

32  
上册

西北电力设计院编

# 发电厂变电所

# 电气接线和布置

水利电力出版社



D5812  
205614

# 发电厂变电所电气接线和布置

上 册

---

西北电力设计院编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书是在总结我国发电厂、变电所电气设计、运行经验的基础上，针对现代电力系统的发展要求，吸收国外先进技术而编写的。全书分上、下两册。上册内容为电气主接线和配电装置布置，下册内容为厂用电、发电机引出线和无功补偿装置。

上册共分四章，着重从发电厂、变电所在系统中的地位及其规模和性质，对6~500千伏各种类型电气主接线的设计原则和适用范围作了详细论述；提出了大机组超高压主接线设计可靠性准则的初步意见；较完整地介绍了适用于我国不同地区和情况，具有我国特色的6~220千伏高压配电装置；分析归纳了国内外330~500千伏超高压配电装置布置的八个特点，系统地论述和比较了各种接线超高压配电装置的布置型式。

本书取材广泛，理论与实际紧密结合，系统性较强，并有工程设计实例，适合于从事发电厂、变电所电气设计、运行、安装和电力系统设计、运行的工程技术人员以及大专院校有关专业师生阅读。

## 发电厂变电所电气接线和布置

上 册

西北电力设计院编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 22.125印张 504千字

1984年9月第一版 1984年9月北京第一次印刷

印数 00001—13090册 精装定价 3.40元

书号 15143·5431

# 前 言

电气主接线和配电装置布置是发电厂、变电所电气设计的主要组成部分。

电气主接线是构成电力系统的重要环节，关系到系统供电的可靠性，运行调度的灵活性和经济性。为了保证电力系统的稳定运行，必须提高大机组超高压电气主接线的可靠性。本书在总结我国建国三十多年来电力建设经验的基础上，吸收国外先进技术，按照理论紧密结合实际的原则，首先根据现代电力系统发展的要求，着重从发电厂、变电所在系统中的地位及其规模和性质，对6~500千伏各种类型电气主接线的设计原则和适用范围作了详细的论述，并附有工程设计实例。通过对苏联、美国、加拿大、日本、西欧等国家以及我国电力系统特点和电气主接线类型的分析，提出了大机组超高压主接线可靠性准则的初步意见，这些准则已在我国的实际工程中参考应用。

我国在6~220千伏高压配电装置布置方面积累了丰富的实践经验，对分相中型、半高型、高型等屋外配电装置和110~220千伏屋内配电装置逐步作了改进，使设计较为经济合理；发展了工厂化的6~35千伏成套配电装置和110千伏及以上六氟化硫(SF<sub>6</sub>)全封闭电器配电装置；研究了适用于污秽地区、地震地区和高海拔地区配电装置的型式和特殊要求。在我国逐步形成的具有特色的高压配电装置，均较完整的反映在本书中。

关于330~500千伏超高压配电装置，本书着重归纳了国内外超高压配电装置布置设计中八个方面的特点，系统地论述并比较了多角形、“一台半断路器”、“双母线四分段”、“变压器-母线”、“环形母线多分段”配电装置和串联补偿装置等不同的布置型式；介绍了采用节约用地而效果显著的单柱式隔离开关、双柱伸缩式隔离开关、敞开式或SF<sub>6</sub>组合电器和全封闭电器以及采用软导线、支持式铝管、悬吊式铝管等设备和母线的使用情况。

本书在编写中，注意到电气主接线和配电装置的发展，改进过程和需要研究解决的问题的介绍，使读者能够了解它们演变的全貌，以期对今后设计的进一步发展提高有所帮助。

全书分上、下册。上册由应震华同志编写，经陈成生、卓乐友、刘叔华、雷伟雄、赵道揆、周炳炎等同志校阅，由蒋士青同志审定。

东北电力设计院王鹿宾、张道民、叶景星、戴庆来等同志审校了书稿。在编写过程中，电力规划设计院李昌龄同志给以大力支持和帮助，提出了许多宝贵意见。各电力设计院和有关单位热情提供了技术资料，在此一并表示衷心感谢。

