

电力行业高技能人才培训系列教材

# 变电站值班员

(适用于技师、高级技师)

河南电力技师学院 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

中国铁路上海局集团有限公司 培训教材

# 要甲站值班员

（铁路职业技能鉴定丛书）

中国铁道出版社



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY & AIR TRANSPORT PRESS

电力行业高技能人才培训系列教材

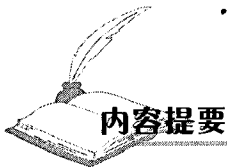
# 变电站值班员

(适用于技师、高级技师)

河南电力技师学院 编



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn



本书是为配合劳动和社会保障部与中国电力企业联合会共同启动的“电力高技能人才培训项目”而组织编写的。全书共包括4个部分、10个模块、40个课题，主要介绍了电力系统的基本概念，电力系统参数计算，电力系统潮流计算及故障分析，变电站设备的验收及电力系统调度，变电站电气主设备及站用电系统，GIS组合电器，变电站微机保护，变电站综合自动化，综合技能训练等内容。各部分重点模块后面有针对性地给出了思考题，以方便读者自测学习效果使用。

本书可作为变电站值班员高技能人才的培训教材，也可供从事变电运行的工作人员学习使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

变电站值班员/河南电力技师学院编. —北京: 中国电力出版社, 2007. 6

(电力行业高技能人才培训系列教材)

ISBN 978-7-5083-5521-4

I. 变... II. 河... III. 变电所-电工-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 063399 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2007年6月第一版 2007年6月北京第一次印刷  
787毫米×1092毫米 16开本 16.625印张 408千字  
印数 0001—3000册 定价 29.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 《电力行业高技能人才培养系列教材》

## 编 委 会

主 任： 苏国政

副主任： 赵顺通 仝全利

委 员：（按姓氏笔画排序）

邓启民 吴 兵 吴 荻 沈世峰 宋素琴

陈 岳 陈建国 徐文忠 郭海云





## 前 言



2003年底,劳动和社会保障部全面启动了国家高技能人才培训工程。为了加快电力行业高技能人才队伍建设,劳动和社会保障部与中国电力企业联合会共同启动了“电力高技能人才培训项目”,组织编写了“电力行业特有工种技师、高级技师培训规范”,以指导电力行业高技能人才培训工作的开展。

河南电力技师学院自1997年全面开展电力行业高技能人才培训工作,在电力行业高技能人才培训方面积累了丰富的经验。但在培训过程中深感电力高技能人才培训教材匮乏且针对性不强,无法满足《培训规范》的要求。为进一步规范高技能人才培训工作,提供适用的配套教材,河南电力技师学院组织编写了《电力行业高技能人才培训系列教材》。

在本次编写过程中,各编写组在编写委员会的指导下,积极组织研讨,充分听取电力行业专家有关编写的意见和建议;认真进行职业能力分析,以国家职业标准及相关规程、规范为依据;结合各工种职业技能鉴定规范及新知识、新技术、新设备、新工艺的内容,采用模块化结构进行编写。教材内容主要针对技师培训需求,兼顾高级工、高级技师培训,以适用为主、够用为度,突出了专业理论知识与实际操作内容相结合的职业培训特色。

本书主要包括电力系统故障分析、调度管理、变电站运行管理、电气设备验收、变电站微机保护、变电站综合自动化及变电站一次设备等。特别增加了综合技能训练知识部分,突出了技能培训。本书除作为变电站值班员高技能人才的培训教材外,也适合于从事变电运行的工作人员学习使用。

本书由苏海霞主编,第一部分模块一、二,第二部分模块一,第三部分模块一由付红艳编写,第二部分模块二,第三部分模块二由吴荻编写,第三部分模块三由苏海霞编写,第三部分模块四由梅琳编写,苏海霞、吴荻、付红艳共同编写本书第四部分。

本书由彭江审稿。

本套系列培训教材的编写得到了河南省电力公司及电力行业有关专家的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者提出批评指正。

编 者

2007年6月



# 目 录

前言

## 第一部分 基础知识

模块一 电力系统的基本概念	1
课题一 电力系统的组成	1
课题二 我国电力系统的电压等级	3
课题三 电力系统的特点和运行的基本要求	5
课题四 特高压电网及发展目标	8
模块二 电力系统参数计算	11
课题一 电力系统元件基本参数及等值电路	11
课题二 电力系统序参数及其等值电路	17
思考题	25

