

戴延年主编 强尧臣主审

小型水电站 机电设计手册

电气二次

水利电力出版社

小型水电站机电设计手册

—— 电 气 二 次 ——

戴延年 主编 强尧臣 主审

水利电力出版社

内 容 提 要

《小型水电站机电设计手册》包括水力机械、电气一次、电气二次、金属结构四个分册。可供机组容量为500~6000kW、装机容量为12000kW以下的小型水电站设计参考。全套手册介绍小型水电站的水力机械、电气、金属结构的设计计算和设备的选择、布置，并附有计算实例和各种图表、设备的主要技术规格和安装尺寸、工程典型图纸等。

本书系《小型水电站机电设计手册》的电气二次分册，系统地介绍了小型水电站电气二次部分的设计原则和计算方法、设备的选择和接线、设计所需的技术资料等。主要内容有小型水电站的控制、测量和信号；水轮发电机组及辅助设备的自动控制；同步系统；励磁系统；操作电源；继电保护及自动装置；控制屏(台)和保护屏屏面布置图和端子图；电气试验室；通信；以及工程设计实例等。

书中还附有小型水电站电气二次部分设计时所需用的电工图形及符号；常用二次设备的技术数据、图表和参考资料等。

本手册可供从事小型水电站电气专业设计的工程技术人员使用，也可供安装、运行的工程技术人员和有关学校师生参考。

小型水电站机电设计手册

电气二次

戴延年 主编

强尧臣 主审

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 40.75印张 934千字 I 插页

1989年11月第一版 1989年11月北京第一次印刷

印数 001— 770 册 平装定价 27.85元

ISBN 7-120-00605-3/TV·201

前 言

为了适应小型水力发电建设事业的发展,在总结我国小型水电站设计经验的基础上,编写了《小型水电站机电设计手册》,以满足机组容量为500~6000kW、装机容量为12000kW以下、输电线路电压为35kV及以下的小型水电站设计需要。本手册包括四个分册,内容为水力机械、电气一次、电气二次、金属结构。分别介绍小型水电站水力机械、电气、金属结构方面的设计原则和计算方法、设备的选择和布置、计算实例、设计所需的技术资料、图表、设备主要规格及外形安装尺寸、典型工程图纸等。供从事小型水电站设计的工程技术人员使用,也可供安装、运行工程技术人员和有关院校师生参考。由于篇幅有限,手册中对设备、产品原理一般不作详细介绍,计算公式不作推导。

电气二次分册共分十章和两个附录。主要内容为小型水电站的控制、测量和信号;水轮发电机组及辅助设备的自动控制;同步系统;励磁系统;操作电源;继电保护及自动装置;控制屏(台)和保护屏屏面布置和端子图;电气试验室;通信;工程设计实例;电工图形及符号;常用二次设备等。

本分册由浙江大学戴延年主编、广东省水电勘测设计院强尧臣主审。参加编写工作的有:陈惠雄、楼永仁、徐益清、朱效章、杨玉朋、戴延年、强尧臣、潘德喜、彭永政、涂荫良、鱼德仁、许建丽、薛培鑫、杨柏全等同志。参加审稿工作的有:汪锡光、赖素清、许选民、龚允琴、罗国炬、刘国斌、田辉秀等同志。徐益清、楼永仁等同志也参加了审查、统稿工作。

在本手册编写过程中,得到浙江大学、水电部小水电开发设计研究所、广东省水电勘测设计院、甘肃省水电设计院、水电部昆明勘测设计院、湖南省水电设计院、浙江省水利水电专科学校、四川省水电设计院、浙江省水电设计院、福建省水电设计院、安徽省水利设计院、湖北省水利设计院、水电部北京勘测设计院、浙江省缙云县水电局以及其他设计、制造、运行单位的支持和协助,在此表示衷心感谢。

由于我们的经验不足、水平有限,错误之处希望读者及时指正。

编 者

1986年11月

目 录

前 言

第一章 控制、测量和信号	1
第一节 断路器的控制、闭锁和信号	1
第二节 电气测量仪表	8
第三节 非电量的电测法	15
第四节 中央信号装置	23
第五节 二次接线及二次回路的器具	33
第六节 互感器	46
第七节 控制室的布置	56
第二章 水轮发电机组及辅助设备的自动控制	64
第一节 小型水电站控制方式及自动控制设计内容	64
第二节 水轮发电机组自动控制水力机械系统图	67
第三节 水轮发电机组自动控制电气接线	72
第四节 蝶阀和闸门的自动控制	93
第五节 机组辅助设备和全厂公用设备的自动控制	112
附1 常用的水力机械自动化器具	119
附2 YDT-1000A、1800A、3000A电液调速器结构及工作原理	128
第三章 同步系统	140
第一节 同步方式和同步点	140
第二节 手动准同步装置	141
第三节 半自动准同步装置	146
第四节 自动准同步装置	152
第五节 自同步装置	153
第四章 励磁系统	158
第一节 概述	158
第二节 常用励磁系统	158
第三节 复式励磁装置	164
第四节 相复励励磁调节装置	174
第五节 可控硅励磁	183
第六节 励磁系统的附属设备	203
附 制造厂励磁机参数	208
第五章 操作电源	212
第一节 概况	212
第二节 直流负荷统计	215

