呼吸器的吸附剂失效；壳体局部渗油。

（2）严重缺陷　过负荷运行；壳体渗油每分钟超过 5 滴或变压器看不见油面；套管裂纹或法兰盘裂纹、渗油、漏胶；安全阀破损；变压器内部故障引起的轻瓦斯保护动作；冷却装置故障使变压器出力达不到铭牌；连接导线处发热引起示温片急剧熔化；内部有放电声或其他异常响声又找不到原因等。

2. 互感器

（1）一般缺陷　瓷裙掉渣，但不闪络；壳体渗油。

（2）严重缺陷　过载运行；充油部分看不到油面、渗油；连接导线处发热；二次侧没有接地或发生多点接地。

3. 断路器

（1）一般缺陷　油断路器油变黑、变蚀；壳体渗油；机构箱密封不严；瓷裙掉渣；设备支架或机构缺件。

（2）严重缺陷　过负荷运行；操作失灵或操作电压太低引起拒分；漏油每分钟超过 5 滴或看不见油面；跳闸次数达到规定值而仍在运行；开关柜门锁不住且对人身安全有危险；SF_6 断路器漏气。

4. 隔离开关

（1）一般缺陷　三相不同期；瓷裙掉渣。

（2）严重缺陷　过负荷运行；操作失灵；连接导线处发热；与断路器的连锁装置动作失灵。

其他设备的缺陷另在有关章节中详述。

（三）断路器跳闸记录簿

记录断路器动作情况。格式如表 6-5 所示。

表 6-5　　断路器跳闸记录簿

跳闸时间				跳闸原因	保护动作情况	动作次数	累计次数	值班员	断路器跳闸后抢修日期及工作负责人
月	日	时	分						

（四）继电保护调试记录簿

记录继电保护调试情况。格式如表 6-6 所示。

表 6-6　　继电保护调试记录簿

保护设备名称_____　　日期_____　　第_____页

月	日	工作性质	工作情况	工作负责人	值班人员

（五）设备检修试验记录簿

记录设备检修、试验情况。格式如表 6-7 所示。

表 6-7　　设备检修试验记录簿

单元名称_____　　设备名称_____

年		工作票编号	工作内容	存在问题	评价	工作负责人	值班负责人
月	日						

（六）反事故演习记录簿

记录反事故演习情况。格式如表 6-8 所示。

表 6-8　　反事故演习记录簿

_____变电所

日期：_____年_____月_____日　　第_____号

演习开始时间_____。

演习终了时间_____。

演习地点_____。

参加演习人员和职称_____。

领导人_____。

监护人_____。

演习题目_____。

结论和对每一参加人员的单独评价（指出演习人员有哪些错误）：

其他意见：

根据演习的结果而拟定的措施

编　号	简　要　内　容	执 行 人	期　限	备　　注

（七）运行分析记录簿

分析并记录变电所运行中出现的问题。格式如表 6-9 所示。

表 6-9　　运 行 分 析 记 录 簿

_____年_____月_____日　　星期_____

参加人员：
分析内容：
分析意见：

（八）安全活动记录簿

记录进行的安全活动。格式如表 6-10 所示。

表 6-10　　安全活动记录簿

_____年_____月_____日　　星期_____

参加人员：
内容：
意见：

（九）培训记录簿

记录值班人员的培训情况。格式如表 6-11 所示。

表 6-11　　培 训 记 录 簿

编号	培训内容	参加对象	人　数	起止日期	主办单位	备　注

三、操作程序

运行日志在工作开始前或工作结束后及时填写。

四、注意事项

以上运行日志，应及时填写，做到不遗漏，也不伪造。

思　考　题

一、名词解释

1. 相对编号　　2. 安装单位

二、判断题

1. 设备在屏后面的位置从右到左，从上到下按次序编号。（　　）
2. 接于普通端子的导线截面，一般不应超过 $4mm^2$。（　　）
3. 断路器的过负荷运行属于一般缺陷。（　　）

三、问答题

1. 二次回路的编号是根据什么原则进行的？
2. 编号时，采用什么方法区分交流回路与直流回路？

3. 画图举例说明相对编号法的标示方法。
4. 在布置端子排时，有哪些要求？
5. 端子排从上到下是如何布置的？
6. 画出单相电能表的接线图。
7. 电能表的倍率如何计算？
8. 交接班记录簿主要记录什么内容？
9. 隔离开关的缺陷主要有哪些？
10. 断路器的缺陷主要有哪些？

第七章　巡　回　检　查

第一节　检　查　互　感　器

第一单元　　对运行中的电流互感器进行检查

一、学习目标

通过学习，会对运行中的电流互感器进行检查。

二、相关知识

电流互感器的接线有三种：单相接线、星形接线、不完全星形接线。

图 7-1（a）所示为电流互感器的单相接线，可测得一相电流的大小。常用于三相对称负载情况下。监视对称三相电路中电流的大小。

图 7-1（b）所示为电流互感器的星形接线，可以分别测量三相电流。用于三相负载对称及不对称电路均可，在不对称电路中可监视电流不对称的情况。

图 7-1（c）所示为电流互感器的不完全星形接线，也可以测量三相电流，适用于三相负载对称和不对称的电路（三相四线制系统除外）。因为在三相三线制电路中，不论三相负载是否对称，其三相电流之和始终等于零，即有

$$\dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0 \quad 或 \quad \dot{I}_U + \dot{I}_V = -\dot{I}_W$$

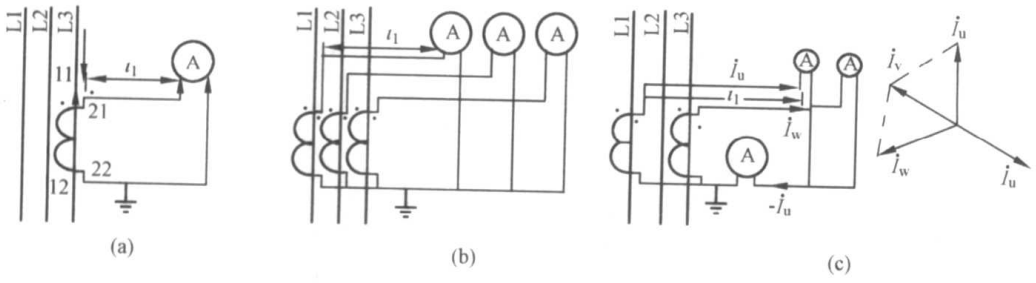


图 7-1　电流互感器接线

（a）单相接线；（b）星形接线；（c）不完全星形接线

在电流互感器的接线时，应注意其极性不能接反。通常在一次绕组的接线端上标有 L_1、L_2，二次绕组的接线端上标有 K_1、K_2，一次绕组的接线端 L_1 和二次绕组的接线 K_1 是同极性端。若极性接反，将造成功率型仪表测量错误及继电保护装置不正确动作。

三、操作程序

电流互感器巡视检查项目：

（1）套管应清洁，无裂纹、无破损、无放电痕迹。

（2）检查电流互感器有无放电声和其他异常音响。

（3）检查室内浇注式电流互感器有无流膏现象。

(4) 检查一次接线是否牢固，接头有无松动和过热。

(5) 检查二次回路是否完好，有无开路放电，打火现象。

(6) 检查二次侧接地是否牢固、良好。

四、注意事项

对于运行中的电流互感器，其二次绕组不能开路，且接地一定要好。

第二单元　对运行中的电压互感器进行检查

一、学习目标

通过学习会对运行中的电流互感器进行检查。

二、相关知识

在不同的场合需要测量的电压有：相电压、线电压和零序电压，为了测量这些电压，电压互感器常采用以下各种不同的接线。

图 7-2 所示为一台单相电压互感器的接线，(a) 图接线可用来测量 35kV 及以下以中性点非直接接地系统的线电压；(b) 图接线用在 110kV 及以上中性点直接接地系统中测量相电压。

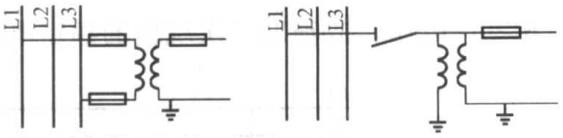


图 7-2　单相电压互感器的接线

(a) 测量线电压；(b) 测量相电压

图 7-3 为两台单相电压互感器接成的 V，v0 形接线。它能测线电压，但不能测相电压，这种接线广泛应用于中性点非直接接地系统。

图 7-4 为一台三相三柱式电压互感器的接线。它只能测量线电压，不能测相电压。用于中性点不直接接地系统时，这种接线的一次绕组星形中性点也是不能接地的。因为在于中性点非直接接地系统中发生单相接地时，接地相对地电压为零，未接地相对地电压升高$\sqrt{3}$倍，三相对地电压失去平衡，出现零序电压。在零序电压作用下，电压互感器的三个铁心柱中将出现零序磁通，三相零序磁通同相位，在三个铁心柱中不能形成闭合回路，只能通过气隙和外壳构成通路，使磁路磁阻增大，零序励磁电流也很大，比正常励磁电流大好几倍，这样使电压互感器铁心发热，甚至烧坏。为此，三相三柱式电压互感器不引出一次侧绕组的中性点，故不能测相电压，不能作为交流绝缘监察用。

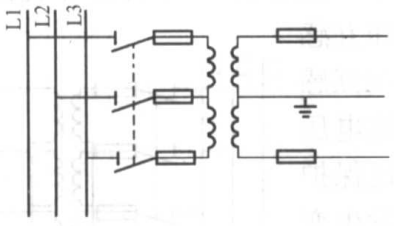


图 7-3　两台单相电压互感器接成的 V，v0 形接线

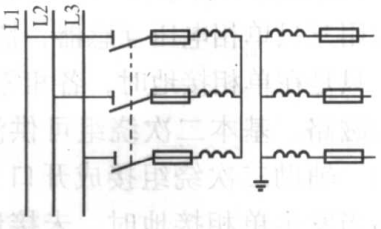


图 7-4　三相三柱式电压互感器的接线

图 7-5 所示是一台三相五柱式电压互感器的 YN，yn，△接线，其一次侧绕组和基本二次绕组都接成星形且中性点接地，辅助二次绕组接成开口三角形。因此，三相五柱式电压互感器可测量线电压和相对地电压，还可作为中性点非直接接地系统中对地的绝缘监察以及实

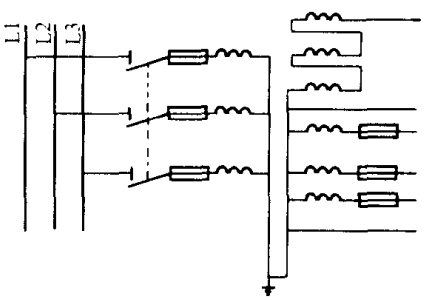


图 7-5　三相五柱式电压互感器的接线

现单相接地故障的继电保护，这种接线广泛应用于 6～10kV 屋内配电装置中。

三相五柱式电压互感器的原理图如图 7-6 所示。铁心有五个柱，三相绕组在中间三个柱上，如图 7-6（a）所示。当系统发生单相接地时，零序磁通在铁心中的回路，如图 7-6（b）所示。零序磁通可通过两边心柱成回路，因此磁阻小，从而零序励磁电流也小。

在中性点非直接接地三相系统中，正常运行时因各相对地电压为相电压且对称，三相电压的相量和为零，所以开口三角形两端子间电压为零。当发生一相接地时，开口三角形两端子间有电压，为各相辅助二次绕组中零序电压之相量和。规定电压互感器二次侧出口的额定电压为 100V，而对 10～35kV 的中性点非直接接地系统，出口零序电压大小为三倍相零序电压，故辅助二次绕组的额定电压为 100/3V。

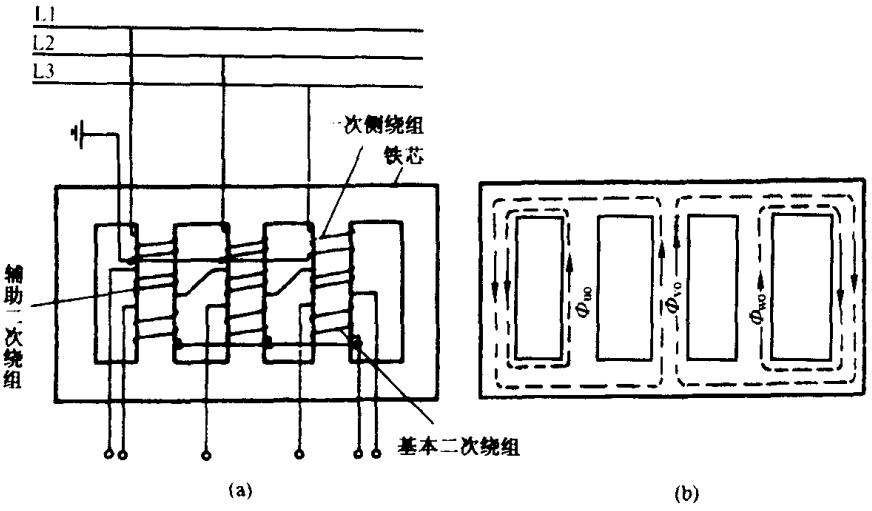


图 7-6　三相五柱式电压互感器原理图

（a）结构原理；（b）零序磁通回路

图 7-7 所示为三台单相三绕组电压互感器的 YN，yn，△接线，在中性点非直接接地系统中，采用三只单相电压互感器，情况与三相五柱式电压互感器相同，只是在单相接地时，各相零序磁通以各自的电压互感器铁心为磁路。基本二次绕组可供测量线电压和相对地电压（相电压）。辅助二次绕组接成开口三角形，供单相接地保护用。因为当发生单相接地时，未接地相对地电压并不发生变化，仍为相电压，开口三角形两端子间的电压为非故障相对地电压的相量和。规定电压互感器二次侧出口的额定电压为 100V，对 10～35kV 的中性点非直接接地系统，出口零序电压大小为三倍相零序电压，故辅助二次绕组的额定电压为 100/3V，用在 110kV 及以上的直接接地系统时，零序电压大小为相电压，故辅助二次绕组的额定电压为 100V。

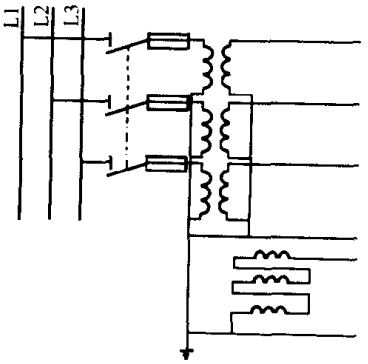


图 7-7　三台单相三绕组电压互感器的接线

在380V装置中，电压互感器通过熔断器与电网连接。

三、操作程序

电压互感器巡视检查项目：

（1）套管应清洁，无裂纹、无破损、无放电痕迹。

（2）检查运行中的电压互感器发出的“嗡嗡”声是否正常，有无放电声和其他异常音响。

（3）检查油位和油色是否正常，有无渗油、漏油现象。

（4）检查一、二次回路接线是否牢固，各接头有无松动和过热。

（5）检查一、二次熔断器是否完好。一次侧隔离开关及辅助触点接触是否良好；检查二次回路有无短路现象。

（6）检查二次侧接地是否牢固良好。端子箱内是否清洁、受潮。

四、注意事项

1. 电压互感器的二次侧一定要接地，且二次侧不能短路。

2. 对于三相五柱式电压互感器其一次侧接地也应良好。

第二节　检查直流系统

第一单元　对运行中的铅酸蓄电池组直流系统进行检查

一、学习目标

会对运行中的铅酸蓄电池组直流系统进行检查。

二、相关知识

（一）直流系统的类型

发电厂和变电所的直流系统的作用是作为操作电源及供事故负荷之用。操作电源是供高压断路器跳、合闸回路和继电保护装置、信号装置及其他二次回路所须的电源；事故负荷是指当发电厂和变电所失去交流电源之后的事故负荷及以直流电源作为备用电源的、正常时由交流电源供电的其他直流负荷。直流系统可分为蓄电池供电的直流系统和整流装置供电的直流系统两大类。

（二）铅酸蓄电池组的构成

铅酸蓄电池，由二氧化铅(PbO_2)的正极板、铅(Pb)的负极板和密度为1.2～1.21g/cm^{3}的稀硫酸（H_2SO_4）电解液构成，容器多为玻璃。它在放电和充电时的化学反应式为

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{\leftarrow\text{充电}}{\overset{\text{放电}\rightarrow}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

铅酸蓄电池的额定端电压（单个）为2.06V。但是蓄电池充电终了时，其端电压可达2.7V。而放电后，其端电压可降到1.95V。为获得220V的直流电压，需蓄电池个数为 $n = 230/1.95 \approx 118$ 个。考虑到充电终了时端电压的升高，因此长期接入操作电源母线的蓄电池个数为 $n_1 = 230/2.7 \approx 88$ 个，而 $n_2 = n - n_1 = 118 - 88 = 30$ 个蓄电池用于调节电压，接于专门的调节开关上。

采用铅酸蓄电池组作直流电源，不受供电系统运行情况的影响，工作可靠。但由于它充

电时要排出氢和氧的混合气体，有爆炸危险，而且随着排出气体带出的硫酸蒸气有强腐蚀性，对人身健康和设备安全都有很大影响。因此铅酸蓄电池组一般要求装设在单独房间内，而且要考虑防腐防爆、从而投资很大。现在一般工厂供电系统中采用越来越少。

（三）蓄电池组直流系统的运行方式

蓄电池组运行方式有两种：充电—放电运行方式；浮充电运行方式。其中以后一种方式应用最为广泛。

1. 按充电—放电运行方式工作的蓄电池组

这种运行方式的特点是，用充好电的蓄电池组供给直流负荷，除充电时间外，充电装置是断开的。

为了保证在事故情况下，蓄电池组能可靠地工作，蓄电池组通常在放电达容量 40% ~ 60%时，应立即停止放电，准备充电。充电时充电设备除向蓄电池组供电外，同时还供电给经常的直流负荷。故充电设备的容量应能满足蓄电池组的充电和经常性负荷的需要。

按充电—放电运行方式工作的蓄电池组，必须频繁地充电，一般一至两昼夜充电一次。而每经过一次放电和充电，极板就失去一部分有效的物质，因而损伤较快。若不按规定充、放电，或过充或欠充，更易缩短蓄电池的寿命。同时，这种运行方式操作也较复杂。因此，目前多不采用。

2. 按浮充电运行方式工作的蓄电池组

这种运行方式的特点是：除装有充电用硅整流装置之外，还要装一台容量较小的硅整流器，它经常与蓄电池组并联运行，称为浮充整流器。在正常工作情况下，浮充整流器除供给直流母线上的经常性负荷外，同时以很小的电流向蓄电池组浮充电，使蓄电池组经常处于满充电状态。对出现短时冲击负荷时，如断路器的合闸电流，绝大部分由蓄电池组供给。在交流系统发生事故情况下，蓄电池组将转入放电状态运行，承担全部直流系统的负荷，直到交流电源恢复，主充硅整流装置给蓄电池充好电后，再由浮充整流器投入，转入正常的浮充电状态运行。

蓄电池组按浮充电方式运行，充电机会大大减少。除由于交流电源或浮充电整流器发生事故，因蓄电池组转入放电状态运行而需要进行正常充电外，规定每三个月必须进行一次核对性的放电，放出蓄电池容量的 50% ~ 60%，终止电压达 1.9V 为止；或进行全容量放电，放电到终止电压变为 1.75 ~ 1.8V 为止，放电后应即进行一次均衡充电。这是为了避免由于控制浮充电流不准确而造成硫酸铅沉淀在极板上，影响蓄电池输出容量和降低使用寿命所必须进行的。为了便于蓄电池放电，充电整流器宜采用能实现逆变的整流装置。

采用浮充电运行方式，不仅可以减少运行维护的工作量，而且可提高直流系统工作的可靠性。因为蓄电池组经常处于满充电状态，不需要频繁地进行充电，所以使用寿命也大为延长。

图 7-8 所示为浮充电运行方式工作的蓄电池直流系统接线图。浮充电整流器经常给蓄电池组进行浮充电。图中由于采用了双母线系统接线，供电可靠性大大提高。蓄电池组回路装有两组刀开关，可以切换至任一组母线上；每组母线各装有一套电压监察和闪光装置，而绝缘监察装置的表计部分为两组母线共用，信号部分仍各自单独使用一套。

按浮充电方式运行的蓄电池组，在浮充电状态下，每个蓄电池上的电压约为 2.15V。当浮充电整流器发生故障而断开后，为了仍能保持直流母线上的电压等于额定值，一般需采用

带端电池调整器的接线。在浮充电状态下，为了保持电压恒定，以不大的浮充电流充电，而使每个蓄电池上的电压约为2.15V。若使全部蓄电池都得到浮充电，则母线上的电压约为2.15×N伏(N为蓄电池的总数)。因此，为了维持母线电压不变，就不可能使全部蓄电池都得到浮充电，而只能通过端电池调整器的放电手柄，将一部分端电池切除，使其不参加浮充电运行。

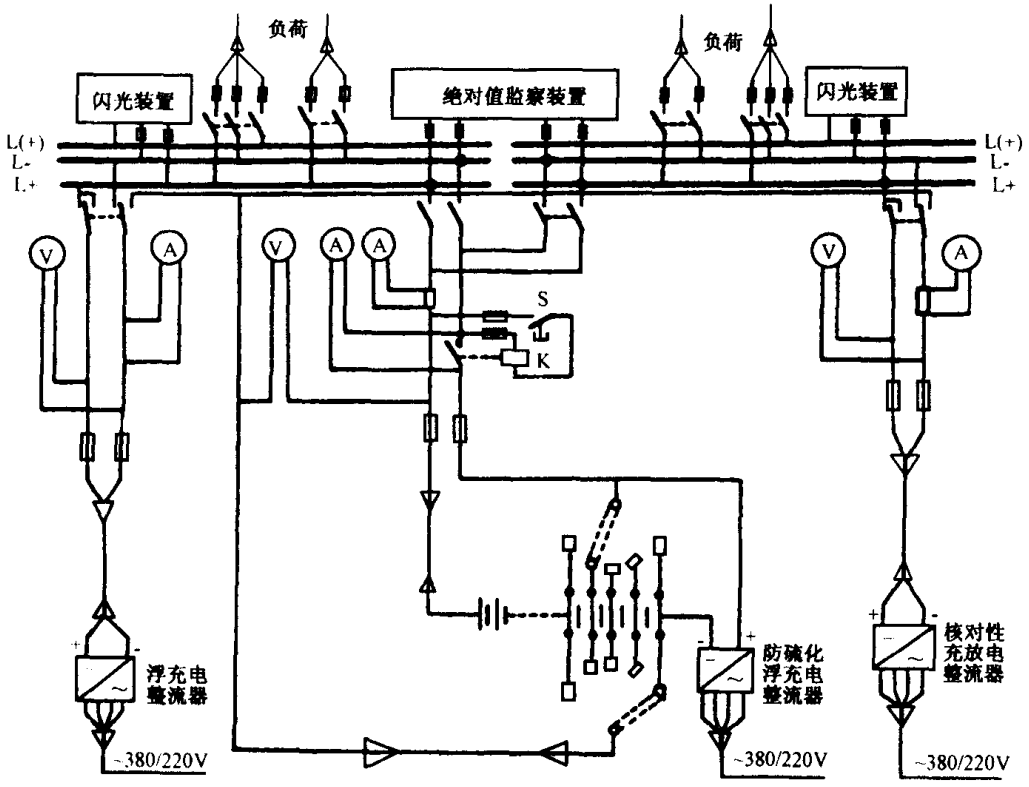


图 7-8　按浮充电运行方式工作的蓄电池直流系统接线图

不参加浮充电运行的蓄电池，因自放电得不到补偿而易于老化，因此，必须定期地（通常为半个月至一个月）对其充电一次。为避免其他的蓄电池发生过充电现象，可使充电电流等于负荷电流。

三、工作程序

铅酸蓄电池组直流系统的检查内容：

(1) 检查充、放电的电流。

(2) 检查极板颜色和形状

(3) 检查电解液液面温度和密度。

(4) 检查蓄电池电解液冒泡的情况是否正常。

(5) 检查沉淀物。

(6) 检查绝缘电阻。

(7) 检查各接头和连接导线。

(8) 电池容器应无倾斜，表面应清洁。

(9) 检查直流母线的电压是否正常。

(10) 检查室内温度应正常。

四、注意事项

（1）若用大电流充放电时，会使极板脱粉或弯曲变形，电池容量减少。故应摸清负荷变化规律，随时注意充电及放电电流的大小，并作好记录。充、放电前应计算上次放出或充入的电量，以免过充、过放或充电不足。放电后应及时充电，即使有特殊情况，也不得超过24h。

（2）在蓄电池充好电后，正极板是深褐色（过二氧化铅），负极板是深灰色（铅绵）。在放电后，正极板是浅褐色，负极板是浅灰色。极板形状不应弯曲、短路、断裂和鼓肚，极板上不应生盐，有效物质（PbO_2）不应大量脱落。极板与极板间之距离应相等。在检查极板中如发现异常情况，应查明原因，及时消除，并作好记录。

（3）电解液的液面应经常高于极板上缘 10～20mm。如液面下降至 10mm 以下，这可能是由于室温过高，电解液蒸发较快所致。这时应在充电开始前加入纯水或蒸馏水，以防极板顶部翘曲。

蓄电池的电解液在运行中的温度不得低于 10℃，不得高于 25℃，在充电过程中不得超过 40℃。

（4）在浮充电运行时，蓄电池的电解液密度值一般应保持为 1.20～1.21。电解液的密度随温度的增减而变化，温度升高，密度值下降，温度降低，密度升高。若电解液的密度值高于 1.25 时，则应补加蒸馏水；若密度值低于 1.21 时，则应补加稀硫酸溶液。

（5）电池在正常情况下，沉淀物的高度距极板下缘应在 10mm 左右。沉淀物的种类很多，如由于充电电流过大，时间太长，则正极板上的活性物质（过二氧化铅）脱落下来，沉淀到电池底部，便成为褐色沉淀物；由于极板生盐（过放电引起）或电解液中含有害物质，则池底部有白色沉淀物；如果沉淀物与极板相连，则电池底有蓝色沉淀物；如果由于电池工作不均衡，或蒸馏水质量不良，则电池底部有成层（一层褐、一层灰、一层白）的沉物。

（6）在检查直流系统绝缘电阻时，应定期测量蓄电池的绝缘电阻，用电压表法测出的绝缘电阻值应不小于 0.2MΩ（电池电压为 220V）。

（7）要经常检查各接头与导线连接是否紧密，有无腐蚀现象。在各连接处应涂上凡士林或黄油，以防锈蚀及酸液浸蚀。

（8）直流母线电压应正常，宜保持为 225V，允许变动范围为 220～230V。因为母线电压过高会引起设备的损坏；母线电压过低会降低继电保护和自动装置动作的灵敏度，造成拒绝动作，所以应对直流母线电压及时进行调整。

蓄电池应经常处于浮充电方式，每个蓄电池的电压应为 2.15V，允许变动范围为 2.1～2.2V，这样可使蓄电池处于满充电状态。如果浮充电压太高，会发生过充电现象，从外部能看到有强烈的气泡产生，这时需经常加蒸馏水。若浮充电压过低，就会发生充电不足现象。所以，对电解液的浓度要经常调整，使电池电压在允许范围内。

（9）蓄电池室应保持适当的温度（10～30℃），并保持良好的通风和照明。当室温超过25℃时，则应起用通风装置；当室温低于 10℃时，应开起暖气装置。

第二单元　对运行中的镉镍蓄电池直流系统进行检查

一、学习目标

会对镉镍蓄电池组的直流系统进行检查。

二、相关知识

（一）镉镍蓄电池的原理

镉镍蓄电池与铅酸蓄电池一样，都是化学能与电能相互转换的设备，故都能以化学能的形式储存电能。

镉镍蓄电池的正极板为氢氧化镍［$Ni(OH)_3$］或三氧化二镍（Ni_2O_3）的活性物，负极板为镉（Cd），电解液为氢氧化钾（KOH）或氢氧化钠（NaOH）等碱溶液。它在放电和充电时的化学反应式为

$$Cd + 2Ni(OH)_3 + KOH \underset{\text{充电}\leftarrow}{\overset{\text{放电}\rightarrow}{\rightleftharpoons}} Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2 + KOH$$

由以上反应式可以看出，电解液并未参与反应，它只起传导电流的作用，因此在放电和充电过程中，电解液的密度不会改变。不能用密度的变化来判断镉镍蓄电池的充、放电程度，而只能以电压的变化来判断。

镉镍蓄电池的额定端电压（单个）为1.2V。充电终了时端电压可达1.75V。

采用镉镍蓄电池组作直流电源，除不受供电系统运行情况的影响、工作可靠外，还有大电流放电性能好，比功率大，机械强度高，使用寿命长，腐蚀性小，无需专用房间等优点，从而大大降低了投资，因此在工厂供电系统中应用比较普遍。

（二）镉镍蓄电池的类型

镉镍蓄电池按电气性能可分为超高倍率、高倍率、中倍率、低倍率几种类型。这里所说的倍率是指放电倍率，即用镉镍蓄电池的额定容量值为基数，放电倍率就是指在保证一定的放电电压条件下，最大能放出几倍于额定容量值的电流。如100Ah镉镍蓄电池，用3额定容量值的倍率放电，放电电流为$3 \times 100 = 300A$。镉镍蓄电池的放电倍率高于7额定容量值的为超高倍率；在3.5～7之间的为高倍率；在0.5～3.5之间的为中倍率；低于0.5的为低倍率。

超高倍率的镉镍蓄电池一般为全烧结式，它的价格较贵。高倍率的镉镍蓄电池一般为半烧结式，即正极板是烧结式的，负极板是拉浆式的或压成式的，它的同容量的价格较全烧结式的低5%～20%，因而应用较广泛。中、低倍率镉镍蓄电池，目前我国大都采用袋式的，它因价格较低而被广泛应用。

（三）镉镍蓄电池的参数

（1）额定电压　它是指蓄电池工作时必须保证的电压。镉镍蓄电池的额定电压，国标规定为1.2V。

（2）终止电压　它是指蓄电池放电时电压下降到不宜再继续放电时的电压。其数值随不同的放电率以及对容量、寿命要求的不同而异。镉镍蓄电池的5h放电率的终止电压是1.0V。

（3）充电电压　它是指蓄电池按正常充电率充电时，蓄电池的最高电压。镉镍蓄电池充电电压一般为1.6～1.7V。

（4）额定容量　它是指在规定条件下（如环境温度、放电率、终止电压）蓄电池能放出的最低电量，用Ah表示。镉镍蓄电池的额定容量是用5h放电率的容量来表示的，符号为C_5代表。

（5）放电率　它是指镉镍蓄电池在规定的时间内放出其额定容量时所输出的电流值。如500Ah镉镍蓄电池，用5h放电率放电，其电流是100A。

三、工作程序

同于铅酸蓄电池组的检查项目，其中（4）项不需检查。

四、注意事项

经检查后确认需要加入电解液时，应注意选择用适当温度下使用的电解液。若电池在较高的温度下工作而注入较低温度下使用的电解液，则会缩短蓄电池的寿命。或电池在较低的温度下工作而注入较高温度下使用的电解液，则会减少蓄电池的容量。

第三单元　对运行中的硅整流直流系统进行检查

一、学习目标

通过学习，会对硅整流直流系统进行检查。

二、相关知识

整流电源主要有硅整流电容储能式和复式整流两种。

（一）硅整流电容储能式直流系统

如果单独采用硅整流器用作直流操作电源，则当交流供电系统电压降低或电压消失时，将严重影响直流系统的正常工作。因此宜采用有电容储能的硅整流电源，在交流供电系统正常运行时，通过硅整流器供给直流操作电源，同时通过电容器储能；在交流供电系统电压降低或消失时，由储能电容器对继电器和跳闸回路放电，使其正常动作。

图 7-9 所示是一种硅整流电容储能式直流系统的接线图。为了保证直流系统的可靠性，采用两个交流电源和两台硅整流器。硅整流器 UF1 主要用作断路器合闸电源，并可向控制回路供电。硅整流器 UF2 的容量较小，仅向控制回路供电。逆止元件 V2 和 V1 的主要作用：一是当直流电源电压因交流供电系统电压降低而降低时，使储能电容 CI、CII 所储能量仅用于补偿自身所在的保护回路，而不向其他元件放电；是限制 CI、CII 向各断路器控制回路中的信号灯和重合闸继电器等放电，以保证其所供的继电保护和跳闸线圈可靠动作。逆止元件 V3 和限流电阻 R 接在两组直流母线之间，使直流合闸母线只能向控制小母线、保护小母线供电，防止断路器合闸时硅整流器 UF2 向合闸母线供电。R 用来限制控制回路短路时通过 V3 的电流，以免 V3 烧毁。储能电容器 CI 用于对高压线路的继电保护和跳闸回路供电，而储能电容器 CII 用于对其他元件的继电保护和跳闸回路供电。储能电容器多采用比容量大的电解电容器，其容量能保证继电保护和跳闸线圈回路可靠地动作。

