

目 录

前言

第一章 变电所的控制	1
第一节 变电所控制系统设计的	
基本要求	1
一、变电所控制系统的设计内容	1
二、对控制系统的基本要求	1
三、500kV 变电所控制系统的特点	2
第二节 变电所的控制方式及二次	
设备布置	3
一、由值班人员控制的变电所	5
二、遥控变电所	6
三、变电所二次设备布置	6
四、500kV 变电所的二次设备分散布置	7
第三节 断路器的控制方式	11
一、断路器的各种控制方式及其特点	11
二、220kV 变电所断路器控制方式	
的选择	13
三、500kV 变电所断路器控制方式	
的选择	16
第四节 断路器的控制回路接线	16
一、对断路器控制回路设计的基本要求	16
二、500kV 断路器控制回路的特点	17
三、断路器的典型控制回路接线	18
第五节 隔离开关的控制和安全	
操作闭锁	24
一、隔离开关的控制方式	24
二、隔离开关的安全操作闭锁	29
三、隔离开关的操作闭锁电源	33
第六节 控制屏的选择	35
一、板式控制屏	35
二、拼块式控制屏	35
第七节 主控制室设计及有关工程	
心理学方面的问题	37
一、概述	37
二、主控制室的位置	37
三、主控制室的面积计算	38

四、与主控制室设计有关的工程	
心理学知识	40
五、主控制室的布置	45
六、主控制室的环境设计	51
第二章 计算机在变电所监控系统	
中的应用	53
第一节 变电所的常规监控系统	53
第二节 常规监控系统存在的	
问题	54
一、信息处理方面的问题	54
二、信息变换方面的问题	55
三、信息传输方面的问题	55
四、500kV 变电所监控系统出现的	
新问题	56
第三节 在监控系统中应用	
计算机	56
一、利用微处理机改进变电所的测量和	
信号系统	56
二、装设双主机的监控系统, 二次设备	
集中布置	57
三、装设双主机的监控系统, 二次设备	
分散布置	58
四、利用计算机实现变电所的无人值班	59
第四节 计算机监控系统的功能	60
一、信息采集处理	60
二、运行监视	61
三、控制及安全操作闭锁	62
四、显示和制表打印	62
五、事件顺序记录	62
六、事故追忆	62
七、信息的远传	62
八、运行、操作、事故处理指导	63
九、人-机联系	63
十、运行的技术管理	63
十一、自诊断、自恢复和自动切换	63
第五节 计算机监控系统的硬件	

及配置	64
一、单主机集中式监控系统	64
二、双主机集中式监控系统	64
三、双主机分布式监控系统	64
四、监控系统的硬件	67
第六节 监控系统的软件要求	68
一、对软件的一般要求	68
二、监控系统的主要软件	68
第七节 监控系统的信息采集回路设计	69
一、对信息采集回路设计的要求	69
二、各种信息采集回路的设计	69
第八节 工程实例	72
第三章 变电所的信号装置	81
第一节 概述	81
第二节 事故信号和预告信号装置	82
一、事故信号装置的功能	82
二、预告信号装置的功能	83
三、事故信号和预告信号装置的接线	86
第三节 位置信号和动作信号	90
一、断路器的位置信号	90
二、隔离开关及接地器的位置信号	91
三、变压器有载调压开关的位置信号	91
四、继电保护和自动装置的动作信号	91
第四节 信号系统的其他问题	92
一、预告信号光字牌的布置	92
二、信号系统的工作电压	92
三、信号系统与计算机监控系统的关系	93
第四章 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线二次接线设计特点	94
第一节 安装单位的划分	94
第二节 电流互感器的配置及电流回路	95
一、电流互感器的配置	95
二、电流回路接线	99
三、和电流接线对测量和保护的影响	100
第三节 电压互感器的配置及电压回路	102
第四节 直流及控制信号回路	103

第五节 同步回路	104
第六节 隔离开关的安全操作闭锁	105
第七节 断路器失灵保护和远方跳闸	106
第八节 自动重合闸	107
第九节 保护及二次回路停电检修的考虑	107
第五章 变电所的同步系统	109
第一节 概述	109
第二节 同步系统的电压回路设计	109
一、500kV 变电所同步电压的取得	110
二、220kV 变电所同步电压的取得	111
第三节 手动准同步回路	111
第四节 变电所的自动同步	113
一、电磁型捕捉同步装置	113
二、晶体管型捕捉同步装置	116
第五节 变电所的同步系统接线	118
第六章 电流、电压互感器的选择及其二次回路	121
第一节 电流、电压互感器的配置	121
第二节 电流互感器的稳态参数选择	124
一、一次额定电流选择	124
二、二次额定电流选择	125
三、电流互感器额定输出容量的选择	126
四、准确度的要求	128
五、仪表安全系数 F_s 的选择	130
六、电流互感器二次绕组数的确定	130
第三节 保护用电流互感器的暂态参数选择	131
一、采用暂态型电流互感器的必要性	131
二、电流互感器的暂态计算	131
三、电流互感器的工作循环	135
四、具有暂态特性的保护用电流互感器分级	135
五、暂态保护级电流互感器的选择	138