第三节	用蓄电池供电的直流系统	218
第四节	碱性蓄电池直流系统	242
第五节	交流整流合闸配以其他电源操作方式	253
第六章	继电保护及自动装置	269
第一节	概述	269
第二节	短路电流计算	271
第三节	发电机保护	275
第四节	变压器保护	289
第五节	发电机—变压器组保护	305
第六节	35kV及以下线路保护	308
第七节	变压器—线路组保护	335
第八节	母线保护	336
第九节	自动装置	338
第七章	控制屏(台)和保护屏屏面布置及端子图	348
第一节	控制屏(台)和保护屏屏面布置	348
第二节	端子图及屏后接线图	358
第八章	电气试验室	363
第一节	概述	363
第二节	电气试验室设备的配置	363
第三节	电气试验室设备的选择	364
第四节	电气试验室的布置	371
第九章	通信	372
第一节	概述	372
第二节	行政通信与调度通信	375
第三节	厂内外通信网设计	388
第四节	电力线载波通信	398
第五节	通信电源与接地	417
第六节	通信机房设备布置和仪表配置	424
附	常用通信图形、文字符号及代号	430
第十章	工程设计实例	433
第一节	说明书	433
第二节	主要图纸	443
附录一	电工图形及符号	529
第一节	电工系统图图形符号	529
第二节	电力设备文字符号	542
第三节	电工二次系统图上的回路标号	548
第四节	常用电工名词、计量单位及符号	552
附录二	常用继电器、测量仪表及二次配件	553
第一节	继电器及继电保护装置	553
第二节	测量仪表	617
第三节	二次配件	627

第一章 控制、测量和信号

第一节 断路器的控制、闭锁和信号

小型水电站的断路器用操动机构来完成合闸和跳闸操作。目前，断路器操动机构的类型较多，但使用在小型水电站的类型并不多，表1-1示出常用的几种。虽然不同的操动机构在接线上各有不同的地方，但对断路器控制回路的要求是一致的。

表 1-1 小型水电站常用的断路器操动机构

型 式	型 号 举 例	使 用 情 况 及 电 源
手力操动	CS2	当电站断路器数量很少，电压在10kV以下时可考虑采用
电磁操动	GD10 CD2	使用普遍，合闸用直流110/220V电源
弹簧操动	CT2-XG CT7 CT8	合闸功率较小，但价格比电磁式贵，电源交、直流两用(电动机为~220V或-110/220V，操作线圈为~110/220V或-24/48/110/220V)

一 对断路器控制回路的一般要求

断路器的控制回路应满足以下要求：

(1) 每个断路器的控制回路应有单独的熔断器，并设监视熔断器状况和监视跳、合闸回路完整性的信号装置。

(2) 应有断路器位置状态的指示信号：跳闸位置时绿灯亮，合闸位置时红灯亮。

(3) 跳、合闸完成后，应使命令脉冲自动解除。

(4) 当所用的操动机构没有机械“防跳”闭锁装置时，需在电气接线上采取电气“防跳”措施。

(5) 接线力求简单可靠，控制电缆芯数应较少。

(6) 对有准同步要求的断路器，其控制接线中应有非同步合闸闭锁措施。

二、电磁操动机构的断路器控制

电磁操动机构是利用电磁线圈，通过直流电流驱动电磁铁来接通或分断断路器的。目前小型水电站采用的断路器控制电路，根据监视断路器控制回路完整性的不同，分为音响监视和灯光监视两种接线方式。

(一) 音响监视的接线方式

音响监视断路器控制电路见图1-1。这种接线方式是利用中间继电器TWJ、HWJ(分别称为跳闸位置继电器和合闸位置继电器)，来实现回路完好性监视的。例如在图1-1中的合闸回路中，当断路器在跳闸位置时，断路器的辅助接点通路，TWJ线圈带电，所以TWJ的常闭接点断开；同时，断路器的辅助常开接点断开，其常闭接点闭合。这时，

