

电力技术继续教育科目指南丛书

# 500kV 变电所

四川省电力工业局  
四川省电力教育协会 编



中国电力出版社

~~电力技术~~ 继续教育科目指南丛书

---

# 500kV 变电所

四川省电力工业局  
四川省电力教育协会 编

中国电力出版社

## 内 容 提 要

本书为《电力技术继续教育科目指南丛书》中的一册。全书有九章，内容分别是：概述；500kV 变电所电气主接线及倒闸操作；500kV 变电所的主要电气设备；低压无功补偿装置；直流系统和所用电；继电保护及安全自动装置；电力系统通信；500kV 变电所微机监控系统；变电所管理。

全书密切联系电力系统实际，注重针对性、实用性、科学性和先进性，可作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也可供电力系统管理人员学习参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

500kV 变电所/四川省电力工业局，四川省电力教育协会编. —北京：中国电力出版社，2000

(电力技术继续教育科目指南丛书)

ISBN 7-5083-0376-8

I. 5... I. ①四... ②四... III. 变电所，500kV-技术教育-自学参考资料 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 35861 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>)

水电印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2000 年 9 月第一版 2000 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 5.5 印张 95 千字

印数 0001—4000 册 定价 12.00 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)

**关于推荐使用  
“电力技术继续教育丛书”  
的通知**

教成 [1998] 11 号

为了促进电力企业专业管理人员和专业技术人员的继续教育和岗位培训工作，四川省电力工业局、四川省电力教育协会组织编写，并由中国电力出版社出版了《电力技术继续教育丛书》（一套 12 册），谨向各单位推荐使用。

**中电联教育培训部**

一九九八年三月十六日

# 《电力技术继续教育科目指南丛书》

## 编委会

主任委员：晏玉清

副主任委员：王龙陵 沈迪民 李小白 凌廷亮

委 员：朱国俊 侯太明 章友中 李小白

向 进 李克俭 李光宗 樊天龙

袁宏斌 杨胜渤 廖永纲 程树其

林文静 于康雄

总 编：李小白

副 总 编：熊维荣 丁福煜

主 审：王龙陵 侯太明 章友中

## 《500kV 变 电 所》

### 编 审 人 员

主 编：李科峰 罗远安

审 稿：侯太明 赵 勤 蒋国祿 张星海 王 晋

## 序

为贯彻《中国教育改革和发展纲要》中提出的职工教育要“把大力开展岗位培训和继续教育作为重点，重视从业人员的知识更新”的要求，使职工教育工作更好地为电力系统专业技术人员和管理人员拓展专业知识，提高专业技术水平和管理能力服务，为电力企业安全文明生产“双达标”、“创一流”服务，为促进电力事业的发展服务，在四川省电力公司的领导下，四川省电力教育协会与四川省电力公司人力资源部教育培训处组织一批专家、教授和工程技术人员，联系电力系统的实际，结合国内外电力技术现状及发展方向，贯彻继续教育面向现代化、面向世界、面向未来的方针，注重针对性、实用性、科学性和先进性，编写了第二批《电力技术继续教育科目指南丛书》，作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也为电力系统的管理人员和生产人员提供一套学习资料。

第二批丛书共四册，分别是：《500kV 变电所》、《汽轮机事故分析及事故预防》、《汽轮机及其辅助设备的经济分析》、《水电站大坝安全管理与监测技术》等，全部由中国电力出版社出版发行。

本批丛书在编写与审稿全过程中，得到了四川省

电力公司领导和有关处室的大力支持与帮助。承担编写工作的四川电力试验研究院、成都电业局、内江发电总厂、龚嘴水力发电总厂、映秀湾水力发电总厂等单位为丛书的编写提供了良好的工作条件，给予了极大的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错漏在所难免，诚望读者指正。