第四节 电流互感器的二次回路	
设计	139
一、电流互感器的二次回路接线	139
二、测量仪表的电流回路接线	139
三、保护用电流互感器的二次回路接线	140
第五节 电压互感器的参数选择	141
一、额定电压	141
二、额定二次输出	141
三、电压互感器的误差	142
四、电压互感器的选型	143
第六节 电压互感器的二次回路	
接线	143
一、电压互感器二次绕组接地方式	144
二、继电保护和测量仪表的电压回路	
供电方式	144
三、电压互感器二次回路的保护	148
四、电压回路切换	149
五、其他问题	150
第七节 电压抽取装置	151
第七章 电力变压器保护	154
第一节 变压器可能发生的故障和	
不正常运行方式	154
一、变压器内部的各种短路故障	154
二、变压器附属设备故障引起的不正常	
运行	154
三、外部短路引起的变压器过电流	155
第二节 变压器保护装置的原则	155
第三节 瓦斯保护	156
第四节 差动保护	157
一、对差动保护的要求	157
二、差动保护的构成	157
三、差动保护的整定计算	161
四、分侧差动保护的采用	162
五、差动保护用电流互感器的选型	165
六、关于差动保护电流回路断线问题	168
第五节 变压器的相间故障后备	
保护	170
一、220kV 变压器的相间故障后备保护	170
二、500kV 变压器的相间故障后备保护	172
第六节 接地故障后备保护	175
一、220~500kV 变压器接地保护的配置	
原则	175
二、变压器接地保护的接线	176
三、接地保护的整定计算	176
第七节 过负荷保护	178
第八节 变压器的其他保护	179
一、分裂变压器的差电压保护	179
二、过励磁保护	181
第九节 变压器保护装置的选型和	
典型接线	183
第八章 并联电抗器保护	188
第一节 概述	188
第二节 接在线路上的并联电抗器	
保护	189
一、瓦斯保护	189
二、过电流保护	189
三、差动保护	190
四、匝间短路保护	191
五、中性点小电抗的保护	192
第三节 接在变压器低压侧的并联	
电抗器保护	192
一、三相油浸式并联电抗器保护	192
二、干式空芯并联电抗器保护	194
第九章 电力电容器保护	195
第一节 概述	195
第二节 电力电容器的故障和不正	
常运行方式	195
一、电容器的内部故障	195
二、电容器外部的相间和接地故障	196
三、电容器的工频过电压	196
四、电容器组的暂态过电压	196
五、暂态过电流（涌流）	197
六、电容器组的失压	197
第三节 电力电容器的保护特点	197
第四节 电力电容器的熔断器	
保护	198
第五节 电力电容器的工频过电压	
保护	201
一、外过电压保护	201
二、内过电压保护	202
第六节 电容器组的过电流保护	209

第七节 电容器的失压保护	209
第八节 电力电容器组对系统其他 设备及保护的影响	211
一、谐振和谐波的影响	211
二、涌流的影响	211
第十章 直流及不间断电源系统	213
第一节 概述	213
第二节 直流系统接线	213
一、直流母线接线	213
二、直流系统的电源配置	215
三、直流馈线网络	215
第三节 直流系统的工作电压	216
一、强电直流电压 110V 和 220V 的比较	216
二、变电所强电直流系统电压的选择	216
三、变电所弱电直流系统的电压	219
第四节 蓄电池组及其附属设备的 选择	219
一、蓄电池的选择	219
二、蓄电池组数的确定	222
三、蓄电池组的构成方式	222
四、蓄电池组的选择	227
第五节 充电和浮充电设备的 选择	233
一、对充电和浮充电装置的一般要求	233
二、充电和浮充电装置的配置方式	234
三、充电设备的选择	234
四、浮充电设备的选择	235
第六节 直流系统的绝缘监察和电压 监察	235
一、提高直流系统绝缘水平的对策	235
二、直流系统的绝缘监察	236
三、直流系统的电压监察	238
第七节 变电所的不间断电源 系统	238
一、变电所设不间断电源系统的必要性	238
二、对 UPS 系统的基本要求	238

三、变电所 UPS 的配置方式	239
四、集中式 UPS 系统的接线	239
五、UPS 的构成及工作原理	241
六、UPS 系统的输入输出	245
七、UPS 装置的选择	245
第十一章 变电所二次系统的其他 问题	248
第一节 无功-电压的自动调节	248
一、概述	248
二、无功-电压的调节原理	249
三、对无功-电压自动调节装置的一般 要求	253
四、无功-电压自动调节装置	254
第二节 变电所的抗干扰问题	256
一、二次回路干扰电压的来源	256
二、干扰电压的抑制	259
三、对变电所抗干扰措施的建议	261
第三节 工业电视在变电所的 应用	262
一、工业电视在变电所的用途	263
二、工业电视系统的构成	263
三、变电所工业电视系统设计要考虑的 问题	265
第四节 二次设备的运行维护	266
一、弱电设备的维护	266
二、户外二次设备的运行维护	267
第五节 提高二次回路可靠性的 若干措施	268
一、直流回路熔断器的配置及其相关 的联系	268
二、控制、保护回路用中间继电器的选择 及相关回路设计	269
三、跳闸压板的配置	270
四、保护屏的选择及接线	270
五、控制电缆的选择	271
参考文献	272

第七节 电容器的失压保护	209
第八节 电力电容器组对系统其他 设备及保护的影响	211
一、谐振和谐波的影响	211
二、涌流的影响	211
第十章 直流及不间断电源系统	213
第一节 概述	213
第二节 直流系统接线	213
一、直流母线接线	213
二、直流系统的电源配置	215
三、直流馈线网络	215
第三节 直流系统的工作电压	216
一、强电直流电压 110V 和 220V 的比较	216
二、变电所强电直流系统电压的选择	216
三、变电所弱电直流系统的电压	219
第四节 蓄电池组及其附属设备的 选择	219
一、蓄电池的选择	219
二、蓄电池组数的确定	222
三、蓄电池组的构成方式	222
四、蓄电池组的选择	227
第五节 充电和浮充电设备的 选择	233
一、对充电和浮充电装置的一般要求	233
二、充电和浮充电装置的配置方式	234
三、充电设备的选择	234
四、浮充电设备的选择	235
第六节 直流系统的绝缘监察和电压 监察	235
一、提高直流系统绝缘水平的对策	235
二、直流系统的绝缘监察	236
三、直流系统的电压监察	238
第七节 变电所的不间断电源 系统	238
一、变电所设不间断电源系统的必要性	238
二、对 UPS 系统的基本要求	238