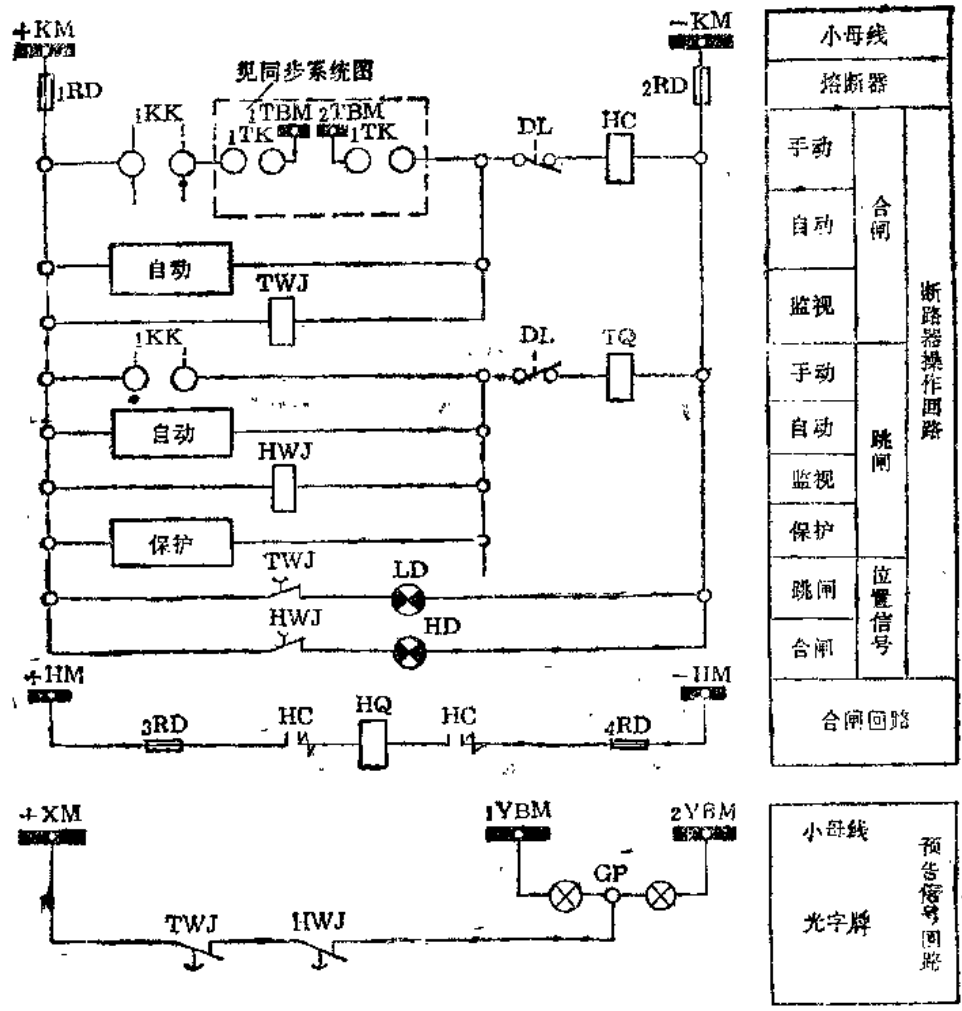


图 1-1 音响监视断路器控制电路图

如果合闸回路断线，则TWJ线圈失电，其常闭接点返回到闭合状态，接通音响信号回路发出音响。同理，跳闸回路断线时，HWJ线圈失电，同样会发出音响信号。可见，TWJ和HWJ经常监视着下一次操作回路的完好性。

操作回路的电源监视由TWJ、HWJ的常闭接点（延时闭合）相串接来实现。当操作电源消失时，TWJ和HWJ线圈都失电，其常闭接点闭合，接通预告音响小母线1YBM和2YBM，发出音响信号。

当机组容量较大时，接线比较复杂，断路器的辅助接点往往不够用，有了TWJ和HWJ继电器，还可以代替一部分断路器的辅助接点。同时也可以节省配电装置到控制室控制电缆的芯数。

(二) 灯光监视的接线方式

灯光监视断路器控制电路见图1-2。这种接线方式与音响监视接线方式的区别是：监视跳闸、合闸回路是否完好不用中间继电器，而用信号灯。在图1-2中，当断路器在合闸位

置，红灯HD和跳闸线圈TQ流过电流，红灯亮。但此时并不会导致断路器跳闸，因为信号灯及其附加电阻的电阻值，比跳闸线圈电阻值大得多，加在跳闸线圈上的电压不足以使其动作；而且跳闸线圈电阻对灯的亮度不会发生较大的影响。若这时红灯不亮，表示跳闸电路断线或熔断器熔断，达到了监视电源及跳闸回路完整性的目的。同理，绿灯不亮表示断路器合闸回路断线或熔断器熔断。

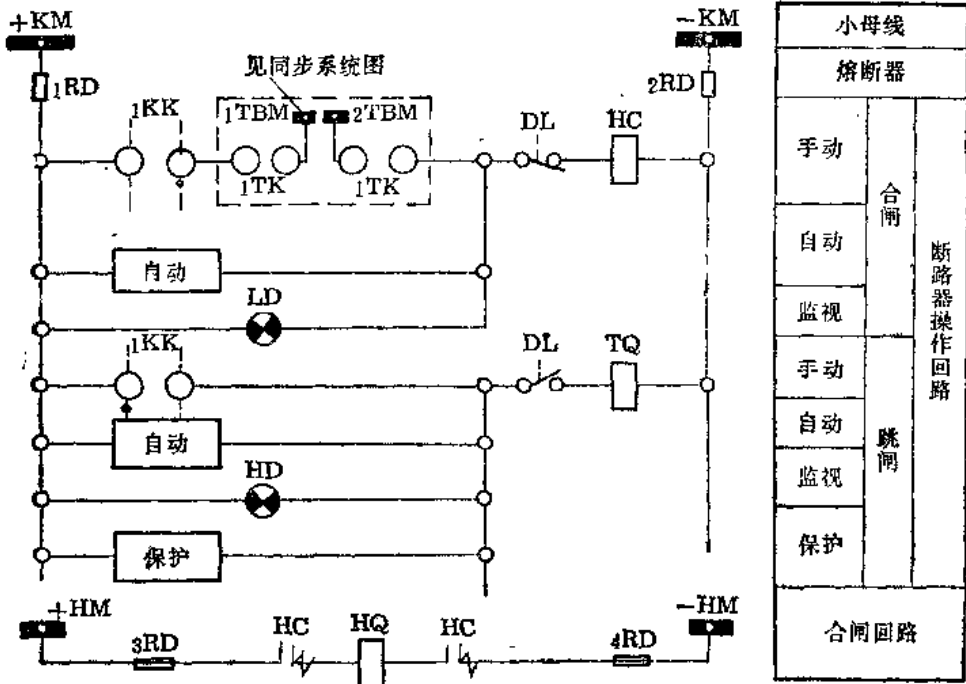


图 1-2 灯光监视断路器控制电路图

在图1-1和图1-2中，KK是控制开关，装在控制屏或控制台上，一般选用LW2-W-2/F6型。这种控制开关有自复机构，可向左或向右扳45°位置，使断路器跳闸或合闸，当操作完毕后手柄自动返回到中间位置。

三、弹簧储能操动机构的断路器控制

弹簧储能操动机构可供操作SN10-10、SW2-35等型号的少油断路器用。弹簧储能可以用电动机或手力进行。电动储能由交流或直流（串激）电动机驱动。合闸时由弹簧释放的能量将断路器合闸。目前一般采用CT2-XG、CT7及CT8等类型操动机构。

（一）动作原理

下面以CT7型为例来说明弹簧储能操动机构的动作原理，参见图1-3。

1. 储能过程

当电动机通电时，通过皮带、偏心轮来带动棘爪和棘轮，使合闸弹簧拉伸，到最高点位置时，通过掣子、杠杆及凸轮上的小滚轮把拉伸的弹簧维持住。与此同时，行程开关动作，电动机电源切断。