（二）复式整流的直流操作电源

复式整流是指直流系统的电源有两个：电压源——由所用变压器或电压互感器供电，经铁磁谐振稳压器（当稳压要求较高时装设）和硅整流器供电给控制等二次回路；电流源——由电流互感器供电，同样经铁磁谐振稳压器（当稳压要求较高时装设）和硅整流器供电给控制等二次回路。图 7-10 是复式整流装置的接线示意图。

由于复式整流装置有电压源和电流源，因此在供电系统正常和事故情况下都能保证直流系统均能可靠地供电。与上述电容储能式相比，复式整流装置能输出较大功率，电压的稳定性更好。

三、操作程序

（1）检查硅整流器装置本体。运行的声音、温度正常。

（2）检查储能电容应完好，无放电现象。

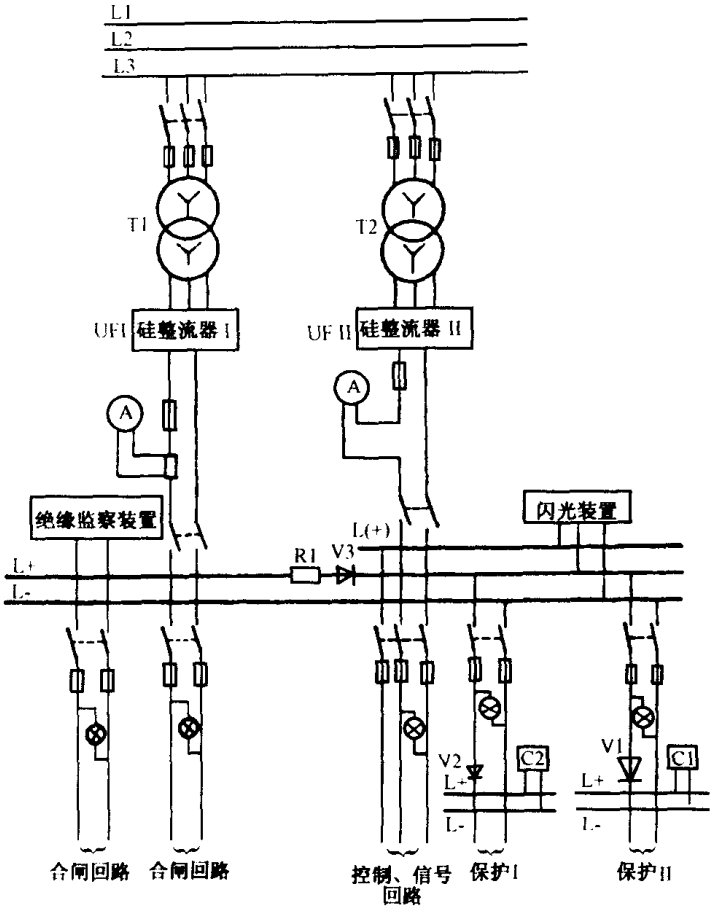


图 7-9　硅整流电容储能直流系统接线图

C1、C2—储能电容器；UFⅠ、UFⅡ—整流器

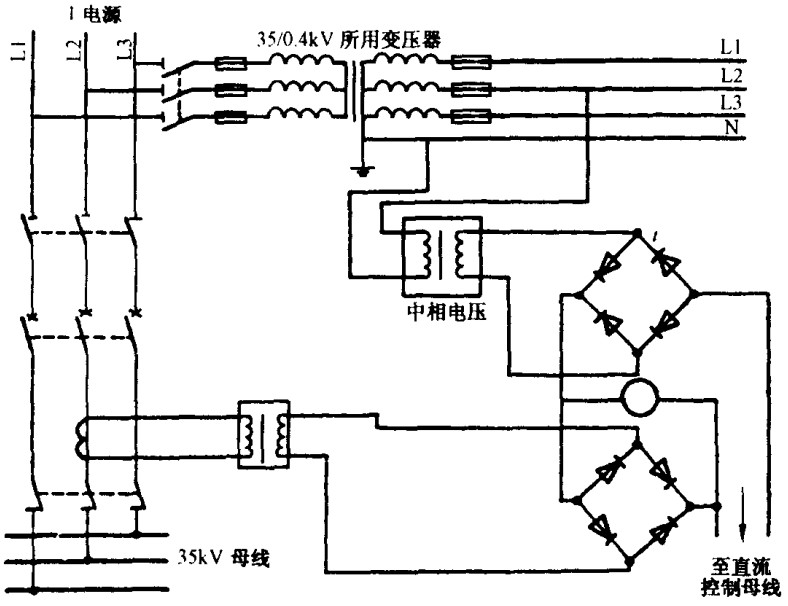


图 7-10　复式整流装置接线示意图

(3) 室温应正常。

(4) 检查直流母线的电压，应在正常范围内。

四、注意事项

电容储能装置投入后，必须加强对电容器组和逆止元件的监视和检查。检查其回路是否有断线故障。在注意运行中停电检查时，应将电容器组储存的电荷放掉。以免触电或烧坏设备。

第三节　检查继电保护及其二次回路

一、学习目标

通过本单元学习，会对继电保护装置及其二次回路进行检查。

二、相关知识

(一) 6～10kV 高压线路的继电保护

1. 带时限的过流保护

带时限的过流保护分为定时限过流保护和反时限过流保护。定时限就是保护装置的动作时间是按整定的动作时间固定不变的，与故障电流大小无关；反时限就是保护装置的动作时间与故障电流大小有反比关系，故障电流越大，动作时间越短。

(1) 定时限过电流保护装置的组成和原理

定时限过电流保护装置的原理接线如图 7-11 所示。这种图的所有电器的组成部件是各自归总在一起的，因此过去也称为归总式电路图。

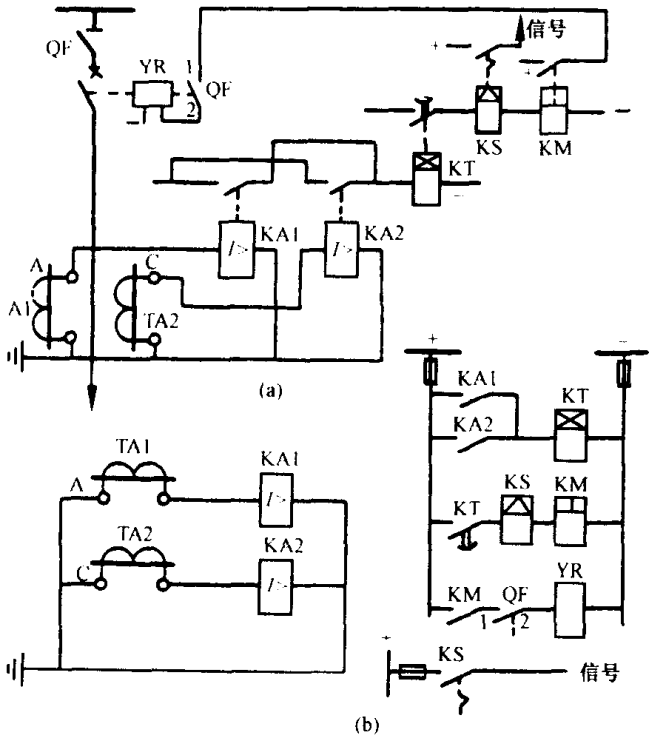


图 7-11　定时限过流保护的原理接线图

(a) 原理图；(b) 展开图

QF—断路器；KA—电流继电器；KT—时间继电器；KS—信号继电器；KM—中间继电器；YR—跳闸线圈

下面分析图 7-11 所示定时限过电流保护的工作原理。当一次电路发生相间短路时，电流继电器 KA1 或 KA2 瞬时动作，闭合其触点，使时间继电器 KT 动作，KT 经过整定的时限后，其延时触点闭合，使串联的信号继电器（电流型）KS 和中间继电器 KM 动作。KS 动作后，其指示牌掉下，同时接通信号回路，给出灯光信号和音响信号。KM 动作后，接通跳闸线圈 YR 回路，使断路器 QF 跳闸，切除短路故障。QF 跳闸后，其辅助触点 QF1 随之切断跳闸回路，以减轻 KM 触点的工作负担。在短路故障被切除后，继电保护装置除 KS 外的其他所有继电器均自动返回起始状态，而 KS 可手动复位。

(2) 反时限过电流保护的组成和原理

反时限过电流保护由 GL 型电流继

电器组成，其原理电路图如图 7-12 所示。当一次电路发生相间短路时，电流继电器 KA1 或 KA2 动作，经过一定延时后（反时限特性），其常开触点先闭合（1、2 触点），紧接着其常闭触点断开（3、4 触点）。这时断路器因其跳闸线圈 YR1 或 YR2 流过分流电流而跳闸，切除短路故障。在 GL 型继电器去分流跳闸的同时，其信号牌掉下，指示保护装置已经动作。在短路故障被切除后，继电器触点自动返回，其信号牌可利用外壳上的旋钮手动复位。

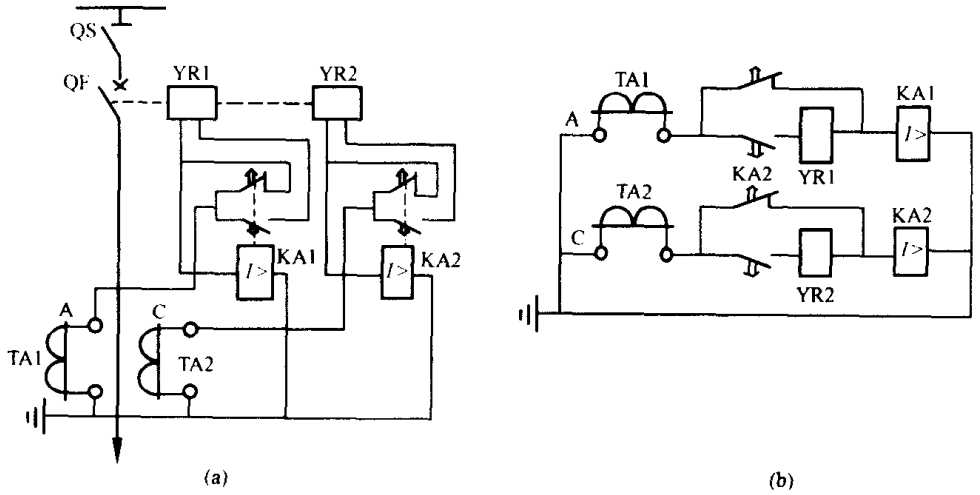


图 7-12　反时限过电流保护的原理接线图

（a）原理图；（b）展开图

QF—断路器；TA—电流互感器；KA—电流继电器；YR—跳闸线圈

（3）过电流保护动作电流的整定

带时限的过电流保护（包括定时限和反时限）的动作电流 I_{op} 应躲过线路的最大负荷电流 $I_{L.max}$，以免在 $I_{L.max}$ 通过时保护装置误动作，而且其返回电流 I_r 也应躲过 $I_{L.max}$，否则保护装置还可能发生误动作。为了说明这一点，以图 7-13（a）为例来说明。

当线路 L2 的首端 k 点发生短路时，由于短路电流远远大于线路上的所有负荷电流，所以沿线路的过电流保护装置包括 KA1、KA2 均要动作。按照保护选择性的要求，应是靠近故障点 k 的保护装置 KA2 首先断开 QF2，切除故障线路 L2。这时故障线路 L2 已被切除，保护装置 KA1 应立即返回起始状态，不致断开 QF1。假设 KA1 的返回电流未躲过线路 L1 的最大负荷电流，即 KA1 的返回系数过低时，则在 KA2 动作并断开线路 L2 后，KA1 可能不返回而继续保持动作状态（由 L1 供电的负荷线路除 L2 外，还有其他线路，因此 L1 仍有负荷电流），而经过 KA1 所整定

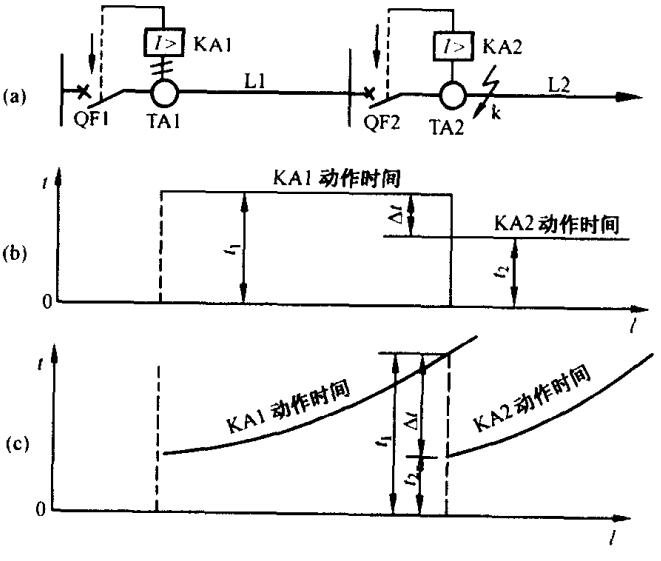


图 7-13　线路过电流保护整定说明图

（a）电路；（b）定时限过电流保护的时限整定说明；

（c）反时限过电流保护的时限整定说明

的时限后，断开断路器 QF1，造成 L1 停电，扩大了故障停电范围，这是不允许的。所以保护装置的返回电流也必须躲过线路的最大负荷电流。

设电流互感器的变流比为 K_i，保护装置的接线系数为 K_{con}，保护装置的返回系数为 K_r，则最大负荷电流换算到继电器中的电流为 $K_{con} I_{L.max}/K_i$。由于要求返回电流躲过最大负荷电流，即

$$I_r > K_{con} I_{L.max}/K_i$$

而

$$I_r = K_r I_{op}$$

因此

$$K_r I_{op} > KI_{L.max}/K_i$$

按上式关系并计入一个可靠系数 K_{rel}，便可得到过电流保护装置动作电流的整定计算公式

$$I_{op} = K_{rel} K_{con} I_{L.max}/(K_i K_r) \tag{7-1}$$

式中 K_{rel}——保护装置的可靠系数，对 DL 型继电器取 1.2，对 GL 型继电器取 1.3；

K_{con}——保护装置的接线系数，对两相两继电器接线为 1，对两相一继电器接线（两相电流差接线）为$\sqrt{3}$；

$I_{L.max}$——线路上的最大负荷电流，可取为（1.5～3）I_L。

（4）过电流保护动作时间的整定

为了保证前后两级保护装置动作的选择性，过电流保护的动作时间应按“阶梯原则”进行整定，也就是在后一级保护装置所保护的线路首端［如图 7-13（a）中的 k 点］发生三相短路时，前一级保护的动作时间 t_1 应比后一级保护中最长的动作时间 t_2 都要大一个时间级差 Δt，如图 7-13（b）和图 7-13（c）所示，即

$$t_1 \geqslant t_2 + \Delta t \tag{7-2}$$

这一时间级差 Δt，对于定时限过电流保护，可取 $\Delta t = 0.5$s；对于反时限过电流保护，可取 $\Delta t = 0.7$s。

定时限过电流保护的动作时间，利用时间继电器来整定。

反时限过电流保护的动作时间，由于 GL 型电流继电器的时限调节机构是按 10 倍动作电流的动作时间来标度的，因此要根据前后两级保护的 GL 型继电器的动作特性曲线来整定，整定较复杂，这里不作叙述。

2. 电流速断保护

上述带时限的过电流保护，有一个明显的缺点，就是越靠近电源的线路的过电流保护，其动作时间越长，而短路电流则是越靠近电源，其值越大，危害也就更加严重。因此，在反时限过电流保护动作时间超过 0.5～0.7s 时，还应装设瞬动的电流速断保护装置。

电流速断保护就是一种瞬时动作的过电流保护。其接线就相当于定时限过电流保护中抽去时间继电器，即在起动用的电流继电器之后，直接接信号继电器和中间继电器，最后由中间继电器触点接通断路器的跳闸回路。图 7-14 是定时限过流保护和电流速断保护的电路原理图，其中 KA1、KA2、KA3、KA4 是电流继电器，KT 是时间继电器，KS 是信号继电器，KM 是中间继电器。

为了保证前后两级瞬时动作的电流速断保护的选择性，因此电流速断保护的动作电流（即速断电流）I_{op}应按躲过它所保护线路末端短路的最大短路电流（即三相短路电流）$I_{k.max}$

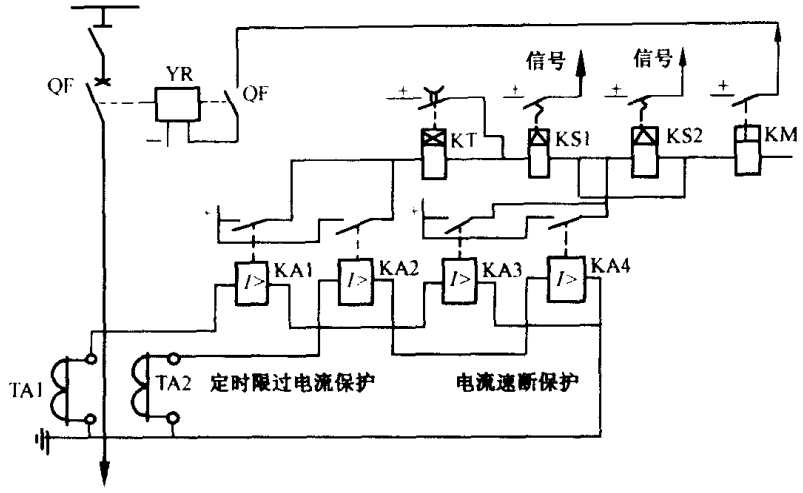


图 7-14　定时限过流保护和电流速断保护接线图

来整定。因为只有这样整定，才能避免在后一级速断保护所保护线路首端发生三相短路时前一级速断保护误动作的可能性，以保证选择性。如图 7-15 所示，前一段线路 L1 末端的三相短路电流，实际上与后一段线路 L2 首端的三相短路电流是几乎相等的。因此可得电流速断保护动作电流（速断电流）的整定计算公式为

$$I_{op} = K_{rel} K_{con} I_{k.max} / K_i \tag{7-3}$$

式中，$I_{k.max}$是线路末端短路的最大短路电流。其他各量同于式（7-1）。

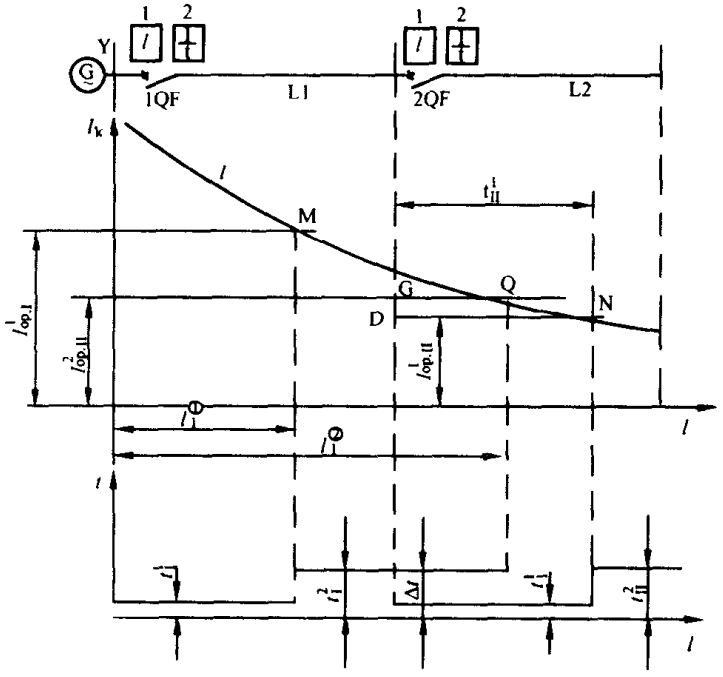


图 7-15　带时限电流速断与瞬时电流速断保护的配合

3. 带时限电流速断保护

瞬时电流速断只能保护线路的首端，线路其余部分故障时，它不能动作。因此，瞬时电流速断不能单独使用，常与带时限电流速断及反时限过流保护配合使用。

带时限电流速断要保护全线路，在线路末端短路时它应动作，那么在下一线路的首端短路时，保护也能起动，即保护区将伸延到下一线路的一部分。为了满足选择性要求，需保证动作时限应比下一线路的瞬时速断保护大一个时限差 Δt；其动作电流也要与下一线路瞬时速断的动作电流相配合，见图 7-15。

（二）变电所电力变压器的保护

针对电力变压器的下列故障及异常运行方式，应装设相应的保护装置：绕组及其引出线的相间短路；绕组的匝间短路；外部相间短路引起的过电流；过负荷；油面降低；变压器温度升高或冷却系统故障。

对于高压侧为 6～10kV 的车间变电所主变压器来说，通常装设有带时限的过电流保护；如过电流保护动作时间大于 0.5～0.7s 时，还应装设电流速断保护。容量在 800kVA 及以上的油浸式变压器和 400kVA 及以上的车间内油浸式变压器，按规定应装设瓦斯保护。容量在 400kVA 及以上的变压器，当数台并列运行或单台运行并作为其他负荷的备用电源时，应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护。过负荷保护及瓦斯保护在轻微故障时（通称“轻瓦斯”）动作于信号，而其他保护包括瓦斯保护在严重故障时（通称“重瓦斯”），一般均动作于跳闸。

对于高压侧为 35kV 及以上的工厂总降压变电所主变压器来说，也应装设过电流保护、电流速断保护和瓦斯保护；在有可能过负荷时，也需装设过负荷保护。但是如果单台运行的变压器容量在 10000kVA 及以上和并列运行的变压器每台容量在 6300kVA 及以上时，则要求装设纵联差动保护来取代电流速断保护。

1. 变压器过电流保护的接线方式

电力变压器高压侧的过流保护主要采用两相两继电器式。两相两继电器式保护接线如图 7-16 所示。这种接线适于作相间短路保护和过负荷保护。关于保护灵敏度，对 Y，yn0 联接的变压器，无论低压侧发生何种相间短路，保护灵敏度都是相同的。而对 D，yn11 联接的变压器，在低压侧发生不同两相短路时，保护灵敏度有差别，但不影响保护装置的可靠动作。

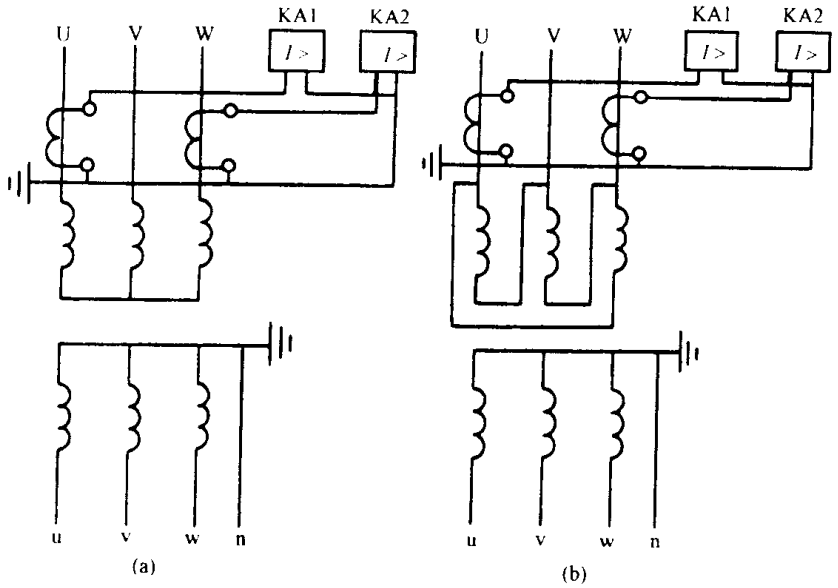


图 7-16 高压侧采用两相两继电器式接线

（a）Y，yn0 变压器；（b）D，yn11 变压器

当低压侧发生单相短路时，对 Y，yn0 联接的变压器来说，保护灵敏度只有相间短路保护的 1/3，显得过低，不满足要求。

另外还有两相一继电器式接线，如图 7-17 所示。这种接线可作相间短路保护，而且少用一个继电器。但不同的相间短路，保护灵敏度不同。这种接线对某些低压单相短路，如图 7-17 所示，保护装置根本不动作，所以采用较少。

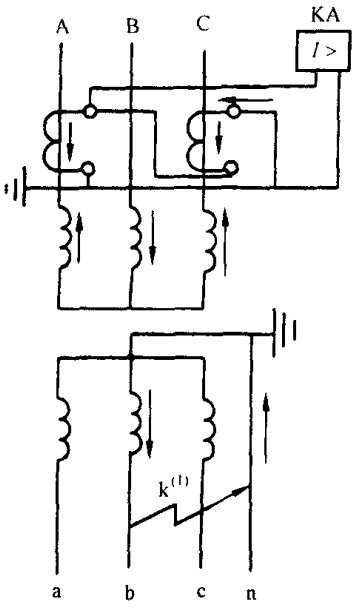


图 7-17　高压侧采用两相一继电器式接线

2. 变压器低压侧的单相短路保护（低压侧为 380V 时）

对变压器低压侧的单相短路，可采取下列措施之一：

（1）在变压器低压侧装设三相都带过流脱扣器的低压断路器。这一低压断路器，既作低压主开关，操作方便，且便于实现自动化；又可用来保护低压侧的相间短路和单相短路。

（2）在变压器低压侧装设熔断器。这同样可用来保护低压侧的相间短路和单相短路，但熔断器不能作控制开关使用，而且它熔断后需更换熔体才能恢复供电，因此只适用于负荷不重要的变压器。

（3）在变压器低压侧中性点引出线上装设零序电流保护。如图 7-18 所示。这种零序电流保护的动作电流按躲过变压器低压侧最大不平衡电流来整定。

零序电流保护的动作时间一般取 0.5～0.75s。

（4）采用两相三继电器接线或三相三继电器接线的过电流保护。如图 7-19 所示。这种保护使低压侧发生单相短路时保护的灵敏度大大提高。

以上四种保护，第一种应用最广，既满足了低压侧单相短路保护要求，又操作方便，适于实现自动化的要求。

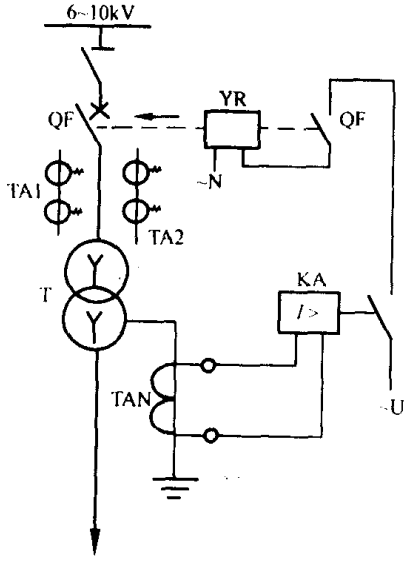


图 7-18　变压器的零序电流保护

QF—高压断路器；TAN—零序电流互感器；KA—电流继电器（GL 型）；YR—跳闸线圈

3. 变压器的过电流保护、电流速断保护和过负荷保护

（1）变压器的过电流保护

无论采用电流继电器还是采用脱扣器，也无论是定时限还是反时限，变压器过电流保护的组成、原理与线路过电流保护的组成、原理完全相同。变压器过电流保护的动作电流整定应按躲开变压器的额定电流来考虑。其动作时间亦按“阶梯原则”整定，与线路过电流保护完全相同。但是对车间变电所（电力系统的终端变电所），其动作时间可整定为最小值（0.5s）。

（2）变压器的电流速断保护

变压器的电流速断保护，其组成、原理与线路的电流速断保护完全相同。变压器电流速断保护动作电流（速断电流）的整定计算公式也与线路电流速断保护基本相同。

变压器的电流速断保护，与线路电流速断保护一样，也有“死区”。弥补死区的措施是配备带时限的过电流保护。

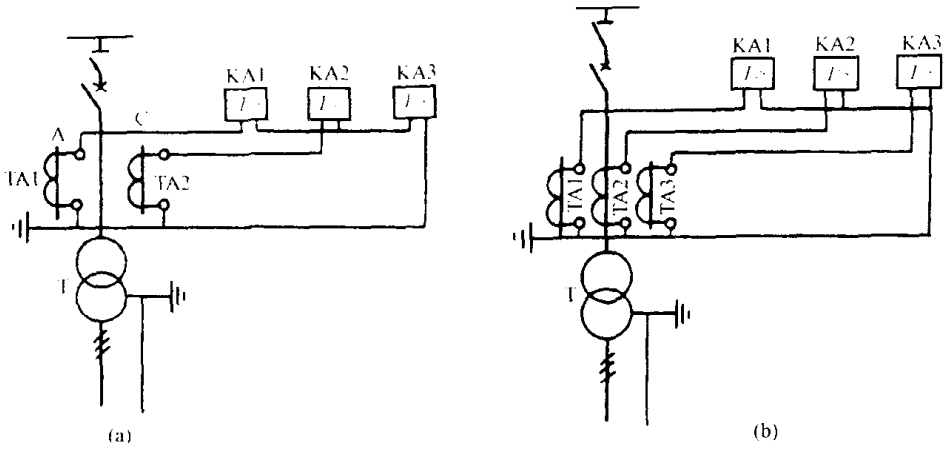


图 7-19　适用于变压器低压侧的单相短路保护的两种接线

(a) 两相三继电器式；(b) 三相三继电器式

考虑到变压器在空载投入或突然恢复电压时将出现一个冲击性的励磁涌流，为了避免电流速断保护误动作，可在速断电流整定后，将变压器空载试投若干次，检查速断保护是否误动作。

(3) 变压器的过负荷保护

变压器的过负荷保护组成、原理也与线路的过负荷保护完全相同。动作时间一般取 10～15s。图 7-20 为变压器的定时限过电流保护、电流速断保护和过负荷保护的原理图。

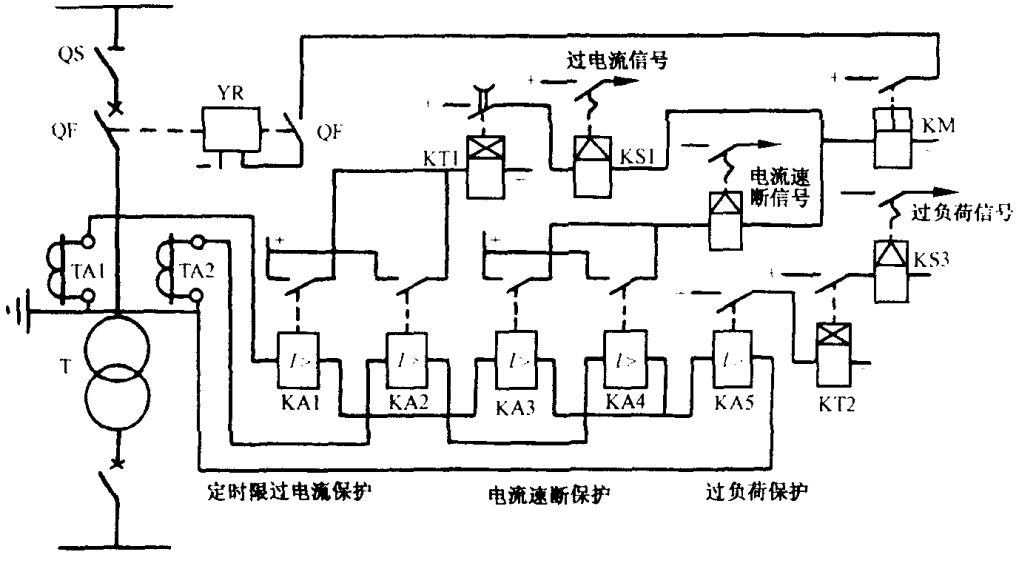


图 7-20　变压器的定时限过电流保护、电流速断保护和过负荷保护的原理图

4. 变压器的差动保护

差动保护是利用故障时产生的不平衡电流来动作，保护灵敏度很高，而且动作迅速。10000kVA 及以上的单独运行变压器和 6300kVA 及以上的并列运行变压器，应装设纵差动保护；6300kVA 及以下单独运行的重要变压器，也可装设纵差动保护。当电流速断保护灵敏度不符合要求时，亦宜装设纵差动保护。

（1）变压器差动保护的基本原理。变压器的差动保护，主要用来保护变压器内部短路故障以及引出线和绝缘套管的相间短路，并且也可用来保护变压器的匝间短路，其保护区在变压器一、二次侧所装电流互感器之间。

图 7-21 是变压器差动保护的单相原理电路图。在变压器正常运行或差动保护的保护区外 k－1 发生短路时，如果 1TA 的二次电流 I'_1 与 2TA 的二次电流相等（或相差极小），则流入继电器 KA（或差动继电器 KD）的电流等于零或极小，继电器 KA（或 KD）不动作。而在差动保护的保护区内 k－2 点发生短路时，对于单端供电的变压器来说 I'_2 等于零，所以当 $I_0 = I'_1$，超过继电器所整定的动作电流时，使 KA（或 KD）瞬时动作，然后通过出口继电器 KM 使断路器 QF 跳闸，切除短路故障，同时由信号继电器 KS 发出信号。