三、变电所 UPS 的配置方式	239
四、集中式 UPS 系统的接线	239
五、UPS 的构成及工作原理	241
六、UPS 系统的输入输出	245
七、UPS 装置的选择	245
第十一章 变电所二次系统的其他 问题	248
第一节 无功-电压的自动调节	248
一、概述	248
二、无功-电压的调节原理	249
三、对无功-电压自动调节装置的一般 要求	253
四、无功-电压自动调节装置	254
第二节 变电所的抗干扰问题	256
一、二次回路干扰电压的来源	256
二、干扰电压的抑制	259
三、对变电所抗干扰措施的建议	261
第三节 工业电视在变电所的 应用	262
一、工业电视在变电所的用途	263
二、工业电视系统的构成	263
三、变电所工业电视系统设计要考虑的 问题	265
第四节 二次设备的运行维护	266
一、弱电设备的维护	266
二、户外二次设备的运行维护	267
第五节 提高二次回路可靠性的 若干措施	268
一、直流回路熔断器的配置及其相关 的联系	268
二、控制、保护回路用中间继电器的选择 及相关回路设计	269
三、跳闸压板的配置	270
四、保护屏的选择及接线	270
五、控制电缆的选择	271
参考文献	272

第一章 变电所的控制

第一节 变电所控制系统设计的基本要求

一、变电所控制系统的设计内容

1. 控制方式的选择

在变电所设计时，可供选择的控制方式有两种：①由变电所的值班人员控制；②由调度中心遥控。由值班人员控制又可分为通过控制开关控制和通过监控计算的键盘控制。

2. 控制回路设计

控制回路设计是指从控制指令的发出到执行元件动作，全部电气回路接线设计。包括控制回路工作电压的选择，控制回路接线设计，闭锁回路、监视回路、信号回路、电源回路的设计等。

3. 控制设备的选择

控制设备的选择包括控制屏、操作继电器屏、接线端子箱、控制开关、操作中间继电器、信号指示设备、闭锁设备、测量表计、变送器、控制回路电缆、熔断器等设备的选择。

4. 控制设备的布置

控制设备的布置包括主控制室的布置，继电器室、计算机室的布置，控制屏（台）、各种继电器屏、电度表屏、变送器屏的屏面布置。

5. 安装接线设计

安装接线设计包括各种屏（台）、控制箱的端子连接设计，各种被控设备、操作机构的安装接线图设计，其中包括操作机构的辅助电源的供电回路设计、各种机构箱的照明、加热回路端子排连接等。

二、对控制系统的基本要求

整个控制系统的设计应满足以下要求。

1. 要有高的可靠性

控制系统的可靠性包含两个含意：①当控制指令发出时，应可靠的执行，被控对象应可靠动作；②当没有控制指令时，被控对象不应误动作。为了实现控制系统有高的可靠性，要求控制方式要可靠；控制接线要可靠，有的情况下，为了提高可靠性，采用双重化的接线方式；要选择可靠性高的控制设备。这三方面的可靠性提高了，才能保证控制系统有高的可靠性。

2. 要有适应各种运行方式的完整的控制功能

控制系统的设计要考虑在可能出现的各种运行方式下都能实现控制。例如，在由计算

机控制的系统中，当计算机系统故障时能由运行人员用控制开关控制。隔离开关、接地器等设备的安全操作闭锁系统失灵时，还能通过非正常手段实现控制。变电所的无功补偿设备，能由自动调整装置控制；也能由运行人员手动控制等等。

3. 控制操作要简单方便

在满足可靠性的前提下，控制方式和控制回路设计以及控制设备的布置，力求简单，操作方便。220~500kV 变电所，绝大多数都是有人值班，通常控制指令都是由人发出。设备的选型和布置都要充分考虑人的因素，为人的操作提供方便。操作程序简单，有利于提高可靠性，接线简单有利于节省投资，方便维护，也利于可靠性的提高。

4. 要提高控制系统的经济性

控制系统的设计应在满足可靠性高，操作方便的前提下，投资越少越好。为了降低控制系统的投资，在确定一种控制方式和选择设备时，一般应作技术经济比较。

5. 控制系统应留有与继电保护和自动装置的接口

这种接口主要解决两方面的问题。

(1) 解决共用执行元件问题。控制系统与继电保护和自动装置（如重合闸装置）一般共用执行元件。例如断路器，既是控制系统的执行元件，又是继电保护和自动重合闸的执行元件。这就要求控制系统要与继电保护装置和自动装置有接口联系。

(2) 在控制系统操作时，对继电保护和自动装置的运行状态产生影响。例如在手动操作断开断路器时，要闭锁自动重合闸。又如，在手动调节变压器分接头时，自动调整分接头装置应退出工作。

6. 控制系统要有灵活性

主要指对断路器、隔离开关、变压器分接头等开关设备的控制，不能只固定在一个地点。例如，除在主控制室控制外，还应在就地设置控制开关或按钮，为紧急操作和调试提供方便。

7. 要有抗干扰措施和防误操作的闭锁

控制回路设计，要有良好的抗电磁干扰措施，防止因干扰引起误动作。对可能出现的误操作，要设置御防措施。

三、500kV 变电所控制系统的特点

500kV 变电所的控制系统，除了满足上述基本要求外，还应特别注意以下特点。

1. 对控制系统的可靠性要求更高

500kV 变电所的容量大、电压高，出线回路数多，在电力系统中一般都是电力输送的枢纽性变电所。在我国已经投入运行和正在建设中的 500kV 变电所，一般都装设有两组 750MVA 主变压器。其容量约为 330kV 变电所的 3~5 倍；为 220kV 变电所的 5~8 倍。变电所的高压和中压母线一般都有大量的功率转送。大多数 500kV 变压器的低压侧都装有大容量的无功功率补偿设备。所以，500kV 变电所在电力系统中的地位是极为重要的。由于控制、保护等方面的任何失误，造成变电所的故障或事故，不仅影响变电所自身的安全运行，而且对电力系统的影响也很大，往往会造成极为严重的后果。因此，要求 500kV 变电