当手力储能时，沿顺时针方向转动手柄，动作过程同上。

2. 合闸过程

当合闸电磁铁线圈通电，掣子动作，在合闸弹簧的作用下，凸轮驱动拐臂动作，通过输出轴带动断路器合闸，连杆17、10维持断路器在合闸状态，此时行程开关动作，电动机的电源被接通，合闸弹簧再次储能，准备下次合闸用。

3. 分闸过程

脱扣器动作，使连杆10动作，在分闸弹簧作用下，连杆17动作，断路器分闸。

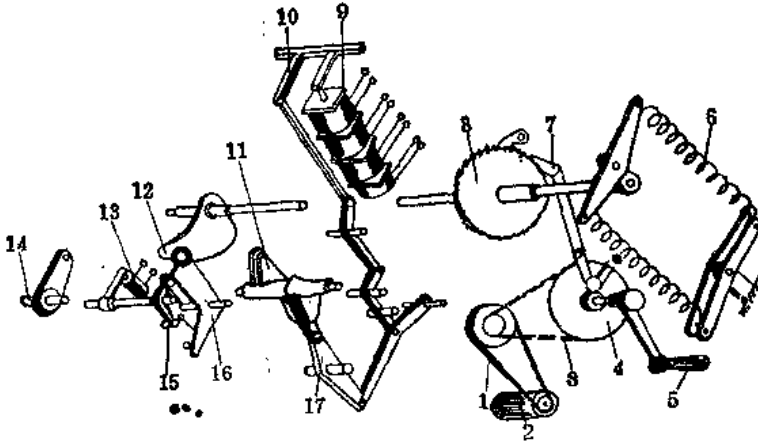


图 1-3 CT7型弹簧储能操作机构原理图

1—皮带；2—电动机；3—链条；4—偏心轮；5—手柄；6—合闸弹簧；7—棘爪；8—棘轮；9—脱扣器；10—连杆；11—拐臂；12—凸轮；13—电磁铁；14—输出轮；15—掣子；16—杠杆；17—连杆

(二) 控制接线

弹簧操动机构断路器的控制接线见图1-4，动作过程如下：当机构处于未储能状态时，行程开关IK₁常闭接点接通，如果组合开关HK₁处在接通位置，则中间继电器接点ZJ₁闭合，电动机与电源接通，电动机起动，将弹簧逐渐拉紧，待弹簧拉紧后即储能结束，这时IK₁断开，切断电动机电源，同时IK₂闭合，白色信号灯亮，表示操动机构已处于储能状态。由图可见，如果HK₁处在接通位置，只要弹簧放松，接点IK₁处于闭合位置，电动机即起动将弹簧拉紧，准备下次合闸。当弹簧未拉紧时，接点IK₂闭合，发出“弹簧未拉紧”信号。合闸弹簧储能结束后，ZJ₁闭合，这时，如果机构处于分闸位置，只要KK投向“合”位置，合闸电磁铁线圈HQ通电，机构进行合闸操作。在合闸弹簧储能过程中，ZJ₁是断开状态，这时，即使KK投向“合”的位置，HQ也不能通电，断路器不会合闸。

电动机的控制电源可以用直流或交流电源。

四、防止断路器“跳跃”的闭锁接线

在进行手动合闸或自动装置动作合闸时，当断路器接入的电网存在持续性短路，则继电保护动作使断路器自动跳闸。假如无机械闭锁机构或电气闭锁接线，而控制开关仍处于“合”的位置，或由于开关接点（或重合闸装置中的接点）卡住或熔焊时，则将使断路器重新合闸，并再度跳闸，这种多次合闸—跳闸的反复过程称为断路器的“跳跃”，“跳跃”结果，不但可能扩大事故，而且还将造成断路器遮断能力下降，绝缘油温度迅速上升

等故障，严重时还因油在电弧作用下生成的气体不断增加，油箱气压上升，可能引起油箱爆炸事故。所以必须有防止断路器“跳跃”的措施，可以利用操动机构本身的机构闭锁，也可在操作接线上采取电气闭锁。