## 第二部分 相关知识

模块一 电力系统潮流计算及故障分析	26
课题一 简单电力系统潮流计算	26
课题二 电力系统三相短路分析	34
课题三 电力系统短路故障分析方法	41
课题四 电力系统的静态稳定性	53
课题五 电力系统的暂态稳定性	58
思考题	67
模块二 变电站设备的验收及电力系统调度	69
课题一 变电站设备的验收	69
课题二 电力系统调度	72

## 第三部分 专业知识

模块一 变电站电气主设备及站用电系统	77
课题一 电力变压器	77
课题二 高压断路器	82

课题三 变电站其他一次设备·····	100
课题四 变电站交直流系统·····	108
思考题·····	117
<b>模块二 GIS 组合电器</b> ·····	119
课题一 GIS 组合电器概述·····	119
课题二 GIS 组合电器的运行维护·····	121
<b>模块三 变电站微机继电保护</b> ·····	124
课题一 微机保护装置的硬件原理·····	124
课题二 中低压线路保护·····	131
课题三 输电线路零序电流方向保护·····	137
课题四 距离保护·····	138
课题五 线路纵联保护·····	154
课题六 变压器保护·····	176
课题七 微机型母线保护·····	188
思考题·····	195
<b>模块四 变电站综合自动化</b> ·····	197
课题一 概述·····	197
课题二 微机分布式综合自动化系统·····	199
课题三 变电站综合自动化系统中的运行操作·····	204
课题四 变电站综合自动化系统功能·····	206
课题五 变电站综合自动化系统通信网络·····	211
课题六 许继 820 系列微机中低压保护、测控及自动化装置·····	214
思考题·····	218

## 第四部分 综合技能训练

<b>模块一 变电站事故处理</b> ·····	219
课题一 变电站运行事故及异常处理原则·····	219
课题二 输电线路异常及故障分析处理·····	222
课题三 变压器异常及故障分析处理·····	233
课题四 母线设备异常及故障分析处理·····	237
课题五 小电流接地系统接地的查找及处理·····	240
课题六 站用交直流系统异常及故障分析处理·····	242
<b>模块二 变电站故障处理实例</b> ·····	247
课题一 变电站概况·····	247
课题二 变电站事故处理·····	249
<b>参考文献</b> ·····	260



## 第一部分

# 基础知识



## 模块一 电力系统的基本概念

### 课题一 电力系统的组成

#### 一、电力系统的形成和发展

1831年法拉第发现了电磁感应定律，促进了发电机和电动机的发明，从而开始了电能的生产和使用。当时所采用的是低压直流，主要供给照明用电，供电范围很小。

为了充分利用自然资源，降低电能生产成本，人们通常将发电厂建立在天然的动力资源附近，并采用相应措施将巨大的电能传输至使用的区域，因此产生了远距离高电压输电和配电的问题。1882年在法国首先实现了电压在1000V以上的直流输电，虽然输送功率只有1.5kW，但传输距离达到57km，成为包含发电、输电和用电部分的世界第一个完整的电力系统。

随着生产的发展，对传输功率和输电距离提出了更高的要求。为了提高输电效率，需要采用更高的输电电压，以减少线路流过的电流，从而降低线路电阻中的损耗。但是从用电设备来说，为了安全又不得不采用较低的电压，显然直流输电不能适应这种要求。因此，在1891年制成三相变压器和三相异步电动机的基础上，首次在德国实现了三相交流输电。它将容量230kVA的水轮发电机发出的95V电压经变压器升压至15200V，再将功率传送到178km以外的法兰克福，然后用2台变压器降压至112V，分别供给照明负荷和1台异步电动机，从而形成了现代电力系统的雏形。从此，三相交流制得到了迅速的发展，取代了以前的直流系统，并且逐步在同步发电机之间并列运行，在输、配电过程中采用多个电压等级。经过一百多年的发展，形成电压越来越高、容量和规模越来越大的区域性、地区性、全国性甚至跨国性的电力系统。

#### 二、电力系统的组成

电力系统是由电源、电网和用户组成的整体，电网是它的一个重要组成部分。电网是由线路和变电站组成的，是电源和用户之间的中间环节。

按照传统的定义，将电能生产、输送、分配和使用过程及其所涉及的全部元件的总体称为动力系统，它包括发电厂的全部动力部分（如锅炉、核反应堆、水库、汽轮机、水轮机等）、所有的发电机、输电和配电网、用户的受电器及由它们所带的负荷。动力系统中的

电气部分，即发电机、输电和配电网以及用户的受电器的总体称为电力系统，而将输电和配电网统称为电力网络或简称电网。不过现在习惯上已不再使用动力系统这个名称，电力系统与电网的含义也基本相通，有时电网所指的范围比电力系统还要大一些。