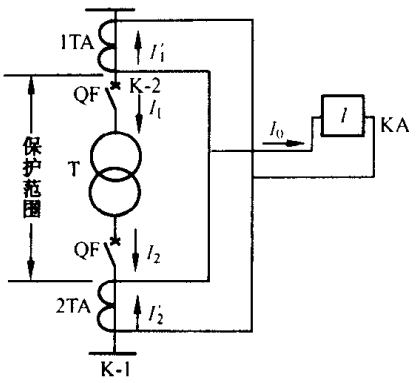


图 7-21　变压器纵差动保护的单相原理图

（2）变压器差动保护中的不平衡电流及使其减小的措施。变压器差动保护是利用保护区内发生短路故障时变压器两侧电流在差动回路（即差动保护中连接继电器的回路）中引起的不平衡电流而动作的一种保护。对这一不平衡电流，在变压器正常运行或保护区外部短路时，希望尽可能地小，理想情况下是等于 0。但这几乎是不可能的。它不仅与变压器及电流互感器的接线方式和结构性能等因素有关，而且与变压器的运行有关，因此只能设法使之尽可能地减小。

下面简述不平衡电流产生的原因及其减小或消除的措施。

1）由变压器接线而引起的不平衡电流及使其消除的措施。工厂总降压变电所的主变压器通常采用 Y，d11 联结组，这就造成变压器高低压两侧电流有 30°的相位差。因此，虽然通过恰当选择变压器两侧电流互感器的变流比，可以使互感器二次电流大小相等，但由于这两个电流之间存在着 30°相位差，在差动回路中仍然会有相当大的不平衡电流。为了消除差动回路中的这一不平衡电流，因此将装设在变压器星形联接一侧的电流互感器接成三角形联接，而变压器三角形联接一侧的电流互感器接成星形联接，如图 7-22（a）所示。由图 7-22（b）的相量图可知，这样即可消除差动回路中因变压器两侧电流相位不同而引起的不平衡电流。

2）由两侧电流互感器变比、型式不同而引起的不平衡电流及其消除措施。由于两侧电流互感器变比、型式的不同，从而不大可能使差动保护两边的电流完全相等，为消除这一不平衡电流，可利用速饱和电流互感器或专门的差动继电器来实现。

3）由变压器励磁涌流引起的不平衡电流。由于变压器在空载时投入产生的励磁涌流只通过变压器一次绕组，二次绕组因空载而无电流，这就会在差动回路中产生相当大的不平衡电流。对此可以采用速饱和电流互感器来消除其影响，将继电器接在速饱和电流互感器的二次侧，可以减小励磁涌流对差动保护的影响。

4）改变变压器分接头而引起的不平衡电流。分接头的改变，改变了变压器的电压比，而电流互感器的变流比不可能相应改变，从而破坏了差动回路中原有的电流平衡状态，也会产生不平衡电流。

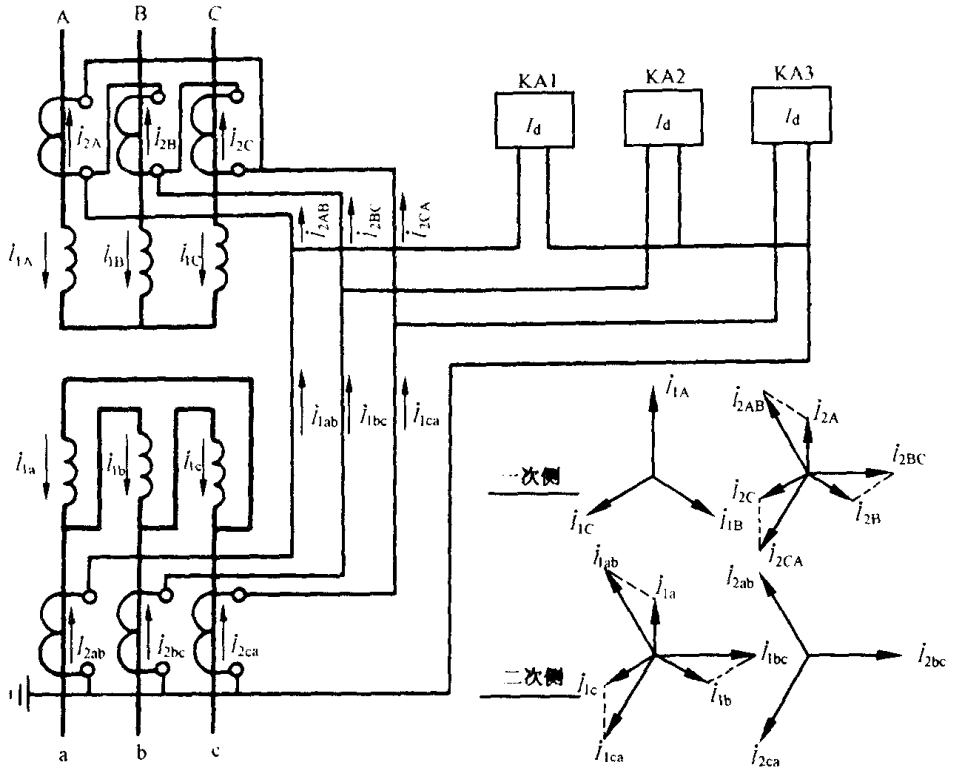


图 7-22　Y，d11 联接变压器的纵差动保护接线

（a）两侧电流互感器的接线；（b）电流相量图

总之，产生不平衡电流的因素很多，不可能完全消除，只能设法使之减小到最小值。

5. 变压器的瓦斯保护

瓦斯保护是油浸式电力变压器内部故障的一种基本的保护装置，可作为电力变压器的主保护。

瓦斯保护的主要元件是气体继电器。它装设在变压器的油箱与油枕之间的联通管上，如图 7-23 所示。为了使油箱内产生的气体能够顺畅地通过气体继电器排往油枕，变压器的安装应取 1% ~ 1.5%的倾斜度；而变压器在制造时，联通管对油箱顶盖也有 2% ~ 4%的倾斜。

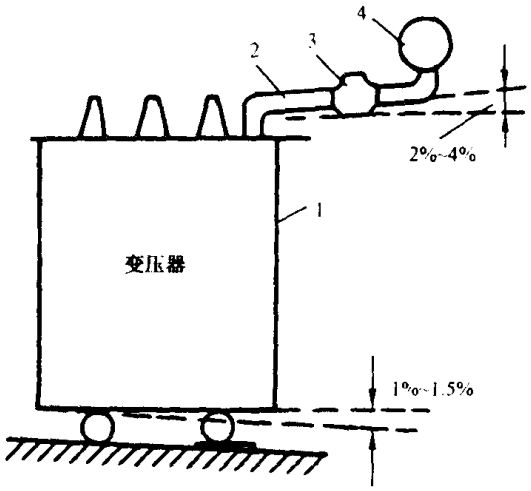


图 7-23　气体继电器在变压器上的安装

1—油箱；2—连通管；3—气体继电器；4—油枕

变压器瓦斯保护的原理接线如图 7-24 所示。当变压器内部发生相间、层间或匝间等短路故障时，短路电流和电弧使变压器油和其他绝缘材料分解，从而产生大量的瓦斯气体。这些气体的比重比绝缘油轻，会上升到变压器的油枕内。

当变压器内部发生轻微故障（轻瓦斯）时，气体继电器 KG 的上触点 KG1 - 2 闭合，动作于报警信号。当变压器内部发生严重故障（重瓦斯）时，KG 的下触点 KG3 - 4 闭合，通常是经中间继

电器 KM 动作于断路器 QF 的跳闸机构 YR，同时通过信号继电器 KS 发出跳闸信号。

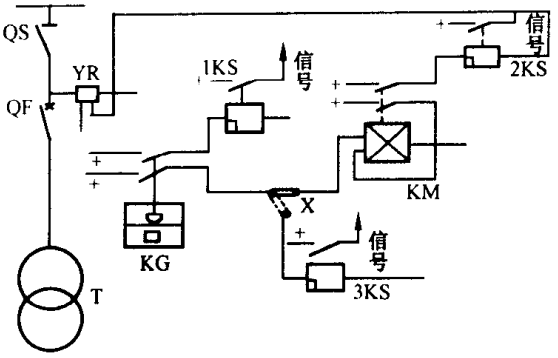


图 7-24　变压器瓦斯保护的原理接线图
QF—断路器；T—变压器；KG—气体继电器；
KM—中间继电器；1～3KS—信号继电器；
XB—连接片；YR—跳闸线圈

三、工作程序

1. 在继电保护和自动装置检修或校验后，应经值班员对其回路进行周密检查，方可投入运行。检查的内容有：

（1）查阅继电保护工作记录簿，接受工作负责人的详细交底，回路有变动时，应由工作负责人修改现场图纸，并作好记录。

（2）继电器外壳应盖好，全部铅封。

（3）装置信号指示应正常，且与运行方式相符合。

（4）定值应与调度要求或整定单相符合。

（5）连接片与切换开关、按钮等与运行方式应相符合。

（6）电压互感器二次侧不能短路，电流互感器二次侧不能开路。

2. 正常运行时的检查项目：

（1）装置连接片、开关、按钮应处于运行方式要求的位置。

（2）检查装置信号应正常。

（3）装置应无过热及异常气味，内部无放电异常声音。

3. 系统或变配电所发生事故及异常运行时，如开关跳闸、系统故障等，值班员应做好以下工作。

（1）迅速查明原因，并向有关部门汇报下列内容：

1）哪些开关跳闸及重合闸动作情况；

2）哪些保护动作使开关跳闸。

（2）全面了解继电保护及光字牌的动作情况，不要急于复归信号，应作好详细记录，并向调度作补充汇报。

四、注意事项

值班员若需要投入继电保护及自动装置时，应先投入交流电源（如电压或电流回路等），后送上直流电源。此后，检查继电器接点位置应正常；信号灯及表计指示应正确，然后投入信号连接片。若需将保护投入跳闸位置或将自动装置投入运行位置时，须先用高内阻直流电压表或万能表测定跳闸连接片两端对地无异性电压后，方能投入连接片。继电保护和自动装置退出时的操作顺序与此相反。

思　考　题

一、名词解释

1. 电压互感器的开口三角形接线　　2. 复式整流

二、判断题

1. 三相三柱式电压互感器的接线，它既能测量线电压也能测相电压。　　（　　）

2. 带时限的过电流保护（包括定时限和反时限）的动作电流应躲过线路的最大负荷电

流。（　　）

3. 投入继电保护及自动装置时，应先投入交流电源（如电压或电流回路等），后送上直流电源。（　　）

三、问答题

1. 电流互感器有哪些接线方式？画出电流互感器的三相星形接线。

2. 画出电流互感器的不完全星形接线，它为什么能测三相电流？

3. 电流互感器接线时要特别注意些什么？

4. 电压互感器有哪些接线方式？通过电压互感器能测量哪些电压？

5. 在 6～10kV 系统中，用作绝缘监察电压互感器采用什么接线？

6. 在 35kV 及以下的电压等级中，电压互感器如何接入？

7. 电压互感器检查的项目有哪些？

8. 变电所的直流负荷有哪些种类？

9. 写出铅酸蓄电池充放电的化学反应方程式。

10. 写出镉镍电池充放电的化学反应方程式。

11. 以蓄电池作为直流电源的变电所，其蓄电池宜采用何种运行方式？说明其工作原理。

12. 说明硅整流电容储能直流系统的工作原理。

13. 如何检查蓄电池直流系统？

14. 6～10kV 输电线路的继电保护有哪些保护组成？画出定时限过电流保护的原理图。

15. 写出过流保护动作电流的整定计算公式，并说明各符号的含义。

16. 高压侧为 35kV 的工厂变电所的主变压器应装设哪些保护？

17. 画出变压器差动保护的接线图。变压器差动保护中的不平衡电流是由哪些原因引起的？

18. 瓦斯保护能保护变压器范围是什么？画出变压器瓦斯保护的原理接线图。

19. 画出变压器的定时限过电流保护、电流速断保护和过负荷保护的原理图。

第八章　倒　闸　操　作

第一节　做好倒闸操作前的准备

第一单元　　填写倒闸操作票

一、学习目标

通过本单元学习，会正确填写倒闸操作票。

二、相关知识

（一）倒闸操作票的格式

倒闸操作票的格式见表 8-1。

表 8-1　　**变电所倒闸操作票**　　**编号：**

操作开始时间：　　年　　月　　日　　时　　分　　终了时间：　　日　　时　　分		
操作任务：		
	顺　　序	操作项目
备　　注		

操作人：　　监护人：　　工作许可人：

（二）常用操作标准设备名称及操作术语

1. 常用操作标准设备名称

主变（所变），开关（断路器），闸刀（刀闸），接地闸刀（刀闸），母线，线路，压变，流变，电缆，避雷器，电容器，电抗器，消弧线圈，令克（跌落熔断器），保护

2. 常用操作术语

（1）开关、闸刀（刀闸）、接地闸刀（刀闸）、令克合上、拉开

（2）接地线：装设（挂）、拆除

（3）各种熔丝：放上、取下

（4）继电保护及自动装置：启用、停用

（5）压板：放上、取下、投入、退出、或从××位置切至××位置，短路并接地

（6）交、直流回路各种转换开关：从××位置切至××（二次插件：插入、拔出）

（7）二次空气开关：合上、分开

（8）二次回路小闸刀：合上、拉开

（三）保证安全的组织措施

在电气设备上工作，保证安全的组织措施有：工作票制度；工作许可制度；工作监护制度；工作间断、转移和终结制度。本单元先讲工作票制度，工作间断、转移和终结制度。下单元讲工作许可制度，工作监护制度。

1. 工作票制度

（1）工作票的种类

在电气设备上工作，应填写工作票。工作票可分为三种。

第一种工作票；

第二种工作票；

口头或电话命令。

（2）第一种工作票

使用第一种工作票的工作为：

1）高压设备上工作需要全部停电或部分停电者；

2）高压室内的二次接线和照明等回路上的工作，需要将高压设备停电或做安全措施者。

第一种工作票的格式见表 8-2。

（3）第二种工作票

使用第二种工作票的工作为：

1）带电作业和在带电设备外壳上的工作；

2）控制盘和低压配电盘、配电箱、电源干线上的工作；

3）二次接线回路上的工作，无需将高压设备停电者；

4）转动中的高压电动机转子电阻回路上的工作；

5）非当值值班人员用绝缘棒、电压互感器定相或用钳形电流表测量高压回路的电流。

第二种工作票的格式见表 8-3。

（4）其他工作用口头或电话命令

表 8-2

变配电室第一种工作票

第_____号

1. 工作负责人（监护人）：_____班组：_____

工作班人员：_____

2. 工作任务（内容和工作地点）：_____

3. 计划工作时间：自_____年_____月_____日_____时_____分至_____年_____月_____日_____时_____分

4. 安全措施

（1）停电范围：

（2）安全措施：

下列由工作票签发人填写

应拉断路器（开关）和隔离开关（刀闸）

应装接地线位置（注明确实地点）

应设遮栏、应挂标示牌地点

工作票签发人（签名）：_____

收到工作票时间：_____年_____月_____日_____时_____分

值班负责人（签名）：

下列由工作许可人填写

已拉断路器（开关）和隔离开关（刀闸）

已装接地线（注明接地线编号和装设地点）

已设遮栏、已挂标示牌（注明地点）

工作许可人（签名）：_____

值班负责人（签名）：

5. 许可工作开始时间_____年_____月_____日_____时_____分

工作许可人（签名）：_____

工作负责人（签名）：_____

6. 工作负责人变动

原工作负责人_____离去，变更_____为工作负责人

变动时间_____年_____月_____日_____时_____分

工作票签发人（签名）：_____

7. 工作票延期，有效期延长到：_____年_____月_____日_____时_____分

工作负责人（签名）：_____值班负责人（签名）：_____

8. 工作终结：

（1）工作班人员已全部撤离，现场已清理完毕。

（2）接地线共　组已拆除。

（3）全部工作于_____年_____月_____日_____时_____分结束。

工作负责人（签名）：_____工作许可人（签名）：_____

9. 备注：_____

表 8-3　　变配电室第二种工作票

第_____号

1. 工作负责人（监护人）：_____班组：_____

工作班人员：_____

2. 工作任务（内容和工作地点）：_____

3. 计划工作时间：自_____年_____月_____日_____时_____分至_____年_____月_____日_____时_____分

4. 工作范围（停电或不停电）：_____

_____

5. 安全措施：_____

_____

6. 许可工作开始时间_____年_____月_____日_____时_____分

工作许可人（签名）：_____工作负责人（签名）：_____

7. 工作终结时间_____年_____月_____日_____时_____分

工作负责人（签名）：_____工作许可人（签名）：_____

8. 备注：_____

_____

口头或电话命令，必须清楚正确，值班员应将发令人、负责人及工作任务详细记入操作记录簿中，并向发令人复诵核对一遍。

（5）工作票的管理

1）工作票要用钢笔或圆珠笔填写，一式两份，应正确清楚，不得任意涂改，如有个别错、漏字需要修改时，应字迹清楚。

两份工作票中的一份必须经常保存在工作地点，由工作负责人收执，另一份由值班员收执，按值移交。值班员应将工作票号码、工作任务、许可工作时间及完工时间记入操作记录簿中。

在无人值班的设备上工作时，第二份工作票由工作许可人收执。

2）一个工作负责人只能发给一张工作票。工作票上所列的工作地点，以一个电气连接部分为限。

3）第一种工作票应在工作前一日交给值班员。临时工作可在工作开始以前直接交给值班员。

第二种工作票应在工作的当天预先交给值班员。

4）工作票签发人不得兼任该项工作的工作负责人。

2. 工作间断、转移和终结制度

工作间断、转移和终结制度是保证人身设备安全，保证检修质量，防止误操作的一项组织措施。

（1）工作间断（休息、下班）或遇雷雨威胁工作人员安全时，应使全体工作人员撤离工作现场，工作票由工作负责人执存，所有的安全措施不能变动；继续工作时，工作负责人必须向全体工作人员重申安全措施。在变电所工作，工作班每日收工时，要将工作票交给值班员，次日开始工作前，必须重新履行工作许可手续，方可开始工作。

（2）对于连续性的工作，在同一电气连接部分用同一工作票依次在几个工作地点转移工作时，全部安全措施由值班员在开始工作前一次完成，不需再办理转移手续，但在转移到下一个工作地点时，工作负责人应向工作人员交待停电范围、安全措施和注意事项。

（3）工作间断期间，遇有紧急情况需要送电时，值班员应得到工作负责人的许可，并通知全体工作人员撤离现场。送电前应完成下列措施：

1）拆除临时遮栏、接地线和标示牌，恢复常设遮栏和原标示牌；

2）对于较复杂或工作面较大的工作，必须在所有通道派专人看守，告诉工作班人员“设备已经合闸送电，不能继续工作”。看守人在工作票未收回前，不应离开守候地点。

（4）工作终结送电前，工作负责人应对检修设备全面进行质量检查。检修设备的检修工艺质量应符合技术要求。在变（配）电所工作时，工作负责人应会同值班员对设备进行检查，特别应核对隔离开关及断路器分、合位置的实际情况，是否与工作票上填写的位置相符，核对无误双方在工作票上签字。

（5）全部工作完毕后，工作班应清扫、整理现场。工作负责人应先周密的检查，待全体工作人员撤离工作地点后，再向值班人员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在问题等，并与值班人员共同检查设备状况，有无遗留物件，是否清洁等，然后在工作票上填明工作终结时间，经双方签名后，工作票方告终结。

（6）只有在同一停电系统的所有工作票结束，拆除所有接地线、临时遮栏和标示牌，恢复常设遮栏，并得到值班调度员域值班负责人的许可命令后，方可合闸送电。

三、工作程序

操作票的正确与否是变电值班人员会不会发生误操作的最重要的一步。在填写操作票前，必须掌握倒闸操作的原则、顺序、技术要领、注意事项等。

在填写倒闸操作票前，必须了解系统的运行方式、继电保护及自动装置等情况，并应考虑电源及负荷的合理分布以及系统运行方式的调整情况。

在电气设备送电前，必须收回并检查有关工作票，拆除安全措施（如拉开接地开关或拆除临时接地线及警告牌），然后测量绝缘电阻。在测量绝缘电阻时，必须隔离电源，进行放电。此外，还应检查隔离开关和断路器应在断开位置。

在倒闸操作前，应考虑继电保护及自动装置整定值的调整，是否适应新的运行方式的要求，防止因继电保护及自动装置误动作或拒动而造成事故。备用电源自动投入装置、重合闸等自动装置必须在所属主设备停用前退出运行，在所属主设备投用后再投入运行。在进行电源切换或电源设备倒母线时，必须先将备用电源投入装置切除。

在倒闸操作中，应注意电源及负荷在不同母线上的平衡，并尽量减少分段、母联断路器中的电流，应不超过限额，以防止因设备过负荷而跳闸。

在下列情况下，应将断路器的直流操作熔断器取下：

（1）检修断路器时。

（2）二次回路及保护装置有人工作时。

（3）双母线接线中，在倒母线过程中拉、合母线隔离开关，拉、合断路器旁路隔离开关及母线分段隔离开关时，必须取下母联断路器、旁路断路器及分段断路器的直流操作熔断器，以防止带负荷拉合隔离开关。

（4）操作隔离开关时，应检查断路器确在断开位置，以防止在操作隔离开关过程中，误分或误合隔离开关造成带负荷拉、合隔离开关事故。

（5）在继电保护故障情况下，应取下断路器直流操作熔断器，以防止因断路器误合或误跳而造成停电事故。

（6）SF_6 断路器漏气时，应取下断路器直流操作熔断器，以防止系统中发生故障而跳开该断路器时，造成断路器爆炸。这是因为 SF_6 断路器气体压力降低时，其灭弧能力也降低。

操作中应使用合格的安全工具，如验电器等。

四、注意事项

倒闸操作时的注意事项：

1. 操作命令和操作项目必须采用双命名。

2. 在操作过程中操作人应始终处于监护人的视线中，操作中发现疑问时，要立即停止操作，并向上级汇报，在疑问弄清后方可继续操作。

3. 操作中执行每一项操作均应严格做到“四对照”，即对照设备名称、编号、位置和拉合方向。

4. 操作时，监护人宣读操作项目，操作人复诵，声音要宏亮，吐字要清楚，监护人确认无误，发出“对，可执行”后，操作人方可操作。

5. 操作必须按操作的顺序依次进行，不得跳项、漏项，不得擅自更改操作顺序。

6. 每项操作结束后，监护人和操作人应共同检查操作质量，如操作断路器和隔离开关，应检查是否三相确已合上或断开。

7. 操作中遇有异常和事故时，应立即停止操作，待异常和事故处理结束后，再继续执行。

8. 执行一个倒闸操作任务，中途严禁换人。在操作过程中，监护人应自始至终地认真监护。

第二单元　担任倒闸操作的监护人

一、学习目标

通过本单元学习，能胜任操作监护人、工作许可人职责。

二、相关知识

（一）工作许可人

工作许可制度是许可人（值班员）协同工作负责人检查实施安全措施，下达工作命令，工作中互相监督配合，保证安全，完成任务的一项重要措施。

（1）工作许可人应负责审查工作票中所列的安全措施是否正确、完备，是否符合现场条件，并完成施工现场的安全措施。

（2）在变电所工作时，工作许可人会同工作负责人检查在停电范围内所做的安全措施，并指明邻近带电部位，验明检修设备确无电压后，双方在工作票上签字。

（3）在变（配）电所出线电缆的另一端头（或线路上的电缆头）的停电工作，应得到送电端的值班员或调度员的许可后，方可进行工作。

（4）工作负责人及工作许可人，任何一方不得擅自变更安全措施及工作项目，工作许可人不得改变检修设备的运行接线方式，如需改变时，应事先得到工作负责人的同意。

（5）在工作过程中，当工作许可人发现有违反安全工作规程规定时，或拆除某些安全设施时，应立即命令工作人员停止工作，并进行更正。

（二）工作监护人

工作监护制度是保证人身安全和操作正确的主要措施。

（1）监护人的条件　监护人应有一定的安全技术经验，能掌握工作现场的安全、技术、工艺质量、进度等要求，有处理应急问题的能力。一般监护人的安全技术等级高于操作人。

（2）操作人的条件　操作人应熟练掌握操作技术，熟悉设备的运行方式及运行情况，能在规定的时间内完成工作任务，并应听从监护人的指挥。

三、注意事项

监护人工作职责为：

1）部分停电工作时，监护人应始终不间断地监护工作人员的最大活动范围，使其保持在规定的安全距离内工作。

2）带电工作时，监护人应监护所有工作人员的活动范围，工作人员与带电部分的距离不应小于安全距离。查看工作位置是否安全，工具使用以及操作方法是否正确等。若发现某些工作人员有不正确的动作时，应及时提出纠正，必要时令其停止工作。

3）监护人在执行监护工作中，应全神贯注，不得兼做其他工作，如需离开工作现场时，应另行指派监护人，并通知被监护的工作人员。

第二节　进行变压器停送电操作

一、学习目标

通过本节的学习，会进行变压器的停、送电操作。

二、操作步骤

下面以双绕组变压器为例，说明变压器停送电的操作过程。图 8-1 所示为一双绕组变压器的接线。

（一）变压器连同两侧断路器由运行到检修的操作步骤

（1）拉开变压器负荷侧断路器；

（2）检查变压器负荷侧断路器确在断开位置；

（3）拉开负荷侧隔离开关，并检查其确在分闸位置；

（4）拉开变压器电源侧断路器；

（5）检查变压器电源侧断路器确在断开位置；

（6）拉开电源侧隔离开关，并检查其确在分闸位置；

（7）取下变压器负荷侧断路器的直流操作熔断器；

（8）取下变压器电源侧断路器的直流操作熔断器；

（9）取下变压器负荷侧断路器的合闸熔断器；

（10）取下变压器电源侧断路器的合闸熔断器；

（11）在变压器与负荷侧隔离开关之间验明无电后，挂接地线一组；

（12）在变压器与电源侧隔离开关之间验明无电后，挂接地线一组；

（13）在变压器两侧隔离开关的操作把手上挂“有人工作，禁止合闸”标示牌；

（14）在变压器四周设围栏，悬挂“止步，高压危险”标示牌。

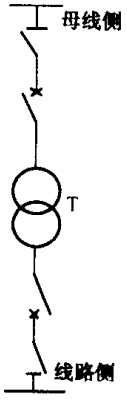


图 8-1　双绕组变压器的接线

（二）变压器连同两侧断路器由检修到运行的操作步骤

（1）收回检修工作票，拆除接地线；

（2）对变压器断路器和系统进行全面的检查；
（3）检查变压器电源侧断路器确在断开位置；
（4）放上变压器电源侧断路器的合闸熔断器；
（5）检查变压器负荷侧断路器确在断开位置；
（6）放上变压器负荷侧断路器的合闸熔断器；
（7）合上电源侧隔离开关，并检查其确在合闸位置；
（8）合上负荷侧隔离开关，并检查其确在合闸位置；
（9）投入变压器的继电保护装置；
（10）放上变压器电源侧断路器的直流操作熔断器；
（11）放上变压器负荷侧断路器的直流操作熔断器；
（12）合上变压器电源侧断路器，向变压器充电 3 分钟；
（13）检查电源侧断路器确在合闸位置；
（14）合上变压器负荷侧断路器；
（15）检查负荷侧断路器确在合闸位置；
（16）投入变压器的冷却装置。

三、注意事项

变压器运行一定时间后，需要有计划地进行检修；运行中出现异常情况或故障，也需要进行检修。检修好后的变压器又需要投入运行。

对变电所来说，变压器的操作，送电时一般从高压侧（电源侧）开始，这是因为高压侧电压等级高，所产生的激磁涌流小，对电网的冲击小。停电时应与送电时相反。此外：

变压器装有断路器时，拉、合闸必须使用断路器。

如果没有装设断路器，可用隔离开关接通或切断空载变压器，隔离开关允许接通或切断的变压器的容量和等级如表 8-4 所示。

表 8-4　　允许用隔离开关接通或切断的变压器的容量和等级

电压等级（kV）	10 以下	35
容　量（kVA）	320	1000

第三节　进行母线倒闸操作

一、学习目标

通过本节的学习，会进行母线的停、送电操作。

二、操作步骤

（一）单母线接线母线从运行到检修的操作步骤

图 8-2 为单母线的主接线，有一个电源，两回出线。在进行母线停电操作时，应先拉开负荷回路，再拉开电源回路。

（1）拉开出线 L1 的断路器 1QF；
（2）拉开出线 L2 的断路器 2QF；
（3）拉开电源回路的断路器 3QF；

（4）检查出线 L1 的断路器 1QF 确在断开位置；
（5）拉开出线 L1 的负荷侧隔离开关 1QS2；
（6）拉开出线 L1 的母线侧隔离开关 1QS1；
（7）检查出线 L2 的断路器 2QF 确在断开位置；
（8）拉开出线 L2 的负荷侧隔离开关 2QS2；
（9）拉开出线 L2 的母线侧隔离开关 2QS1；
（10）检查电源回路的断路器 3QF 确在断开位置；
（11）拉开电源回路的母线侧隔离开关 3QS1；
（12）取下出线 L1 的断路器 1QF 的操作熔丝；
（13）取下出线 L2 的断路器 2QF 的操作熔丝；
（14）取下电源 L3 的断路器 3QF 的操作熔丝；
（15）在被停母线上验明无电，挂接地线两组；
（16）在有关地方挂标示牌。

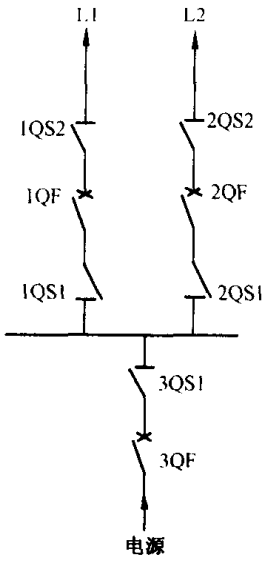


图 8-2　单母线的接线

（二）单母线接线母线从检修到运行的倒闸操作步骤
（1）收回有关工作票，拆除接地线；
（2）全面检查被检修母线；
（3）检查电源回路的断路器 3QF 确在断开位置；
（4）合上电源回路的母线侧隔离开关 3QS1；
（5）放上电源回路断路器 3QF 的操作熔丝；
（6）合上电源回路断路器 3QF，对检修母线充电；
（7）检查电源回路断路器 3QF 确在合闸位置；
（8）检查出线 L1 的断路器 1QF 确在断开位置；
（9）合上出线 L1 的母线侧隔离开关 1QS1；
（10）合上出线 L1 的线路侧隔离开关 1QS2；
（11）放上出线 L1 的断路器 1QF 的操作熔丝；
（12）合上出线 L1 的断路器 1QF；
（13）检查出线 L1 的断路器 1QF 确在合闸位置；
（14）检查出线 L2 的断路器 2QF 确在断开位置；
（15）合上出线 L2 的母线侧隔离开关 2QS1；
（16）合上出线 L2 的线路侧隔离开关 2QS2；
（17）放上出线 L2 的断路器 2QF 的操作熔丝；
（18）合上出线 L2 的断路器 2QF；
（19）检查出线 L2 的断路器 2QF 确在合闸位置。

三、注意事项

母线检修时，所有进出线回路的断路器也可不取下其操作熔丝。

思　考　题

一、名词解释

1. 倒闸操作

二、判断题

1. 在倒闸操作后，应考虑继电保护及自动装置整定值的调整。（　　）
2. 执行一个倒闸操作任务，中途允许换人。（　　）
3. 变压器的操作，停电时一般从高压侧（电源侧）开始。（　　）

三、问答题

1. 在倒闸操作前要注意什么？
2. 在电气设备送电前要做哪些工作？
3. 什么情况取下断路器的直流操作熔断器？
4. 保证安全的组织措施的内容是什么？
5. 什么情况下填用第一种工作票？什么情况下填用第二种工作票？
6. 值班员接到口头或电话命令后如何保证所接受的命令的正确性？
7. 监护人的职责是什么？
8. 倒闸操作时应注意哪些事项？
9. 变压器操作时的原则是什么？
10. 写出变压器由冷备用到运行的操作步骤。
11. 写出变压器由运行到冷备用的操作步骤。
12. 写出单母线接线变压器连同断路器由检修到运行的操作步骤。

第九章　异　常　运　行

第一节　处理电压降低

一、学习目标

能对变电所电压降低进行处理。

二、相关知识：电力系统的电压调整

电压是衡量电能质量的重要指标之一，当用户所需的无功负荷大于或小于系统的无功电源发出的无功功率时，系统电压就要升高或降低。为了保证供电的电压质量，系统电压应维持在额定值运行。但在实际运行中，由于系统中负荷的变动，电压也将不断变动，为此，一般规定系统运行电压的变动范围不应超过额定值的±5%，系统最低运行电压不应降至额定值的90%，最高运行电压不应超过额定值的110%。

为了满足这一要求，必须保证系统的无功电源与用户所需的无功负荷处于平衡状态。为了控制电压波动在允许变动的范围内，就必须进行电压的调整。

电力系统电压的降低，通常是由于用户所需无功功率的增加或无功电源的突然切除，如发电机、调相机和静电电容器的检修，系统运行方式的改变以及系统内的设备故障等，都可能造成无功的缺乏，从而使系统电压降低过多。

低压运行的危害性很大，如：

(1) 发电机出力降低。发电机在低于额定电压运行时，要维持同样的出力，则将引起定子电流的增加，其增加的程度略大于电压下降百分数。如果定子绕组在额定电压时出力已达限额，而且要求电压下降后有功出力维持不变，那么发电机的无功出力将随电压的降低而明显减少。经分析，电压降低1%，无功出力降低3%。