所的控制系统应具有更高的可靠性。

2. 被控制的对象多

因 500kV 变电所的容量大，并且在高、中压侧还转送大量功率，所以，高、中压侧的出线回路数多。一般一座 500kV 变电所 500kV 侧出线为 4~8 回；220kV 侧出线为 10~14 回。为提高运行的可靠性，500kV 和 220kV 配电装置都采用了可靠性高的接线方式。例如，双母线分段带旁路或 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线等。在变电所中，220kV 及以上的隔离开关都装有带动力的操动机构，可实现就地或远方控制。除了高压配电装置中大量的断路器和隔离开关需要控制外，还有变压器的有载调压开关、无功功率补偿装置、变电所的所用电力系统、直流系统、不停电电源系统等都需要控制。所以，500kV 变电所需要控制的对象数量远大于 330kV 及 220kV 变电所。表 1-1 列出了 6 个 500kV 变电所中需要控制的 220kV 和 500kV 高压设备的数量。

表 1-1 500kV 变电所被控对象统计表

变电所名称	断 路 器 (台)				隔 离 开 关 (台)			控制对象 总 数 (台)
	500kV	220kV	其 他	总 数	500kV	220kV	总 数	
锦州变电所	17	9		26	58	37	95	121
辽阳变电所	16	23	33	72	54	89	143	215
海城变电所	15	16	24	55	47	57	104	159
凤凰山变电所	16	19	4	39	36	68	104	143
双河变电所	16	19		35	36	68	104	139
房山变电所	14	16	130	60	34	61	95	155

由表 1-1 可见 500kV 变电所需要大量的控制设备。如果采用一般 220kV 变电所常用的强电一对一控制方式，就需要大量控制屏才能布置下这些控制设备，从而增加了主控制室的监视面，给运行人员的正常监视和处理事故时的操作带来了不便。因此，要求在 500kV 变电所控制设备选择时，尽可能采用小型化的控制设备，以求达到缩小监视面，方便运行人员的监视和操作的目的。

3. 控制对象的距离远

在 500kV 变电所中，500kV 和 220kV 配电装置多采用中型布置，规模庞大，各配电装置之间以及各配电装置和主控制室之间距离较远。整个 500kV 变电所的占地面积远大于 330kV 及 220kV 变电所的占地面积。近年来对投入运行的变电所的统计表明：一般 220kV 变电所的平均占地面积为 $2.8 \times 10^4 \text{m}^2$ ，控制电缆长度一般在 200m 以内；330kV 变电所的平均占地面积为 $4.1 \times 10^4 \text{m}^2$ ，控制电缆长度一般在 300m 以内；500kV 变电所的平均占地面积为 $10 \times 10^4 \text{m}^2$ ，最长控制电缆为 500m。由于控制对象远，控制电缆长，因而加大了控制电缆中的电压降。所以，在控制回路工作电压的选择，控制电缆的截面计算以及在控制回路的构成方式设计时，都必须充分考虑这种情况，并妥善解决由于控制电缆中电压降大而产生的若干问题。另外，由于电流、电压互感器二次回路电缆长，引起二次压降大，及

至影响测量表计和继电保护装置测量环节测量的准确度，甚至有可能造成这些装置的不正常工作。在 500kV 变电所设计时，对这些问题也必须采取相应的对策。

4. 控制电缆用量大

在 500kV 变电所中，由于被控制的对象多，控制距离远，控制、信号、继电保护的接线也比较复杂，这就造成了控制电缆用量的大幅度增加。根据近年来东北电网新投入运行的 220kV 变电所的统计，控制电缆的平均用量不超过 25km。而 500kV 变电所的控制电缆用量一般都要超过 150km。500kV 辽阳变电所，按最终规模统计控制电缆用量为 200km。

在采用二次设备集中布置的情况下，由于控制电缆根数多，所以户外配电装置的主要电缆通道和主控制室的电缆入口部分，不能采用一般的电缆沟，往往需要采用大断面的钢筋混凝土电缆隧道。主控制楼也要加电缆半层，这就增加了变电所的土建投资。所以，在 500kV 变电所控制方式的选择和控制回路设计时，如何采取对策，尽可能减少控制电缆用量，简化电缆敷设的辅助设施，是降低变电所造价，提高经济效益不可忽视的部分。

5. 要求自动化水平高

要求 500kV 变电所在控制上有较高的自动化水平，这是出于以下两方面的考虑：一方面，500kV 变电所的被控对象数量多，工作电压高，操作功率大。全靠人力操作，不仅增加运行人员的体力劳动，而且有的设备在正常情况下不允许用人力去操作。例如，220kV 以下隔离开关一般可以由人力来操作，而 500kV 隔离开关则必须由带动力的操动机构操作，才能保证主触头开合闸时所需要的速度。另一方面，由人力操作对人身和设备都不安全。所以，为了实现对高压设备安全可靠的操作，减轻运行人员的劳动强度，在 500kV 变电所的控制系统设计上，尽可能多的采用可靠的自动化和省力化设备。

随着电力系统的不断发展，为保障安全可靠的供电，对电力系统自动化水平要求也越来越高。尽管我国目前大多数发电厂和超高压变电所还都是有人值班的运行方式，但最终必将过渡到由系统的调度中心进行统一的集中操作管理。所以，提高 500kV 变电所控制系统的自动化水平，也就为实现电力系统的全盘自动化打下了基础。这就要求在设计 500kV 变电所的控制系统时，要考虑为将来实现电力系统自动化提供方便。

按现行规程的规定，500kV 变电所应装设微处理机构成的监测系统（详见第二章）。有的微机监测系统具有控制功能。微机监测（控）系统在信息采集回路和控制输出回路，都与控制系统有联系。因此，在 500kV 变电所控制系统设计时，应与微机监测（控）系统统筹设计，防止设备和回路的重复设置。