编 者

一九八三年十月

# 目 录

## 前 言

第一章 现代电力系统及发电厂、变电所的特点 .....	1
第一节 电网的联合和扩大 .....	1
第二节 超高电压的应用及线路的输送能力 .....	4
第三节 大机组的采用及发电厂的分类 .....	9
第四节 变电所的分类 .....	13
第五节 系统短路电流的限制 .....	13
第六节 系统内过电压的限制 .....	16
第七节 无功的逐级补偿和就地平衡 .....	20
第八节 提高供电可靠性保证系统稳定运行 .....	25
第二章 电气主接线 .....	32
第一节 电气主接线的设计原则 .....	32
第二节 大机组超高压主接线的可靠性准则及可靠性计算 .....	38
第三节 6~220千伏高压配电装置的基本接线 .....	49
第四节 330~500千伏超高压配电装置的基本接线 .....	64
第五节 发、变电工程超高压配电装置主接线设计实例 .....	87
第六节 大型电厂的电气主接线 .....	91
第七节 中、小型电厂的电气主接线 .....	102
第八节 六种类型变电所的电气主接线 .....	114
第九节 变电所主变压器选择 .....	121
第十节 变电所6~10千伏侧短路电流的限制 .....	132
第十一节 直流输电及抽水蓄能电厂接线简介 .....	136
第三章 高压配电装置布置 .....	143
第一节 高压配电装置的分类及设计原则 .....	143
第二节 基本带电距离A值和B、C、D值 .....	145
第三节 220千伏屋外普通中型、分相中型配电装置 .....	149
第四节 220千伏屋外高型、半高型配电装置及屋外各型配电装置的综合比较 .....	169
第五节 220千伏屋内型、洞内和坝内型、全封闭型配电装置及其它 .....	186
第六节 110千伏屋外型、屋内型、全封闭型配电装置 .....	200
第七节 6~35千伏屋内及成套配电装置 .....	214
第八节 污秽地区配电装置 .....	224
第九节 地震地区配电装置 .....	231
第十节 高海拔地区配电装置 .....	235
第四章 超高压配电装置布置 .....	238

第一节	超高压配电装置布置的八个方面特点 .....	238
第二节	330千伏配电装置的五种布置 .....	263
第三节	330千伏串联补偿装置布置 .....	274
第四节	330千伏各型配电装置占地面积比较及尺寸校验示例 .....	283
第五节	500千伏配电装置概述及一台半断路器接线的五种布置 .....	291
第六节	500千伏双母线四分段接线的五种布置 .....	311
第七节	500千伏变压器-母线及环形母线多分段接线布置 .....	323
第八节	500千伏各型配电装置占地面积比较及尺寸校验示例 .....	327
第九节	750千伏配电装置简介 .....	332
附录	用“表格法”计算电气主接线可靠性示例 .....	337
主要参考文献及资料	.....	347

# 第一章 现代电力系统及发电厂、变电所的特点

从十九世纪末期电力应用于生产以来，到今天已成为当代世界物质生产的基本动力，电气化程度是各国国民经济现代化的重要标志。工、农业生产的机械化、电气化和自动化都对电力提出了越来越高的要求，人们日益丰富的物质文化生活也越来越依赖于电力的供应。因此，现代电力工业发展很快，其发展特点主要表现在以下三方面：

- (1) 巨大的水、火、核电联合电力系统的形成；
- (2) 采用200~1300兆瓦大机组和1000兆瓦以上大电厂的大量建设；
- (3) 超高电压的广泛应用（特高电压已在试验研究，±750千伏直流输电工程正在建设）。

我国的电力工业发展也很快，现今国产的发电机单机容量已达300兆瓦，并开始制造600兆瓦机组，在建的发电厂容量已达2700兆瓦，330~500千伏输变电系统正在逐步扩大。

电力工业的迅速发展，提出了许多新的课题，例如：电网的联合和扩大；超高电压的应用及线路的输送能力；大机组的采用及发电厂和变电所的分类；系统短路电流和内过电压的限制；无功的逐级补偿和就地平衡；提高供电可靠性，保证系统稳定运行等。所有这些问题与正确地选定发电厂、变电所的电气接线和设备配置有着密切的关系，需要我们认真研究解决。

## 第一节 电网的联合和扩大

近年来，世界各国每年增加的装机容量很大，如1981年新增装机容量：美国为20920兆瓦，苏联为10390兆瓦，日本为6160兆瓦，加拿大为3600兆瓦，我国为2630兆瓦。表1-1为国外工业国家和我国的装机容量和发电量比较表（1980年）。

表 1-1 国外工业国家和我国的装机容量和发电量比较（1980年）

国 名	装 机 容 量 (兆瓦)				年 发 电 量 (亿度)
	水 电	火 电	核 电	合 计	
美 国	77650	496790	56490	630930	23578
苏 联	52310	202100	12300	266710	12950
日 本	29780	98230	15690	143700	5775
西 德	6480	71710	9060	87250	3688
加 拿 大	46980	28460	6530	81970	3667
英 国	2460	70170	6930	79560	2849
法 国	19400	29100	14400	62900	2458
中 国	16870	43630		60500	3006

从表1-1可知，现今世界上各工业国家的装机容量都已超过0.5亿千瓦。而美国、苏联、日本和我国则分别超过6亿、2亿、1亿和0.6亿千瓦。

我国规划自1981年至2000年（即第六个到第九个五年计划期间）的二十年内，电力工业翻两番。“六五”期间平均每年装机3000兆瓦，“七五”期间平均每年装机5000~6000兆瓦，“八五”、“九五”期间装机更多。在“六五”期间尽量多装200~300兆瓦机组，“七五”及以后则要多装600兆瓦机组。装机容量自1980年的0.6亿千瓦到1990年将超过1亿千瓦，到2000年可超过2亿千瓦。