(2) 静电电容器的出力降低。静电电容器的出力与电压的平方成正比，电压在一定范围内降低1%，其出力减少2%。

(3) 线损增大。线路损耗受电压的影响比较大，它与电压的平方成反比，在一定范围内电压降低1%，线路的有功和无功损耗都将增加2%。

(4) 烧坏电动机。用户及发电厂厂用电的交流电动机，由于系统电压过低，使定子电流增加，会造成电动机长期过负荷运行而烧坏。异步电动机的最大力矩与电压的平方成正比，当系统电压低于额定值的70%时，在满负荷情况下电动机就会停转，从而影响工农业的生产。

(5) 降低送、变电设备能力。电压降低时，送变电设备能力相应降低。

(6) 降低系统稳定性。当系统的无功电源不足，而用户所需的无功负荷增加时，使系统电压大幅度下降，导致失去稳定而造成电压崩溃，引起系统瓦解并造成长时间的大面积停电。

三、工作程序

电压降低的根本原因是由于系统的无功不足。

发电厂和装有同期调相机的变电所，当其母线电压超过电压曲线规定的允许变动范围时，值班人员应不待值班调度员的命令，自行调整发电机和同期调相机的励磁，使母线电压恢复至允许变动范围以内。当发电机或同期调相机已带至满负荷而母线电压仍低于允许变动范围时，应报告值班调度员迅速处理。

为了保持系统的静态稳定和避免系统电压崩溃，调度部门应对系统中的若干个中枢点规定最低运行电压与最低极限电压值。当系统中枢点电压低于最低运行电压值时，值班调度员应迅速采取措施，尽量迅速使电压恢复至最低运行电压值以上。

发电厂和装有同期调相机的变电所的值班人员，应利用发电机和调相机的事故过负荷能力增加无功出力，以维持电压。当机组达到最大过负荷值时，应立即报告值班调度员，值班调度员应迅速利用系统中所有的无功和有功备用容量来维持电压，并消除上述过负荷，必要时应切除部分负荷，或投入低电压自动减负荷装置。

当发电机或同期调相机的电流突然过负荷时，值班人员可以降低励磁电流以减少或消除过负荷，但应注意不得使电压下降到最低极限值以下。

当事故电压降至最低极限值以下而发电机或同期调相机仍过负荷时，则应根据过负荷的多少，采取下列不同措施。

(1) 如果过负荷小于15%，则应首先将过负荷的情况报告值班调度员，由值班调度员负责处理。同时，值班人员可以将备用机组投入，以消除过负荷；但不允许降低有功出力或进一步降低励磁电流。因为励磁电流的减少，使发电机电势降低，引起系统电压更低，加速电压崩溃，此时，值班调度员应利用系统中所有的无功和有功的备用容量来消除上述发电厂或变电所的过负荷。但当过负荷的发电厂位于系统中的受电端，而由另一端经过长距离重负荷的输电线路向本地区送电时，则降低过负荷发电机的有功出力不仅不能降低负荷电流，还可能因受电端发电厂母线电压降低，而使发电机定子电流增加，从而引起线路静态稳定的破坏。因此，在这种情况下，应该限制或切断受电端部分用户的负荷。

(2) 如果过负荷大于15%，而频率正常，则值班人员应一面尽速报告值班调度员，一面自行采取措施，在事故过负荷所允许的时间内，将过负荷消除。此时，如果过负荷的发电厂是在送电端，则可降低发电机的有功出力；如在受电端，则可切断部分用户的负荷。当发电厂无地区负荷可以切断时，则可由附近的变电所值班人员根据值班调度员或过负荷发电厂值班人员的要求切断部分用户的负荷。同时，值班调度员在接到电压已降低到事故极限值而发电机或同期调相机有过负荷的报告以后，亦应尽速采取措施，利用系统中的一切备用无功容量来提高电压并消除过负荷。此时，可将个别发电厂或变电所的电压提高到最高允许值。

(3) 当电力系统的电压降低到足以破坏火力发电厂厂用电系统的安全运行时，应采取紧急拉路措施，以保证发电厂的安全运行。

(4) 在电力系统中对负荷比较集中的电压中枢点，调度所应根据静态稳定计算规定出极限电压，并以极限电压的108%为允许的最低运行电压。

当电压降低到极限电压的103%，并仍有下降趋势时，为防止系统电压崩溃，值班调度员应采取紧急拉路措施，使电压不至于降到允许最低电压以下。

综上所述，当电力系统的电压降到事故极限电压时，系统值班调度员应采取以下处理方法：

(1) 发电机自动励磁和强行励磁装置应经常投入运行，因为它们是保证电压稳定的重要

设备；

（2）临时改变运行方式，以强迫改变潮流的分布，从而提高电压；

（3）动用无功备用容量。迅速将水电厂的水轮机作调相机运行，火电厂冷备用机组作好开机准备，同时，合理地加入静电电容器并充分利用用户的无功补偿装置；

（4）动用发电机、调相机的过负荷能力；

（5）适当提高频率（变动范围不超过0.5Hz）运行，因为提高频率可以提高系统电压。在一般情况下，系统频率升高1%，电压水平相应提高4%～5%，无功出力可提高7%～10%；

（6）按现场规程的事故拉闸顺序，切除部分负荷；

（7）投入低电压切负荷装置，自动切除部分负荷；

（8）当系统电压降低到足以破坏发电厂厂用电安全运行时，将事先规定的厂用发电机或专用厂用发电机与系统解列，以专供厂用电和部分重要用户。

四、注意事项

为了保持系统无功功率与用户无功负荷的平衡，以维持系统的正常电压，保证供电电压质量，必须进行电压的调整。

调度员应选择地区负荷集中的发电厂和变电所的母线作为监视系统电压的中枢点。中枢点的正常电压值和允许电压变动范围是按用户对电压质量的要求来确定的，这些点的电压确定后系统中其他处的电压也随之确定。

系统值班调度员应经常监视系统中枢点和规定电压曲线的发电厂、变电所的母线电压，当上述母线电压超出允许的变动范围时，值班调度员应采取下列措施，使中枢点的电压恢复正常：

（1）调整该区的发电机和调相机的无功负荷，并开、停备用机组。

（2）调整有载调压变压器的分接头位置。

（3）投入或切出安装在变电所内的静电电容器或静止无功补偿器（由饱和电抗器、电容滤波器及自动控制部分组成，它可向系统送出无功或吸收系统的多余无功，能自动维持电压恒定）。

（4）临时改变系统的运行方式（合环运行或解环运行），以达到潮流分布的改变，从而使电压改变。

（5）在负荷允许时，调整变压器运行台数。

（6）在不降低系统安全运行水平的前提下，适当改变送端电压来调整近距离受端的母线电压。

（7）在上述方法不能满足要求时，则应减少或增加系统地区负荷。

为了调整电压在允许变动范围内，发电厂主控制室值班人员，应根据调度所规定的电压曲线要求，进行监视及调整励磁调整器的运行。如没有励磁调整器时，则值班人员应手动调整发电机磁场变阻器电阻。为保证电压的稳定，发电机的自动励磁装置应经常投入运行。

有地区负荷的发电厂和装有同期调相机或带负荷调压变压器的变电所值班人员，应根据调度所规定的电压曲线进行监视和调整电压，使电压在允许的变动范围内。当其系统电压超过额定电压5%时，有关发电厂和变电所的值班人员应立即自行降低发电机、调相机的无功负荷，合理调整电压，使其恢复至允许变动范围以内。当电压高于额定电压达10%时，应立即报告调度员处理，停用发电厂的发电机和停用变电所的调相机及电容器，直至供电电压

恢复到允许变动范围以内。系统中枢点的变电所的值班人员，应按规定的电压曲线监视其母线电压，当其母线电压变化超过允许变动范围时，变电所值班人员应即报告值班调度员进行处理。

第二节　寻找单相接地故障

一、学习目标

能查找单相接地的故障。

二、相关知识：交流绝缘监察装置的接线方式

在中性点非直接接地的三相系统中，发生一相接地时，故障相对地电压降低甚至为零，而其他两相对地电压升高乃至为线电压值，但线电压值并不变。用电设备仍可正常工作。因此，在中性点非直接接地系统中发生一相接地时，允许继续运行一段时间，通常限为两个小时，但如果不及时排除故障，再发生另一点接地时，则可能造成两相对地短路。所以，必须设置绝缘监察装置。

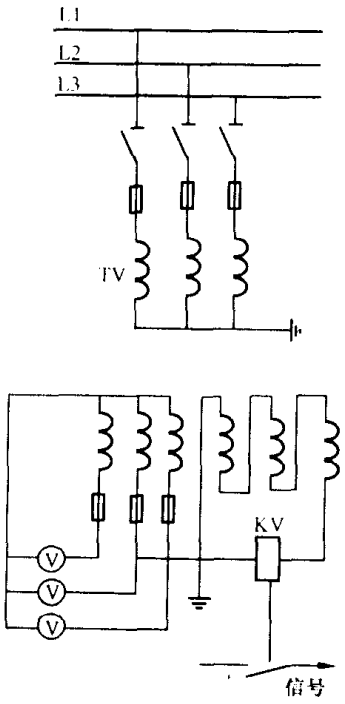


图 9-1　交流绝缘监察装置电路图

图 9-1 所示为交流绝缘监察装置电路图。TV 是母线电压互感器，可用三相五柱式或三个单相三绕组电压互感器，接成 YN，yn0，△接线，变比为 $U_N : 100 : \frac{100}{\sqrt{3}}$ 或 $\frac{U_N}{\sqrt{3}} : \frac{100}{\sqrt{3}} : \frac{100}{3}$。正常时每相一次绕组加的是相对地电压，故二次侧星形每相绕组电压是 $100/\sqrt{3}$V，开口三角形每相绕组电压是 100/3V，因为三相对称，开口三角形输出为 0V。若一次系统中某相发生接地时，一次侧该相绕组降低（或为零），其他两相电压升高（或升至线电压）；相应的二次绕组的接地相绕组电压降低（或为零），其他两相电压升高；所接三个电压表中，接地相读数下降，而另外两相读数升高。故此，可判定读数降低相发生了接地。同时，电压互感器二次绕组开口三角形两端出现了零序电压值，极限情况时为 100V。当此零序电压达到过电压继电器 KV 的起动电压时，KV 动作并发出信号。

三、工作程序

（一）了解接地的危害性

在中性点直接接地的大接地电流系统中，如发生一相接地时，则形成单相接地短路，此时接地电流很大，会引起零序保护动作而断开故障设备或线路。

在中性点不接地、经高电阻接地或经消弧线圈接地的小接地电流系统中，如发生一相接地时，则可短时继续运行而不切断故障点。允许带接地故障运行的时间为：

（1）当电网经消弧线圈接地时，其允许带接地故障运行的时间决定于消弧线圈的允许条件，但应监视消弧线圈的上层油温不应超过 100℃。

（2）当电网是由发电机直接供电时，为了防止发电机再发生一点接地而形成两点接地短路将铁芯烧坏，则带接地点运行的时间应不超过 2 小时。

在小接地电流系统中，若一相接地时，未接地相对地电压升高为相电压的$\sqrt{3}$倍，当为间歇性电弧接地时，则未接地相对地电压升高2.5～3.0倍。由于未接地相产生过电压，可能使其中一相的绝缘被击穿，发展成为两相接地短路；由于在接地相产生电弧，电弧对相间绝缘有热作用，也可使接地故障可能发展成为两相接地短路；又因电弧是活动的而且可能很长，若跳到其他相上，亦能形成两相接地短路，因此，值班人员应以最短的时间找出接地点，并及时隔离故障点。

（二）掌握发生接地的原因

（1）设备绝缘不良。如绝缘老化、受潮、绝缘子有裂纹、绝缘子表面太脏等，致使绝缘破坏，形成接地。

（2）动物及鸟类引起接地。如送电线路上有较大的鸟，便可能会使线路短路或接地；在设备上若有动物如猫鼠等爬上，也可能引起接地或短路。

（3）线路断线或线路倒杆等造成接地。

（三）掌握单相接地时的征象

当小接地电流系统发生单相接地时，则有下列征象：

（1）警铃响，“××kV×段母线接地”光字牌亮。中性点经消弧线圈接地系统，还有“消弧线圈动作”光字牌。

（2）绝缘监视电压表三相指示值不同，接地相电压降低或等于零，其他两相电压升高为线电压，此时为稳定性接地。

（3）若绝缘监视电压表指示值不停地摆动，则为间歇性接地。

（4）中性点经消弧线圈接地系统，装有中性点位移电压表时，可看到有一定指示（不完全接地）或指示为相电压值（完全接地时），且消弧线圈的接地告警灯亮。

（5）接地自动装置可能起动。

（6）发生弧光接地，产生过电压时，非故障相电压很高（表针打到头）。电压互感器高压熔断器可能熔断，甚至可能会烧坏电压互感器。

（7）用户可能来电话，报告发现的异常现象。

（四）正确判断接地故障

在某些情况下，系统的绝缘没有损坏，而是由于其他原因产生某些不对称状态，例如：电压互感器一相高压熔断器熔断，用变压器对空载母线合闸充电等，也可能报出接地信号。所以，应注意区分判断。

1. 电压互感器一相高压熔断器熔断，报出接地信号。

区分依据：接地故障时，故障相对地电压降低，另两相升高，线电压不变。而高压熔断器一相熔断时，对地电压一相降低，另两相不会升高，相电压指示则会降低。

2. 用变压器对空载母线充电时，断路器三相合闸不同期，三相对地电容不平衡，使中性点位移，三相电压不对称，报出接地信号。

区分依据：这种情况是在操作时发生的。只要检查母线及连接设备无异常，即可以判定。投入一条线路或投入一台站用变压器，接地信号即可消失。

3. 系统中三相参数不对称，消弧线圈的补偿度调整不当，在倒运行方式操作时，报出接地信号。

区分依据：此情况多发生在系统倒运行方式操作时。经汇报调度，通过相互联系可以了

解到。可先恢复原运行方式，消弧线圈停电调分接头，然后投入，重新倒运行方式。

4. 在合空载母线时，可能激发铁磁谐振过电压，报出接地信号。

区分依据：此情况也发生在倒闸操作时。

（五）掌握寻找接地点的方法

小电流接地系统，发生单相接地故障时，应汇报调度，将有关现象作好记录。根据信号、表针指示、天气、运行方式、系统操作等情况，判断故障。

各出线装有接地信号装置的变电所，若装置正常投入，故障范围很容易区分。若报出母线接地信号的同时，某一线路也有接地信号，则故障点多在该线路上。若只报出母线接地信号，故障点可能在母线及连接设备上。所以，检查处理时应注意：

（1）母线和某一线路都报出接地信号，应检查故障线路的所内设备有无问题。

（2）只报出母线接地信号，应检查母线及连接设备、变压器有无异常。如果经检查，所内设备无问题，则有可能是某一线路有故障，而其接地信号装置失灵。应用分路瞬停的方法，查明故障线路。

下面以线路未装接地信号装置的系统为例，说明单相接地故障的寻找处理方法。

1. 判明故障性质和相别

汇报调度，判明故障性质、相别。判明故障性质后，采取措施、查找处理接地故障。

2. 分网运行缩小范围

分网包括：系统分网运行和所内分网运行。系统的分网，应在调度统一指挥下进行。应考虑各部分之间功率平衡、继电保护的配合、消弧线圈的补偿度适当等。

变电所分网是使母线分段运行，缩小范围。从而可只对仍有接地信号的一段母线进行查找处理。

3. 检查所内设备有无故障

缩小范围后，应对故障范围以内的一次设备进行外部检查。主要检查各设备瓷质部分有无损坏、有无放电闪络，检查设备上有无落物、小动物及外力破坏现象，检查各引线有无断线接地，检查互感器、避雷器、电缆头等有无击穿损坏等。

4. 检查发现所内设备故障的处理

（1）故障点可以用断路器隔离。如检查发现电流互感器、出线穿墙套管、出线避雷器、电缆头、隔离开关（线路侧）、耦合电容器等断路器出线侧的设备有故障，应汇报调度，转移负荷以后，断开断路器隔离故障。把故障设备各侧隔离开关拉开，汇报上级，通知检修人员检修故障设备。

（2）故障点只能用隔离开关隔离。这种情况下必须注意：切记不可用隔离开关拉开接地故障和线路负荷电流。应汇报调度，根据本所一次系统主接线及运行方式，用倒运行方式的方法隔离故障点。不能用倒运行方式的，可用人工接地法转移故障点，再用断路器断开故障点。

1）双母线接线，可将故障设备倒至单独在一段母线上，和母联断路器串联运行，用母联断路器断开故障点，再断开故障设备断路器，拉开其各侧隔离开关。汇报上级，通知检修人员检修故障设备。

2）有旁母的接线，可以用倒旁母运行转移负荷并转移故障点的方法，用断路器隔离故障点。举例如下：

【例 9-1】 在图 9-2 所示主接线中，设 D 点发生单相接地故障，不能拉开Ⅰ QS1 刀闸隔离故障。可以合上旁母断路器 QF，对旁母充电正常后，断开 QF，合上线路Ⅰ的旁母刀闸Ⅰ QS3，合上 QF 及其两侧隔离开关使两断路器并联。取下 QF1 和 QF2 的操作熔丝（防止误跳闸），拉开Ⅰ QS1 隔离开关，两断路器解环。此时，故障点已转移到断路器 QF1 侧，再将 QF1 和 QF2 的操作熔丝放上，断开 QF1 断路器，切除故障点，再拉开Ⅰ QS2 刀闸。这样，故障点又能安全隔离，线路又不中断供电。

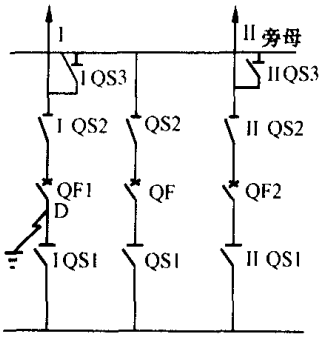


图 9-2 ［例 9-1］的示意图

【例 9-2】 在图 9-3 所示主接线中，设 D 点发生接地故障，隔离方法是：当分段断路器 QF 在合闸位置时，取下其操作熔丝，合上隔离开关 QS，拉开隔离开关 QSⅠ，再放上 QF 操作熔丝，断开 QF 隔离故障，再拉开隔离开关 QSⅡ。这样，经倒运行方式可安全地隔离故障点。

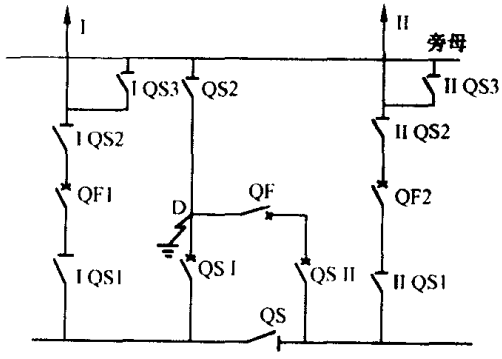


图 9-3 ［例 9-2］的示意图

（3）故障点在母线上。故障点在母线上，无法隔离，故障母线应停电检修。双母线的，可将全部负荷倒至另一组母线上供电。其他情况，可在停电前，先转移用户负荷。

5. 检查所内设备未发现问题

如未发现问题，应汇报调度，采用瞬停拉线检查法，将故障所在母线上的各条供电线路逐条进行断电试验。在断电试验时，可先对绝缘性能较差、防雷性能较弱、线路较长、分支线路较多、负荷较轻和不重要的线路进行断电。如线路装有重合闸，可用重合闸查找接地。在试验中，故障点所在线路断开时，绝缘监视仪表均恢复正常，由此可断定接地故障线路。对于不重要的线路，也可将该线路通知停电，进行检修；对于重要负荷的线路，可以转移负荷或启用备用线路供电，然后对故障线路进行检修，并对其他线路恢复正常供电。

四、注意事项

1. 检查所内设备时，应穿绝缘靴。接触设备外壳、架构及操作时，应戴绝缘手套。

2. 带接地故障运行期间，应严密监视电压互感器的运行状况，防止其因发热严重而烧坏并注意高压熔断器是否熔断。

3. 监视消弧线圈的运行情况。消弧线圈有故障时，应先投入备用变压器，变压器停电后拉开消弧线圈刀闸（变压器重新投入运行），或先切除故障线路，再拉开消弧线圈刀闸。严禁在有接地故障时，拉合消弧线圈刀闸。

4. 系统带接地故障运行的时间一般应不超过 2 小时。

5. 发现电压互感器、消弧线圈故障或严重异常时，应断开故障线路。

6. 用“瞬停法”查故障线路，无论线路上有无故障，均应立即合上。瞬停时间应小于 10 秒钟。

7. 如在大风、雷雨天气，系统频繁地瞬间接地，可将不重要的、经常出故障的、绝缘水平不高、分支多的线路停电 10～20 分钟。若观察不再出现瞬间接地，待风雨停后再试送电。

8. 观察、判定接地故障是否消失，应从信号和表计指示情况结合判定，防止误判断。

小电流接地系统单相接地故障的一般寻找处理程序，可参见图 9-4 所示框图。

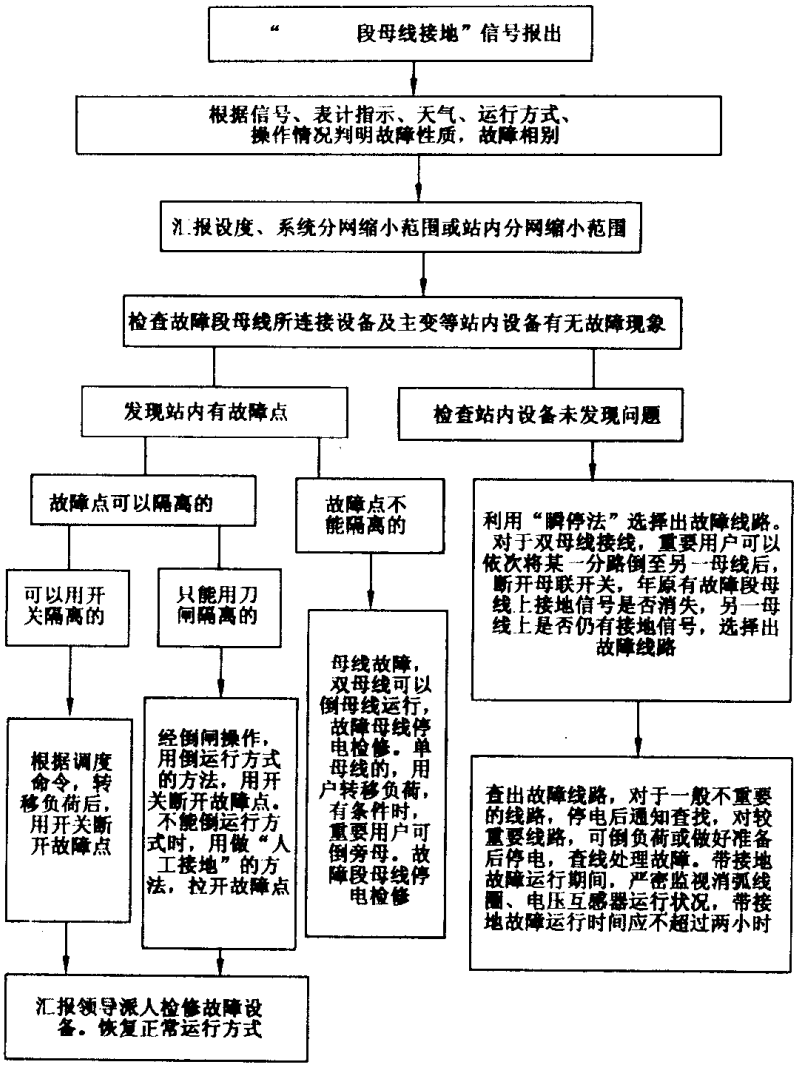


图 9-4　小电流接地系统单相接地故障的寻找处理框图

思　考　题

一、名词解释

1. 无功功率
2. 电压调整

二、问答题

1. 单相接地的原因和现象是什么？
2. 发生单相接地后该如何寻找接地点？
3. 变电所电压降低应如何处理？

第十章　事　故　处　理

第一节　处理变压器故障

第一单元　变压器主保护动作的处理

一、学习目标

能根据瓦斯保护和差动保护的动作情况查找变压器故障并处理。

二、工作程序

(一) 变压器轻瓦斯保护动作

瓦斯保护是变压器的主保护，它能反应变压器内部发生的各种故障。变压器内部发生故障，一般是由较轻微逐步发展为严重故障的。所以，大部分是先报出轻瓦斯动作信号，然后发展到重瓦斯动作跳闸。轻瓦斯动作报出信号，不一定都是变压器内部有故障。所以，处理的重点，应该首先是正确判断轻瓦斯动作原因。误把内部故障当作进入空气去处理，会使变压器损坏程度加重。

1. 故障原因

(1) 变压器内部有较轻微故障产生气体。

(2) 变压器内部进入空气。如：变压器加油、滤油、更换净油器内的硅胶、检修散热器或潜油泵等工作后，都可能进入空气。还有，新安装或大修变压器时进入空气，而修后未完全排出；运行中可能由于冷却器、潜油泵等密封不严而进入空气等情况。

(3) 外部发生穿越性短路故障。

(4) 油位严重降低至气体继电器以下，使气体继电器动作。

(5) 直流多点接地、二次回路短路。例如：气体继电器接线盒进水，电缆长时间受渗出的变压器油的腐蚀，绝缘老化等。

(6) 受强烈振动影响。

(7) 气体继电器本身的问题，例如：轻瓦斯浮子进油、继电器机构失灵。

2. 故障处理步骤

变压器报出轻瓦斯信号，应汇报调度和有关上级，对变压器作外部检查并取气分析。根据检查和取气分析结果，采取相应的措施。

(1) 对变压器进行外部检查。进行外部检查前，应检查记录保护动作信号。外部检查的主要内容有：

1) 电流、电压表指示情况，直流系统绝缘情况，有无其他保护动作信号。

2) 变压器的油位、油色是否正常。若变压器油色异常，可能是内部有问题。若看不到油面，气体继电器内也没有充满油，则可能是油位低于气体继电器而误动。在冬季，油位很低时，在负荷小且严寒天气下，油位会更低，可能会低于气体继电器。

3) 变压器声音有无异常。变压器若有噪声，属内部故障。无大噪声时，可以用一根木

棒的一端顶在油箱上，另一端贴在耳边细听。内部若有不均匀的噪声，或有“吱吱”放电闪络声，或有“叮当”等异音，说明内部有问题。

4）上层油温是否比平时明显升高。

5）油枕、防爆管有无喷油、冒油，盘根和塞垫有无凸出变形。

6）气体继电器内有无气体，若有应取气检查分析气体的性质。

如果气体继电器内充满油，且无气泡上冒，则属误动作。

如果平常变压器没有明显故障现象而报出轻瓦斯信号，应立即取气，分析气体继电器内气体的性质。若有明显异常，应汇报调度，投入备用变压器或备用电源，故障变压器停电后，再取气分析。因为，变压器若有严重异常，随时可能会发生严重事故，危及人身安全。

（2）取气分析。变压器内部故障时析出的气体或进入的空气，会积聚在气体继电器内。取气时，可以用胶管连接取气瓶和气体继电器的放气孔（也可以用注射器）。观察记录气体继电器内气体的容积后，打开放气阀取气。

取气分析，主要是鉴别气体的颜色、气味、是否可燃，以此判别有无故障和故障性质。

（3）处理方法。

1）外部检查发现有故障现象和明显异常，气体继电器内有气体。如声音、油色异常，上层油温异常升高，变压器有明显故障的，应立即投入备用变压器或备用电源。故障变压器停电检查，取气分析。变压器不经检查试验合格，不能投入运行。

2）若外部检查有明显故障和异常现象，取气检查气体可燃、有色、有味，说明属于故障。应汇报调度，投入备用变压器或备用电源，故障变压器停电检查，不经试验合格，不许投入运行。

3）若未发现变压器任何异常及故障现象，取气检查为无色、无味、不可燃气体，可能属于进入空气。气体放出后，检查有无可能进入空气的部位，如散热器、潜油泵、各接口阀门等，有无密封破坏进入空气之处。若有，则确属进入空气。

若属进入空气，应及时排出，监视并记录每次轻瓦斯信号报出的时间间隔。如时间间隔逐渐变长，说明内部和密封无问题，空气会逐渐排完。若时间间隔不变，甚至变短，说明有密封不严进入空气之处。应汇报调度和主管领导，并按其命令执行。要认真检查可能进气的部位，如散热器、净油器的接口、阀门和密封垫，特别是潜油泵的各密封垫。可以用小纸片放在密封处检查（进气处的负压可吸引纸片），也可以将各组冷却器轮流停止工作，观察瓦斯信号报出的时间间隔是否加长或停报信号。若某一组冷却器停用后，报出信号的时间间隔加长或停报信号，则应重点检查该组冷却器的密封垫。无备用变压器时，可根据调度命令，将重瓦斯保护暂时改投信号位置。

4）若未发现变压器任何异常及故障现象，取气检查为不可燃、无味、颜色很淡气体，亦不能确定为空气，气体的性质不能在现场明确。应汇报调度和有关领导，投入备用变压器，对故障变压器停电检查。无备用变压器或备用电源的，按主管领导的命令执行，运行中应严密监视。无论能否立即停电，均应取气以及取油样分析（由专业人员进行）。

5）变压器无明显异常和故障现象，发现油枕上的油位计内无油面，气体继电器内未充满油，取气分析经常为无色、无味、不可燃气体，这是油位过低造成的。无备用变压器或备用电源时，可暂时维持运行，汇报调度和上级，设法处理漏油及带电加油（注意加油时须先

将重瓦斯保护改投于信号位置，防止误跳闸)。有备用变压器的，应投入备用变压器，故障变压器停电处理渗漏油并加油。

6）检查变压器无任何异常和故障现象，气体继电器内充满油无气体，说明属于误动作。可能是二次回路有问题，也可能是气体继电器本身的问题，还可能是受振动过大或外部有穿越性短路所致。

判断、区分误动作原因的依据，是检查气体继电器的上接点位置，检查直流系统绝缘情况，检查轻瓦斯信号能否复归（有的变压器轻瓦斯动作，只报预告信号，有的还有信号掉牌)。①轻瓦斯信号掉牌不能复归，检查气体继电器上接点在闭合，直流系统绝缘良好。属气体继电器本身有问题，如浮子进油、机构失灵等，应汇报调度和上级，安排计划停电处理。②轻瓦斯信号掉牌能复归，气体继电器上接点在打开位置，直流系统绝缘良好。可能是有较大振动或外部有穿越性短路造成误动作。③轻瓦斯信号掉牌不能复归，气体继电器上接点在打开位置，直流系统对地绝缘正常。可能是二次回路短路造成误动作。应检查气体继电器接线盒有无进水，端子排有无受潮。再检查气体继电器的引出电缆，看是否因腐蚀严重而短路等。④轻瓦斯信号掉牌不能复归，气体继电器上接点在打开位置，直流系统对地绝缘不良。可能是直流多点接地造成误动作。应查明故障地点，并排除故障。

检查出的问题，不能自行处理的，应汇报上级，由专业人员处理。

（二）变压器重瓦斯保护动作

变压器的瓦斯保护，能反映变压器本体内部的故障。因此，变压器重瓦斯保护动作跳闸后，应当汇报调度，只要其他设备的保护没有动作，就可先投入备用变压器或备用电源，恢复对全部或部分用户的供电。然后检查处理故障变压器的问题。

1. 动作原因

（1）变压器内部严重故障。

（2）保护装置二次回路故障。

（3）若油枕内的胶囊安装不良，造成呼吸器堵塞，则在油温发生变化后，会使呼吸器突然冲开，因油流冲动而使气体继电器误动跳闸。

（4）外部发生穿越性短路故障（浮筒式气体继电器可能误动)。

（5）变压器附近有较强的振动。

2. 处理方法

（1）立即投入备用变压器或备用电源，恢复供电，恢复系统之间的并列。若同时分路中有保护动作掉牌时，应先断开该路断路器。失压母线上有电容器组时，先断开电容器组断路器。

（2）对变压器进行外部检查。

（3）外部检查无明显异常和故障迹象，取气检查分析（若有明显故障迹象，不必取气即可认为属内部故障)。

（4）根据保护动作情况、检查结果、气体性质、二次回路上有无工作等情况综合分析判断。

（5）根据判断结果采取相应的措施。

3. 外部检查的内容

（1）油温、油位、油色情况。

(2) 油枕、防爆管、呼吸器有无喷油和冒油，防爆管隔膜是否冲破。

(3) 各法兰连接处、导油管等处有无冒油。

(4) 盘根是否因油膨胀而变形、流油。

(5) 外壳有无鼓起变形，陶管有无破损裂纹。

(6) 气体继电器内有无气体。

(7) 有无其他保护动作信号。

(8) 压力释气阀（安全阀）动作与否（若动作应报出信号）。

(9) 现场取气，检查分析气体的性质。

4. 检查后处理方法

(1) 经判定为内部故障，未经内部检查并试验合格，不得重新投入运行，防止扩大事故。

1) 经外部检查，发现有明显的异常情况和故障象征。不经检查分析气体的性质，即可认为属内部故障。

2) 外部检查无明显异常现象，跳闸前有轻瓦斯信号，取气分析为有味、有色、可燃气体，也属于内部故障。外部象征虽不明显，但内部故障亦可能较严重。

3) 检查变压器差动保护或其他主保护有动作信号掉牌、跳闸前有轻瓦斯信号。无论变压器外部有无明显异常，取气分析是否有色、可燃或未查明气体的性质（可疑），均应认为内部有问题。