6. 抗干扰问题突出

在 500kV 变电所中，由于电压等级的提高，配电装置的电磁场强度增强，在变电所中的电干扰水平普遍提高。另一方面，在 500kV 变电所中越来越多的采用由半导体元件和微处理机构成的弱电设备，这些设备对电磁干扰的抗御力一般都低于强电型设备。例如，500kV 凤凰山变电所投入运行的初期，就因断路器的晶闸管加速回路受电磁干扰而发生过多次数断路器误动作。预防电磁干扰是 500kV 变电所控制系统设计中必须引起注意的一个问题。我们将在第十一章第二节中详细讨论。

第二节 变电所的控制方式及二次设备布置

变电所的控制方式有两种：①在变电所设值班人员，由值班人员对变电所实行控制；②在变电所不设值班人员，由调度中心通过远动装置实行遥控。

目前我国 500kV 变电所全部由值班人员控制。绝大多数 220kV 变电所也是这种控制方式。只有少数 220kV 变电所开始试点采用遥控方式。

一、由值班人员控制的变电所

在有人值班的 220~500kV 变电所中，都设有主控制室，控制屏都集中布置在主控制室的主环之内。值班人员通过控制屏上的控制开关，对变电所的各种电力设备进行控制。根据规程的规定，在主控制室内控制的设备有：主变压器、并联电抗器、35kV 及以上线路及相应的母联断路器、分段断路器、旁路断路器等。变电所的无功补偿装置一般也在主控制室内集中控制。在主控制室内控制的设备还有直流系统、所用电力系统的主回路开关、消防水泵等。

当变电所有 6~10kV 屋内配电装置时，到用户去的 6~10kV 线路一般就地控制。

变电所的隔离开关和接地器，按规程要求，除 500kV 倒闸操作的隔离开关之外，全部就地控制。

在 500kV 变电所二次设备采用分散布置的情况下，在各配电装置设有分控制室。在分控制室内设有控制屏。该配电装置内的断路器和隔离开关，也可以在分控制室内的控制屏上控制。但分控制室内不设经常的值班人员。变电所的正常控制还是在主控制室内进行。

在变电所内装有成套静止无功补偿装置(SVC)时，一般制造厂配套提供就地控制设备，包括静补装置回路的各种开关设备、辅助电源、冷却系统、继电保护、自动控制设备等。这些设备通常安装在就地控制室内。在这种情况下，在主控制室内还要设远方控制屏。正常情况静止补偿装置的起动、停止、调节控制，还是在主控制室内进行。

在装有控制功能的计算机监控系统时，变电所内所有需要控制的设备，都可以通过计算机的操作键盘来控制。控制结果可以通过监控系统中的阴极射线管(CRT)屏幕反应出来。在用键盘控制时，在CRT屏幕上显示出相应的接线图，要控制的对象在操作过程中闪光，操作完毕后变为平光，并相应的改变颜色。例如，某断路器进行合闸操作时，在屏幕的接线图上该断路器的符号在断开位置时为绿色。在操作过程中，绿色闪光，操作完毕，断路器合闸后，断路器的符号由绿色变成红色。

利用计算机键盘进行控制，具有以下优点。

- (1) 可以省去价格昂贵，体积庞大的控制屏，减少控制室的建筑面积，降低工程造价。
- (2) 断路器、隔离开关等开关设备之间的操作闭锁可通过计算机软件实现，简化了接线。
- (3) 计算机控制，能很方便的过渡到由调度中心遥控的方式。为变电所实现无人值班提供了有利的条件。

利用计算机控制，目前在我国仅仅开始试点，还没有大量推广采用，主要原因是这种

控制方式与传统的在控制屏上控制的方式相差太大。相比之下不够直观，运行上不习惯，实际运行经验较少。硬件的配置和控制软件的编制还要进一步开发和完善。从技术发展的趋势看，通过计算机控制肯定是发展的方向。

二、遥控变电所

变电所实行无人值班，由电力系统调度中心进行远方控制的方式，能大量节省变电所的建设投资和运行维护费用，有明显的经济意义，是电力系统自动化和远动化技术发展的必然结果。目前在我国经济发达地区的35~110kV及以下配电网中，已经有一批设备比较简单的变电所，实现了无人值班。220kV变电所的无人值班也开始试点。在经济技术发达的国家，500kV变电所也较普遍地实现了遥控。

要实现变电所的遥控，对变电所的一次、二次设备和电力系统的管理方式都提出了一些新的要求。（详见第二章第三节）

遥控变电所除了不设置值班人员的生活设施之外，在二次线设计上还有许多特点，主要的有：

(1) 在新建的遥控变电所二次设备可集中布置，也可分散布置。在集中布置的情况下，主控制室只布置保护屏和操作继电器屏。屏间的尺寸只考虑检修调试所需的位置。因此，控制室的面积可大为缩小。

(2) 变电所不需要再设专用的控制屏，由调度中心发出的控制命令，通过设在变电所的远动终端装置（RTU）作用于各个被控对象的控制回路。被控的断路器、隔离开关调用的控制开关或按钮，一般装在保护屏或这些开关设备的操作机构箱或端子箱里。

(3) 变电所在实现遥控的同时，必须实现“遥信”“遥测”和“遥调”。在实现四通之后变电所的就地信号和测量应尽可能简化，继电保护和自动装置的动作信号一般设在保护屏上。所用电力系统、直流系统的正常运行信号也设在相应的屏上，不设专用的信号屏。其他不正常运行的预告信号通常直接引至RTU的信号转接屏上。

通常不设置就地指示仪表，如果要设置，可与变送器屏结合。每一回路设一块电流表即可，作为调试用。有的变送器带有数字式的指示表头，在这种情况下，就可以取消就地指示仪表。