## **《电力技术继续教育科目指南丛书》**

**编委会**

2000年6月5日

# 目 录

序

<b>第一章 概述</b> .....	1
第一节 输电电压等级发展的主要因素 .....	1
第二节 我国 500kV 超高压输电 .....	5
第三节 500kV 变电所的突出特点 .....	6
<b>第二章 500kV 变电所电气主接线及倒闸操作</b> ..	11
第一节 电气主接线 .....	11
第二节 倒闸操作 .....	14
<b>第三章 500kV 变电所的主要电气设备</b> .....	18
第一节 主变压器 .....	18
第二节 高压电抗器 .....	28
第三节 高压断路器和隔离开关 .....	40
第四节 电压互感器 .....	51
第五节 电流互感器 .....	56
第六节 避雷器 .....	60
第七节 六氟化硫全封闭组合电器 .....	65
<b>第四章 低压无功补偿装置</b> .....	71
第一节 无功补偿装置在系统中的作用 .....	71
第二节 主要的无功补偿装置 .....	73
<b>第五章 直流系统和所用电</b> .....	81
第一节 直流系统 .....	81



第二节	所用电系统 .....	86
<b>第六章</b>	<b>继电保护及安全自动装置 .....</b>	<b>94</b>
第一节	线路保护 .....	94
第二节	元件保护 .....	109
第三节	自动装置 .....	120
<b>第七章</b>	<b>电力系统通信 .....</b>	<b>128</b>
第一节	电力系统通信的作用和特点 .....	128
第二节	电力系统的通信方式 .....	131
第三节	电力系统复用保护通道 .....	133
<b>第八章</b>	<b>500kV 变电所微机监控系统 .....</b>	<b>139</b>
第一节	微机监控系统的功能 .....	139
第二节	微机监控系统的主要配置方式 .....	146
第三节	微机监控系统的硬件配置 .....	151
第四节	监控系统的软件要求 .....	153
<b>第九章</b>	<b>变电所管理 .....</b>	<b>155</b>
第一节	运行管理 .....	155
第二节	技术管理 .....	159
第三节	安全管理 .....	162
第四节	培训管理 .....	163
小资料	500kV 二滩送出工程 .....	165

## 概 述

### 第一节 输电电压等级发展的 主要因素

电网从历史发展看，可分为四个阶段：电厂直配城市网、省区电网、跨省大区电网和跨大区联合电网。随着用电量不断增长，大型水电、火电和核电的建设，地区间电源与负荷的不平衡以及经济调度的需要，必然要求发展输电和联网，电压等级也随之逐步提高。从最初较低电压水平的 6~10kV 经历 35kV、110kV 和 220kV，发展到超高压的 330kV、500kV 和 750kV 电网，并且还有继续上升的趋势。归纳起来，影响输电电压等级发展的因素主要有以下四个方面。

#### 一、长距离输电的需要

由于大容量电厂的建设地点远离负荷中心，如果采用传统的低压输电，势必造成输送功率的巨大浪费和电能质量的下降，因此，提高电压等级就成为必然的选择。我国的 220kV 第一回线路在各电网的出现都

是远离负荷中心的水电厂的送出线，如丰满、新安江、拓溪、丹江口等；330kV 第一回线路的出现是刘家峡水电站向关中送电；美国首次 500kV 线路输电是 1965 年俄勒岗州水电站向旧金山送电，两回线长 1520km。我国 500kV 线路在各电网的出现也都与电源送出线密切相关。

不同电压输电线路的经济输送容量和输送距离的关系见表 1-1。

表 1-1 不同电压等级的输送容量和输送距离

电压等级 (kV)	输送容量 (MV·A)	输送距离 (km)	电压等级 (kV)	输送容量 (MV·A)	输送距离 (km)
10	0.2~2	6~20	330	200~800	200~600
35	2~15	20~50	500	1000~1500	150~850
110	10~50	50~150	750	2000~2500	500 以上
220	100~500	100~300			

## 二、大容量输电的需要

随着电力系统容量的增大，特别是大型坑口电站和核电站的投产，虽然输电距离不长，但输送容量很大，也需要采用较高的电压等级，如美国电力公司 AEP 系统，为配合坑口电厂（5 台 80 万 kW 机组）和核电站（2 台 110 万 kW 机组）的投产，在原有 345kV 电压之上采用 765kV 的输电电压。