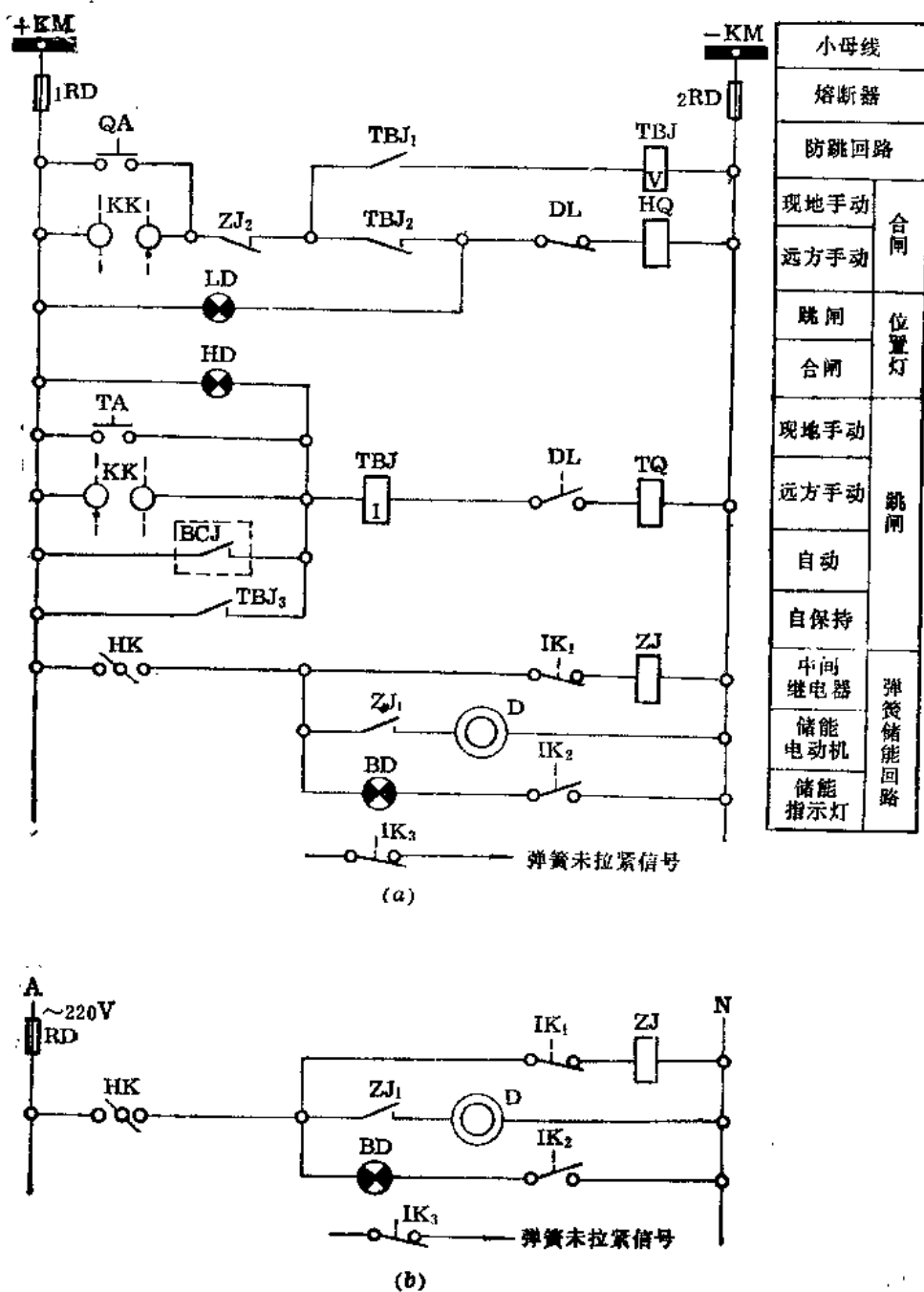


图 1-4 弹簧操动机构断路器的控制接线图
(a) 直流控制电动机；(b) 交流控制电动机

装有机电防跳机构的断路器，在其操作接线上一概不需增加“防跳”措施，但有时为了增加可靠性，也可加装电气“防跳”接线。对于 35kV 及以上的断路器，在操作接线中都需采取电气“防跳”闭锁接线。下面介绍两种接线方式。

(一) 利用保护出口中间继电器“防跳”

在图1-5(a)中，操作开关KK在“合”位置，当断路器投入存在短路的电网时，保护出口中间继电器 BCJ 起动，其常开接点 BCJ₁ 闭合作自保持用；BCJ₂ 断开合闸回路；BCJ₃ 常闭接点保持断开合闸回路状态，这时即使操作手柄仍在“合”的位置，断路器也不会重新合闸。

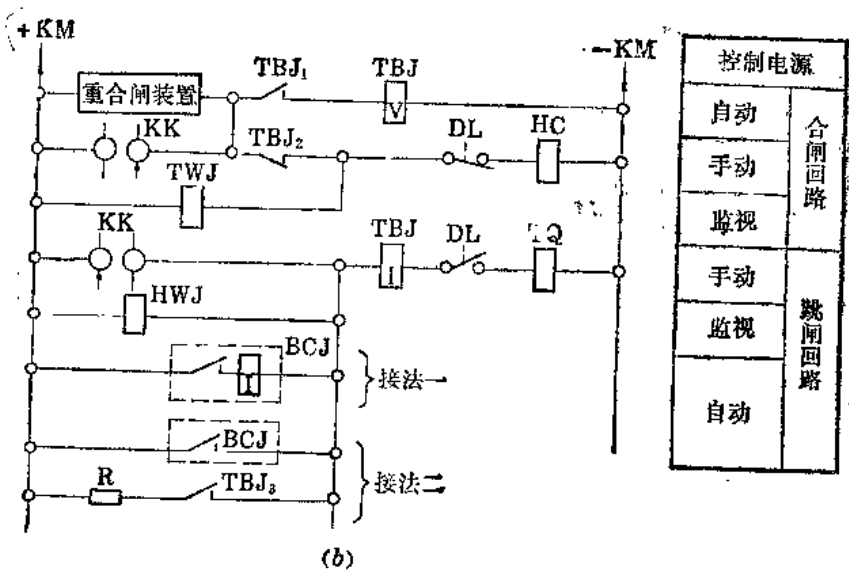
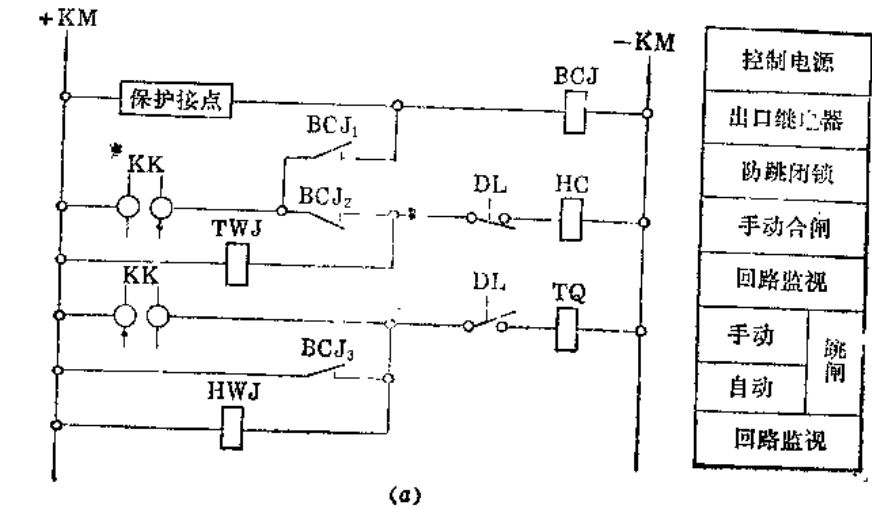