三、变电所二次设备布置

220~500kV变电所的二次设备布置方式，有集中布置和分散布置两种，集中布置即是将变电所中所有的控制、保护和自动装置，都集中布置在主控制室内。分散布置是除了在主控制室布置继电保护和自动装置外，还将部分二次设备包括保护、测量、直流等，分散到各配电装置。分散布置又分以下几种情况。

(1) 在220kV变电所中，10~60kV侧采用户内配电装置时，将10~60kV侧控制、测量和保护等二次设备下放到10~60kV户内配电装置中单独的继电器小室内。

(2) 在220kV变电所，10~35kV采用成套开关柜时，10~35kV线路的保护、测量和控制设备，装在开关柜上，仅仅将事故和预告信号送到主控制室。

(3) 在装有调相机或静止补偿装置的变电所，调相机、静止补偿装置的二次设备就布置在调相机厂房或静补装置的单独控制室内。

(4) 在 500kV 变电所, 500kV 和 220kV 配电装置设分控制室, 将该配电装置各安装单位的二次设备, 布置在分控制室内。

二次设备集中布置的优点是: ①控制、继电保护、信号、测量等系统的设备都集中安装在一个控制室内, 二次设备之间的联系电缆短; ②运行人员对这些设备的监视、维护方便; ③控制、信号系统的接线也较简单; ④运行人员对这种集中布置方式习惯。集中布置的缺点是: ①控制电缆用量大, 电缆敷设费用高; ②电流、电压互感器二次回路负担重; ③电流电压回路测量误差大; ④控制室的建筑面积大。

在高电压、大容量变电所中, 主控制室与配电装置之间的距离加长, 集中布置的缺点就更为突出。

二次设备分散布置的优点是: ①能减小主控制室的建筑面积; ②减少控制电缆用量及电缆敷设的费用; ③减轻电流、电压互感器二次回路负担, 能提高交流回路的测量精确度。分散布置的缺点是: ①二次设备布置分散, 给监视和维护带来不便; ②控制、信号回路接线较复杂; ③运行上不习惯。

我国 220kV 变电所和已投入运行的 500kV 变电所, 多数是采用二次设备集中布置。在 500kV 变电所采用二次设备分散布置, 优越性更为明显。特别是近年来由于计算机技术的发展以及在 500kV 变电所的应用, 提高了变电所的自动化水平, 给二次设备的分散布置提供了更为有利的条件。

四、500kV 变电所的二次设备分散布置

为了说明在 500kV 变电所采用二次设备分散布置的必要性, 很有必要对集中布置存在的实质性问题再作进一步分析。

在集中布置的情况下, 布置在主控制室的二次设备与分布在各配电装置的被控对象之间, 通过一对一的电缆联系。其中控制电缆的作用有如下两点。

(1) 作为信息的传输通道, 主控制室发出的各种控制信息通过控制电缆送至各被控对象。有关各被控对象的电流、电压、功率等信息通过互感器和控制电缆传至主控制室。

(2) 作为动力的传输通道, 操作各开关设备所必需的动力, 由主控制室送至各开关设备的操作机构; 继电保护和测量表计正常运行所需的动力由互感器通过控制电缆传至主控制室。

这样, 集中布置就产生以下两个较为突出的问题。

(1) 由于需要传输的信息数量多, 采用一对一的方式就需要大量的通道, 即需要大量的控制电缆。

(2) 由于控制电缆中存在阻抗, 在传输动力时, 不可避免的要在电缆中产生能量损失和电压的降落, 而这正是前面叙述的集中布置方式中存在的各种问题的主要根源之一。

上述集中布置存在的这两方面的问题, 随着变电所规模的扩大, 控制距离的增长, 而变得更为严重。在设计和设备制造上尽管采取了各种措施, 如选用二次电流为 1A 的电流互感器; 尽可能减少操作机构的操作功率; 降低继电保护和测量表计的功耗等, 力图减少控制电缆中的能量损失和电压降落。但是, 在当前技术水平的条件下, 这些措施的收效是有限的。所以, 控制电缆中的能量损失和电压降落仍然是影响测量表计和继电保护装置测量

准确度和控制电缆截面降低的主要因素。

采用分散布置，将继电保护和二次设备分散布置到各配电装置的分控制室内，就能大幅度地缩短一次和二次设备之间的电缆长度，减小电缆的阻抗，从而能有效的解决由于控制电缆中的能量损失和电压降落而带来的若干问题。同时，也能节省大量价格昂贵的控制电缆及其辅助设施。

就信息的传输而言，采用分散布置以后，主控制室与各配电装置之间的信息联系变成了主控制室与各分控制室间的信息联系。虽然主控制室和各分控制室之间还需要有传输信息的通道，但因传输的方式改变，信息数量减少，所需的通道数量也大为减少。特别是近年来，信息的加工和传输技术有了长足的进展，数字技术、光纤通信等在信息传输方面的应用已经达到了工程实用的阶段。这又为主控制室和配电装置的分控制室之间的信息传输提供了新的途径。

这样，分散布置就可以描述成这样一种情景：

(1) 在变电所各配电装置的适当地点设置若干个分控制室，几个安装单位的二次设备布置在一个分控制室内。各安装单位的信息处理，主要在分控制室进行。

(2) 电流、电压互感器的全部负载都集中在分控制室内；开关设备的操作动力也由分控制室提供。

(3) 全所设一个主控制室，各被控对象可在分控制室控制，也可在主控制室内控制。

(4) 只有在主控制室内设经常值班人员，而分控制室不设。

(5) 在主控制室和分控制室之间通过多路信息传输通道交换信息。

(6) 正常情况下，全所集中在主控制室控制，而在非常情况下，可以在各分控制室实现对变电所的分散控制。

采用分散布置后二次线设计有如下特点。

1. 分控制室的设置

分控制室一般按电压等级设置。即 500kV 和 220kV 配电装置各设置 1~2 个分控制室。500kV 和 220kV 线路保护、线路并联电抗器保护、母线保护、失灵保护、故障录波器等保护屏和就地控制屏、变送器屏等安装在分控制室内。主变压器保护和 35~60kV 无功补偿设备的保护屏，安装在主控制室内，不再专设分控制室。