不同电压送电线路的平均输送容量如表 1-2 所示，

表 1-2 不同电压等级的平均输送容量

电压等级 (kV)	平均输送容量 (MW)	电压等级 (kV)	平均输送容量 (MW)
110	100	500	1200
220	250	750	2500
330	600		

500kV 送电线路的输送容量约为 220kV 的 5 倍,可见输电电压提高后输送容量可以大幅度地增加。

### 三、电网互连的需要

电网的发展,必然会打破历史形成的地方电力系统的疆域,逐渐连成大区域或跨区域的现代电网。也只有依靠现代电网才能把诸如水力、煤炭、石油、天然气、核能等一次能源转化为电能,并把它们有效地联系在一起,通过长距离输送,进行分配,互相支援,彼此配合,取得最大的经济效益。

为了增强电网输送能力,提高系统的稳定水平,大网络间的连接大多采用超高压电压等级的 500kV 或 750kV 系统,有些国家甚至采用了 1150kV 的特高压系统(如俄罗斯)。目前我国已建成华中、华北、华南和东北四个大电网,大电网内各省网之间大多以 500kV 交流输电为主干网络,跨大区电网的华中、华东电网间则使用了 500kV 直流输电。

### 四、节省基建投资和运行费用的需要

如果以输送每千米每千瓦电力的线路造价作为

“单位造价”，则在各级电压相应的经济输送容量范围内，线路的单位造价将随输送电压的升高而降低。在长距离输电线路中，变压器造价所占比重较小，即使按输送距离 300km 计算，包括变压设备造价在内的 750kV 输电线路的单位造价，也仅为 330kV 时的 50% 左右。

在相同的输送容量和距离的条件下，输电线路的总损耗（包括电阻损耗和电晕损耗）随输电电压的升高而降低。如表 1-3 所示，750kV 线路的线损率约为 330kV 线路的 1/2。

表 1-3 电压等级与线损率的关系

电压等级 (kV)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	输送容量 (MW)	线损率 (%)
220	1×570	250	2.75
330	2×270	700	1.30
500	4×570	1200	0.95
750	4×570	2500	0.70

另外，输送同容量电力的线路走廊的宽度，也随着采用电压的升高而降低。走廊用地在线路总造价中所占比重较大（如美国本部地区 500kV 线路约占 15%~30%），为减少走廊占地费用，采用超高压输电也就在所难免。

## 第二节 我国 500kV 超高压输电

20 世纪 60 年代初,为了使刘家峡水电厂的电力送入西北电网,首先采用了 330kV 输电,揭开了我国超高压输电史的第一页。以刘家峡水电厂为中心的西北 330kV 系统,不仅使我国的输电电压等级从高压跃升至超高压,而且促进了我国电力设备制造和运行管理水平提高,为以后的 500kV 输变电发展打下了基础。

20 世纪 80 年代初,第一条 500kV 平(平顶山)武(武汉)工程首先在华中电网建成。随后东北、华北、华东等大区电网也相继建设了多条 500kV 线路,在消化引进国外 500kV 输电技术的基础上,经过研制,我国已能生产 500kV 输变电设备。

目前我国已经建成的华中、华东、华北、东北四大电网,都是以 500kV 网络作为其主干网络,跨大区电网还采用了 500kV 直流输电技术;广东、广西、山东等省的 500kV 电网也已初具规模;在西南地区,随着天生桥、漫湾和二滩等大型水电站的相继投产发电,西南地区的 500kV 输变电设备容量将超过 1000 万  $kV \cdot A$ ,而且西南地区水力资源富集,还有很强的发展后劲。