图 1-5 防止断路器“跳跃”的闭锁接线
(a)用保护出口中间继电器；(b)用防跳继电器

(二) 专设“防跳”继电器

“防跳”继电器TBJ又叫跳闸闭锁继电器，是一个具有双线圈（电压和电流线圈）的中间继电器，电压线圈与合闸回路并联，电流线圈与跳闸线圈串联，如图1-5(b)所示。当断路器合闸在短路上；保护动作，BCJ闭合使断路器跳闸，并使TBJ的电流线圈带电，由于TBJ起动，断开其在合闸回路中的接点TBJ₂，合闸回路被切断，不能再次合闸，同时在电压线圈回路中的接点TBJ₁接通，使TBJ自保持直至解除合闸脉冲为止。

为了防止保护出口继电器闭合时间太短，不能保证断路器可靠跳闸及防止其接点烧坏，可选择带自保持线圈的保护出口继电器，把带自保持线圈的接点BCJ接入跳闸回路。如BCJ接点不带自保持线圈，则需加TBJ₁接点与BCJ接点并联，如图1-5(b)的“接法二”所示。因继电器TBJ能自保持到解除合闸脉冲为止，所以TBJ₁接点既能保证可靠跳闸，又起到保护BCJ接点不受烧坏的作用。

在图1-5(b)的“接法二”中，如果BCJ接点回路串接有信号继电器，则需在TBJ₁接点回路中串接一只电阻R，以防止TBJ₁接点闭合时，信号继电器未可靠掉牌而被TBJ₁短路。电阻R值的选择见表1-15。

五、断路器与隔离开关的闭锁

在投入或断开隔离开关时，为了防止对隔离开关的误操作而引起事故，在断路器与其相应的隔离开关操动机构中，应装设闭锁装置，使只有断路器在断开状态时才能对隔离开关进行操作。目前有机械联锁和电磁闭锁两种方式。

6~10kV高压开关柜的断路器与隔离开关之间设有机械联锁装置，可不再设电磁闭锁。

35kV配电装置不易实现机械联锁，可装设电磁闭锁装置。近年，沈阳高压开关厂生产的DSW型户外电磁锁性能较好，能方便地安装在各种不同型式的手力操动机构上。

DSW型电磁锁分两类。DSWI型为间接控制式，包括锁头和钥匙控制箱，二者分开装设。先由电磁铁控制钥匙，再由钥匙控制锁头，这种型式适用于改建工程中选用。DSWII型为直接控制式，由电磁铁直接控制锁头，不需要钥匙，其锁头、电磁铁等电气元件均装在一个箱内。

对于35kV单母线馈线，采用DSWI型电磁锁时，接线如图1-6(a)所示；采用DSWII型的电磁锁时，接线如图1-6(b)所示。由图可见，采用DSWI型较经济，它可以做到一台钥匙控制箱能同时控制多个完全相同的锁头，适合接线简单的小型水电站。

在图1-6(a)中，当断路器在跳闸位置，其常闭接点DL闭合，指示灯XD亮，说明允许取出钥匙，此时，只要按下按钮AN，箱上的钥匙便能取出，再把钥匙分别插入装在1G和2G操动机构上的锁头内即可。如果电磁铁失去电源（XD不亮），但仍需取出钥匙A打开锁头，在箱上另设有一只应急钥匙B，将其插入另一钥匙孔内，即可将钥匙A取出。

图1-6(b)与图1-6(a)的原理相同，但开锁方法不同，而且DSWII电磁锁的引线为三芯（一芯接地用）。开锁方法如下：指示灯亮，说明允许开锁，此时将旋钮顺时针转90°，再按下按钮，接着再将旋钮继续转90°，锁头就被打开。在紧急情况下，可将应急钥匙B插入钥匙孔内按顺时针方向转180°后，旋钮就能转到终点，打开锁头。