2. 直流系统

采用分散布置后，断路器控制回路电缆长度大为缩短，电缆中压降减小，控制回路工作电压采用 110V 即能满足要求。变电所的直流系统电压采用 110V 一种，不必再设 48V 直流系统。为提高可靠性，蓄电池组一般采用这种配置方式：在主控制室配备两组 110V 蓄电池，容量按供给全所直流负荷选取；在各分控制室各设一组 110V 蓄电池组，其容量按各分控制室的直流负荷选择。主控制室的直流母线分别引两回直流馈电线到各分控制室。分控制室的直流母线正常情况也分成两段运行，每段的电源取自主控制室。分控制室的蓄电池组可连接在任一段母线上。

3. 信息的处理与传输方式

二次设备分散布置的 500kV 变电所，一般采用双主机的计算机监控系统。在各分控制

室设一就地控制单元(LCU)用作就地信息采集和预处理。各分控制室的LCU与设在主控制室的主机间通过通信网络连接,将需要主控制室处理的信息传至主控制室。通信网络可由同轴电缆或光纤构成。为提高传输速度,提高抗电磁干扰能力,采用光纤通信网络较好。

4. 变电所的控制

变电所应在主控制室集中控制,在主控制室可设一对一的控制开关或通过计算机监控系统的键盘控制。常规的测量表计和信号装置可以大量简化(详见第二章)。在各分控制室设有各安装单位的就地控制屏。就地控制屏的作用是:在紧急情况下可以就地操作;与保护回路有关的控制回路设备布置在就地控制屏上。

5. 保护屏信号的复归

在各分控制室的继电保护和自动装置动作信号,可通过LCU传至主控制室,进行记录、打印和显示。保护动作后的信号复归,一般是在保护屏上设有复归按钮,人去手动复归。采用分散布置后,要解决保护信号的远方复归问题,可采用公用的复归按钮,在分控制室设保护信号复归小母线,也可采用每一安装单位设复归按钮的方式。

6. 对分控制室的设计要求

分控制室内应有通信设备,与主控制室保持通信联系。分控制室内应设有采暖、空调设备,在各种情况下应能保持室温在15~30℃之内。室内要有防湿、防水、防虫、防鼠措施,要有良好的电磁屏蔽,御防配电装置高压电磁场对室内设备的电磁干扰。室内应按主控制室的标准设置照明器。在控制、保护屏布置时要考虑留有检修和调试所需的场地。蓄电池组最好采用碱性蓄电池(镍镉蓄电池)或其他免维护型蓄电池。当变电所装有工业电视时,在分控制室应设有摄像头。

500kV变电所二次设备采用分散布置后,不仅仅在技术上有许多明显的优点,同时在经济上能大量节省变电所的投资。现以一个一般规模的500kV变电所为例,粗略地比较集中和分散布置两种方案在经济上的差异。变电所的规模及其集中与分散布置的比较,分别见表1-2、1-3。

表 1-2

500kV 变电所规模

名 称	本 期	远 景	备 注
主变压器	750MVA, 1组	750MVA, 2组	
500kV 并联电抗器	150MVA, 2组	150MVA, 4组	
60kV 并联电抗器	60MVA, 2组	60MVA, 4组	
60kV 电力电容器	0	60MVA, 6组	
500kV 线路(回)	3	8	1 $\frac{1}{2}$ 断路器接线
220kV 线路(回)	6	10	双母线带旁路接线

表1-3仅列出几项主要的可比较项目,从这一粗略地比较不难看出,采用二次设备分散布置,对500kV变电所能获得明显的经济效益。

表 1-3

集中与分散布置经济比较表

比较项目	型号	单价 (万元)	集中布置				分散布置				备注
			本期		远景		本期		远景		
			数量	金额 (万元)	数量	金额 (万元)	数量	金额 (万元)	数量	金额 (万元)	
次设备	拼装式控制屏	2.5/面	14面	35	14面	35	10面	25	10面	25	
	分继电器室控制屏	2/面	0	0	0	5面	10	20	10面	20	
	蓄电池 350Ah(120Ah)	0.06 (0.07)/个	214个	12.84	214个	12.84	108个	7.56	108个	7.56	
电	蓄电池 200Ah	0.04/个	48个	1.92	48个	1.92	108个	4.32	108个	4.32	
	充电设备	2(1.8)/台	1台	2	1台	2	1台	1.8	1台	1.8	输出电压 315V(160V)
	充电设备	1.5(1.2)/台	2台	3	2台	3	2台	2.4	2台	2.4	输出电压 315V(160V)
电	充电设备	1.3(1.4)/台	2台	2.6	2台	2.6	2台	2.8	2台	2.8	输出电压 72V(160V)
	控制电缆	2/km	44.240km	88.48	94.42km	188.84	23.380km	46.76	57.490km	114.98	
	控制电缆	1.3/km	16.080km	20.9	32.750km	42.58	5.220km	6.78	10.900km	14.17	
电	其它电缆	1.5/km	7.090km	10.64	10.010km	16.52	4.570km	6.86	6.250km	9.39	
	电缆隧道	0.2/m	390m	78	390m	78	0	0	0	0	
	电缆沟道	0.025/m	1700m	42.5	284m	71.03	165m	41.25	2470m	61.75	
总计			297.88	454.33		155.55	251.17				
比较结果			+142.33	+190.16		0	0				