(2) 外部检查无任何异常，取气分析无色、无味、不可燃，气体纯净无杂质，同时变压器其他保护未动作。跳闸前有轻瓦斯信号报出，而变压器声音、油温、油位、油色均无异常，可能属进入空气太多，析出太快。应查明进气的部位并处理（如关闭进气的冷却器、潜油泵阀门，停用进气的冷却器组等）。无备用变压器时，根据调度和主管领导的命令试送一次并严密监视运行情况，由检修人员处理密封不良问题。

(3) 外部检查无任何异常和故障迹象，变压器其他保护未动作，取气分析，气体颜色很淡、无味、不可燃，即气体的性质不易鉴别（可疑），无可靠的证据证明属误动作。无备用变压器和备用电源者，根据调度和主管领导命令执行。一般应先拉开变压器的各侧刀闸摇测绝缘，若无问题，可放出气体后试送一次。若不成功应作内部检查。有备用变压器者，故障变压器应由专业人员取油样进行化验，试验合格后方能投运。

(4) 外部检查无任何故障迹象和异常，气体继电器内无气体，则可证明确属误动跳闸。

1) 若其他线路上有保护动作信号掉牌，重瓦斯掉牌信号能复归，属外部有穿越性短路引起的误动跳闸。故障线路隔离后，可以投入运行。

2) 若其他线路上无保护动作信号掉牌，重瓦斯掉牌信号能复归，可能属于振动过大等原因误动跳闸，可以投入运行。

3) 其他线路上无保护动作信号掉牌，重瓦斯掉牌信号不能复归。若当时直流系统对地绝缘良好，无直流接地信号，可能属二次回路短路造成误动跳闸。若直流系统对地绝缘不良，有直流接地信号，可能是直流多点接地造成误动跳闸。应检查气体继电器接线盒有无进水，端子箱内二次线有无受潮，气体继电器引出电缆有无被油严重腐蚀。可作如下处理：能及时排除故障的，排除后变压器可投入运行；不能短时内排除故障的，而又无备用变压器或备用电源时，可在有可靠的差动保护（或速断保护）和可靠的后备保护条件下，根据调度命

令，暂时退出重瓦斯保护后，将变压器投入运行恢复供电，然后处理二次回路问题。

（三）变压器差动保护动作

变压器差动保护的保护范围，是变压器各侧电流互感器之间的一次电气部分，主要反映以下故障：

（1）变压器引出线及内部绕组的相间短路。

（2）严重的绕组层间短路故障。

（3）大电流接地系统中，绕组及引出线的接地故障。

变压器的差动保护，能迅速而有选择地切除保护范围内的故障。只要接线正确并调整得当，外部故障时不会误动。差动保护对变压器内部不严重的匝间短路，反应不够灵敏。

1. 差动保护动作跳闸的原因

（1）变压器及其套管引出线，各侧差动电流互感器以内的一次设备故障。

（2）保护二次回路误动作。

（3）差动电流互感器二次开路或短路。

（4）变压器内部故障。

2. 一般处理程序

（1）根据保护动作情况和运行方式，判明事故停电范围和故障范围。

（2）断开有保护动作掉牌的线路断路（若有时），断开失压母线上的电容器组断路器。

（3）投入备用变压器或备用电源，恢复供电和系统间的并列。若差动电流互感器安装位置在开关的母线侧时，可先拉开隔离开关与失压母线隔离，再投入备用变压器（若母线没有失压，说明该侧断路器已将故障隔离，无须拉开隔离开关）。

（4）对变压器差动保护范围以内的一次设备进行详细的检查。

（5）根据检查结果和分析判断结果，作相应的处理。

3. 对设备进行外部检查的主要内容

（1）变压器套管有无损伤，有无闪络放电痕迹，变压器本体外部有无因内部故障引起的异常现象。

（2）变压器引出线是电缆时，检查电缆头有无损伤、有无击穿放电痕迹、有无移动现象（短路电流通过时的电动力所致）。

（3）差动保护范围内所有一次设备的瓷质部分是否完整，有无闪络放电痕迹。变压器及各侧断路器、隔离开关、避雷器、绝缘子等有无接地短路现象，有无异物落在设备上。

（4）差动电流互感器本身有无异常，瓷质部分是否完整、有无闪络放电痕迹，回路有无断线接地。

（5）差动保护范围外有无短路故障（其他设备有无保护动作）。

4. 分析判断依据

（1）差动保护动作跳闸的同时，瓦斯保护是否动作。若同时有瓦斯保护动作，即使是只报出轻瓦斯信号，变压器内部故障的可能性极大。

（2）检查差动保护范围内一次设备（包括变压器在内）有无故障现象。

（3）差动保护范围外其他设备有无短路故障，其他线路有无保护动作信号掉牌。

若差动保护整定不当，保护范围外故障时，差动电流回路不平衡电流增大会引起误动。若差动电流回路接线有误，外部故障时也会误动（内部故障时反而可能不动作）。

（4）检查差动继电器的接点是否在打开位置，保护出口继电器 KPO 线圈两端有无电压。

检查变压器以及差动保护范围内所有一次设备，若没有发现任何故障迹象。跳闸时，表计指示无冲击摆动，瓦斯保护没有动作，保护范围以外无接地、短路故障。可在 KPO 线圈两端测量有无电压。若差动继电器接点在打开位置，KPO 线圈两端有电压，或观察 KPO 常开接点在闭合位置，就属二次回路的问题所造成的误动作。

（5）保护及二次回路是否有人工作。

检查变压器及差动保护范围内一次设备无任何故障迹象，其他保护未动作，差动保护范围外无接地、短路故障，测量保护出口继电器 KPO 线圈两端无电压。若当时保护及二次回路上有人工作，可能属人为因素误动作。若无人工作，可能有以下原因：

1）差动电流互感器二次开路（或短路）而引起误动作（正常运行时好的，可能性很小）。

2）变压器内部故障，外部无明显异常现象。

5. 处理方法

（1）故障明显可见，发现变压器本身有明显的异常和故障迹象，差动保护范围内一次设备上有故障现象，应停电检查处理故障，检修试验合格后方能投运。

对于三绕组变压器，若检查故障点不在变压器本体上，能用刀闸将故障点与变压器隔离时，应隔离故障点。检查变压器无问题，可先恢复无故障的两侧运行。这样，无备用变压器或备用电源时，能先恢复对部分用户的供电。

（2）未发现明显异常和故障迹象，但同时有瓦斯保护动作，即使只是报出轻瓦斯信号，属变压器内部故障的可能性极大，应经内部检查并试验后方能投入运行。

（3）未发现明显异常和故障迹象，变压器其他保护未动作。检查保护出口继电器 KPO 触点在打开位置，线圈两端无电压。差动保护范围外有接地、短路故障（其他设备或线路有保护动作信号掉牌）。可将外部故障隔离后，拉开变压器各侧隔离开关，测量变压器绝缘无问题，根据调度命令可试送一次。试送成功后应检查保护误动原因，可根据调度命令先退出差动保护，由专业人员测量差动电流回路相位关系，检验有无接线错误。

（4）检查变压器及差动保护范围内一次设备，无发生故障的痕迹和异常，变压器瓦斯保护未动作，其他设备和线路无保护动作信号掉牌。检查保护出口继电器 KPO 触点在打开位置，线圈两端无电压。若二次回路有人工作，应令其停止工作。无备用变压器时，可根据调度命令拉开变压器各侧隔离开关，测量变压器绝缘无问题可试送一次。若成功，及时恢复对用户供电。若二次回路无人工作，应检查差动电流回路有无断线或短路、接地，发现问题汇报有关上级派专业人员检查。若查出是电流回路问题，应排除故障，恢复变压器运行和对用户供电。若未查出回路问题，变压器应做试验检查，无问题后再投入运行（无备用变压器或备用电源时，按调度和主管领导命令执行）。

（5）检查变压器差动保护范围内一次设备，无发生故障的迹象和异常，差动保护范围外无故障，变压器其他保护没有动作。其他设备和线路，无保护动作信号掉牌。检查保护出口继电器 KPO 触点在闭合位置，其线圈两端有电压。若直流系统对地绝缘不良，有“直流接地”信号，则属直流多点接地造成误动跳闸。反之，直流系统对地绝缘正常，可能属二次回路短路所致。无备用变压器时，可根据调度命令先退出差动保护，将变压器投入运行，恢复供电后再查二次回路问题。

三、注意事项

（1）检查气体是否可燃时，须特别小心。取气后，应远离变压器进行点火检查。

（2）处理变压器报出的轻瓦斯信号故障，除了判定确属误动作的情况以外，只要检查气体继电器内有气体，不论可否点燃，都要取气并取油样作化验分析（由专业人员进行）。因为，变压器内部故障很轻微时，气体的可燃性成分较少，不一定能点燃。在夜间，灯光下很难辨清气体的颜色（气体颜色较淡时），经专业人员对气体和油使用仪器化验，得出的结论才是最准确的。

（3）因故需退出变压器差动保护时，应保证瓦斯保护及其他保护在投入条件下，变压器方能运行。差动保护必须在24h内重新投入。

第二单元　变压器故障的处理

一、学习目标

能对变压器的各种故障进行处理。

二、工作程序

（一）变压器自动跳闸的处理

在变压器自动跳闸时，如有备用变压器，应将其投入运行，然后停用工作变压器，以便检查变压器自动跳闸的原因。若无备用变压器时，则须根据掉牌指示查明何种保护动作及在变压器跳闸时有何种外部现象（如外部短路、变压器过负荷等）。若检查结果证明变压器跳闸不是由于内部故障所引起的，而是由于过负荷、外部短路或保护装置二次回路故障所造成的，则变压器可不经外部检查而重新投入运行。若检查时发现有内部故障征象，则应停电进行内部检查。若因差动保护动作而分闸，应对差动保护范围内的电气设备，如套管、电缆头以及油温、油色等进行检查，待故障消除后再行送电。处理的一般程序如下：

（1）检查保护掉牌，判明何种保护动作，动作是否正确。

（2）查明系统有无故障及故障的性质。

（3）若属下列情况，经值班长同意，可不经外部检查试送电一次，只允许一次：

1）人员误碰、误操作及保护误动。

2）变压器仅低压过流或限时过流保护动作，同时跳闸变压器的下一级设备故障但其保护未动作，且故障点已隔离。

（4）如属差动、重瓦斯或速断过流等保护动作，故障时又有冲击，则需对变压器及其系统进行详细检查，停电并测定绝缘。在未查清原因之前，严禁将变压器投入运行。

（5）详细记录故障现象、时间及处理过程。

（6）查清故障原因，并经处理后，应迅速恢复供电。

1. 重瓦斯保护和差动保护跳闸的处理

详见第一单元。

2. 变压器后备保护动作单侧跳闸的处理

变压器中、低压侧的某一侧过流等后备保护动作，单侧跳闸。跳闸的一侧一段母线失压（该侧母线分段断路器或母联断路器先跳开，只有一段母线失压。另一段母线上，只要有电源，即正常运行）。其原因为：失压的母线上故障或线路故障越级。其中，线路故障越级跳闸的可能性比母线故障大得多。

（1）故障范围的判断。失压的母线上，各分路中有保护信号掉牌时，属线路上发生故障，保护动作，断路器跳闸造成的越级。有保护掉牌的线路上有故障，各分路都没有保护动作信号掉牌时，有两种可能：一是线路上有故障时，线路保护不动作，造成越级跳闸；二是母线上发生故障，变压器后备保护动作跳闸。母线故障时的故障点，又可分为能用断路器、隔离开关隔离和不能用断路器、隔离开关隔离的两种情况。

各分路上都没有保护动作信号时，要区分故障只有依据对母线及连接设备外部的检查。

（2）处理方法。

1）根据保护动作、信号、仪表指示等情况，判断故障范围和停电范围。检查各分路有无保护动作信号掉牌。若所用电失去可先倒所用电，投入事故照明。

2）断开失压的母线上各分路断路器，并检查是否确已断开。发现有未断开的，手动打跳，断开电容器组断路器。

3）分路上有保护动作信号掉牌时，应立即将有掉牌的线路断路器断开。若断不开，应手动打跳闸铁心或脱扣机构，把断路器断开。检查母线及变压器跳闸断路器无问题，合上变压器跳闸侧断路器，对失压母线充电正常后，恢复对其余各分路的供电，然后检查故障线路断路器拒跳的原因。

4）分路上均无保护动作信号掉牌时，应检查失压母线及连接设备上有无故障迹象及异常。根据检查结果做如下处理：①发现有故障现象，故障点可以隔离时，立即拉开隔离开关隔离之。合上变压器跳闸侧断路器，对失压母线充电正常后，恢复对用户的供电。②发现母线上有故障，故障点不能用断路器或隔离开关隔离时，各分路应转移负荷。较重要的用户可倒旁母恢复供电。双母线接线，可将各分路倒至另一段母线上恢复供电。③检查失压母线及连接设备上无任何故障迹象和异常，可以在各分路断路器全部断开的情况下，根据调度命令，合上变压器跳闸侧断路器，对母线试充电正常后，依次逐条分路试送，以查明保护拒动的线路。试合各分路断路器时，应严密注意线路的表计指示，若有短路冲击现象应立即断开。无故障分路恢复供电后，检查未跳断路器的保护拒动原因。

（二）变压器套管及引线故障的处理

1. 变压器接线端发热

变压器接线端发热多因变压器引线连接处焊接不牢、接线柱压接母线时处理不当，引起接线端发热并形成氧化层。对此可采取以下措施进行防范和处理：

（1）变压器在压接母线时一定要按规定工艺进行操作，引线与油箱或引线相间的距离要符合标准。在投入运行一段时间后，可停电将所有接线处检查、紧固一遍。若条件允许可在连接部位贴用示温片，以利观察巡视连接部位的温度变化。

（2）引出母线的截面要与变压器容量相适应。

（3）导线螺栓与母线为铜铝连接时，应采用铜铝过渡连接并涂以导电膏，以免产生电化反应。

（4）对母线的压接可采用在母线上下两侧用螺母同时相对拧紧的方法。螺母同时相对拧紧可消除母线两面的接触氧化层，有利导电，也不易发生旋转螺母时导电杆同时跟着转的情况。

2. 变压器套管引线故障的原因及处理

变压器套管引线故障是电力变压器的常见故障。故障主要表现为：

（1）温度升高，明显超过正常值。

（2）母排与平垫圈、螺母的表面严重氧化，甚至烧坏。

（3）密封橡胶垫产生龟裂变形，导致引线端子的接触缝隙处出现渗水、渗油现象，严重时甚至有油烟冒出。

产生上述故障的常见原因是：由于负荷变化引起各连接件与触头的热胀冷缩；在电磁场的作用下引起的振动等原因造成引线接触电阻增大，在连接处产生局部发热，温度的升高会使接触面加速氧化，氧化层的产生又进一步增大了接触电阻，如此恶性循环，最终引发故障；套管密封橡胶圈位置不正、结构不严，压紧螺母压得不紧、连接件与密封件的疲劳变形、套管积垢严重造成表面闪络等也是引发套管故障的常见原因。

故障的预防及处理方法：

（1）要经常巡视检查变压器引线。当发现母排、平垫圈、螺母等处有表面氧化时，应及时查明原因并进行清理，涂以导电膏后加以紧固。密封橡胶垫产生龟裂变形时应及时更换。要加强套管的预防性试验及清扫，以消除隐患。

（2）当故障较为严重而又生产急需时，可作如下应急处理：更换螺母、增大平垫圈；对杆式引线的可改用板式引线。

（3）对螺杆已严重烧伤、瓷套裂缝的，应全套更换。

3. 绝缘套管闪络和爆炸

绝缘套管闪络和爆炸的主要原因是套管密封不严进水、套管间有杂物或有小动物侵入。因此，对运行中的变压器，有运行值班人员的，至少每天应巡视检查一遍，无运行值班人员的，至少每月检查一次。巡视检查时，应重点对套管进行检查、清理，发现密封不好时，要尽快安排检修，改善密封。若发现有裂纹应更换。

（三）变压器绕组及铁心故障的处理

1. 变压器绕组短路和断线的检查与处理

变压器发生绕组的匝间或层间短路，常表现为一次电流增大，油温升高，高压熔丝熔断，二次电压不稳，油枕盖有黑烟冒出，各绕组的直流电阻将会有所差别。此时可先测量各相绕组的直流电阻并进行比较，数值较小者可能有短路故障。然后将器身吊出仔细检查，在短路处常有烧灼的痕迹。若不能发现故障点，可在绕组上接入额定电压作空载试验，短路处将发热和冒烟。找到短路点后，可在短路处进行绝缘处理，短路严重时应重绕绕组。

变压器绕组断线时，断线处可发生电弧，断线的相没有电流。绕组的断线多发生在导线接头、绕组引线处。常见的断线原因是短路故障。绕组断线的检查主要通过外部检查或测量各相绕组的直流电阻并进行数值比较，直流电阻大的说明有断线，然后进行吊心检查。外部断线或接触不良的，可将其焊牢或紧固，若为内部断线则应进行局部处理或更换绕组。

2. 变压器绕组对地击穿或相间短路

发生变压器绕组对地击穿或相间短路时，常发生高压熔丝烧断、油温剧增或油枕喷油。主要原因是主绝缘老化或绝缘油受潮，绕组内有异物落入或严重缺油。出现这种故障时一般应重新绕制绕组。

3. 铁心片间绝缘损坏

变压器铁心片间绝缘的损坏常表现为空载损耗增大、油温升高，油色变深。片间绝缘损坏的可能原因是：铁心受到剧烈震动，铁心片间发生磨擦；也可能是铁心片间绝缘老化。出

现片间绝缘损坏时，可在硅钢片两面涂以 1611 号或 1030 号绝缘漆。

4. 铁心片间局部烧熔损坏的处理

铁心出现片间局部烧熔损坏时，常表现为高压熔丝烧断、变压器油色变黑并有特殊气味，温升过高。出现这种故障的原因，主要是穿心螺栓绝缘损坏或者出现铁心两点接地，造成铁心短路产生环流而烧坏铁心；也常由于片间绝缘的损坏引起涡流增加使之熔化。对这种故障，损坏轻者可用砂轮将熔化处磨除后涂以绝缘漆，若严重烧熔，则应更换硅钢片。

5. 铁心松动

铁心松动时常出现不正常的震动或大而嘈杂的“嗡嗡”声等噪声。产生这种故障的主要原因是铁心油道内或夹片下有未夹紧的自由端，或紧固螺丝松动。此时应进行吊心检查，找出松动原因后，加以紧固。

（四）变压器分接开关故障的处理

1. 无载分接开关的故障及处理

（1）故障的现象。

值班人员在检查变压器时，如发现变压器油箱内上部有“吱吱”的放电声，电流表随着响声发生摆动，瓦斯保护可能发出信号，油的闪光点急剧下降，此时可初步判断为分接开关故障。若故障继续发展下去，则分接开关可能会被烧坏，造成非三相送电。

（2）故障的原因。

1）弹簧压力不足，滚轮压力不均，使有效接触面积减少，以及镀银层机械强度不够而严重磨损等，引起分接开关在运行中被烧坏。例如一台变压器，运行两年后，发现可燃气体增高，测量其直流电阻值则大于标准，解体检查发现高压 C 相第Ⅱ档分接头的定触头和 5 个动触头烧坏。分析其原因是由于弹簧压力松，用手指一压，弹簧就离开了。又如一台变压器，在预测绕组直流电阻时，高压相间互差 7.2%，中压相间互差 17.55%，解体检查发现高、中压三相分接开关均有不同程度的烧伤，镀银层因机械强度不够而严重磨损。

2）分接开关接触不良，引出线连接和焊接不良，经受不起短路冲击而造成分接开关故障。例如一台 SFPL1—60000/35 型变压器，由于 35kV 侧分接开关接触不良，在运行中被烧伤，引起油质劣化，闪光点迅速降低，解体检查发现 A、C 两相分接开关已严重烧伤。又如一台变压器在运行中因另一台变压器的断路器爆炸，引起该主变压器重瓦斯保护动作，将变压器两侧断路器自动分闸，经解体检查发现，分接开关引接线接头已脱焊，引接线已烧断一半，这是由于经受不了短路冲击所造成的。

3）在倒换分接头时，由于分接头位置切换错误，引起分接开关烧坏。例如一台变压器，在试测分接开关直流电阻时，误将分接开关位置拨过一档，测试结束后，也没有检查核对，在运行中因分接开关倒换错误而引起接触不良，使轻瓦斯动作而发出信号，经解体检查发现分接开关第Ⅱ、Ⅴ档烧坏。

4）由于相间绝缘距离不够，或者绝缘材料的电气绝缘强度低，在过电压（大气过电压或操作过电压）的情况下绝缘击穿，造成分接开关相间短路。

（3）故障的处理。

值班人员应监视变压器的运行情况，如电流、电压、温度、油位、油色和声音的变化。发生故障后，试验人员应立即取油样进行气相色谱分析，以鉴定故障的性质。值班人员应将分接开关切换至完好的另一档上（切换后经测量证明），此时，变压器仍可继续运行。

2. 有载分接开关的故障及处理

(1) 有载分接开关油箱渗油故障的处理。

变压器的主油箱与有载调压开关油箱是不连通的，当调压分接开关油箱不严密，出现渗油故障时，造成分接开关油箱内与主变压器油箱内的油相连通，而使两个油位指示器的油位相同（由于变压器主油箱油位高于开关箱油位，开关箱的油位将上升，甚至超出标示油位；相反，开关箱的油位是下降的），这样，使分接开关的油位指示器出现假油位，可能形成分接开关油箱内缺油，危及分接开关的安全运行。因此，在大型有载调节的变压器油枕上，装有两个油位指示器，一个是指示有载分接开关油箱内的油位，另一个是指示变压器油箱内的油位，两个油箱是隔离的，所以这两个油位指示是不相同的，在运行中应注意检查。

检修开关箱渗油故障时，可按下列步骤进行：

1）开关箱抽芯。可先将变压器全部负载切除，并断开变压器电源，使调压开关转至空位置，然后抽芯。

2）检查渗油部位。抽出开关芯子后，将开关箱内的油全部放出，用清洁不掉毛的干净布将开关箱内的油擦干净，然后进行观察。稍过片刻，即可发现渗油部位。常见的渗油部位是在开关箱底的橡胶密封圈处，多由于密封圈老化失去弹性而造成渗油。

3）处理渗油部位。开关箱是固定在变压器箱盖上的，处理渗油时应将变压器吊芯。若需更换密封圈，应吊芯至开关箱箱底的圆盘能方便地旋下。更换后再将圆盘旋紧，将器身放回油箱。若开关箱箱体渗油，则可进行补焊或粘接修复。补焊时应做好防火措施，以防残油炭化燃烧引发事故。粘接修复可采用环氧树脂粘合剂粘补。

在检修时，一定要注意调压开关在空气中停留的时间不能过长，不能超出相应电压等级变压器的规定检修时间，否则应重新进行干燥处理和耐压试验。因此，在检修前一定要将可能用到的工具、材料、设备准备好，并有技术熟练的人员进行指导。

(2) 有载分接开关的过渡电阻断路。

有载调压分接开关是变压器在负载运行中用以变换一次或二次绕组分接的（分接头一般在高压侧绕组上），改变其有效匝数进行分级调压。分接开关在切换过程中常采用电抗或电阻过渡，以限制其切换时的循环电流。采用电阻过渡的，由于电阻是短时工作的，操作机构一经工作必须连续完成。倘若由于机构不可靠而中断操作，停在过渡位置上，将会使电阻烧坏而造成断路。判断过渡电阻是否烧坏断路，可通过在操作过程中的电流进行观察，即不论升档或降档，在切换过程中，由于串入了过渡电阻，电流都有一个变小的趋势，可以清楚地看到电流表指针向减小的方向摆动一点后再升起来。若在操作过程中，没有电流下降现象，说明过渡电阻已经断了。另外，若过渡电阻在切换过程中被击穿烧断，在烧断处会发生闪络，引起触头间的电弧越拉越长，并发出异常声音。此时应予以更换。

(3) 分接开关慢动。

分接开关是承担切换负载电流的部分，它的动作是通过快速机构按一定程序快速完成的。如果分接开关慢动，将有可能烧坏过渡电阻，导致分接开关顶盖冒烟，分接开关的气体继电器动作；若分接开关在某个位置上停下来而结束调挡，再调挡时很可能造成选择器触头拉弧，变压器主体的继电器动作。分接开关慢动时，从电流表上可发现指针向下降的方向大幅度摆动。若发现分接开关慢动，应停止下一次调挡，并把变压器停下来进行检修。

(4) 分接开关在某个位置被卡死。

分接开关在某个位置被卡死，常会出现导电回路不变、负载电流不变的情况。此时，运行人员应停止换挡操作，将变压器停下来进行检查。如继续换挡，会造成选择器拉弧，电流表向零方向指示。如果是单相有载分接开关，还将伴随有单相运行的“嗡嗡”声，变压器主体的气体继电器动作。

(5) 限位开关失灵。

有载分接开关换挡操作的极限位置由限位开关控制，设有机械和电气闭锁两道保护。当操作到极限位置时，应能进行可靠地闭锁。否则，将会因过电压而烧坏过渡电阻或分接开关触头，甚至会出现大绝缘筒崩坏等恶性事故。为此，运行人员应在分接开关投入运行前对限位开关进行认真的检查。

(6) 分接开关由于密封不严而进水，造成相间闪络。

在安装及检修中，应按制造厂说明书对操动机构、选切开关及过渡电阻等进行全面检查和调试，以确保分接开关安全投入运行。

(五) 变压器着火事故的处理

变压器着火时，首先应断开电源，停用冷却器，迅速使用灭火装置灭火，并将备用变压器投入运行。

若油溢在变压器顶盖上而着火时，则应打开下部油门放油至适当油位；若是变压器内部故障而引起着火时，则不能放油，以防变压器发生严重爆炸。

要使用适合变压器灭火的灭火器，最好使用 1211 灭火器，其次是用二氧化碳、四氯化碳泡沫及干式灭火器进行灭火。

在变压器着火时，变压器的保护装置会动作，将变压器两侧的断路器自动分闸，如保护因故未动作，则应立即手动停用变压器，由检修人员进行抢修。如有备用变压器且时间允许的话，最好先将备用变压器投入运行，再停用工作变压器。

为了预防变压器着火，应采取下列措施：

(1) 加强变压器的防火工作，特别应注意对套管的质量检查和运行监视，防止在运行中发生爆炸喷油，引起变压器着火。变压器周围应有消防设施，一旦发生着火事故时，能尽量缩小事故范围。

(2) 进行变压器干燥时，变压器周围应有消防措施，并防止加热系统故障或绕组过热损坏变压器。

(3) 变压器放油后（铁心、绕组、绝缘均暴露在空气中）进行电气试验（如测量直流电阻或通电试验）时，应严防因感应高电压打火或中断电流时产生的电弧，以防着火。

(4) 在处理变压器引线焊接头及在器身周围进行明火工作时，必须事先作好防火措施，现场应设置一定数量的消防器材。

(5) 事故贮油坑应保持在良好状态下，有足够厚度和符合要求的卵石层。排油管道应通畅，应能迅速将油排出（例如排入事故总贮油池）。不得将油排入电缆沟内。室内变压器也应有贮油池或挡油矮墙，防止火灾蔓延。

(6) 洞内变压器应设法安装自动的或遥控的水喷雾或其他灭火装置。

(六) 其他故障的处理

1. 变压器低压侧熔断器熔体熔断

变压器低压侧熔断器熔体熔断后，可通过对熔体熔断部位及其现象的分析初步判断故障

原因。若熔体在压接处熔断且无严重烧伤痕迹，多为熔片容量过小，也可能是安装时不慎造成熔片伤痕或没有压紧。若熔体在中间部位熔断但没有电弧烧伤痕迹，多为过负荷引起，应考虑调整负荷使之不超过额定值。若熔片有严重烧伤，熔断器瓷托有电弧烧伤痕迹，一定是发生对地短路或相间短路。此时应检查低压侧线路或设备，排除故障原因后方可重新送电。

2. 变压器高压侧熔丝熔断

变压器高压侧熔体熔断后，可根据熔丝熔断情况分析判断故障原因。

(1) 若只有一相熔断又无明显烧伤痕迹，多为熔丝容量过小，安装时有机械损伤或安装不良所致。此时只需换上合适的熔丝并进行正确安装，换好后可重新送电，并注意有无不正常声响，若无异常即可正常运行。

(2) 若有一相或两相熔断且伴有低压侧熔体熔断，多为低压侧有短路故障，由于低压侧的短路大电流引起高压侧熔丝熔断。此时可先把低压侧总开关拉开或将低压熔断器全部取下，并按原规格换上高压侧熔丝，重新送电。若无异常则证明变压器本身是正常的。之后，应在低压侧检查短路故障之所在，经排除后再重新投入运行。

(3) 若高压侧有两相或三相熔断器熔断且烧伤明显，可采取以下方法进行检查：

1) 进行全电压空载试验，检查三相空载电流是否平衡或是否过大。若空载电流超出规定值或三相电流不平衡，说明变压器绕组有短路，若空载电流正常且三相电流基本平衡，则说明变压器没有故障。

2) 若不能进行空载试验，可根据熔丝烧损情况及变压器油的情况进行判断。若熔丝烧损严重，变压器油油色变黑并有明显烧焦气味，便基本可判断为变压器内有短路故障。

3. 干式变压器在接通电源后噪声大、温升过高或冒烟

造成干式变压器在接通电源后噪声大、温升过高或冒烟的原因有以下几种：

(1) 变压器一次侧输入电压过高。当一次侧输入电压过高时，铁心损耗与空载电流都将明显增大，同时出现噪声大和温升过高。此时应检查输入电压，若确是电压过高应调整输入电压。

(2) 变压器本身的故障。可将变压器二次侧负荷断开，重新进行空载送电试验，若仍然发热，说明故障在变压器本身。可测量变压器空载损耗和空载电流，并与变压器出厂试验数据相比较，如果实测数据与出厂试验值接近，则说明出厂时的质量就有问题，或铁心片数不足，或铁心质量太差，应找厂家联系解决；如果实测数据与出厂试验值相差甚多，则是变压器出现故障。变压器本身的故障可能是一次侧或二次侧有匝间短路、层间短路，也可能是铁心绝缘不良，在铁心中形成很大的涡流导致铁心发热。

(3) 二次侧负载过大或短路。应检查负载，减轻负荷或找出短路故障并处理。

三、注意事项

室外运行的变压器，由于长期通电带负荷运行和自然条件的影响，会使变压器外部发生渗漏油、套管闪络放电甚至防爆管玻璃破损等现象而造成事故，因此，在运行中应加强监视，如发生异常，轻者应汇报主管部门，严重者应请示停用变压器，等候处理。对于下列三种特别严重的故障，可先停下运行变压器，再向调度及设备主管部门汇报：

1. 防爆玻璃破碎向外喷油。

2. 套管严重破裂、放电。

3. 变压器着火。

第二节　处 理 线 路 故 障

第一单元　电力电缆的事故处理

一、学习目标

能进行电力电缆故障的处理。

二、工作程序

（一）电缆线路故障的判定及处理

电缆线路的故障按供电要求可分为运行中的故障和试验中的故障两大类。运行中的故障是指电缆在运行时，因绝缘击穿或导线烧断引起护层保护器动作而分闸的故障。试验中的故障是指在预防性试验中绝缘击穿的故障，或在试验中发现了绝缘不良缺陷。电缆故障时，均需修复绝缘后才能恢复供电。

无论何种电缆，均需在电缆与电力系统完全隔离后，才可进行鉴定故障性质的测试。在测试时，可用兆欧表测量每相电线导体对地绝缘电阻和各相电缆导体间的相间绝缘电阻。若电缆在运行中或测试中发现故障时，则应采用直流耐压试验测试电缆芯间与铅包间的绝缘，以鉴定故障的性质。

在测出故障点距离后，应根据故障性质，采用声测法或感应法查出故障点的确切位置。在电缆或接头故障不明显时，在测定范围内不能发现故障点或对该电缆接头位置有疑问时，亦可用上述方法作辅助判定。充油电缆的漏油点可采用油流法和冷冻法测寻。

发现电缆故障部位后，应按《电业安全工作规程》的规定修复电缆。当电缆故障消除后，必须核对相位，并作电缆绝缘的潮气试验、绝缘电阻试验及直流耐压试验，试验合格后才可投入运行。