为了把巨大的电力输送到全国各地，各国都致力于电网的联合和扩大。形成巨大的联合电力系统<sup>①</sup>有下列重大的经济效益。

（1）因水力及煤炭等主要动力资源的分布是由自然条件决定的，大多远离负荷中心。故在水力和煤炭基地建设大容量水力和火力发电厂，通过超高压大电网将电力长距离输送到全国各地区的负荷中心，这是开发利用这些动力资源的最有效途径。

（2）大电网可以安装大机组，有利于加快建设速度，减少投资，节约燃料，提高劳动生产率，降低发电成本。

（3）大电网有利于提高供电的可靠性。各地区的电源互为备用，增强了抵抗事故的能力。

（4）有利于利用不同地区时差，错开高峰负荷，减少备用机组容量，一般比分散孤立电网可少装机约10%。在火电、水电和核电之间可实行经济调度，充分利用水电调峰，提高火电热效率。

（5）大电网能承受较大的冲击负荷，有利于改善电能质量。现代轧钢设备具有大型化、高速化、电气化等特点，而高电压、大功率可控硅整流装置在轧机拖动系统中的广泛应用，使用电的有功负荷、无功负荷都具有大而频繁的周期性冲击特点，同时产生大量的高次谐波。若电网较小，则冲击负荷势必造成较大的频率、电压波动和波形畸变，从而影响系统的稳定运行。为了适应钢铁厂150~200兆瓦轧钢冲击负荷的需要，系统容量要求不少于3000~4000兆瓦，而且电网要有紧密的联系，以免频率和电压的变化超过规定值。

现在世界上的电网，大致可分为：配电电网、地区（或省）电网、区域电网、全国电网和几国互联电网等五种：

#### 1. 配电电网

配电电网是城市、工矿区和农村的配电网，其供电范围一般为数公里至30公里，电压等级为6~35千伏。

#### 2. 地区（或省）电网

地区电网的供电范围较大，但仍局限于一个地区或一个省，电压等级为110~220千伏。

#### 3. 区域电网

---

<sup>①</sup> 电力系统是指发电、送电、变电和用电组成的“整体”，而通常把发电和用电之间属于输送和变配的中间环节称为电网。



几个地区（或几个省）电网联合而成为区域电网。区域电网不但供电范围大，而且还担负着把远区大容量水力、火力发电厂的功率送到负荷中心的任务。我国已设计和建设了西北、华中、东北、华北和华东等区域电网，电压等级为330~500千伏。今后，330~500千伏区域电网是我国电力系统的主网。图1-1示我国的一个500千伏区域电网。

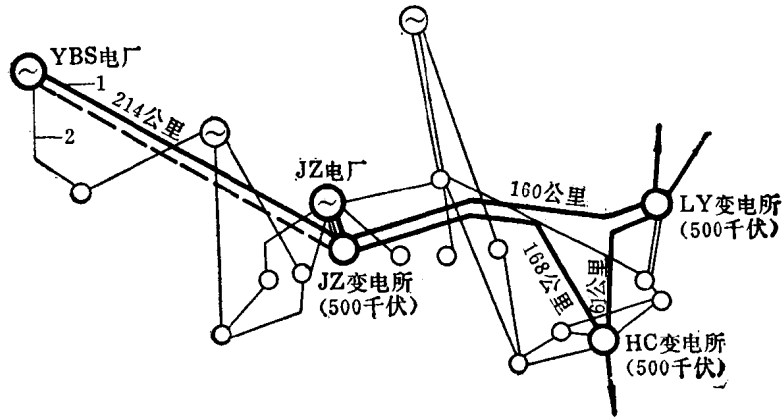


图 1-1 500千伏区域电网  
1—500千伏线路；2—220千伏线路

#### 4. 全国电网

苏联建立了横跨欧亚两洲的全国电网，由西北、中央、中伏尔加、乌拉尔、南方、北高加索、外高加索、北哈萨克、西伯利亚等九个区域电网互联组成，供电范围约一千万平方公里。西伯利亚的大水电厂，如6000兆瓦的克拉斯诺雅尔斯克水电厂和4500兆瓦布拉茨克水电厂均联入网内。电网电压主要是500/220/110千伏，也有750/330/110千伏，参见图1-2。此外，还建立了1150千伏的特高压试验线路和正在建设的±750千伏直流输电线路。