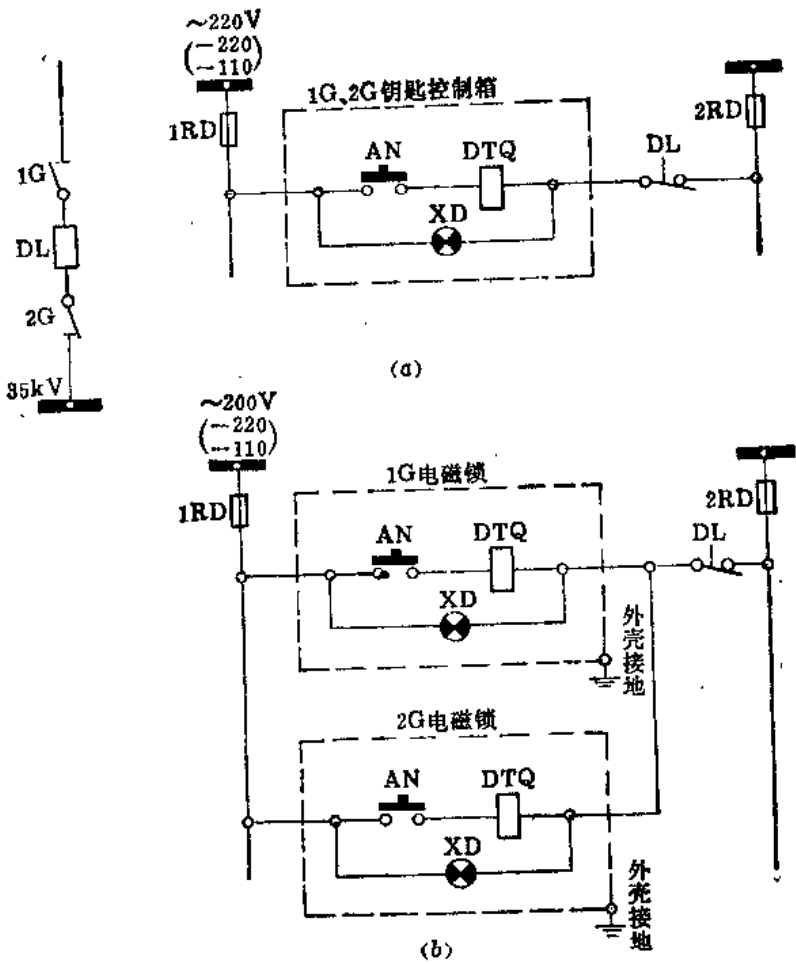


图 1-6 35kV单母线的锁线隔离开关闭锁回路
(a)用DSWI型; (b)用DSWII型

第二节 电气测量仪表

一、对测量仪表的要求

(一) 准确度等级

仪表按准确度分为七级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5及5.0。安装在屏、台、柜上的电气测量仪表，其准确等级不应低于表1-2的规定。

表 1-2 电气测量仪表准确度等级

测量内容	有功电度表		直流仪表及发电机交流仪表	无功电度表		线路及其它设备交流仪表
	计费	非计费		计费	非计费	
准确度等级	1.0	2.0	1.5	2.0	2.5	2.5

(二) 仪表量程

仪表的测量范围应保证电力设备在额定值运行时，仪表指示的工作部分不小于其整个刻度的2/3，并宜留有过负荷时的适当裕度。具体要求见表1-3至表1-6。功率表的量程由互感器的一次额定电流和电压的乘积决定。

表 1-3 直接接入的交流电压表量程

网络电压, V	量 程, V
100~127	0~150
220	0~250
380	0~450

表 1-4 蓄电池充电回路直接接入的电压表量程

网络电压, V	量 程, V
48	0~75
110	0~250
220	0~450

表 1-5 与电压互感器配合使用的仪表量程

电压互感器变比	量 程, V	电压互感器变比	量 程, V
380/100	0~450	6000/100	0~7200
500/100	0~600	10000/100	0~12000
3000/100	0~3600	35000/100	0~42000

二、电气测量表的配置

(一) 电气主接线回路中的测量表计

1. 发电机回路表计配置

发电机回路表计配置见图1-7。

(1) 由于水轮发电机为凸极电机，其转子线圈直接被空气冷却，在满负荷下容许各相电流不对称值为20%左右，而且水轮机组的转速低，运行中三相电流不平衡引起的附加发热不严重，因此发电机定子电路中只装一只交流电流表。

(2) 装设有功功率表及无功功率表，用以监视发电机负荷。当兼作调相运行时，应设带双向刻度（其负向刻度为正向标度20%）的有功功率表。也可装设功率因数表代替无功功率表。

(3) 装设有功电度表及无功电度表，用以积算发电机的电能。当兼调相运行时，还要装设具有逆止器的单向有功电度表，以便于分开计量发电机输出和输入的有功电能。

(4) 直流电流表和直流电压表分别监视发电机转子电流及电压，当励磁屏装于控制室主环时，这部分表计装于励磁屏上，发电机控制屏上的表计可以取消。

(5) 励磁屏上装设带切换开关的直流电压表，用以监视转子回路对地的绝缘状况。如机组装有电磁式电压校正器时，应装一只直流电流表用以监视校正器的输出电流。当选用成套励磁屏时所装仪表由厂家根据励磁方式配置。