（二）电缆线路常见故障的检查和分析

1. 机械损伤

（1）电缆直接受外力破坏，如因进行城市建设及交通运输、植树或进行地下管线工作，在挖土、打桩施工时，或起重及搬运过程中，不慎而误伤电缆。

（2）敷设电缆时，由于弯曲度过大，损伤电缆绝缘纸或屏蔽带。其次是由于拉力过大，导体被拉伤或接头被拉开。

（3）在电缆竖井内的挂钩或支架处及隧道口，因气温变化，电缆胀缩造成电缆铅包磨擦而受伤。其次，由于电缆中间接头或终端头受热，使绝缘胶膨胀，造成电缆盒外壳或附近电缆护套胀裂。

2. 绝缘受潮

（1）中间接头盒及终端接头盒因密封不好或施工不良，使水分侵入盒内。

（2）电缆制造不良，铅包上有小孔或裂缝。

（3）铅包受化学腐蚀或电解腐蚀而穿孔或被外物刺穿。水分侵入电缆后，由于毛细管作用，水分沿电缆芯导体侵入的速度较沿纸绝缘为快，因此，在消除故障的修理工作中，必须将绝缘受潮部分全部割除，同时应检验导体中有无水分，以保证水分的全部清除。

3. 绝缘老化变质

电缆绝缘长期在电压作用下运行，其物理及化学性能会发生变化，导致绝缘强度降低，介质损失增大，造成局部发热，最后引起绝缘崩溃。绝缘变质与线路运行年限及沿线的散热条件有一定的关系，如散热不良或电缆线路长期过负荷运行，都会使绝缘加速老化。因此，运行人员必须经常检查运行情况。

4. 过电压

由于雷击或其他冲击过电压而造成电缆损坏的事故是很少的，因为电缆绝缘在正常运行电压下所受的电应力，约为新电缆所能承受的长期击穿试验时电应力的十分之一，因此一般瞬时的3~4倍的过电压，对于绝缘良好的电缆不会有什么影响。但是，电缆线路遭受雷击故障的情况还是有的，这主要是在击穿处电缆设备本身存在严重缺陷之故。

5. 电缆过热故障

电缆因过热而损坏，主要是由于散热不良或过负荷所致，例如电缆与热力管道太近、电缆沟及隧道通风不良、电缆允许负荷及过负荷的决定未根据电缆规定的温升和整个线路情况来考虑等。电缆过热会使纸绝缘干枯、脆化、裂断。详细检查线路负荷情况和电缆周围环境的温度，就能发现过热的原因。根据过热原因采取相应措施，及时处理，方可保证电缆线路的安全运行。

电缆线路发生上述故障时，应切断故障电缆的电源，寻找故障点，对故障进行检查及分析，然后进行修理和试验，待故障消除后，方可恢复供电。

电缆线路的事故，虽有各种不同原因，但绝大部分是由于设计有缺点、选择不当、制造上有缺陷、施工不良、运行维护不当及检修质量差等造成的。为了消灭电缆事故，必须采取有效措施，以保证电缆线路的安全运行。

设计人员在选择线路时，必须考虑到沿线的散热情况、土壤的化学成分以及电解腐蚀的可能性。在中间接头和终端头的设计方面，对于绝缘承受的应力、正常运行中可能遭受的过电压、预防性的超压试验等，都必须加以估计。其他如材料的选择、机械强度的计算以及防水的可靠性等，也应慎重对待。

施工人员必须保证施工质量，在敷设电缆时，应防止机械损伤，如牵引力过大、弯曲过度、填土不实、埋设深度不够及电缆上面未铺电缆盖板等。在进行中间接头及终端头的施工时，应保证焊锡及封铅的质量、绝缘材料的正确加热处理、电缆芯纸绝缘的完整以及施工过程中保持清洁等。

运行人员检查及维护不够，会使电缆在运行中存在的缺陷不能被发现，使电缆设备不能保持在良好状态下运行。电缆线路带缺陷运行时间较长，就会逐步发展成事故。如果在良好的运行制度下，设备缺陷能被及早发现，并能采取措施，及时消除，那么就能保证电缆线路的安全运行。

在进行检修工作时，也应严格工艺要求，认真负责地修好设备，提高检修质量，执行验收制度，以确保电缆设备完好地投入运行。

（三）充油电缆头的漏油

电缆头的漏油，主要是由于电缆在运行时内部绝缘油存在着一定的压力，使绝缘油沿着电缆芯线或铅（铝）包内壁溢流到电缆外部，特别在电缆两端高低落差大（垂直部分的电缆）时，产生静油压力，因而容易引起漏油。其次，由于电缆过负荷而发热，使油温升高而

膨胀，致使油压增大，油从电缆终端头流出。另外，当电缆发生短路故障时，产生冲击油压，易使油从电缆终端头处溢出。

电缆头漏油会破坏电缆头的密封性，使绝缘物干枯，造成绝缘强度降低，介质损失增大，引起局部发热。同时，电缆纸有很大的吸水性，极易受潮，电缆在密封性能破坏后，潮气易从电缆终端头处侵入电缆内部，亦会使绝缘强度降低。

电缆油是不允许含有水分的，其绝缘强度随水分含量的增加会剧烈下降，会导致电缆在运行中被击穿。当发现电缆头漏油时，应首先提高油压，防止漏油处进入潮气及水分。如为少量漏油，只要维持油压，并不影响电缆的运行，但要对油压的变化加强监视，然后用油流法初测漏油区段，再用冷冻法来测定漏油地点。

油流法就是将漏油区段的一端接压力油箱，用压力油箱中的油，通过两个量程相同的流量计分别通入并联的漏油电缆和完好电缆，并在漏油电缆和完好电缆的另一端用油管跨接。利用流过两个流量计上的油压降相等的原理，便可找出漏油区段，然后再用冷冻法确定漏油点。

冷冻法就是对漏油电缆的漏油区段进行分段多次冷冻，即先在漏油区段的中点进行冷冻，确定漏油的一侧；再在漏油侧电缆长度的中点冷冻，确定第二次的漏油侧；这样，依次缩小漏油侧的范围，最后便可比较准确地测定出漏油点。当发现漏油点后，应先将外护层及加强带剥掉，用塑料带临时包扎，以维持油压。修补漏油点的方法，一般采用“假接头”法。

电缆头是电缆线路中最薄弱的环节，容易发生故障，因此，在运行中必须保持电缆的密封性，方能保持电缆的绝缘强度为合格水平。要达到这个目的，除改善结构（如采用环氧树脂电缆头）外，在很大程度上取决于施工的工艺水平，同时应加强日常的维护及检查工作。如发现电缆头有渗漏油现象，应及时处理，将事故消灭在萌芽状态，以确保电缆线路的安全运行。

（四）电缆中间接头及终端接头的故障

1. 中间接头故障

中间接头故障的种类及原因如下：

（1）防水设计不周密，如中间接头盒各部分的接合处以及瓷套管与盒子的衔接不紧密，绝缘剂罐注孔的密封不良等，使水分侵入，导致绝缘受潮而击穿。

（2）屏蔽带处理不当。高压电缆芯纸绝缘外面有金属的或半导体的屏蔽带，在接头内屏蔽带割断处，电动力骤然增大，使绝缘承受过大应力，日久发生崩溃。

（3）导体连接方法不良。有些接头采用铜扎线及铜辫子连接导体，这种接头不但机械强度差，容易被拉开，而且施工时不易使表面光滑，留有尖刺便会造成局部应力过大，致使绝缘击穿。

（4）过负荷引起故障。在大长度、大截面的电缆线路中，中间接头盒外壳采用紫铜皮焊接，内灌注较多的沥青绝缘胶。当电缆线路过负荷时，由于绝缘胶热膨胀系数大，紫铜壳体刚性强，使铜壳体胀裂。

（5）接头盒有砂眼或裂痕，使水分侵入盒内，导致绝缘受潮而击穿。

（6）电缆芯子弯曲过度，使纸绝缘损坏。

2. 终端头故障

终端头有户内与户外两种型式，户内终端头故障较少，户外终端头故障较多。终端头故

障的种类及原因如下：

（1）户外终端头封铅及绝缘剂灌注孔密封不良，使水分侵入盒内，导致绝缘受潮而击穿。

（2）户内终端头电缆芯直接引至盒外，使外界潮气沿着电缆芯绝缘侵入盒内，致使绝缘受潮而击穿。

（3）电缆头三芯分支处距离小，所包绝缘物脏污，容易引起泄漏电流，日久使绝缘破坏，导致电缆头爆炸。

（4）引出线接触不良，造成过热及脱焊现象。

（5）终端盒有砂眼或细小裂痕，使水分侵入盒内，导致绝缘受潮而击穿。

（6）封铅不严密，日久水分侵入盒内，致使绝缘受潮。

（7）电缆终端头漏油。应擦净并加固密封。如有潮气，应予消除，并用流质绝缘油填充，还需监视另一侧高处电缆终端头的绝缘干枯情况。填有流质绝缘油的终端头，一般应在冬季补油1次。

中间接头和终端头如发生上述故障，应立即切断故障电缆的电源，然后进行检查和修理，待修理好后，再恢复供电。

（五）户内电缆终端头的电晕放电故障

户外电缆头一般不会发生电晕放电故障，而户内干包电缆头、小手套塑料电缆头、环氧树脂电缆头和尼龙电缆头会产生电晕放电故障。这类电缆头的电晕放电常发生在三芯分支处电缆芯引出部位，这是因为三芯分支处的距离小，芯与芯之间的空隙形成一个电容，在电压的作用下，空气发生游离所致。另外，有些户内电缆头安放位置较低，由于电缆沟内有积水及室内通风不良，易使室内空气湿度增加，也会引起电缆的电晕放电故障。

为了防止这类故障，必须改进电缆终端的设计，如干包电缆头可采用等电位的方法解决，即在各电缆芯绝缘表面包上一段金属带，并互相连接在一起，以消除电晕放电。另外，可将附加绝缘包成一个应力锥，以改善电场分布。对于室内电缆沟积水和通风不良问题，可采用排水和改善通风的方法解决，以保证电缆线路的安全运行。

三、注意事项

电力电缆在运行中的故障极少，但由于制作工艺等原因也可能发生故障。如果运行中的电缆头发生破坏，应立即报告上级部门，并停止运行。

第二单元　输电线路的事故处理

一、学习目标

能进行输电线路的操作和故障处理。

二、工作程序

（一）输电线路单相接地故障的处理

在中性点直接接地的电力系统中，当输电线单相接地时，就会形成单相接地短路故障，此时接地短路电流很大，继电保护动作于跳闸。

对中性点不接地或经消弧线圈接地的小接地电流系统发生单相接地后，允许短时间继续运行。一般10kV线路允许带接地点运行2h，这主要是受10kV三相五柱式电压互感器带接地允许时间的限制。但毕竟单相接地是电力系统的一种异常状态。如果再发生另一相接地，

或不同线路不同相接地，则会形成相间接地短路，造成出线断路器和母线断路器的跳闸。因此，发生单相接地后，应尽快处理好。

1. 单相接地时的现象

（1）变电所内接地光字牌亮，警铃响。

（2）发生完全接地故障时，绝缘监察电压表三相指示不同，接地相电压为零或接近零，非故障相电压升高$\sqrt{3}$倍，且持久不变。完全金属性接地，电压互感器开口三角形两端电压为100V；非金属性接地，电压互感器开口三角形两端电压小于100V。

（3）发生间隙性接地故障时，接地相电压时减时增，非故障相电压时增时减，或有时正常，则电压互感器开口三角形两端电压亦随着时减时增，在0～100V之间变动。

（4）发生弧光接地故障时，非故障相电压有可能升高到额定电压的2～3倍。此时，电压互感器开口三角形两端电压可大于100V。

2. 单相接地故障的处理

当发生单相接地时，值班人员应根据当时的具体情况穿上绝缘靴，详细检查变电所内设备。若变电所内有接地点，则运行人员不得靠近（一般室内不得接近接地点4m，室外不得接近接地点8m）。若不是变电所内设备接地，则应考虑是输电线路接地的问题。此时应按事先规定好的拉路顺序逐条进行拉、合。若在断开断路器时，绝缘监察与仪表恢复正常，即证明断开的这条线路发生了单相接地。

单相接地点查出后，其接地线路是否可带接地点运行一段时间，应请示调度决定。

关于单相接地点的查找，可参见第十二章第二节。

（二）输电线路跳闸事故的处理

1. 线路事故跳闸的现象

线路故障，出线断路器跳闸。变电所内信号反映为：蜂鸣器响；“保护动作”、“断路器跳闸”光字牌亮；控制屏跳闸断路器绿灯闪光；继电保护动作，应有一种或两种保护信号继电器掉牌；同时，“掉牌未复归”光字牌亮；检查该断路器，已在断开位置。

线路故障时，该线路断路器及其回路的其他电气设备均将经受短路电流电动力及热效应的作用。为了尽快作出能否送电的判断，值班人员对断路器及其回路，应重点检查以下几方面：

（1）断路器外观的检查。

1）各部件应完整，无机械损伤；

2）油箱、储气罐无破裂或位移和变形；

3）套管、绝缘子无碎裂；

4）导线无烧断或变形。

（2）断路器灭弧介质的检查。

1）各部位的油位、油压和气压应正常；

2）检查油断路器的喷油情况。当断路器严重喷油或看不到油位时，应经检修后方可送电；

（3）其他电气设备的检查。与故障线路断路器相连回路的其他电气设备，如隔离开关、互感器、电抗器、电缆头等也应检查。

2. 线路断路器跳闸后的处理

（1）解除音响，检查是哪一套保护动作。

（2）检查断路器及出线部分有无故障，并向调度汇报。

（3）断路器跳闸后，经初步检查无明显故障现象，对无重合闸的线路在征得调度值班员同意后可试送一次。试送成功，报告调度；试送失败，应通知查线。对装有重合闸的线路断路器，跳闸重合不成不再试送，即报告调度员通知查线。

（4）凡联络线断路器跳闸，值班人员一律不得强送，应汇报调度等待命令。

（5）低频减载装置动作使线路断路器跳闸，应在请示调度值班员后，再决定是否送电。

（三）一回线跳闸后，系统出现接地信号的处理

在变电所运行中，当某一出线断路器跳闸后，中央信号屏同时发出接地信号，这是由于两条出线同时发生不同相接地，只有一回线断路器跳闸，而另一回出线的接地仍存在的缘故。

1. 现象

两回线异相接地在主控室反映出的现象为跳闸和接地情况的叠加。听到的是事故音响蜂鸣器、预告信号警铃同时报警；看到的有线路控制屏跳闸断路器绿灯闪光，中央信号屏交流绝缘监察表计三相电压不平衡；“掉牌未复归”、“母线单相接地”光字牌同时亮。

2. 处理

发生这种情况时，已跳闸线路不再强送，应按下述步骤进行处理：

1）复归蜂鸣器和警铃音响信号。

2）复归跳闸断路器操作手柄，使闪光消失。

3）按接地拉路顺序寻找接地线路，一般在跳闸线路以外，应另有一回出线发生接地。

4）找出接地线路后，做好记录，复归各光字牌、掉牌，使变电所运行恢复正常。

（四）电力系统发生接地后两回出线跳闸的处理

1. 现象

当电力系统两回线发生异相接地出现两回线同时跳闸时，主控制室反映除线路控制屏有两个跳闸断路器绿灯闪光外，其他与一回线跳闸、电力系统出现接地的现象相同。只不过在中央信号屏上交流系统三相电压又恢复平衡，接地现象消失。

2. 处理

发生这种情况时，值班人员自行强送其中的一条较为重要的线路，另一条则不准强送，并报告调度。已强送成功的线路，应在现场运行规程规定的时间内运行。

三、注意事项

（1）处理单相接地时，应注意：

1）当发生单相接地时，应严密监视电压互感器，尤其是10kV三相五柱式电压互感器，以防其发热严重。

2）不得用隔离开关断开单相接地点，如必须用隔离开关断开单相接地点（如单相接地发生在母线隔离开关与断路器之间）时，可给故障相经断路器作一辅助接地，然后用隔离开关断开该单相接地点。

3）值班人员在短时选切联络线或环状线路时，两侧断路器均应切除。在切除之前，应注意不使其他线路过负荷。

4）当发生不稳定接地并危及系统设备的安全时，可将故障相的断路器人工接地，然后进行处理。

（2）处理线路事故跳闸时，应注意：

1）带电作业线路断路器跳闸后，变电所值班员不得自行强送电，必须按当值调度命令执行。

2）强（试）送电的断路器，跳闸次数必须未达到限定值，断路器情况良好；送电前，须将动作的保护复位。

3）强（试）送电可以不用操作票，但应在运行日志中详细记录。

思　考　题

一、名词解释

1. 气相色谱分析
2. 变压器的空载试验

二、问答题

1. 变压器差动保护的范围是什么？
2. 变压器差动保护动作应如何处理？
3. 变压器瓦斯保护的范围是什么？
4. 变压器瓦斯保护动作应如何处理？
5. 变压器无载分接开关故障应如何处理？
6. 变压器有载分接开关故障应如何处理？
7. 变压器着火应如何处理？
8. 电缆线路常见的故障有哪些？该如何处理？
9. 输电线路单相接地应如何处理？
10. 输电线路事故跳闸，该如何处理？

第十一章　低压电器运行及维护

第一节　维护接触器

第一单元　运行中接触器的检查

一、学习目标

能对运行中的接触器进行检查。

二、工作程序

接触器运行中的巡视检查项目有：

1. 检查接触器的合闸吸引线圈有无过热现象（规定不高于65℃），有无变色、冒烟和异常气味等现象。电磁铁上的短路环有无脱动和损伤现象。

2. 触头有无接触不良而发生的放电声和过热现象。

3. 检查灭弧罩是否完备，有无脱落、松动和破损现象。

4. 检查接触器各连接处的接触是否完好，螺钉有无松动、脱落现象。

5. 检查接触器触头位置是否与运行状态相符合。

6. 检查接触器的吸引线圈铁心吸合是否良好，有无过大噪声，断开后是否返回到正常位置。

三、注意事项

运行中的接触器，除了平时应注意巡视外，还应定期检查接触器的各部件，检查周期应视具体的工作条件而定。检查时应首先断开电源，然后进行下列检查、维护工作：

1. 清除接触器表面的污垢。

2. 取下灭弧罩，用毛刷清理，检查灭弧罩是否完整，同时清除灭弧罩的碳化物和金属颗粒。注意检查栅片是否烧损变形，如果损坏严重应进行更换。

3. 检查触头接触是否良好，有无烧坏现象；若触头接触不良，应调整弹簧压力使其适当；若触头有烧损现象，可用细砂纸把触头擦光，不要用锉刀；当触头烧损严重，以至不能正常工作时，则应更换。

4. 检查吸合铁心的接触面是否光滑，短路环是否断裂、脱落和过度氧化。

5. 检查辅助触头构成的接触器二次电气联锁系统的作用是否正常。

6. 检查联动机构的绝缘状况和机构附件的完好程度，以及有无移位、松脱、变形等情况。

第二单元　接触器的故障处理

一、学习目标

能对接触器的故障进行处理。

二、相关知识

接触器的结构、作用及工作原理。

接触器是电力拖动和自动控制系统中普遍应用的一种控制电器。它能短时通断 10 倍额定电流之内的负荷，但不能切断短路电流，故在它的电源侧总要串接短路保护电器，如断路器或熔断器。

接触器按操动方式可分为电磁接触器、电气接触器和电磁气动接触器；按灭弧介质可分为空气式（有灭弧室和隔弧板）、油浸式和真空接触器等；按电源种类可分为交流和直流接触器两种。

我国从 1998 年 1 月 1 日起，推行接触器的更新替代产品是 CJ20 系列、CL40 系列和 B 系列等。

目前直流接触器常用的是 CZ0 系列及新产品 CZ18 系列。

接触器主要由电磁线圈、电磁铁、触头、灭弧罩和绝缘支撑架组成，如图 11-1 所示。

当线圈 8 通电时，产生磁通吸引衔铁 4，使动触头 3 和静触头 2 闭合；当电磁铁线圈断电后，衔铁受到自身重量和弹簧力作用而返回，使触头分离。在衔铁动作过程中，辅助触点 10 也将随之动作。但是，若给线圈 8 所加电压低到一定值时，电磁铁产生的电磁力不足以吸引住衔铁，触头就不会动作，故接触器有欠压（包括失压）保护功能。为了克服交流接触器在电流过零时动触头吸力为零的缺点，在静铁芯上装有短路环，消除了动铁芯的振动和噪声，并维持动合触头的接通。

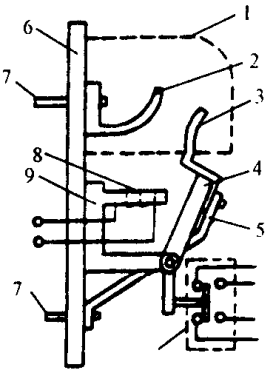


图 11-1　接触器工作原理及结构示意图

1—灭弧罩；2—静触头；3—动触头；4—衔铁；5—连接导线；6—底座；7—接线端子；8—电磁铁线圈；9—铁心

选用接触器时，主要应考虑型式、主电路和控制电路的参数，接触器的寿命、使用类别和工作制等因素。

三、工作程序

（一）交流接触器噪声大，振动明显

出现这种故障的原因及处理方法是：

1. 铁心的端面有杂物、锈蚀、毛刺或过度磨损而使极面不能吻合。应清理极面，去除毛刺，磨平极面或更换铁心。

2. 短路环松脱或断裂。应装紧短路环或将断裂处焊牢。

3. 可动部件有卡住现象，使铁心无法吸平。应排除卡住现象。

4. 触头弹簧压力过大，使铁心不能很好地闭合。应更换弹簧。

5. 零件装配不当（如夹紧螺钉松动，漏装缓冲弹簧）。重新检查并正确装配有关零件。

6. 电源电压偏低，电磁吸力不足引起铁心震动。应调整电源电压。

（二）交流接触器线圈过热或烧坏

交流接触器线圈过热或烧坏的主要原因及处理方法如下：

1. 电源电压过高或过低。可调整控制回路的电源电压，使之符合线圈的额定电压。

2. 交流接触器操作频率过高，超过其技术参数规定的允许值。此时可降低操作频率使用或换用重负荷接触器。

3. 线圈制造不良或机械损伤导致绝缘损坏，甚至匝间短路。应更换线圈或消除引起机械损伤的故障。

4. 交流铁心极面不平或中肢去磁气隙过大。应将铁心端面磨平或更换铁心。

5. 运动部分卡住。应排除卡住现象。

6. 使用环境特别恶劣（如潮湿、含腐蚀性气体或环境温度过高）。应根据环境条件选用特殊设计线圈（如湿热型线圈等）。

7. 交流接触器派生直流操作的双线圈，因常闭联锁触头熔焊不释放而使启动线圈过热烧坏。

（三）交流接触器通电后不吸合或不能完全吸合

这种故障的主要原因及处理方法如下：

1. 操作回路的电源电压过低、容量不足或发生断线、配线错误及控制触头接触不良。可调高电源电压、增加电源容量、检查线路及修复控制触头。

2. 线圈内部断线或烧毁，接线头松动或表面有漆膜。可修复或更换线圈，紧固接线头或刮除接线头表面漆膜。

3. 线圈额定电压与实际电压不符，实际电压偏低。应更换合适线圈或调高电压。

4. 机械可动部件有卡阻现象（如转轴轴颈生锈、零件变形歪斜等）。若有卡住现象时，用手向触头闭合方向按压触头，常按压不动或不能到位。此时应去除锈垢，加润滑油；修复或更换受损零件、调整装配位置。

5. 触头弹簧压力或超程过大。更换弹簧。

（四）CJ12 系列无声运行接触器故障

CJ12 系列无声运行接触器在使用中，常有接触器铁心不吸合或虽能吸合但不能保持的故障出现。当出现此类故障时，在确认已排除其他外部原因的情况下，应考虑无声运行接触器线圈回路的故障。无声运行接触器线圈回路的原理图如图 11-2 所示。接触器的吸合是在常闭触点 K 闭合的情况下实现的，此时的整流电路的交流侧是交流 220V（或 380V），整流后直流电压较高。在接触器吸合后，常闭触点 K 断开，此时的整流电路的交流侧只为变压器副边 ax 的较低电压。在实际运行中，无声运行接触器线圈回路的常见故障主要有：

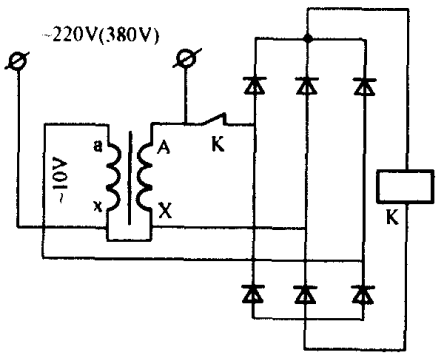


图 11-2　无声运行接触器电气原理

1. 常闭触点 K 接触不良。常闭触点 K 是直接装在线圈上的，它通过铁心的运动完成接通或断开。带动常闭触点 K 触点动作的机构是外包一层塑料的一根小铁棒，在长时间的运行中，由于振动等原因，铁棒会发生变形，这就会造成在接触器铁心释放后不能使常闭触点 K 可靠地恢复闭合状态。由于 K 接触不良或没有闭合，从原理图可知，线圈的电压是很低的(仅为保持电压)，故不能使铁心吸合。

2. 桥式整流电路中的二极管损坏。

3. 整流变压器绕组有匝间短路或开路。

处理方法如下：

（1）若触点 K 不能闭合，可把 K 从线圈上拆去，将原接至 K 的两条线接在接触器的常闭辅助触点上，以接触器的常闭触点代替 K。这样，当接触器铁心释放时，接触器的常闭辅助触点便可有效地闭合。

（2）二极管损坏时，应更换相同型号的二极管。

（3）整流变压器损坏时，应修复或重绕。

（五）交流接触器通电后动作缓慢

造成这种情况的原因多为装配不当。一是铁心极面的间隙过大，相对吸力不够；二是接触器底板上下倾斜。若为前者，应重新进行装配，使间隙合适；若为后者，应使底板放正装直。如若不是装配原因造成的，则应检查电压是否过低。由于电源电压低，导致吸力不足，动作缓慢，此种情况极易烧坏线圈，应检查电压低的原因并尽快处理。

（六）线圈断电后衔铁不释放或释放过慢

线圈断电后衔铁不释放或释放过慢有多种原因：

1. 接触器触头过热使之熔焊在一起。可在断电后，打开灭弧装置，修整触头。修整时应轻轻地将熔焊的触头橇开，用砂布进行打磨，直到表面发光为止。若触头严重烧损，厚度只有原厚度的一半以下时，应更换触头。

2. 可动衔铁或其他可动部分被异物卡住。应检查卡住部位，排除异物。

3. 反力弹簧弹力过小或弹簧疲劳、损坏，不能使触头复位。应更换弹簧。

4. 底板安装不正确。应重新正确安装。

5. 交流电磁系统因 E 形铁心过分磨损，去磁气隙消失而造成铁心剩磁过大引起粘附；直流电磁系统因非磁性垫片漏装或太薄而造成剩磁过大引起粘附。可在交流 E 型铁心中肢极面上磨去约 0.15mm，加大去磁气隙，或者更换新铁心；对直流铁心可加装或加厚非磁性垫片。

6. 铁心极面附着油污或尘埃。可清理铁心极面。

（七）触头过度磨损

触头过度磨损的原因及处理方法如下：

1. 用于反接制动、点动、频繁操作时，触头容量不够。应降低容量使用或改用重任务接触器。

2. 三相触头动作不同步，磨损不均匀。应调整至同步。

3. 负载侧短路导致触头烧损。排除短路原因，更换触头。

（八）接触器相间短路

接触器相间短路的原因及排除方法如下：

1. 尘埃堆积或粘有水气、油污，使绝缘变坏。应经常清理，保持清洁。

2. 灭弧罩破裂或其他零部件损坏。当接触器灭弧罩损坏时应及时更换，一定不能在不加灭弧罩或灭弧罩破裂情况下勉强使用，否则将会造成三相间的电弧短路。其他损坏零件时也应随时更换。

3. 可逆转换的接触器联锁不可靠，致使两台接触器同时投入运行；或因燃弧时间长、转换时间短，在断开的接触器尚未完全断开的情况下另一台接触器已经接通，从而造成转换过程中发生电弧短路。此时可检查辅助触头与机械联锁是否可靠，在控制回路上加装中间环节（如中间继电器）或调换动作时间长的接触器。

（九）触头熔焊

触头熔焊的原因多为触头初压力过小，触头容量过小，操作过于频繁或线路发生严重过载（电流大于额定电流的 10 倍以上）。有时线圈回路电压太低，由于磁吸力不足，造成触头反复振动，反复燃起电弧，也会使触头熔焊。此时应检查电源电压，使之不低于额定电压的 85%。

接触器触头熔焊时，还应检查灭弧装置。总灭弧装置损坏，不能可靠地灭弧，也会使触头烧毛或熔焊。所以发现灭弧装置损坏时一定要及时更换。

若发现触头熔焊，一定要及时排除，以免造成重大事故。发生触头熔焊时，若仅为轻微熔焊，可稍加外力使之分开，并挫平触头；若熔焊严重，必须换用新触头。若触头初压力过小、触头容量过小，还应更换额定容量更大些的接触器。对频繁操作的接触器则应更换相应工作制的接触器，以免再次发生熔焊。

（十）接触器辅助触头接触不良引起电源自动开关跳闸故障的处理

某厂一台 55kW 风机，采用自耦变压器降压启动。在降压启动时，电动机运行正常，仅在转为全电压运行时，在运行接触器 K 吸合的瞬间，为其供电的自动开关跳闸。

为检查故障原因，切断主电路后对控制回路进行操作试机，接触器的切换动作正常。

由于电动机在降压启动阶段运行正常，所以自动开关不可能是失压跳闸，只可能是过流跳闸，而且故障应出在由启动转入全电压运行这一环节上。将两个接触器全都拆开检查，发现降压启动接触器 K_n 的一对辅助常闭触点烧坏变形，并失去弹性。更换此常闭触点后，带负荷试机，一切正常。

故障分析表明：降压启动接触器 K_n 的这对辅助常闭触点是用来接通全电压运行接触器线圈的。由于它的接触不牢靠，使全电压启动运行推迟，电动机转速降低过多，这就相当于电动机在短时断电停车后又以直接启动方式进入运行，这就极大的增加了电动机的定子电流，使原来合适的整定电流相对地变小，故而引起自动开关的跳闸。这种接触不良的故障是较难发现的，而且也不是每次都发生。

由此可以看出，对控制线路的正常维修是非常重要的。在正常维修中，人们往往比较重视对电气装置和主电路的检查，而较易忽视对控制线路的检查。通常是在出现电气故障时才对症进行检查和处理。有时在控制线路中的一些故障比较隐蔽，就给检查处理造成了一定的难度。

（十一）灭弧罩不能有效地灭弧

灭弧罩不能有效地灭弧主要有两方面原因造成：一是灭弧罩受潮，绝缘降低；二是灭弧罩碳化。灭弧罩碳化多因频繁操作或断开故障大电流造成，所以对灭弧罩应加强维护。

灭弧罩在被雨淋或受潮之后要及时烘干；在断开故障大电流或长期频繁操作之后要及时将灭弧罩上的碳化物质清理掉，保持表面的光洁度；检修后要将灭弧罩吹刷干净，不要在表面存下碳粒等杂质和污垢。

（十二）交流接触器不装灭弧罩引起低压自动开关跳闸

某地一水泵由 18.5kW 交流异步电动机拖动，电动机用 CJ10 型交流接触器控制。一次对接触器维修过后，由于电工的疏忽，在没有装上灭弧罩的情况下进行了送电试验。结果在按下启动按钮时，在一声巨响的同时，接触器处发出一团火球，低压自动开关跳闸。