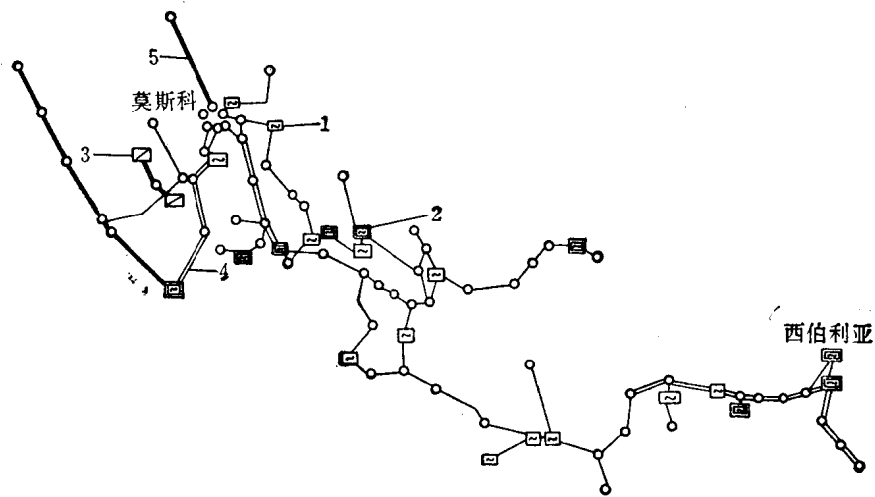


图 1-2 苏联全国电网示意  
1—火电厂；2—水电厂；3—核电厂；4—500千伏线路；5—750千伏线路

英、法等国实现了全国电网统一管理。美、日等国在国内各电力公司所属的电网间也建立了许多电网联络线，互相送受电，以节约电力建设投资和提高供电的安全性和经济性。

#### 5. 几国互联电网

有些国土较小的国家，已实现了几国互联电网。如西欧11国的互联电网；东欧7国的互联电网，并成立了电网联合协调机构。此外，毗邻国家如加拿大和美国也互相联网。

发展电网是各国电力工业所走的共同道路。特别是我国地区辽阔，能源资源分布不平衡，规划中要重点开发西北、西南、华南地区的水电和北方地区的火电。水、火电要联网。因此，我国电网将得到较快的发展。目前已经形成的各大区域电网，其装机容量今后将不断增加，并且各大区域电网要进一步联合和扩大。如规划中的西北和华北区域电网联合后，更有利于充分利用西北黄河上游水电基地和华北火电基地的能源，待长江上、中游水电资源陆续开发后（其中SX水电厂具有容量大、经济指标优越、地理位置适中的优点，即使采用低坝方案，装机至少13000兆瓦，年发电645亿度，可代替火电燃煤3500万吨），将东连上海、北接京津、南至广州而形成一个大电网。

## 第二节 超高电压的应用及线路的输送能力

由于现代电力系统的容量很大，供电范围扩大到数百公里以至一千公里，除采用220千伏及以下电压等级的输、配电线路外，还需要采用330、500和750千伏超高压输电线路。

线路的输送能力主要取决于送电成本、电能质量和发电机并列运行的稳定性等技术经济指标。中、短距离（一般不大于200公里）输电线路的输送能力主要取决于允许的电压损失和电力与电能损失，有时还取决于导线的允许发热程度；对长距离线路来说，影响输送能力的主要因素是发电机并列运行的稳定性。

(1) 按导线允许持续发热条件，送电线路的输送容量可由下式确定：

$$P \leq \sqrt{3} U_e I_{yx} \cos\phi$$

式中  $P$ ——三相输送总功率（兆瓦）；

$U_e$ ——额定线电压（千伏）；

$I_{yx}$ ——按允许持续发热条件确定的电流（千安）；

$\cos\phi$ ——功率因数。

表1-2为35~220千伏线路按允许持续发热条件的输送容量。

(2) 按线路允许电压损失（10%以内）确定的输送能力，可按下式计算：

$$P_2 L = \frac{U_e^2 \Delta U\%}{100(R_0 + X_0 \operatorname{tg}\phi_2)}$$

式中  $P_2 L$ ——负荷矩；

$P_2$ ——末端功率（兆瓦）；

$L$ ——送电距离（公里）；

$\Delta U\%$ ——线路始端电压与末端电压的算术差与末端电压之比%（一般应限制在10%

表 1-2

单回线按允许持续发热条件的输送容量

(周围温度为25°C, 导线发热至70°C)

导线型号	导线截面 (毫米 <sup>2</sup> )	输送容量 (兆伏安)		
		35千伏	110千伏	220千伏
LGJ	50	13.3		
	70	16.6	52.4	
	95	20.3	63.7	
	120	23.0	72.3	
	150	27.0	85.7	
	185	31.2	98.0	
	240	36.9	116.0	
LGJQ	300		135.0	270.0
	400		161.0	322.0
	500			368.0

以内);

 $R_0, X_0$ ——每公里线路的电阻、电抗值(欧); $U_2$ ——末端电压(千伏); $\text{tg } \phi_2$ ——末端电压与电流间夹角的正切函数。

对于长度为150公里以上的送电线路, 必须考虑线路充电功率 $Q_c$ 对 $\Delta U\%$ 的影响。当 $L$ 等于200公里时,  $P_2L$ 将比上述公式计算值约大20%。