我国近 20 年来 500kV 网络的发展,初步显示了超高压的作用:进一步提高了电网输送能力,提高

了系统稳定水平；使大电网内各省网之间，跨大区电网的华中和华东电网间起到了电力余缺调节、水火电互补调节、事故时电力相互支援的作用。另外通过在山西、内蒙等煤炭基地建坑口电厂，变输煤为输电，大大减轻铁路运输压力，对国民经济具有深远的意义。

随着如三峡电站等更多的大机组、大电厂在各大电网中建设及投运，我国 500kV 网络必将向更健全、更完善的方向迈进。

### 第三节 500kV 变电所的突出特点

500kV 线路和设备的电压等级高，工作电流大，设备本身外形尺寸和体积均很大。500kV 变压器和并联电抗器套管的对地距离近 9m，断路器和隔离开关的本身高度近 7m，避雷器高度近 6.5m，因此，在 500kV 变电所中，过电压与绝缘配合，静电感应水平，以及电晕和无线电干扰等问题都比较突出。

#### 一、过电压与绝缘配合

过电压按其来源可分为内部过电压和外部过电压。系统内部的断路器操作、故障等原因引起的电压升高称为内部过电压；雷击引起的电压升高称为外部过电压。

所谓绝缘配合，是根据设备在系统中可能承受的各种电压（工作电压及过电压），考虑限压装置的特性

和设备的绝缘特性来确定设备必要的耐受强度，把作用于设备上的各种电压所引起的设备损失和影响连续运行的概率降低到经济运行能接受的水平。这就要在技术上处理好各种电压、各种限压措施和设备绝缘耐受水平三者之间的配合关系。

对 500kV 超高压系统，变电所电气设备绝缘造价占的比例较大，因此绝缘配合要从限制过电压、降低设备绝缘水平入手。500kV 系统采取中性点直接接地方式，将最大长期工作电压限制为相电压，用并联电抗器限制远距离输电的电容效应，用带并联电阻的断路器限制操作过电压等限压措施限制内过电压。这样，变电所中的雷电过电压水平比内部过电压水平高，因此避雷器的残压成为确定设备绝缘水平的基础。

变电所内避雷器的保护水平和电气设备的绝缘水平是按变电所母线和线路侧的工频暂态过电压倍数的设计水平确定避雷器的额定电压。选择合适的避雷器后，该避雷器的残压就确定了。以避雷器的 10kA 残压乘以配合系数就可得出变电所内变压器、电抗器以及其他设备的绝缘水平。

## 二、静电感应的场强水平和限制措施

当高压输电线路或配电装置的母线下以及电气设备附近有对地绝缘的导电物体时，电容耦合感应会在导电物体上产生电压。当上述被感应物体接地时，就产生感应电流，这种感应通称为静电感应。



由于感应电压和感应电流与空间场强关系密切，实用中常以空间场强来衡量某处的静电感应水平。所谓空间场强，是指离地面 1.5m 处的空间电场强度。

通过对我国 220~500kV 变电所大量的实测及模拟试验工作，可以得出这样的结论：对于 220kV 变电所，其空间场强一般不超过 5kV/m，因此，认为静电感应问题并不突出；对于 500kV 变电所，各电气设备周围的最大空间场强大致为 3.4~13kV/m。而国际认定的安全水平为 10kV/m，因此 500kV 变电所存在限制空间场强的问题。

场强分布具有一定的规律性：对于母线，在中间相下场强较低，边相外侧场强较高，邻跨的同名相导线对场强有增强作用，两组三相导线交叉时，同名相导线交叉角下场强较大；对于设备，在隔离开关及其引线处，以及断路器、电流互感器旁的场强较大，且落地布置的设备附近的场强较装在支架上者为高。

为了限制静电感应水平，在设计及运行时应作如下考虑：

(1)尽量不要在电气配电装置上方设置软导线。由于上面没有带电导线，静电感应强度较小，便于进行设备检修。对于我国 500kV 变电所普遍采用的 3/2 断路器接线方式，当为三列式布置时，中间联络断路器上方不设导线；当为平环式布置时，所有出线回路断路器和中间联络断路器上方也都没有导线，这样对设