注 比较表中未包括设备的安装费用。

第三节 断路器的控制方式

断路器的控制方式选择与变电所的控制方式、变电所的规模等因素有关。变电所的控制方式不同、规模不同，断路器的控制方式也相应而异。

对于二次设备集中布置的 220kV 变电所，断路器一般采用强电一对一控制。

500kV 变电所二次设备集中布置时，断路器多采用弱电一对一控制，规模较小的 500kV 变电所也可采用强电一对一控制。

在 500kV 变电所二次设备分散布置时，在主控制室通常采用弱电一对一控制；也可采用所内遥控方式，在主控制室通过变电所的计算机监控系统对各断路器实行遥控；还可采用在各配电装置的分控制室内，对断路器进行强电一对一控制。

一、断路器的各种控制方式及其特点

按控制回路的工作电压，断路器的控制方式可分为强电控制和弱电控制两种。所谓强电控制，就是从发出操作命令的控制设备到断路器的操动机构，整个控制回路的工作电压均为直流 110V 或 220V。弱电控制分为以下两种情况。

(1) 断路器控制回路的工作电压分成弱电和强电两部分，发出操作命令的控制设备工作电压是弱电（一般是 48V）。命令发出后，再经过中间强弱电转换环节把弱电命令信号转换成强电信号，送至断路器的操动机构。中间转换环节和断路器之间的回路结构与强电控制相同。这种弱电控制，实质上只是把布置在控制屏（台）上的控制设备弱电化了。

(2) 从控制设备到断路器的操动机构全部回路的工作电压均为弱电。

因为弱电命令信号传输的距离较近，断路器的操作功率又比较大，所以，弱电控制不适用于 220~500kV 变电所。

强电控制分为强电一对一直接控制和强电选线控制。后者在实际工程中应用的很少。强电一对一直接控制的典型接线如图 1-1 所示。这种控制方式具有控制回路接线简单，操作电源电压单一，运行人员容易掌握，维护方便，可靠性较高等优点，是国内投入运行的各类变电所中采用的一种主要的控制方式。强电控制，因控制设备的工作电压比较高，为满足绝缘距离的要求，控制设备、接线端子排等设备体积都比较大，而在控制屏（台）上单位面积内可布置的控制回路数却较少。例如，在一面 800mm 宽的标准控制屏上，最多只能布置 2 回 220kV 或 500kV 线路的控制设备。在变电所规模大，被控对象多的情况下，所需的控制屏数量多。这不仅加大了主控制室的面积，增加了土建工程的费用，同时，由于监视面过大也不利于正常的监视和操作。

弱电控制分为弱电一对一控制、弱电有触点选择控制、弱电无触点选择控制、弱电编码选择控制等。

弱电控制的共同特点是由于在控制屏（台）上采用了小型化的弱电控制设备，控制屏（台）上单位面积内可布置的控制回路多。在相同数量的被控对象情况下，与强电控制相比，可以减小控制屏（台）的面积，方便运行人员监视和操作；减小了主控制室的建筑面积，降

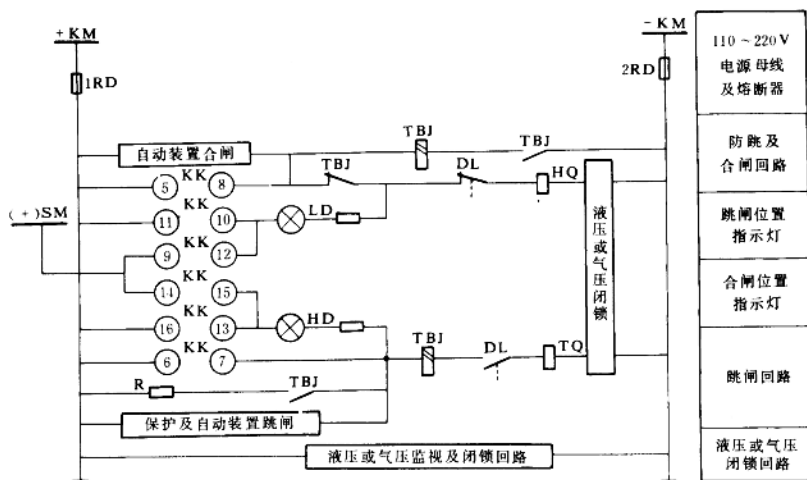


图 1-1 强电一对一控制的典型接线

低土建工程投资。这几种弱电控制都可以做到在中间转换环节与断路器操动机构之间弱电化，所以，控制距离没有比强电控制缩短。

在被控对象多的情况下，采用弱电控制可以把控制屏（台）的监视面压缩在合理的限度内，而且控制距离不受影响。这是采用弱电控制的主要优点。某些弱电接线（例如弱电选线）比较复杂。弱电控制设备的制造工艺和对材质的要求都比较高，制造难度也比较大。目前国产弱电设备质量还不太高，品种也不够齐全。因此，影响了由国产弱电设备构成的弱电控制接线的可靠性。也影响了弱电控制的推广采用。此外，对弱电设备要求精心维护，经常清扫，否则因弱电设备的电气距离小，容易造成短路。

除了上述共同的特点外，不同的弱电控制方式还有各自的特点。

图 1-2 为弱电一对一控制接线图。这是接线最简单的一种弱电控制方式。控制开关、同步回路、位置信号和事故信号均为弱电化。手动的跳合闸继电器（1HJ，1TJ）工作线圈电压为弱电，其触点在断路器的强电控制回路中。跳合闸继电器一般布置在断路器的操作继电器屏上。

图 1-3 为弱电有触点选控接线图，选线的逻辑回路由电码继电器构成，对象选择按钮和跳合闸主令开关均布置在控制台上；位置信号灯布置在控制台或返回信号屏上；逻辑回路的继电器则装在专用的选控继电器屏上。

图 1-4 为弱电无触点选控接线图。此种控制方式的主要特点是选线的逻辑回路由半导体元件构成，出口元件（即跳合闸继电器）还是有触点继电器。

上述这三种弱电选线控制，不只是因控制设备的小型化而减小了控制屏面积，而且，由