(3) 按线路允许的电力与电能损失确定输送能力。

电力损失按下式计算:

$$\Delta P\% = \frac{\sqrt{3} J \rho L}{10 U_2 \cos \phi_2}$$

式中  $\Delta P\%$ ——以末端最大输送功率为基准的电力损失相对值%; $J$ ——电流密度(安/厘米<sup>2</sup>); $\rho$ ——导线电阻率(欧·厘米<sup>2</sup>/公里); $L$ ——导线长度(公里); $U_2$ ——末端线电压(千伏)。

电能损失按下式计算:

$$\Delta W\% = \Delta P\% \frac{\tau}{T_{max}}$$

式中  $\Delta W\%$ ——以全年输送总电量为基准的全年电能损失相对值%; $T_{max}$ ——线路最大负荷利用小时数; $\tau$ ——线路最大损耗小时数, 与 $T_{max}$ 及功率因数 $\cos \phi_2$ 有关。

送电线路的电力损失通常不应超过5~6%, 与此相对应的全年电能损失不宜超过4%。

(4) 6~220千伏线路的输送容量与输送距离的大致范围见表1-3。

220千伏以及330~750千伏超高压输电线路的输送容量以大致接近于自然功率为宜。自然功率的计算公式如下：

$$P_{\lambda} = \frac{U_c^2}{Z_{\lambda}}$$

式中  $P_{\lambda}$ ——自然功率（兆瓦）；

$U_c$ ——额定电压（千伏）；

$Z_{\lambda}$ ——线路波阻抗（欧）， $Z_{\lambda} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ，其中  $L$  和  $C$  分别为导线单位长度的电感与电容。

表 1-3 6~220千伏线路的输送容量  
与输送距离

额定电压 (千伏)	输送容量 (兆瓦)	输送距离 (公里)
6	0.10~1.20	15~4
10	0.20~2.00	20~6
35	2.00~10.00	50~20
60	5.00~20.00	100~20
110	10.00~50.00	150~50
220	100.00~300.00	300~100

表 1-4 220~750千伏线路波阻抗  
及输送自然功率值

电压 (千伏)	导线分裂数	波阻抗 $Z_{\lambda}$ (欧)	自然功率 $P_{\lambda}$ (兆瓦)
220	1	380	127
330	2	309	353
500	3	270	925
750	4	260	2160

为了提高线路的输送能力，应提高电网电压和降低线路波阻抗。波阻抗随着电压的升高而减少，采用分裂导线能使自然功率提高很多。

当线路负荷与自然功率相等时，由负荷电流所引起的无功功率损失等于线路电容所产生的无功功率，此时，电力输送有以下优点：

- (1) 全线各点电压及电流大小一致；
- (2) 线路任一点功率因数都一样；
- (3) 由于线路的无功损失正好等于其充电功率，因此完全补偿，为无损耗传输。

当线路输送功率大于自然功率时，线路的无功功率损失大于线路产生的无功功率，线路中电压降落将增大，因此，需从线路两端输入无功功率。当线路输送功率小于自然功率时，充电功率使电压升高，必要时，需采取补偿措施，如装设并联电抗器，以抑制线路的电压升高。

220~750千伏线路波阻抗和输送自然功率值见表1-4。

220千伏及以上的短线路，其输送能力决定于无功损失及导线发热条件，可大于自然功率。长距离输电线路，由于发电机并列运行稳定性的困难，往往达不到自然功率，需采取提高稳定性的措施，如装设串联电容补偿等，以提高输送容量。

线路输送能力与自然功率的比例，对于短线路来说，其经济合理的输送功率为（3~5） $P_{\lambda}$ ，对于长线路则为（1~1.2） $P_{\lambda}$ 。

西德和瑞典等国家认为，线路输送功率与自然功率之比为下列数值时，常常是经

济的:

- 线路长度为500公里时  $P = P_{\lambda}$ ;
- 线路长度为300公里时  $P = 1.5P_{\lambda}$ ;
- 线路长度为150公里时  $P = 2.0P_{\lambda}$ ;
- 线路长度小于150公里时  $P = 4.0P_{\lambda}$ 。

美国国土较大, 输电线路距离一般较长, 设计的345~765千伏电网所采用的线路经济输送功率为:

- 345千伏——600兆瓦;
- 500千伏——950兆瓦;
- 750千伏——1900~2000兆瓦。

日本国土较小, 输电线路较短, 500千伏线路最大输送功率达5000兆瓦。

图1-3示苏联绘制的220~750千伏输电线路输送能力曲线。

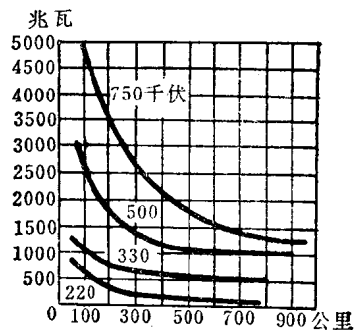


图 1-3 220~750 千伏输电线路输送能力曲线

综上所述, 根据高压和超高压线路的输送容量和输送距离, 可以估计发电厂、变电所的出线回路数。在系统设计中确切地定出线路回路数是合理地选择电气主接线的极其重要的条件, 甚至是决定性条件, 我们应该充分重视这个问题。