在没有安装灭弧罩的情况下，严禁对负荷进行送电操作。本故障正是不执行这一操作规程而引起的短路故障。因此，应不断加强电气维修人员的素质教育，严格按规程操作。

另外，应加强监护工作。在送电前，应对所检修的设备进行仔细检查，送电试验前应征得监护人的同意。

四、注意事项

接触器常见故障的分析及处理可参见表 11-1。

表 11-1　　交流接触器常见故障分析及处理

故障现象	故障原因	处理方法
线圈通电后接触器不动作或动作不正常	1. 线圈损坏	1. 用万用表测量线圈，若为开路应检修线圈
	2. 电源断路	2. 检查各接线端子是否断线或松脱、开焊，或辅助触头虚接，应予修复
	3. 电源电压过低	3. 量测电源供电电压是否与铭牌数据相符（不应低于额定值的85%）
	4. 接触器运动部分卡住或弹簧反力过大	4. 卸下灭弧罩，按动触头，排除卡蹭现象。如有部件变形应拆下调整弹簧压力或更换弹簧
	5. 使用频率不对（如个别场合使用60Hz电源）	5. 改为适用频率
线圈通电后吸力过大，线圈短时过热冒烟	1. 接入电源电压超过线圈额定电压的1.1倍以上	1. 测量电源电压，调整电压或调换线圈
	2. 线圈内局部短路	2. 更换新线圈
线圈断电后，接触器不断开	1. 运动部分卡死	1. 清除异物或更换严重变形零件
	2. 铁心极面油垢粘着	2. 用汽油清洗极面并用干布擦拭干净
	3. 剩磁严重	3. 如系铁心中柱无气隙，可磨锉至0.1～0.3mm。或在线圈两端并联一只0.1～0.3μF电容
	4. 反作用弹簧失效或丢失	4. 更换或调整反作用弹簧，但反力不宜过大
	5. 安装位置错误	5. 按产品使用说明书更正安装位置
	6. 主触头熔焊	6. 撬开触头用小锉去掉毛刺；如经常熔焊应检查产品工作环境及触头压力是否过小或闭合时触头跳动
	7. 非磁性垫片磨损或脱落（直流）	7. 调换非磁性垫片
吸合后噪声大	1. 电源电压低	1. 调整电源电压至85～110%额定电压
	2. 极面间有异物或接触不好	2. 清理极面或调整铁心（若极面不平整可少量磨削）使接触良好
	3. 触头超行程过大或反作用弹簧力过大	3. 减少超行程或调整反力至规定值
	4. 短路环断裂	4. 仔细查找断裂处并加焊或更换
触头及导电连接板温升过高	1. 触头接触压力不足或超行程过小	1. 调整主触头弹簧及超行程至规定值
	2. 触头接触不良	2. 改善触头接触情况，必要时可稍事修锉触头表面，静触头与导电板固定要牢靠
	3. 紧固螺钉松脱	3. 查出弹簧垫圈断裂的应补换，接线处要可靠，载流面应足够大
	4. 触头严重磨损及开焊等	4. 触头磨损至原厚度的1/3或已开裂，即应更换触头
触头迅速烧损	1. 吸引线圈电压过低，吸合不良	1. 调整电源电压不应低于额定值的85%
	2. 触头参数相差太多	2. 注意触头零件是否齐全，开距、超行程压力是否正确
相间短路	1. 相间绝缘损坏	1. 胶木碳化应更换
	2. 相间绝缘介质有导电尘埃或潮湿	2. 经常清理，保持干燥

第三单元　接触器控制电动机回路的检查

一、学习目标

能对接触器控制电动机的回路进行检查。

二、工作程序

图 11-3 所示为交流接触器控制异步电动机的电路图。操作时，先合上刀开关 Q，此时若熔断器 FU 完好，指示灯 HL 都亮，则按下起动按扭 S1，控制回路接通，交流接触器 K 线圈通电，其主触头接通电动机 M 起动。此时，K 的辅助动合触点闭合，即使 S1 返回（断开），仍能使 K 线圈通电，这种作用称为自保持。若使电动机停止，只要按下停止按扭 S2，使 K 线圈失电即可。

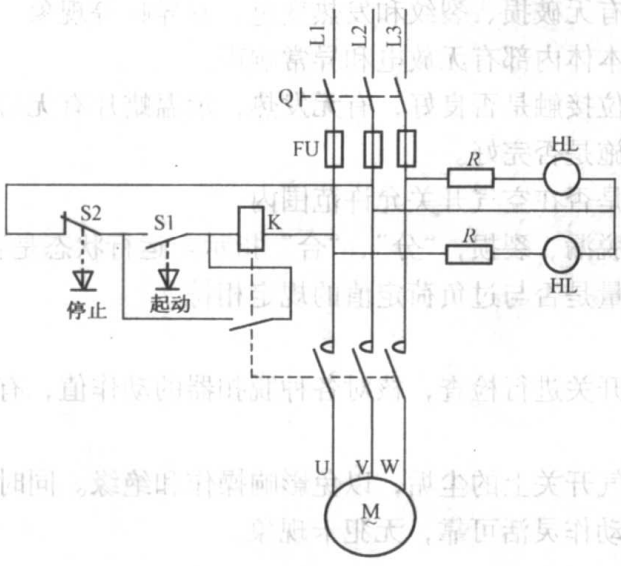


图 11-3　交流接触器控制异步电动机电路图

第二节　维护低压断路器

第一单元　运行中低压断路器的检查

一、学习目标

能对运行中的低压断路器（自动空气开关）进行检查。

二、工作程序

低压断路器运行中的巡视检查项目分述如下。

（一）框架式自动空气开关的巡视检查

巡视检查时应注意以下几点：

（1）检查空气开关的上、下接头及引线接触是否良好，有无发热变色及示温蜡片有无熔化现象。

（2）检查触头接触是否良好，是否有因接触不良而发生的放电声响。

（3）检查辅助触点有无烧蚀现象。

（4）查看灭弧栅有无破损和脱落、松动现象。

（5）查看所带负荷是否超过自动空气开关的额定值。

（6）检查欠压脱扣线圈有无过热现象及有无异常响声，运行是否正常。

（7）检查自动空气开关各连接部位的销子是否齐全，螺丝有无松动及弹簧有无断裂、锈蚀等现象。

（8）检查二次回路接线端子有无松动、脱落，接触是否可靠。

（9）查看过载脱扣装置的整定与负荷是否匹配。

（10）检查过流脱扣器的弹簧是否生锈，以免影响其动作。

（二）装置式自动空气开关的巡视检查

巡视检查时应注意以下几点：

（1）检查绝缘外壳有无破损、裂纹和发热变色、有异味等现象。

（2）观察空气开关本体内部有无放电和异常响声。

（3）进出线连接部位接触是否良好，有无发热，示温蜡片有无熔化现象。

（4）检查防飞弧措施是否完好。

（5）检查负荷情况是否在空气开关允许范围内。

（6）操作手柄有无脱漏、裂损，“分”、“合”指示与运行状态是否相符。

（7）过载热元件容量是否与过负荷定值的规定相符。

三、注意事项

（1）应定期对空气开关进行检查，核对各种脱扣器的动作值，有延时者还要检查其延时是否准确。

（2）应定期清除空气开关上的尘垢，以免影响操作和绝缘。同时应给操动机构添加润滑油，使空气开关各部件动作灵活可靠，无犯卡现象。

第二单元　低压断路器的故障处理

一、学习目标

能进行低压断路器的故障处理。

二、相关知识

（一）低压断路器的作用

低压断路器是低压开关电器中性能最完善的设备，它具有过载、短路和欠压保护，可用在不频繁操作的电路中，通断容量大，是交支流配电系统中的主要保护电器。低压断路器又称自动开关或自动空气开关。

低压断路器的灭弧介质一般是空气。近年来利用真空或 SF_6 作为灭弧介质的断路器也得到很大的发展，其体积和通断容量都有很大的改善。

（二）低压断路器的类型、结构及工作原理

1. 低压断路器的分类

（1）按结构可分为框架式（又称万能式）和装置式（又称塑壳式）两种。

（2）按动作速度可分为一般型和快速型。快速型又称限流型，可使其短路电流还未达到预期值时就被分断。

（3）按用途可分为配电型、电动机保护型、漏电保护型、导线保护型及灭磁开关。

（4）按安装方式可分为固定式、插入式、抽屉式等。

（5）按使用类别的不同可分为A类（非选择型）和B类（选择型）。

（6）按操作方式可分为人力操作和储能操作。

（7）按极数可分为单极、双极和三极。

低压断路器的工作制只有8小时工作制和长期工作制两种。

2. 低压断路器的结构及工作原理

低压断路器由通断元件（触头和灭弧装置）、感应元件（脱扣元件）、传递元件（自由脱扣机构和操动机构）组成。

图11-4所示为低压断路器的工作原理图。断路器分合闸的关键是钩杆3和搭钩4是否钩合，若脱开，钩杆3在分闸弹簧12作用下带动断路器触头分闸。造成钩杆3和搭钩4脱开的原因，是脱扣线圈5和8因吸力的改变而动作。

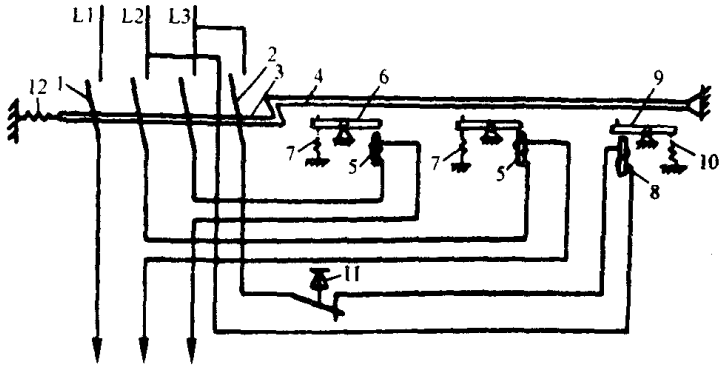


图11-4　低压断路器的工作原理图

1—主触头；2—辅助触点；3—钩杆；4—搭钩；5—过电流脱扣器线圈；6—衔铁；7、10—弹簧；8—失压脱扣器线圈；9—失压脱扣器衔铁；11—分闸按钮；12—分闸弹簧

在过载时，线圈5产生的吸力大于弹簧7的拉力，使衔铁6向右旋转，将搭钩3和搭钩4顶脱开，达到分闸的目的。

当电压低于一定值时，线圈8产生的吸力小于弹簧10的拉力，衔铁9将搭钩4从钩杆3中顶脱，断路器分闸，达到欠压保护的目的。

调整弹簧的拉力大小，便可调整过流、欠压保护的动作值。

（1）触头。低压断路器是一种保护电器，其通断电流大。因此，触头的导电性能要好，接触电阻小，散热性好，并具有抗熔焊、耐磨及有足够的动、热稳定性能。

额定电流在1000A以上的触头，除有主触头（常用银镍——银石墨材料）外，还有灭弧触头（材料是铜钨或铜碳合金）。合闸时，先合灭弧触头后合主触头；分闸时则相反。

需要注意的是，低压断路器的触头不能随便拆卸，否则会影响触头的电气性能。

（2）灭弧装置。低压断路器的分断能力强，除了对触头有要求外，对灭弧装置要求灭弧能力和绝缘性能要好，并有足够的机械强度和热容量。

塑壳式断路器的灭弧装置采用铁栅片，灭弧室壁多用钢纸板制造。因钢纸板不仅耐高温，而且在电弧作用下能产生气体，有利于灭弧。另外，其顶端多孔绝缘封板或钢丝网可用来吸收电弧能量，并可缩小喷弧距离。

万能式断路器灭弧装置也采用铁栅片式。但灭弧室壁现已改用三聚氯胺玻璃塑料压制，其机械强度高、不易碎。灭弧室上方的灭弧栅片也可缩小喷弧距离。

（3）脱扣器。低压断路器的脱扣器，是用来接受操作命令，或电路在非正常情况下以机械动作来触发电路方式，使断路器跳闸的部件。脱扣器有电磁过流脱扣器、欠压脱扣器、分励脱扣器和热脱扣器，以及近几年出现的半导体脱扣器和微处理脱扣器等。断路器根据需要可装设相应的脱扣器。

（4）自由脱扣机构。低压断路器必须具有自由脱扣的性能。所谓自由脱扣，是指断路器处于合闸状态，或在合闸过程中发生了短路故障，脱扣器都应能作用于脱扣机构而使断路器自动跳闸。也就是说，自由脱扣的性能由自由脱扣机构实现。图 11-5 为自由脱扣机构的原理示意图。

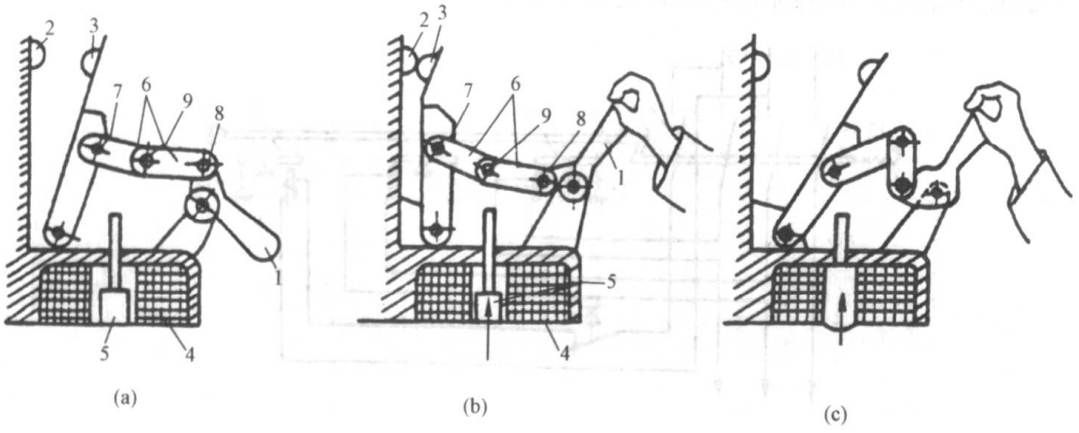


图 11-5　自由脱扣机构的原理示意图

（a）预备合闸；（b）合闸；（c）自动跳闸

1—操动受柄；2—静主触头；3—动主触头；4—跳闸线圈；5—冲击杆；6—连杆；7、8、9—铰链

图 11-5（a）所示是断路器处于断开位置，即预备合闸位置。铰链 9 稍低于铰链 7 和 8 的连接直线。合闸时，由于铰链 9 为一“死点”，故只要反时针推动手柄 1，就可使主触头 2、3 接通，断路器便合闸，如图 11-5（b）所示。

分闸操作时，跳闸线圈 4 通电，使冲击杆 5 向上冲击铰链 9，则铰链 9 的位置高于铰链 7 和 8 的连线，从而使对应连杆 6 向上折，在跳闸弹簧力作用下，断路器跳闸，如图 11-5（c）所示。若要断路器再接通，必须顺时针拉动手柄 1 到图 11-5（a）的位置。

自由脱扣的关键，就是因跳闸线圈通电动作，使冲击杆 5 上顶破坏了“死点”位置或“死点”的消失，使断路器合了闸也要分闸或在合闸过程中合不上闸。

3. 万能式断路器

万能式断路器是在有绝缘衬垫框架上，将所有构件组成一个整体的断路器。我国的新产品型号是 DW15 系列和 DW17 系列（又称 ME 系列）。

图 11-6 所示为 DW15 系列 200～630A 断路器结构断面图及外形图。断路器为立体布置形式，上面为灭弧装置，操作机构可装在正前方或右侧面，有“分”、“合”指示窗及手动断开按扭。其左上方装有分励脱扣器，背后装有与脱扣半轴相连的欠压脱扣器。互感器套在下母线上。欠压延时装置、热继电器或半导体脱扣器等均可分别装在下方。操动机构采用储能

式，使触头闭合速度与操作速度无关。触头系统利用平行导体流过的电流获得电动力补偿，提高了断路器的通断能力。

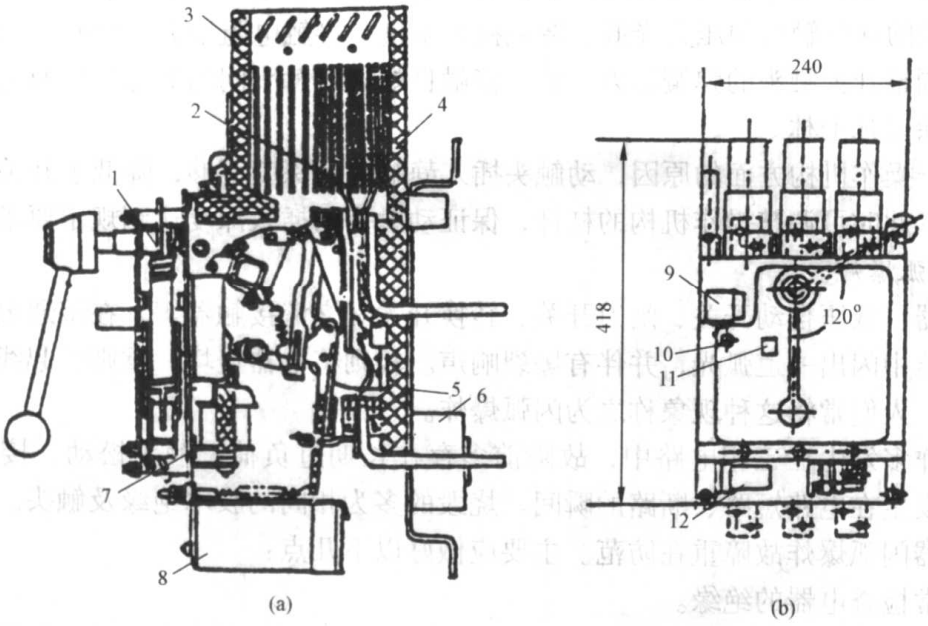


图 11-6　DW－15 系列 200～630A 断路器结构图

（a）内部结构图；（b）外形正面图

1—合闸操动机构；2—动触头；3—灭弧罩；4—静触头；5—快速电磁铁；6—电流电压变换器或速饱和电流互感器；7—欠电压脱扣器；8—半导体式或热式脱扣器；9—分励脱扣器；10—脱扣轴；11—分合指示窗；12—失压延时装置

4. 塑壳式断路器

塑壳式断路器有一绝缘外壳基座和盖，将所有构件组装在绝缘的塑壳内，减小了外界对断路器的影响。断路器的接线端子从背后引出，正面不接触带电部分，使用安全。该断路器有的是不可维修的。由于该断路器的额定电流比 DW 系列小，因此被广泛应用于工矿企业、公共建筑及生活住宅的电力和照明线路中，也可用于小容量发电机的保护控制回路上。

我国新产品型号是 DZ20 系列断路器（包括经济型 C，一般型 Y，较高通断能力型 J，高通断能力型 G）及 TO、TG、CM、H 系列。对塑壳式微型断路器，由于其技术性能好、体积小、用料省、易于安装、操作维护方便、价格便宜、经久耐用等优点，已成为低压开关的主体。今后的开关，都将被取代。

三、工作程序

当低压断路器发生以下故障时，应作相应的处理。

（一）触头过热

某农机厂配电室曾发生一起火灾事故，事故原因是 DZ10 自动空气开关触头长期过热，引起开关胶木底座与木质配电盘燃烧。

开关触头过热的原因及相应的处理方法：

（1）开关容量过小或有短路电流流过开关触头。开关容量过小时，开关的接触面与通过的电流不相适应会造成触头过热。若有大容量设备启动或短路电流通过触头时，开关会在动

静触头间发生弧光，使触头过热甚至会发生熔焊。此时可更换大容量开关，并且注意一般不能用开关启动负荷。用开关直接启动负荷时，不能频繁操作，而且开关的容量应比设备的额定电流大三倍以上。发生轻微熔焊时，整修后可继续使用，发生严重熔焊时应更换触头。

（2）开关的动静触头间压力降低，造成接触不良，接触电阻增大。此时可对开关触头进行修整，并调整开关触头的弹簧压力，使之接触良好。对触头间的氧化层应及时清除并在清除氧化层后涂以凡士林。

（3）由于操作机构方面的原因，动触头插入静触头的深度不够，降低了开关的容量，导致触头发热。此时可调整操作机构的杠杆，保证动触头的插入深度达到规定要求。

（二）闪弧爆炸

低压电器（低压自动开关、闸刀开关、转换开关和交流接触器等）在接通电源时，有时会突然从电器中闪出一道弧光，并伴有爆裂响声。轻则将电器烧坏，重则引起线路跳闸或危及人身安全。人们常将这种现象称之为闪弧爆炸。

闪弧爆炸多发生在三相电路中，故障前多存在长期过负荷、触头松动、接触不良等现象。故障常发生在电路短路、断路的瞬间。烧毁的多为相间的胶木绝缘及触头。

低压电器闪弧爆炸故障重在防范。主要应做好以下几点：

（1）经常检查电器的绝缘。

（2）在使用前要检查触头、接触面是否正常，压力是否符合要求，是否有接触不良或发热烧损，接线是否有松动和断线断股。

（3）对经常出现过负荷的电器应加大容量，进行更换。

（4）加强电器设备的维护，操作要规范，尽量避免短路或断路引发的过电压。

（三）线圈烧坏

某单位使用的 DW10—600/3 型低压自动开关线圈连续烧坏，检查电源电压正常，烧坏前线圈绝缘等均在正常范围。

这种故障的常见原因主要有：

（1）合闸线圈在完成合闸后辅助触点未能及时将合闸线圈的电源切断。自动开关合闸线圈按其设计都只能短时通电工作，如线圈在开关合闸后不能及时断电，长时间运行时，必将因过热而烧毁。可检查辅助开关的触点是否完好，有无烧结粘连现象。

（2）机械机构失灵。应检查主开关与辅助开关的联动机构是否正常。当联动机构失灵时，辅助开关的触点将不能正常开合，这将导致线圈不能及时断电。

（3）接线出错而使线圈不能断电。应按电气原理图检查控制电路接线。

（4）线圈回路中有接地现象。由于线圈回路接地故障，使线圈不再受辅助开关的控制，一接通电源后线圈即带电。此时应检查线路绝缘，是否有接线搭地现象。

（四）自动跳闸

某厂一台 300kW 深井泵电动机用 DW10－1500/3 低压自动开关实施全电压启动，原来运行一直正常。但在一段时间内，多次出现启动电动机时自动开关随即跳闸的现象。检查电动机、电缆都无短路、接地故障。拆除水泵联轴器对电动机单独启动，故障依旧。经分析后，估计故障可能发生在开关的过电流脱扣器上。通过空载试机仔细观察发现，过流脱扣器确实已经动作。显然，在空载情况下脱扣器动作是不正常的。于是对脱扣器进行检查，结果发现，三只电流脱扣器的拉力弹簧都已经锈蚀变软，拉力大大减弱，尽管电流整定值都已调到

最大，但因弹簧拉力不足，无法适应电动机启动电流的冲击。于是，电动机在启动时，脱扣器衔铁不能正常吸合，使自动开关跳闸。更换了三只弹簧后，故障排除。

（五）压线部位过热

开关的压线部位过热主要有以下几个原因：

（1）压线松动，使压线部位接触电阻过大。

（2）压线螺栓偏小。

（3）铜接线柱与铝线的连接发生了电化反应造成锈蚀。此时可除去锈蚀，采用铜铝过渡接线端子，并在连接部位涂以导电膏以防止电化锈蚀。

（六）触头不能闭合

自动开关的触头不能闭合的常见原因及处理方法如下：

（1）失压脱扣器线圈的供电线路或线圈本身的故障。在开关闭合送电时，失压脱扣器线圈应得到电压并吸合。但如果失压脱扣器线圈的供电线路出现断线等故障时，线圈得不到电压，脱扣器衔铁将在弹簧的作用下抵住杠杆，使锁扣不能锁住传动杆，导致主触头不能闭合。此时应旋开开关面板四周的固定螺钉，打开面板盖板，接通主电源，用万用表检查脱扣器线圈有无电压。若无电压，则应检修失压脱扣器线圈的供电线路。若有电压，则应检查脱扣器线圈是否开路或短路。发现线圈开路或短路时应重绕或更换。

（2）开关的储能弹簧变形或失去弹性。可打开面板盖板，观察在开关通断的情况下储能弹簧的闭合力。若弹簧变形或失去弹性，应更换。

（3）开关断开后机构不能复位再扣。此时可调整再扣装置，使其能复位。

（七）误跳闸

自动开关闭合后在没有超过整定电流的情况下自行分断。一般是由于开关在运行中受到振动，使过电流脱扣器的整定电流值发生了变化。此时可重新调整过电流脱扣器整定值，并将开关固定好，消除产生振动的因素，保证开关工作的稳定性。

（八）失压脱扣器有明显噪声

失压脱扣器有明显噪声的常见原因及处理方法如下：

（1）铁心的极面上有锈蚀或油污。可用细砂布或干净棉布将锈蚀和油污擦拭干净。

（2）铁心短路环断裂或脱落。应将断裂处焊牢或更换铁心，脱落时应重新加固。

（3）反力弹簧的反力过大。应重新调整弹力使之大小适当。

（九）转换开关把手转动不灵活

出现转换开关把手转动不灵活时可检查以下几个方面：

（1）可检查一下开关的定位机构是否损坏。如是，应进行检修或更换。

（2）开关静触头没有固定好，使动触头的转动受阻，可将静触头的固定螺丝重新固定好。

（3）开关转轴内进入异物卡阻。应拆开检查，清除异物。

（十）故障分析实例

【例 11-1】 某厂配电室的一台 DW10 自动开关频繁跳闸，并伴有部分单台电动机的 DZ10 系列自动开关跳闸。同时还发现，当电动机电流较小时，开关都不跳闸，但当电动机电流较大时，开关就跳闸。开关的整定电流都在正常范围。

故障原因分析：经仔细检查发现，DW10 型自动开关中间相的动静触头接触不良，呈高阻抗导通状态。这就相当于在这一相的触头间接了一个高阻值的电阻。在有电流通过时，在

这个电阻上便形成一定的电压降。电流越大，压降越大。所以，在电动机电流较小时，压降较小，不影响电动机运行，开关也不跳闸。但在电流较大时，在电阻上形成很大的压降，甚至于几乎全部电压都降在这个电阻上，这就在事实上形成了接近缺相的运行状态。在这种情况下，由这台开关所供电的电动机将在接近单相的状态下运行，这就势必造成其他两相电流增加并超出其整定值，故障开关与单台电动机的开关跳闸也就在所难免了。

在更换了 DW10 开关以后，故障现象消失。因此，对自动开关的触头及接线的运行情况应经常检查，使之处于良好的运行状态。发现问题应及时处理，这对维修电工是非常重要的。

【例11-2】 某厂一台 DZ10－100 型塑壳低压自动开关在断路状态下，发生上端头击穿，造成相间短路，导致上一级自动开关跳闸。根据事故现场分析，主要原因是配电屏长期未进行维护，自动开关上端头处积灰过多及接线螺丝松动。由于接线松动，引发放电拉弧，使上端头处的灰尘击穿（在空气湿度较大的地区和季节更容易发生），造成相间短路。运行实践证明，即使接线不松动，也常有因积灰过多在潮湿条件下发生粉尘“爬电”而引发的短路事故。因此，对配电屏必须定期进行检查维护，清理灰尘，紧固螺丝。如用铜铝相接时，一定要实施铜铝过渡，以免引起电化反应造成接触不良和接线松动；如用铝排连接时，可适当增加铝排与塑料外壳间的距离，并在与外壳靠近的部位局部涂以绝缘漆或包上塑料带，以提高绝缘能力。

【例11-3】 某厂一只 60A 铁壳开关连续发生熔体熔断。在更换熔体时，每次都发现开关外壳、内部瓷插件有发热现象，甚至在上下进出线接线端子处热得烫手。现场测定，负载的工作电流只有 42A，小于开关的额定电流，也小于熔体的额定电流（60A）。

原来，铁壳开关内的上下接线端子的孔径为 ϕ6mm，与之相连接的进出电源线为截面 25mm^2 的多股铝芯橡皮线。由于导线较粗，施工人员只将其中的一部分插入接线端子孔内，没有充分压牢，造成接触不良。加之开关的接线端子为铜件，铜铝相接产生的电化反应使接触电阻进一步增大，最终造成局部严重发热、熔断器连续误熔断的后果。

由于原电源线较粗，同时考虑到开关所带的是空调设备，有可能出现过负荷运行，因此决定改用 DZ10－100 型低压自动开关，实现过载保护。对压线端采用铜铝过渡专用接线鼻子。改接后，一直运行良好。

四、注意事项

当自动空气开关在分断故障电流后，在有条件的情况下，应切断电流进行触头检查，并用四氯化碳或酒精抹净。如果触头面形成有小的金属颗粒时，则应将其清除掉，但不能用锉刀挫触头表面，以免影响使用的寿命和次数。对于 DW 型空气开关，如果触头厚度（银合金厚度）小到 1mm，则必须更换触头，同时检查灭弧室的栅片是否被金属粒子短路，并应将金属粒子清除掉，以免再次遇到短路电流时影响可靠分断。

第三节　维 护 熔 断 器

第一单元　运行中熔断器的检查

一、学习目标

能对运行中的熔断器进行检查。

二、工作程序

熔断器运行中的巡视检查项目如下：

（1）检查熔断器瓷件部位有无裂纹和损坏、闪络、放电现象。

（2）运行中熔断器的连接处有无发热现象。

（3）检查熔断器的熔体接触是否良好，有无产生火花及放电、过热等现象。

（4）检查熔断器是否熔断及装设是否牢靠。

（5）熔断器的触头接触是否良好。

（6）熔断器的熔管有无破损、变色现象。

（7）检查负荷情况是否与熔体的额定值相配合。

（8）对于有熔断信号指示器的熔断器，检查其指示是否保持正常状态。

（9）检查熔断器内有无异常声响和填充物有无渗漏现象。

三、注意事项

值班人员应定期检查、巡视，发现异常，应及时采取措施。

第二单元　熔断器的故障处理

一、学习目标

能进行熔断器的故障处理。

二、相关知识

（一）熔断器的特性与参数

1. 熔体的材料及其特性

熔断器是利用电路中电流增大到一定值时，熔体发热温度到达熔点而熔断，使电路自动断开的。因此，熔体是熔断器的主要部件。要求熔体材料的熔点低、导电性能好、不易氧化和易于加工。一般用铅、铅锡合金、锌、铜、银等金属材料。

铅、铅锡合金和锌的熔点较低，分别为320℃、200℃和420℃，但导电性能差，所以用这些材料制成的熔体截面积相当大，熔断时产生的金属蒸气太多，对灭弧不利。因此，在电压为1000V以上的装置中，不宜采用这些材料制成的熔体。锌制熔体不易氧化，保护特性比较稳定。

铜和银的导电性能好，但熔点较高，分别为1080℃和960℃，可以制成截面积较小的熔体。铜熔体广泛应用于各种电压的熔断器中。银熔体的价格较贵，只适用于电压在1000V以上的小电流的熔断器中。对于用来保护工作电流很小的电压互感器的熔断器，可使用康铜或镍铬铁合金制成的熔件。

铜和银熔体的主要缺点是熔点较高，当熔断器长期通过略小于熔体熔断电流的过负荷电流时，熔体可能一直不熔断，而发热温度长期高达900℃以上，易使熔断器其他部件损坏。

为了克服上述缺点，可采用“冶金效应”来降低熔体的熔点，即在难熔的熔体上焊上铅或锡的小球，当温度达到铅或锡的熔点时，难熔金属与熔化了的铅或锡形成电阻大、熔点低的合金，结果熔体首先在小球处熔断，然后电弧使熔体全部熔化。

2. 熔断器的额定参数

表征熔断器技术特性的主要参数如下：

（1）额定电压。熔断器长期能够承受的正常工作电压。

（2）额定电流。熔断器壳体部分和载流部分允许长期通过的最大工作电流。

（3）熔体的额定电流。熔体允许长期通过而不熔化的最大电流。熔体的额定电流可以和熔断器的额定电流不同。同一熔断器可装入不同额定电流的熔体，但最大的熔体额定电流不应超过熔断器的额定电流。

（4）极限分断能力。低压熔断器多用熔断器所能断开的最大电流表示。若熔断器断开的电流大于极限分断电流值，熔断器将被烧坏，或引起相间短路。高压熔断器则用额定开断电流或额定开断容量来表示。

（二）熔断器的保护特性

1. 熔断器的保护特性曲线

熔断器的熔断时间与通过电流的关系曲线称为熔断器的保护特性曲线，又称为安秒特性曲线，$t=f(I)$ 曲线如图 11-7 所示。显然，通过的电流越小，其熔断时间越长；反之，则越短。另外，额定电流大的熔断器，在同类型中其保护特性曲线要高一些。即在通过同一电流时，额定电流大的比额定电流小的熔断器的动作时间要长。前后两级熔断器保护之间的配合，就是利用这一原理实现的，常称为熔断器的选择性，如图 11-8 所示。

图 11-8 中，在 k 点发生短路时，熔断器 FU1 应先熔断，靠近电源侧的总熔断器 FU0 不应熔断，且在 FU1 熔断后 FU0 应能复原。只有在 FU1 因故未熔断时，FU0 定时熔断将总电路切断，起后备保护的作用。对于一个系统，保护的选择性很重要。

为了满足保护的选择性，要求相邻两级熔断器的熔断时间有 $t_0 \geqslant 3t_1$ 的关系。

熔断器于低压断路器之间也要实现保护配合。若上级是断路器，后一级是熔断器时，选择性易实现；反之，要通过特性实验来确定。

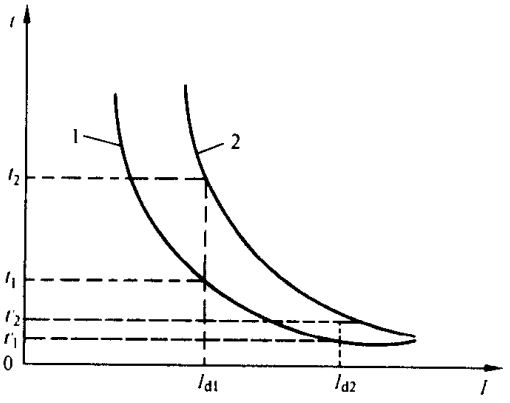


图 11-7 熔断器保护特性曲线

1—截面较小的熔体；2—截面较大的熔体

熔断器的保护性能，除了与材料、截面、灭弧性能有关外，还与触头的接触状况、被氧化程度、熔体受损程度等因素有关。

2. 熔断器的选择

在使用熔断器时，要先选用熔体规格，然后再选择对应的熔断器。其步骤是：

（1）首先确定电压等级。

（2）在一般负荷下，熔断器的额定电流基本上可根据回路的额定电流选择，但分断能力必须大于可能出现的最大故障电流。对电动机保护用的熔断器应参照制造厂提供的选用要求选择。