表 1-6 频率表量程

型 式	量 程, Hz
振 动 式 指 针 式	45~55
数 字 式	46~53

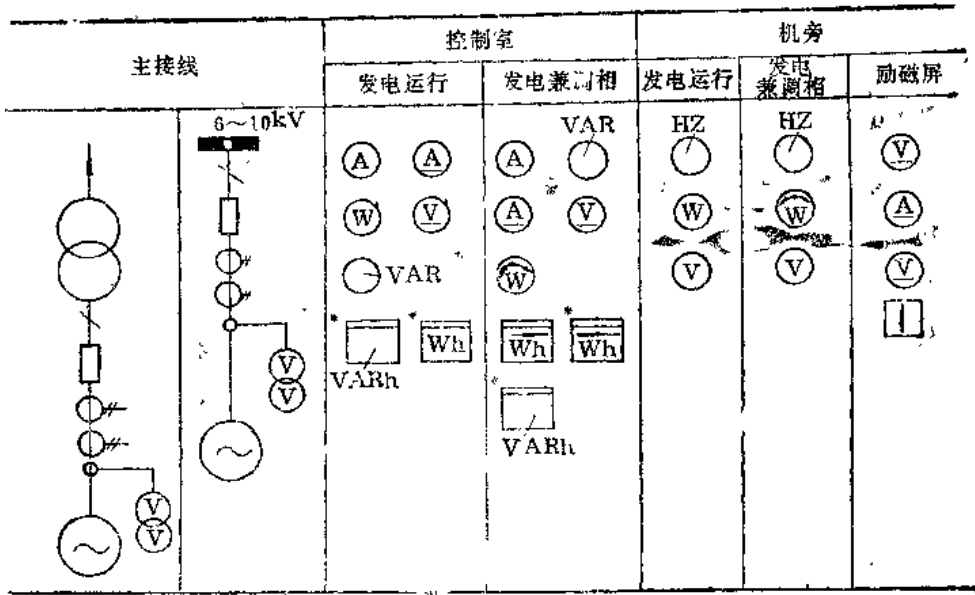


图 1-7 发电机表计配置

* 也可以装在机旁

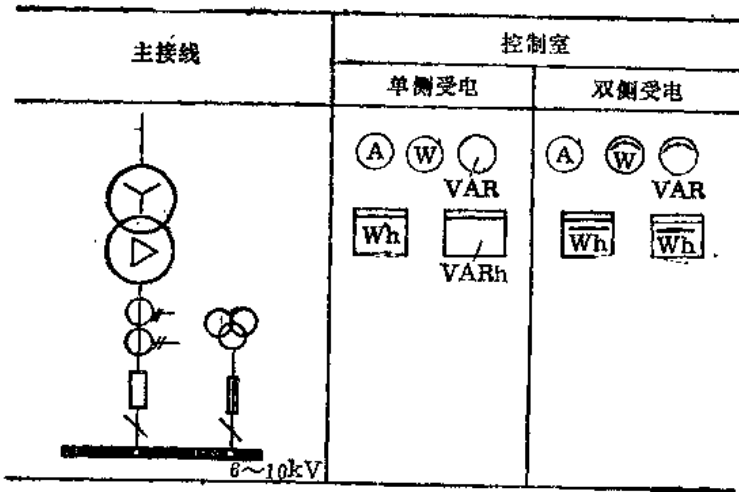


图 1-8 双圈升压变压器低压侧回路的表计配置

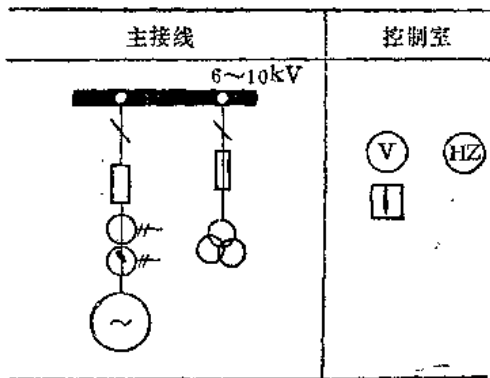


图 1-9 发电机电压母线的表计配置

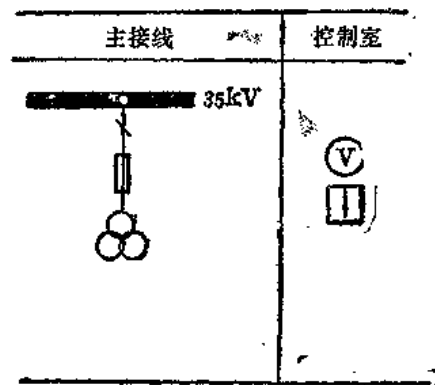


图 1-10 35kV母线的表计配置

2. 变压器、母线、送电线路回路表计配置

变压器、母线、送电线路回路表计的配置见图1-8至图1-14。

(二) 厂用电测量表计

厂用变压器一般在低压侧配置表计，见图1-15。

厂用电馈电线回路一般只装一只交流电流表。

(三) 全厂公用电气测量表计

1. 直流系统回路

小型水电站的操作电源类型较多，因此直流系统有各种不同的接线方式，所配置的仪表也各不相同，本节仅就一般情况所配置仪表作简单介绍。

(1) 110V或220V的蓄电池组回路装有下列表计：

- ① 直流电压表，用来测量蓄电池组电压；
- ② 直流电流表（具有双向刻度），用来测量充、放电电流；
- ③ 按浮充电运行方式的蓄电池组装设一只直流电流表（具有双向刻度），用来间歇测量浮充电流；
- ④ 当设有防硫化回路时，装一只直流电流表作为防硫化回路中调整附加电阻以监视自

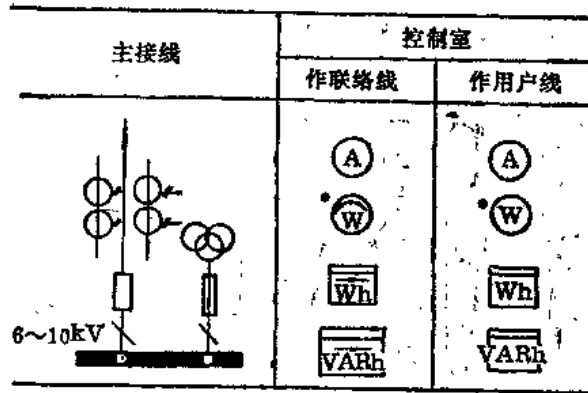


图 1-11 6~10kV送电线路的表计配置

* 线路需要监视功率时用

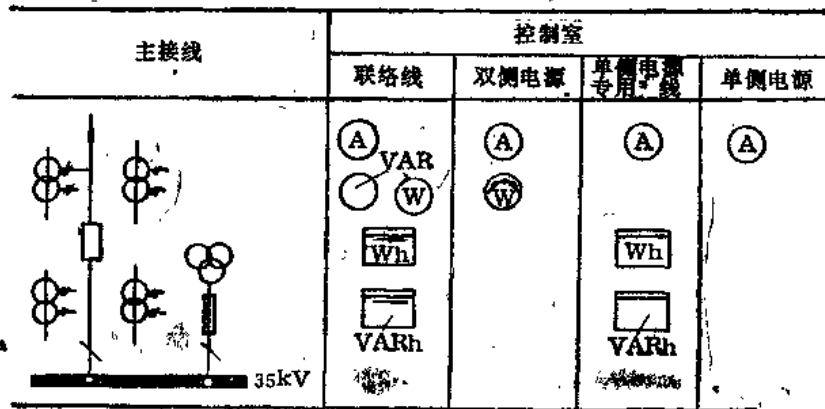


图 1-12 35kV送电线路的表计配置