根据苏联经验, 若电网设计得合理, 则大型枢纽变电所的330~750千伏出线回路数, 一般不应超过下列数值:

电压	330 千伏	500 千伏	750 千伏
出线回路数	6 ~ 8 回	4 ~ 6 回	3 ~ 4 回

我国110~220千伏变电所和升压站的110~220千伏出线回路数一般不超过8回, 330~500千伏变电所和升压站的330~500千伏出线回路数一般不超过6回。

输电线路的重要性是按照电压等级和是否为主干线路等来划分的。要提高超高压线路和主干线路的供电可靠性。

输电线路和配电装置电压等级的确定, 是一个极为重要的问题。以往各国根据自己的特点选用电压等级, 电压等级的标准较多, 如表1-5所示。

运行经验表明, 一个国家、一个地区电力系统的输电电压等级不宜太多, 而应简化电压等级, 各电压间的级差也不宜太小。所以, 现今国内外电压等级已逐步简化, 其等级差一般为2~3倍。表1-6示现行各国电网的主要电压等级。

我国对非标准电压已限制其发展, 并于条件具备时, 逐步进行升压改造。这样, 既简化了电压等级, 又提高了现有线路的输送容量。例如东北电网的154、44、22千伏非标准电压, 便进行了升压改造。现今我国电力系统的电压等级, 经过简化后, 规定的电压有6、10、35、60、110、220、330、500和750千伏等9个等级。

大容量电厂需用超高压送电, 在苏联曾统计的千兆瓦以上大电厂中, 25座电厂有330千伏配电装置, 17座电厂有500千伏配电装置, 5座电厂有750千伏配电装置, 个别千兆瓦



表 1-5

各国曾采用的输电电压等级标准 (千伏)

国 名	美 国	欧 洲 各 国	苏 联	中 国	国际电工委员会 推 荐 标 准
电压等级	4.2	3.0			
	7.2	6.0	6.0	6.0	6.0, 6.6
	13.2	10, 15	10	10	10, 11, 15
	23.0	20	20	22	20, 22
	34.5	45	35	35, 44	30, 33, 34.6, 45, 47
	69	60		60	66, 69
	115	110	110	110	110, 115
	138	132			132, 138
	161	150	150	154	150, 161
	230	220	220	220	220, 230
	287	275			275, 287
	345			330	330, 345
			380, 400		380, 400
		500		500	500
	765		750	700~750	

表 1-6 现行各国电网主要电压等级

国 名	主 要 电 压 等 级
美 国	1 500/230/115千伏 2 765/345/138千伏
苏 联	1 500/220/110千伏 2 750/330/110千伏
日 本	500/275/154千伏
法 国	380/225/90~150千伏
中 国	1 500/220/110(60)千伏 2 (750)/330/110 千伏

注 括号内的750为今后拟采用的电压等级，60为局部地区采用的电压等级。

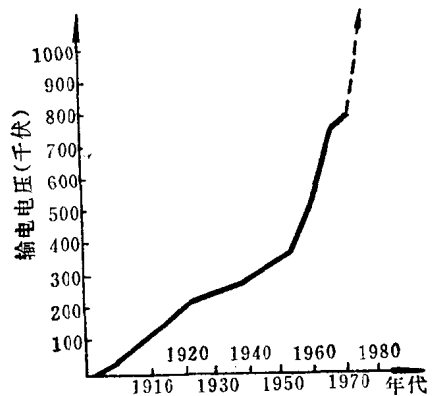


图 1-4 输电电压的发展过程

以上电厂只采用220千伏电压送电。从系统发展来看，配电装置电压如不出现超高压，将在解决输送容量和短路电流方面遇到较大困难，也不利于系统的稳定。如苏联马雷电厂装有6台200兆瓦机组，曾批准用220千伏送电，以后证明这个电压太低，便作出增设500千伏线路的决定。我国现今建设的千兆瓦以上电厂也采用超高压送电，个别的如1550兆瓦容量的DH电厂，由于采用220千伏电压送电，为使配电装置不过于庞大和对短路电流进行限制，从而设计成一厂二站的接线方式，即发电机分别接至两个独立的220千伏升压站。

近三十年来，超高压的发展很快，见图1-4。超高压的高速发展有以下多方面的原因：

- (1) 远距离输电的需要；
- (2) 大容量输电的需要；
- (3) 联网的需要；
- (4) 限制短路极限开断电流的需要；

### (5) 节约输电线路走廊占地面积的需要。

关于节约线路走廊占地面积的问题，近年来已引起了各国的重视。例如，美国一条765千伏线路的输送能力相当于5条345千伏线路，所用走廊宽度则为60米，而5条345千伏线路需用走廊宽度225米，后者为前者的3.5倍。据统计，每提高一级电压，线路走廊利用率可提高2~3倍。世界上有的国家如瑞典、西德、日本等，征用线路走廊用地的投资已在线路总造价中占很大比重，这就促使采用较高的输电电压等级。