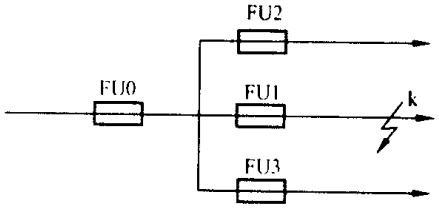


图 11-8 前后两级熔断器保护配合图

（3）应满足选择性要求。

（三）低压熔断器的类型及结构

低压熔断器主要用作低压线路及电气设备的短路或过载保护，其优点是结构简单，使用方便，分断能力强，可靠性高（低压断路器因有机械可动部分和检测部件，其可靠性比熔断器略有逊色），安装面积小，价格低廉；缺点

是保护方式简单。

1. RC1A 型瓷插式熔断器

该型熔断器是一种半封闭插入式熔断器，它是在 RC1 系列基础上的改进产品，适用于交流 380V、50Hz、线路末端的供配电系统，作电缆、导线及电气设备的短路保护及一定程度上的过载保护。其额定电流为 5～200A，分断能力为 500A。由于用户无需特殊工具就能自行更换，故该熔断器广泛用于工矿企业和民用照明的电路中。对于电流较大的熔断器，在灭弧室中还垫有石棉编织物，以防熔件熔断时金属颗粒喷溅。RC1A 型属于非专业人员使用的熔断器。

2. 螺旋式熔断器

该熔断器属填料式熔断器，现有 RL1、RL6、RL7 三个系列，用作 500V 及以下、200A 以内的配电线路中的短路或过载保护，也可用作电动机的短路保护。螺旋式熔断器也属于非熟练人员使用的一类熔断器。

3. 无填料式 RM7 型熔断器

该型熔断器是一种无填料封闭管式熔断器，用于交流 380V 或直流 440V、电流为 600A 及以下的电力线路中，可作电缆、导线及电气设备的短路或过载保护。当熔体熔断后，用户可自行拆开，重新装入新的熔体，故供电恢复快。它在容量不大、特别是单独运行的小电厂中广泛使用。

4. 有填料封闭管式刀型触头熔断器

该熔断器是一种专业人员使用的熔断器，属更新换代产品。它主要用于低压配电设备中作短路或过载保护。其结构如图 11-9 所示，主要由熔断体 8 和底座 6 组成。前者包含瓷质熔管 3、熔体 7、石英砂填料 2、熔断指示器 1 以及触刀 4 等；后者包含瓷质底座、本体和固定于其上的夹头 5 及连接头 9 等。熔体是有锡桥的变截面铜质导电件，以构成“冶金效应”。熔断指示器是带弹簧的组件，当熔体熔断后，它便弹出表示熔断器已动作，若熔断器两端的刀型触头上有缺口，则可用螺栓固定于底座上（小于 1000A 无此缺口而不用螺栓连接）。RT12 系列、RT14 系列、RT15 系列都属于新型产品。

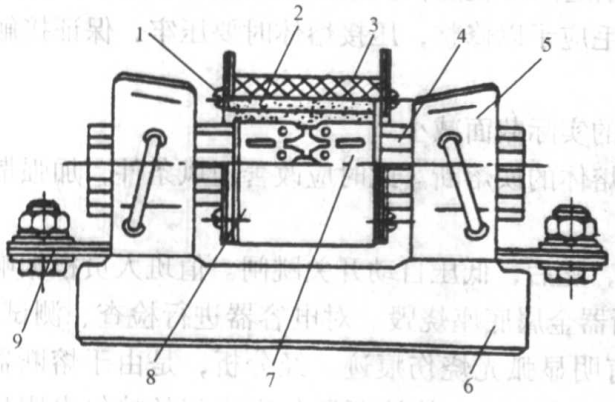


图 11-9　有填料封闭管式刀型触头熔断器

1—熔断指示器；2—石英砂填料；3—瓷质熔管；4—触刀；5—夹头；6—底座；7—熔体；8—熔断体；9—连接头

5. 其他低压熔断器

(1) 快速式熔断器

由于半导体元件的过热能力极差，只能在几十毫秒内承受过载电流。否则，时间稍长，半导体元件定会被烧毁。快速式熔断器则是具有此保护特性的熔断器。其熔体是由银片冲成 V 形深槽的变截面。产品有 RS0（用于保护大容量硅整流元件）、RS3 型（用于保护晶闸管）、RLS2（用于保护半导体硅整流元件和晶闸管）。

(2) 自复式熔断器

该型熔断器是一种与低压断路器串联配套使用的限流元件，它本身是不能分断电路的，其核心元件是金属钠。当正常运行时，金属钠

为固体作为导体；当过载或短路时，金属钠被气化，成为高温、高压和高电阻的等离子状态，限制了故障电流的继续增大，紧接着由断路器将已被熔断器限制了的故障电流切断。之后，熔断器里的蒸气压力、温度下降，最后蒸气又凝结为固体，重新成为导体。该熔断器实际上是一种“熔”而不“断”的非线性电阻。

三、工作程序

（一）熔断器熔体熔断的处理

当发现熔断器熔体熔断时，首先应拉开隔离开关，再判明熔断原因（过负荷、短路或其他），然后更换熔体。安装熔体时，不能有机械损伤，否则会造成相对截面变小、电阻增加，影响保护特性。同时检查熔断器熔管损坏程度，是否开裂、烧坏，导电部分有无熔焊、烧损，上下触头处弹簧是否有足够的弹性，接触面是否紧密。

（二）熔断器熔体误熔断处理

熔断器主要作为短路保护用，有时也作过载保护用。熔断器熔体熔断说明被保护线路和设备出现短路或过载，应对线路或设备进行检查。但有时由于熔断器熔体选得过小，在正常负载时也会熔断，所以应当根据负载的性质合理地选择熔体容量。一般来说，电动机保护用熔断器应考虑电动机的启动电流。对于一台电动机的短路保护，一般熔断器的额定电流为电动机额定电流的 2～2.5 倍，熔体的额定电流为电动机额定电流的 1.5～2.5 倍；对于多台电动机负载的短路保护，熔体的额定电流为最大电动机额定电流的 1.5～2.5 倍再加其余电动机额定电流的和。对于降压起动的电动机，熔体额定电流为电动机额定电流的 1.5～2.0 倍。

用于保护变压器时，应考虑到变压器的过负荷，可按变压器低压侧额定电流的 1.2～1.5 倍选用。当用于保护电炉、照明等电阻性负荷时，熔体的额定电流应等于或大于实际负荷电流；用于保护输电线路时，熔体的额定电流应小于或等于线路的安全电流。

在小容量系统中，快速熔断器的额定电流（有效值）应等于半导体元件额定电流（平均值）的 1.57 倍。

熔断器熔体误熔断是指熔体选用得当，线路电流也在熔体的额定电流以内时的不正常熔断。出现误熔断主要有以下几个原因：

（1）熔体两端或熔断器的触头间接触不良引起局部发热，使熔体温度过高而熔断。此时可检查接触部位的接触情况。若触头氧化或烧毛应予以修整，压接熔体时要压牢，保证接触良好。

（2）熔体本身氧化或有机械损伤，使熔体的实际截面减小。

（3）熔断器周围的环境温度过高也会造成熔体的误熔断。此时应改善通风条件，加强散热。

【例 11-4】 某厂配电室突然发出一声巨响，随后，低压自动开关跳闸。值班人员根据响声位置，检查发现：电容器屏上的 RTO 型熔断器金属底座烧毁。对电容器进行检查、测试，未发现异常。查看 RTO 型熔断器底座，发现有明显弧光烧伤痕迹。经分析，是由于熔断器底座上的卡簧因长期使用及受热等原因，弹簧压力减小，使熔断器与底座间的接触电阻增大，局部过热并出现起弧放电，又因电源相间距离较近，电弧又引发相间短路，最终使自动开关跳闸。

处理措施如下：

（1）更换烧坏的熔断器。

(2) 适当增大熔断器底座间的距离。

(3) 熔断器底座与熔断管之间的接触应紧密牢固。

(4) 值班人员应定期检查、巡视电气设备连接部位的温升情况，发现过热，应及时采取措施。

四、注意事项

(1) 处理跌落式熔断器故障，停电、送电时应注意：

1) 操作时应戴上防护眼镜，以免带故障及带负荷拉、合时弧光灼伤眼睛。操作时应果断、迅速、用力适度，要防止冲击力损伤熔体。

2) 拉开时应先拉中相，后拉开两边相，合时应先合两侧，后合中相。

3) 不允许带负荷操作。

(2) 在处理低压熔断器故障时，一定要切断电源，将开关拉开，以免触电。在一般情况下，不应带电拔动熔断器，如因工作需要带电更换熔断器时，必须先断开负荷，因为熔断器的触头和底座不能用来切断电流，可能在拔动时因电弧不能熄灭，引起事故。

(3) 在更换熔体、熔管时，必须保证接触良好。如果接触不良使接触部位过热传至熔体，当熔体温度升高就会造成误动作。同时要求安装熔断器及熔体时应可靠，否则相当于一相断路，使工作人员误判断或造成保护误动。

第四节　维护照明电路及电动机

第一单元　照明电路的接线布置

一、学习目标

能进行照明电路的接线布置。

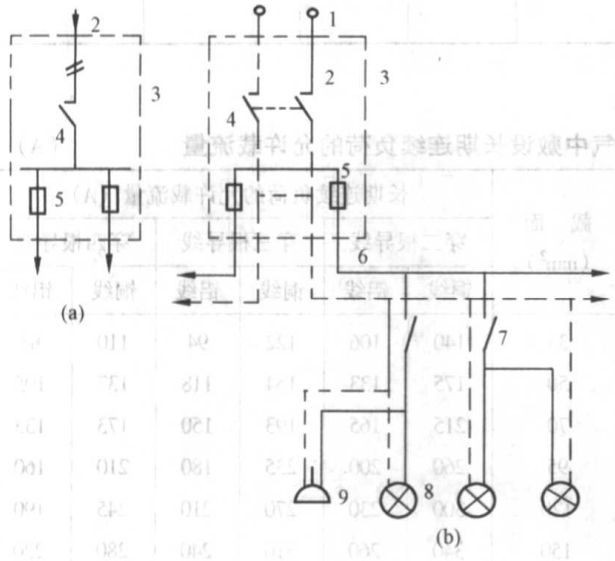


图 11-10　照明线路的组成

(a) 单线图；(b) 电路组成示意图

1—电源；2—引入线；3—配电箱；4—总开关；5—支路熔断器；6—支路线；7—电灯开关；8—电灯；9—插座

二、相关知识

照明电路的接线方式。

一般室内照明电路的组成，如图 11-10 所示。线路首先进入配电箱（或配电盘），然后由分支线接到各个电灯或插座上。在接线时应注意把熔丝和开关接在相线上，使开关断开后，开关以下的导线、插座和灯头等部件均不带电。

三、工作程序

(一) 导线种类和截面的选择

1. 导线种类

均应选择绝缘导线。

2. 导线截面的选择

220V 照明电路应使用额定电压不低于 250V 的绝缘导线。绝对不能用铁丝或铜丝代替绝缘导线。

农村用户照明负荷容量一般都不大，因此可按机械强度要求的最小允许截面来选用导线。室内干线的导线截面可按表 11-2 中所列的数据来选用。

对负荷较大的照明电路，导线截面可按表 11-3、表 11-4 中所列的数据进行选择。

表 11-2　　室内、外配线线芯最小允许截面

用途		线芯最下允许截面（mm^2）		
		多股铜芯软线	铜线	铝线
灯头引下线		屋内：0.4	屋内：0.5	屋内：1.5
		屋外：1.0	屋外：1.0	屋外：2.5
移动式用电设备引下线		生活用：0.2	不宜使用	不宜使用
		生产用：1.0		
固定敷设的导线支持点距离	1m 以内	—	屋内：1.0；屋外：1.5	屋内：1.5；屋外 2.5
	2m 以内		屋内：1.0；屋外：1.5	2.5
	6m 以内		2.5	4.0
	12m 以内		2.5	6.0

表 11-3　　500V 橡皮绝缘导线在空气中敷设时长期连续负荷允许载流量　　（A）

截面（mm^2）	500V 单芯橡皮线		500V 单芯聚氯乙烯塑料线		截面（mm^2）	500V 单芯橡皮线		500V 单芯聚氯乙烯塑料线	
	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯		铜芯	铝芯	铜芯	铝芯
0.75	18	—	16	—	16	110	85	105	80
1.0	21	—	19	—	25	145	110	138	105
1.5	27	19	24	18	35	180	138	170	130
2.5	35	27	32	25	50	230	175	215	165
4	45	35	42	32	70	285	220	265	205
6	58	45	55	42	95	345	265	325	250
10	85	65	75	59					

注　1. 导线线芯最高允许温度为 65℃。
2. 周围环境温度为 25℃。

表 11-4　　500V 单芯橡皮绝缘导线穿钢管时在空气中敷设长期连续负荷的允许载流量　　（A）

截面（mm^2）	长期连续负荷的允许载流量（A）						截面（mm^2）	长期连续负荷的允许载流量（A）					
	穿二根导线		穿三根导线		穿四根导线			穿二根导线		穿三根导线		穿四根导线	
	铜线	铝线	铜线	铝线	铜线	铝线		铜线	铝线	铜线	铝线	铜线	铝线
1.0	15	—	14	—	12	—	35	140	106	122	94	110	83
1.5	20	15	18	14	17	11	50	175	133	154	118	137	105
2.5	28	21	25	19	23	16	70	215	165	193	150	173	133
4	37	28	33	25	30	23	95	260	200	235	180	210	160
6	49	37	43	34	39	30	120	300	230	270	210	245	190
10	68	52	60	46	53	40	150	340	260	310	240	280	220
16	86	66	77	59	69	52	185	385	295	355	270	320	250
25	113	86	100	76	90	68							

注　1. 导线线芯最高允许温度为 65℃。
2. 周围环境温度为 25℃。

（二）照明电路熔丝的选择

选择照明电路熔丝的原则是：

（1）配线支路熔丝的额定电流应大于或等于实际的最大负荷电流，但应小于该支路导线的最小安全电流。

（2）照明电路总熔丝的选择

总熔丝的额定电流

$$I = (0.9 \sim 1) \times \text{电能表的额定电流(A)}$$

因为总熔断器一般装在电能表的出线处，所以熔丝的额定电流不应大于单相电能表的额定电流，但必须大于电路中全部用电器的工作电流。

（三）照明灯具的接线

（1）在三相四线制系统中，应采用一根接相线和一根接工作中性线的接线方式。若工作中线上未装设熔断器时，工作中性线可当作零线使用，灯具可直接接到工作中性线上。当工作中性线上装有熔断器时，必须敷设专用零线，以防止一旦熔断器熔断时造成零线断线，而专用零线应接到熔断器前面接地的中性线上。照明灯的单极开关或拉线开关应在相线上与照明灯串联。

（2）使用旋入式熔断器时，电源线接在熔断器的接触触点部分的触点上，负荷线接在熔断器的套筒螺纹部分的触点上。

（3）在灯头接线时，将中性线（零线）或已接地的一线接在灯头螺纹部分的接点上，将相线（火线）或未接地的一线接在灯头的接触部分的接点上。

（4）使用金属外壳的灯具、开关或插座时，应有专用的接点给予接地或接零。当线路采用明敷时，利用可挠导线从距灯具最近的中性线引出接到灯具外壳的接地端钮上，但不能把灯具外壳与支线的工作中性线相连。否则，当工作中性线断线时，在灯具的外壳上就可能出现危险电压。当采用暗敷，导线经过专门的线孔穿入灯具的外壳时，可利用支线的工作中性线作接地支线。

（5）在单相三孔插座供外壳接地或接零的电器使用时，而接地线或零线的插孔较其他两个应稍高、稍大些，以防插错位置。

（6）在带电情况下更换灯泡，特别是更换螺口灯泡，应先断开电源。因为站在接地良好的设备上或站在能够导电的地面上把灯泡装入时，如灯座绝缘不良或接线错误，会使灯头或灯座的金属外壳带电，人体一旦接触就有触电的危险。因此应将电源切断，再更换灯泡，才能保证安全。

四、注意事项

（一）灯具安装时的注意事项

（1）一般照明的对地电压不应超过250V。

（2）厂房的照明灯距地面高度不应低于2.5m。如低于此高度，则要采取措施。除安全电压外，不允许使用带开关的灯头，并不得把电线直接焊在灯泡的接点上，使用螺口灯头时，铜口不准外露。

（3）易燃、易爆、多尘、潮湿以及产生腐蚀性气体的场所，应使用符合专门要求的照明装置。

（4）使用42V以下照明灯时，要求变压器的一、二次绕组分开，不准使用自耦变压器。

(5) 各种照明灯，根据工作需要都有一定的聚光设备，不准使用纸片、铁片等来代替。更不准用金属丝在灯口处绑捆。

(6) 安装室外照明灯时，其高度不得低于3m，低于此值时应采取措施。还应尽量避免风吹而引起的晃动。

(二) 接线时的注意事项

(1) 注意三孔插座插孔标志："L"表示相（或火）线，"N"表示零（或中）线，"E"表示保护接地（或保护接零）。

(2) 用交替的黄、绿双色线作为安全接地线的颜色。过去生产的低压用电设备，以黑色作为保护接地线，仍在使用这类接地线的，维护时应加以注意，以免由于接地线的颜色不同而接错，导致触电事故发生。

(3) 接线时，相线和零线应严格区分，要把零线直接接在灯头上，相线必须经过开关再接到灯头；双色紫花线其带白点的一根线接相线，不准把电线直接焊在灯泡的接点上。

(4) 拆除部分照明电路和个别灯头时，首先应断开电源，按以下要求操作：

1) 拆除从干线上分出的支线路时，应把干线上分支处的绝缘软带解开，拆下导线线头，并将干线上的绝缘带仍旧包好，禁止直接把要拆除的导线剪断。

2) 要拆除个别灯头时，如果是吊灯灯头，要先把挂线盒内的软线拆下，再把挂线盒的盖子盖好；如是矮脚灯头，应掀起木台，把两根导线线头用绝缘带包好，塞入木台内，然后把木台装至原处，严禁把包头的线头露在木台外面。

3) 拆除线路和灯头时，要把不用的导线和零件全部拆下，以防止成为事故隐患。

第二单元　双联开关及日光灯的接线

一、学习目标

能进行双联开关及日光灯的接线。

二、工作程序

(一) 双联开关的接线

有时为了方便，需要在两地控制一盏灯。例如楼梯上使用的照明灯，要求在楼上、楼下都能控制其亮灭，因此可以按图11-11进行接线。

(二) 日光灯（荧光灯）的接线

图11-12所示为日光灯的接线图。

接通电源后，电压加在启辉器的动、静触片间，从而产生辉光放电。放电时所产生的热

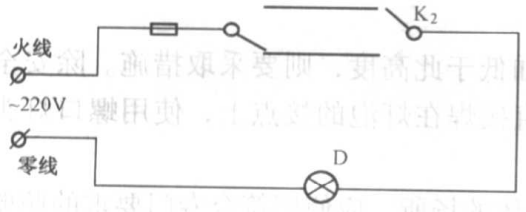


图11-11　用两只双联开关在两地控制一盏灯

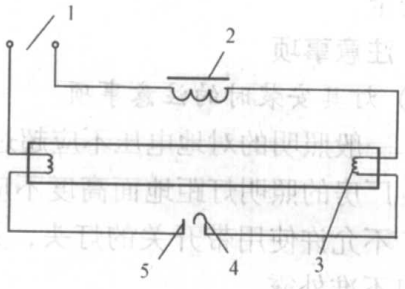


图11-12　日光灯的接线

1—电源；2—镇流器；3—灯丝；4—启辉器中的双金属片；5—静触头

量使双金属片膨胀伸展变形，与静触片接触，这时流过灯丝的电流增大，开始升温预热，使灯管内的氩气游离，水银汽化。当双金属片的动、静触片接触后，辉光放电停止，双金属片开始冷却收缩，并脱离静触片恢复原状，就在离开静触片的一刹那，使电路突然切断。由于电路中电流突变，从较大突然降低到零，在镇流器两端感应出瞬间高压，同时加在灯管两端，使灯管内部的氩气和水银蒸气产生电离，发射出大量紫外线，紫外线又激发管内壁的荧光粉，发出日光似的亮光。

三、注意事项

（1）在安装日光灯前，应首先检查灯管及附件的各项额定值是否符合规定，元件有无损坏，特别注意各种不同规格的日光灯，应配用相应不同规格的镇流器和启辉器，不要互相混用，否则会缩短使用寿命或造成启动困难。

（2）接线时应使相线通过开关，经镇流器到灯管，为了提高功率因数，在电源两端并接一个电容器，对常用 20、30、40W 日光灯配用的电容器的电容值分别为 2、3.75、4.75μF。

（3）日光灯最适宜的环境温度为 18～25℃，环境温度过高或过低都会造成启动困难和发光效率降低。

第三单元　运行中异步电动机的检查

一、学习目标

能对运行中的异步电动机进行检查。

二、相关知识

（一）三相异步电动机的构造

异步电动机是一种交流电机，是利用电磁感应原理把电能转换为机械能，输出机械转矩的原动机。异步电动机又称为感应式电动机，俗称马达。在变电所中，异步电动机用来驱动变压器冷却风扇和冷却油泵、调相机等。

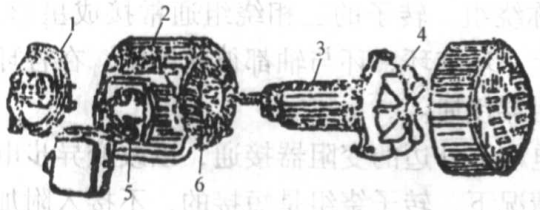


图 11-13　三相鼠笼式异步电动机的结构
1—端盖；2—定子；3—转子；4—风翼；5—接线盒；6—定子绕组

三相异步电动机由定子（固定部分）和转子（转动部分）两个基本部分组成。转子又分鼠笼式和绕线式两种，变电所中一般采用前者。定子和转子彼此由空气隙隔开，图 11-13 所示为三相鼠笼式异步电动机的结构图。

1. 定子

定子一般由定子铁心、定子绕组和机座等组成。

定子铁心是电动机的磁路部分，一般用 0.35～0.5mm 厚、表面涂有绝缘漆或氧化膜的硅钢片叠压而成，以减少交变磁通引起的涡流损耗。在定子钢片的内圆上冲制有均匀分布的平行槽，用已嵌放对称的三相绕组。定子铁心固定在机座内，如图 11-14 所示。



图 11-14　定子铁心及机座
（a）未装绕组的定子；（b）定子硅钢冲片

定子绕组是异步电动机的电路部分，由三相对称绕组组成。三相绕组按照一定的空间角度依次嵌放在定子槽内，并与铁心间加以绝缘。

机座通常由铸铁或铸钢制成，容量大一些的由钢板焊接而成。其作用是固定定子铁心和定子绕组。有的外表面还有散热片。机座两端有两个端盖，内部还装有风扇、轴承。为了适应各种不同工作环境的需要，异步电动机的外壳可制成开启式、封闭式、防护式、防爆式等不同型式。

2. 转子

三相异步电动机的转子根据构造上的不同可分为鼠笼式和绕线式两种型式。转子铁心是由互相绝缘的硅钢片叠成圆柱形，其表面也冲有均匀分布的平行槽，用来嵌放转子绕组。转子硅钢片的形状如图 11-15（a）所示。

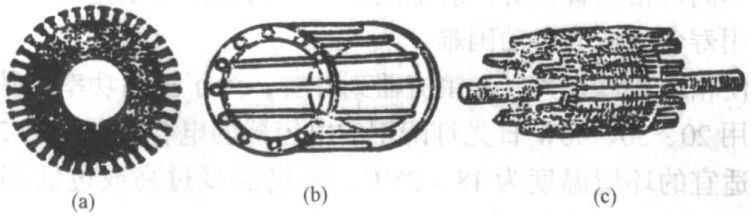


图 11-15　鼠笼式转子

（a）转子硅钢片形状；（b）鼠笼式转子绕组；（c）铸铝式转子

鼠笼式转子的铁心槽里放置着粗铜条，铜条的两端用短路环焊接起来，形状象个圆筒形捕鼠的笼子，因此叫做鼠笼式转子，如图 11-15（b）所示。

目前，1000kW 以下的鼠笼式电动机通常采用铸铝式。即把熔化了的铝溶液浇注到转子铁心槽内，同时把转子端的短路环和冷却电机的风扇也一起用铝铸成，如图 11-15（c）所示。

绕线式转子绕组和定子绕组相似，也是三相对称绕组。转子的三相绕组通常接成星形，三相绕组的始端分别接到与轴固定的三个铜制滑环上。环与环、环与轴都彼此绝缘。在各环上用弹簧压着碳质电刷，通过电刷使转子绕组与变阻器接通。

绕线式转子的特点是：转子绕组可通过滑环和电刷与外边的变阻器接通，以改变异步电动机的起动性能或调节电动机的转速。在正常工作情况下，转子绕组是短接的，不接入附加电阻。绕线式和鼠笼式转子只是在构造上有所不同，但它们的作用原理是一样的。

（二）三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机接上电源后，在定子的三相绕组中有三相交变电流通过。三相电流产生一个在空间旋转的磁场。异步电动机就是在旋转磁场的作用下进行运转的。

由图 11-16 所示可知，当定子绕组与电源接通时，就立即产生旋转磁场，由于转子笼条与旋转磁场的磁力线产生相对切割，笼条中就产生感应电动势。感应电动势的方向用右手定则进行判断（如图 11-17 所示），笼条 1-2 感应电动势的方向是从 2 指向 1，笼条 3-4 的感应电动势的方向是从 3 指向 4，因此在笼条的闭合回路中形成了感应电流。

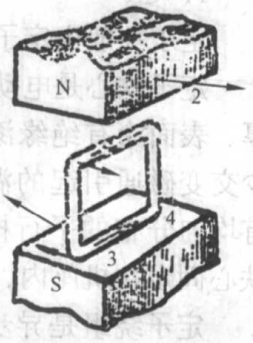


图 11-16　异步电动机的工作原理图

因笼条中的感应电流处在磁场中，必然要受到磁场的作用力。作用力的方向由左手定则可判定为：笼条 1-2 受向右的力，笼条 3-4 受向左的力（如图 11-18 所示），于是形成力矩，使转子顺时针转动起来。

电动机的转子是由许多闭合的笼条组成，这些笼条切割旋转磁场感应出电流并与旋转磁场相互作用产生力矩，各笼条产生的力矩之和便构成转子的电磁转矩。

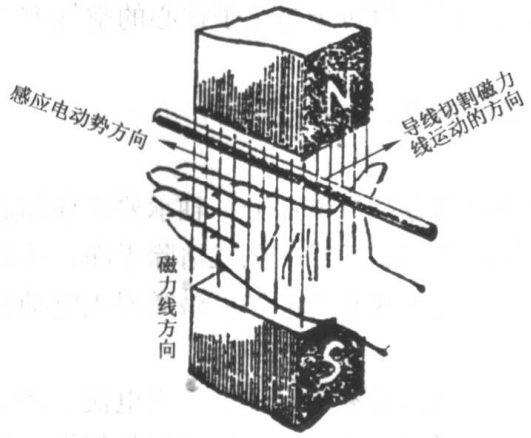


图 11-17　右手定则示意图

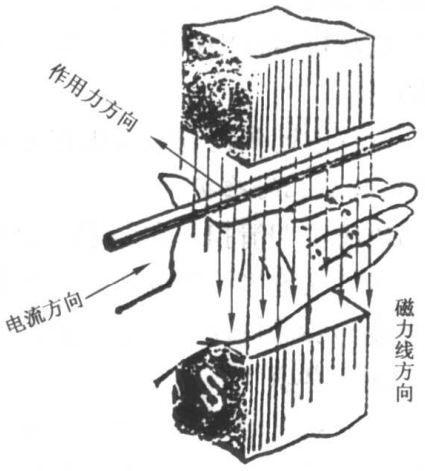


图 11-18　左手定则示意图

转子总是比旋转磁场转得慢，两者转速不可能相同。因为转子笼条中的感应电流正是由于旋转磁场与转子笼条相对切割而产生的，如果两者速度一致，笼条不再切割磁力线，感应电流将消失，转子也就失去了使其旋转的电磁转矩。根据以上分析，可得如下结论：

（1）电动机转子转动方向与旋转磁场的方向一致。因此，如果把电动机接电源的任意两个接头调换一下，随着旋转磁场方向的改变，电动机转子的转动方向也必将改变。

（2）电动机的转速始终小于旋转磁场的转速，即小于同步转速。一般前者比后者小 2%～5%（称为转差率），所以，这种异步电动机的原理是建立在电磁感应基础上的，因此也叫感应电动机。

三、工作程序

（一）启动前的检查

电动机启动前要对定子绕组及电源开关、熔断器等进行检查。特别是大修后起动的电动机或长期备用后投入使用的电动机，要对定子绕组进行绝缘测定和三相是否导通的试验，以防止绕组断线不能起动或绕组受潮而引起短路和接地故障。三相异步电动机接上电源后起动不起来是很危险的，这时只听到电动机发出嗡嗡的叫声，转子并不转动，就应立即切断电源，以防电动机烧毁。这种情况大都是起动前检查不细造成的，具体原因如下：

（1）电动机的定子绕组一相断线，或电源开关一相未合上，或熔断器一相已熔断。这样就使三相电动机只能通入两相电源（即某两相的相间电压）定子所产生的是交变脉动磁场，而不是旋转磁场，所以转子不能转动。这时，电动机相当于副绕组短路的变压器，通过短路电流，就会使绕组烧毁。

（2）电动机安装不正，转子被定子铁心卡住；电源电压过低；或较低起动转矩的电动机带着重载起动等，都可能使电动机不能起动。

因此，电动机起动前一定要认真检查，消除上述障碍。

（二）运行中的检查

电动机在运行中每班至少检查一次，检查的主要项目如下：

（1）电动机是否过热，温升是否超过铭牌规定。电动机过热的原因很多，如通风不良，

起动次数过于频繁，长期过负荷，轴承磨损，定子绕组相间短路或匝间短路等，都能导致电动机温升超过规定值。此外，电动机在运行中发生一相断线，使三相电动机变为两相运行，虽然还能继续转动，但会造成绕组严重过热，使电动机烧毁。

(2) 电动机运行中振动。主要是安装不正或轴承磨损，使转子与定子铁心的空气隙不均匀引起的。

(3) 运行中还要检查电动机有无异常声响、突然的响声、异常气味等。

(三) 电动机的维护

电动机应定期清扫，在停用时切断电源，检查电路部分和机械部分；轴承要定期加润滑油；电动机外壳连接接地线的螺丝要拧紧；内部的灰垢要用刷子或吹风机清除干净；接线盒内的接线端子要保持连接良好。此外，还要防止蒸气、潮气或有害的酸、碱类侵入电动机。

四、注意事项

运行人员对电动机的铭牌一定要熟悉。铭牌上对电动机的额定电压、额定电流、额定功率、周围环境温度、电动机温升和绕组接线等都有明确规定，这是电动机运行的依据。运行人员在起动前和运行中应根据铭牌进行检查。

思　考　题

一、名词解释

1. 左手定则
2. 右手定则
3. 熔断器的极限分断能力

二、问答题

1. 接触器运行中的巡视检查项目有哪些?
2. 交流接触器噪声大，振动明显，应如何处理?
3. 交流接触器线圈过热或烧坏，应如何处理?
4. 低压断路器运行中的巡视检查项目有哪些?
5. 低压断路器触头过热的原因有哪些?
6. 熔断器运行中的巡视检查项目有哪些?
7. 熔断器熔体误熔断应如何处理?
8. 220V 照明电路的导线截面应如何选择?
9. 电动机启动前和运行中分别应作哪些检查?

Document generated by Anna’s Archive around 2023-2024 as part of the DuXiu collection (https://annas-blog.org/duxiu-exclusive.html).

Images have been losslessly embedded. Information about the original file can be found in PDF attachments. Some stats (more in the PDF attachments):

{
  "filename": "MTExOTg1ODAuemlw",
  "filename_decoded": "11198580.zip",
  "filesize": 32153524,
  "md5": "7042b70c6a5bb8a09ab77bf9dc11ba55",
  "header_md5": "ffc5f4b07aa1efa688817a59125697c5",
  "sha1": "194468adb710af3702172210a066ca803e029fd0",
  "sha256": "d2f1cadbf05a88fe8ff1853272b3decc37255ef5126f7f40e941bfe487527aa1",
  "crc32": 3891893416,
  "zip_password": "",
  "uncompressed_size": 35372126,
  "pdg_dir_name": "\u2592\u03a3\u253c\u03a3\u2561\u03c4\u2569\u2565\u2553\u2561\u2591\u03b1\u2561\u03c4\u2563\u00f1\u00fa\u00bf\u2502\u2321\u255d\u2562\u00ed\u00f3\u2553\u2568\u255d\u2562\u00fa\u2310_11198580",
  "pdg_main_pages_found": 182,
  "pdg_main_pages_max": 182,
  "total_pages": 191,
  "total_pixels": 1246738816,
  "pdf_generation_missing_pages": false
}