目前，苏联和美国等国家为适应系统发展的需要，进一步提高线路的输送容量和输送距离，正在试验研究1150~1500千伏特高压输电线路，输送的自然功率值为5000~10000兆瓦，并拟在500千伏系统中增设1150千伏系统，在750千伏系统中增设1500千伏系统。

另外，随着交流输电容量的增大，线路距离的增长，系统稳定问题便日益突出，为了提高稳定度，常需花费较大的投资。直流线路没有电抗的影响，比之交流系统易于解决稳定问题，故可比交流输电大大提高输送容量和输送距离。近年来，由于可控硅整流技术的进步，直流输电得到了发展。目前，世界上有许多直流输电工程正在建设或进行研究，总容量超过20000兆瓦。

直流输电电压有±100千伏、±200千伏、±270千伏、±500千伏、±600千伏和±750千伏等多种。1983年巴西投入±600千伏直流输电线路，输送容量为3150兆瓦，输送距离为900公里；1985年苏联将投入连接欧亚两洲的±750千伏直流输电线路，输送容量为6000兆瓦，输送距离达2400公里；我国也拟建设从GZB到华东的±500千伏直流输电线路。

## 第三节 大机组的采用及发电厂的分类

由于采用大机组具有减少建设投资、加快建设进度、节约燃料、降低发电成本和提高劳动生产率等显著优点，故在近代一些工业国家，其新建的发电厂单机容量大幅度增长，绝大多数为100~800兆瓦，最大单机容量已达1300兆瓦。如英国采用的火电机组标准容量为120、200、500、660兆瓦；法国采用的三种标准容量为125、250、500兆瓦；苏联主要的火电机组为160、200、300、500、800兆瓦等。随着单机容量的增大，发电厂的容量也不断增大。现今运行的最大火电厂为日本鹿岛电厂，容量为4400兆瓦，正在建设中的一些大型火电厂及水电厂，装机容量达4800~6000兆瓦。我国近年来新建电厂的单机容量大多数为50~300兆瓦，也有600兆瓦的机组，发电厂容量大多为200~1200兆瓦，有的为2400~2700兆瓦。

发电厂通常按照能源及其在系统中的地位和作用进行分类。

由于能源不同，世界各国建设的发电厂类型和各类电厂的比重也不同。我国今后建设的电厂类型主要有以下几种。

### 1. 火力发电厂

(1) 大容量坑口凝汽式电厂 我国煤炭资源充足（多在北部地区），占世界第三位。考虑到石油和天然气都是珍贵燃料和化工原料，因此，火力发电厂基本上都是燃煤电厂，并尽量燃用劣质煤。

一般认为，在煤矿及其附近建设大型坑口电厂，供煤方便，比电厂建在靠近城市及用电负荷中心，可以减轻铁路运输量。如装机5000兆瓦的火电厂，燃用发热量为6000大卡的优质煤，修建单线铁路即可满足需要；而燃用发热量为3000大卡的劣质煤，则需修建复线。由于输电线路容量和损耗并不受煤的质量的影响。因此，我国规定单纯供电的凝汽式电厂应尽量靠近煤矿，建设大容量坑口凝汽式电厂并尽量燃用劣质煤，采用超高压输电，以求得经济效益。

我国将在各地区的煤炭基地或其附近建设较多的千兆瓦以上的大电厂。建设单纯供电的大型坑口凝汽式电厂不仅较为经济，而且可以避免城市的环境污染。因此，我国靠近城市及负荷中心的中小型凝汽式电厂的建设已经减少，热效率高的既能供热又能供电的中小型热电厂则相对增加。

(2) 中小容量的热电厂 热发电机组是在汽轮机的中段，抽出已在汽轮机中作了一部分功的蒸汽。把这些蒸汽引到一个给水加热器中，使之加热供热力用户用水，或把蒸汽直接供给热力用户。这样，进入凝汽器冷却的蒸汽量就大大减少，降低循环水带走的热量消耗，从而提高热效率。目前，大型（200兆瓦及以上）凝汽式机组的热效率只为37~40%，中小型凝汽机组的热效率为25~30%，而热发电机组的热效率则较高，可达60~70%。

近年来，世界各国对于建设热电厂和集中供热问题越来越重视。这是因为热电厂效率高，近代工业用热量增大，城市中，尤其是在比较寒冷的地区，采暖和生活用热水所消耗的能源数量很大，若用分散的锅炉供热，不仅效率低，而且造成的环境污染问题也难以处理。现在欧洲一些国家热电厂的发电量占全国总发电量的比重是：法国为11.7%，西德为20.7%，而苏联的热电机组约占火电厂装机容量的35%。在我国的电力工业发展规划中，大型联合企业及城市热电厂的建设也是一个重要组成部分。我国建设的热电厂的容量多为数十至数百兆瓦的中小容量电厂。热发电机组的发电出力与热力用户的需热情况有关。当需热量多时，热发电机组必须相应多发电；需热量减少，发电出力也相应减少。热发电机组在电力系统中的运行方式不如凝汽机组灵活。

## 2. 水力发电厂

我国长江、黄河、红水河等著名江河，蕴藏着丰富的水力资源，总蕴藏量为6.8亿千瓦，可开发水电的容量为3.7亿千瓦，占世界第一位。到1980年统计，已开发水电容量为16870兆瓦，仅占可开发水电容量的4.6%。我国确定今后要大力建设水电：开发西北地区黄河上游水力资源，建设LYX等一系列千兆瓦以上大型水电厂，并用330千伏及以上电压远距离输电；开发华南地区红水河的丰富水力资源，建设TSQ等许多梯级大型水电厂，用500千伏电压输电；而西南地区的长江上、中游干支流（金沙江、雅砻江、大渡河等）的水力资源更为丰富，除建设GZB以及著名的SX水电厂外，更将建设一系列大型水电厂，并用500千伏及以上电压远距离输电。

水电厂的出力与水的流量和落差的乘积成正比。根据取水方式的不同，有以下几种类型：

(1) 坝式水电厂 在河流地位、地质条件合适的地方修建拦河坝，抬高上游水位，同时形成水库，与下游天然水位形成要求的落差以引水发电，如黄河上游LYX水电厂。

水电厂较多是坝式水电厂，有大、中、小不同的水库，可按库容大小进行日、年（季）或多年调节，以计划使用水能。

（2）径流式水电厂 对天然径流过程不做任何特殊的改变，没有水库，电厂只能按天然径流多少来发电，如长江中游GZB水电厂。

（3）抽水蓄能电厂 利用深夜或丰水期剩余电力，使水轮机以水泵方式工作，将下游的水抽到高水位蓄水池内，再在需要时用来发电，作负荷调峰之用。我国规划在缺少水电的华北、华东、东北地区兴建较多的200~1000兆瓦抽水蓄能电厂。

开发水电，可以得到廉价的电力，能量可在水库储存，机组起、停迅速，在系统中可灵活地担任基本负荷、腰间负荷和担任调峰、调频、调相和备用等任务。与火电配合，可保证电力系统安全稳定运行和灵活经济调度。

### 3.核（原子能）发电厂

自从1954年第一座核（原子能）发电厂在苏联投入运行以来，核电发展很快，它开辟了新的发电能源。特别是缺乏煤炭、石油和水力资源的国家和地区更需要建设核电厂。

核电厂与一般火电厂在基本原理上是一致的，不同的是在核电厂中用原子反应堆和蒸发器来代替一般火电厂中的锅炉设备。核电厂中的发电设备仍为普通的汽轮机和发电机。其电气主接线的设计与火电厂相似，图2-6（b）示苏联2×1000兆瓦核电厂接线。我国是第四个爆炸原子弹的国家，具备自己发展核电的基本条件，为了开辟新的能源，在煤炭或水力资源较少的沿海地区建设核电厂，我国第一座核电厂——浙江QS核电厂（自行研制的300兆瓦压水堆核电装置）已在建设中，并将在广东省建设2×900兆瓦核电厂。核电厂由于需要装设大量的公用辅助和防护设备，以及为了取得厂址需要进行大量工作，这些花费不随单机容量增大而增加，所以目前核电厂建设的规模均很大，从七十年代起，世界各国建设核电厂的单机容量多为500~800兆瓦，在八十年代投入和计划建设的核电厂，绝大多数单机容量在900兆瓦及以上。

由于我国煤炭和水力资源丰富，所以我国电力系统主要是由火电和水电联合组成，并且也有核电。其中千兆瓦以上大型火电厂、水电厂和核电厂联入330~500千伏超高压系统，这些电厂是今后我国电力系统的主力。

发电厂根据它在系统中的不同地位和作用，又分为以下几种类型。

#### 1.主力电厂、地区电厂和企业自备电厂

主力电厂的作用是担负系统的主要供电任务。现代电力系统中的主力电厂，一般都是千兆瓦以上的大型水力、火力和核电厂，它应直接接入超高压电网。

地区电厂和企业自备电厂，都是中、小型电厂。该类电厂应该是充分利用当地的水力和煤炭等动力资源，或结合供热来建设。热电厂要尽可能靠近用户，供热水距离不宜超过7~8公里，供蒸汽距离不宜超过2.5公里。地区电厂和企业自备电厂一般接入110~220千伏电网，也有接入330千伏电网的。

#### 2.基荷电厂、腰荷电厂和峰荷电厂

水力、火力和核电厂按照其各自的特点，分别承担基荷、腰荷和峰荷。承担基荷的发电厂有较高的设备利用率，年利用小时在5000小时以上；腰荷电厂的设备利用率为3000~