电网按其功能分为输电网和配电网两部分。输电网是由输送大型发电厂巨大电能的出线、输电线以及连接这些线路的变电站组成，是电力系统的主要网络，也是电力系统中的最高级电网，起到电力系统骨架的作用，又可称为网架。配电网是由配电线和配电变电站组成，它的作用是分配电能到各配电变电站然后再向用户供电。也有一部分电力不经各级配电变电站，而直接分配到大用户。

图 1-1-1 给出了一个简单电力系统的示意图，用以说明电力系统各组成部分之间的相互关系。

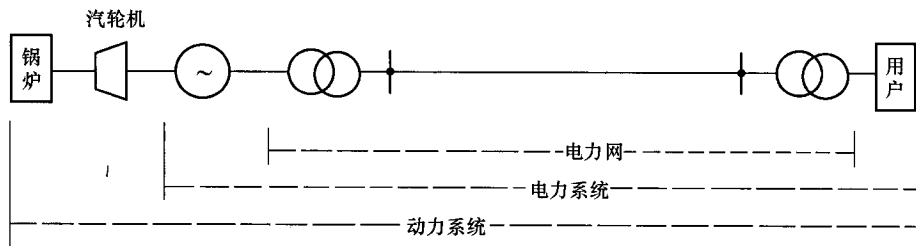


图 1-1-1 简单电力系统示意图

电力系统中的各级电网具有横向和纵向的联系。二次配电网担负分配某一地区的电力以及向该地区的用户供电的任务，它与邻近地区没有直接的横向联系，而是通过一次配电网发生横向联系。同样，各一次配电网之间不发生直接的横向联系，而是通过输电网发生横向联系。纵向联系是通过输电网逐级降压而形成。输电网和接入输电网的大型发电厂组成输电系统，从纵向联系看，相当于电力系统的主要骨架。

在目前的电力系统中，发电厂主要有以煤、石油和天然气作为燃料的火力发电厂、利用水能发电的水力发电厂和利用核能发电的原子能发电厂。此外，利用风能、太阳能、地下热能和潮汐能发电的发电厂也正在不断发展之中，有的已经具有一定的规模。

输电网络的作用是将各个发电厂通过较高电压（如 220、330、500kV 甚至 750kV）的线路相互连接，使所有同步发电机之间并列运行，并同时将发电厂发出的电能送到各大负荷中心。由于每条线路需要输送功率的大小以及传输距离不同，在同一个输电网络中可能需要同时采用几种不同的电压等级，这就需要在输电网络中采用大量的变压器，将发电机电压通过升压变压器进行升压，并通过变压器连接不同电压等级的线路。在发电厂远离负荷中心且需要传输大量功率的情况下，采用交流输电将会出现系统稳定性等技术问题，此时高压直流输电将比采用交流输电更为经济，故目前±500kV 及以上的高压直流输电已经成为大功率远距离输电的主要手段之一。

电能送到负荷中心以后，需要经过配电网进行电能的分配，用较低电压（如 110、35、10kV 或 6kV 以及 380/220V）的线路供给各个集中的大工厂和分散的中、小工厂以及千家万户的生活用电。在实际配电网中，110kV 和 35kV 的线路接线非常复杂，10kV（6kV）线路的接线更加复杂，380/220V 的线路则像蜘蛛网一般连接到城市和农村的每一户居民住宅和每个商店。

电力系统的用户包括工业、农业、交通运输等国民经济各个部门以及日常生活用电，而电器的种类则有灯泡、电动机、电热器、整流器和电弧炉等，它们将电能分别转换为光能、机械能、热能和化学能等。

在电力系统中：发电机、变压器、线路和受电器等直接参与生产、输送、分配和使用电能的电力设备常称为主设备或称一次设备，由它们组成的系统又称为一次系统；各种测量、保护和控制装置及它们所组成的系统，习惯上称为二次设备和二次系统。

### 三、电力系统的基本参量和接线图

衡量一个电力系统的规模和大小，通常用总装机容量、年发电量、最大负荷和最高电压等级等基本参量来描述。

电力系统的总装机容量指系统中实际安装的发电机组额定有功功率的总和，其单位为 kW（千瓦）、MW（兆瓦）或 GW（吉瓦）。

电力系统的年发电量指系统中所有发电机组全年实际发出电能的总和，其单位为 MWh（兆瓦·时）、GWh（吉瓦·时）或 TWh（太瓦·时）。

最大负荷指电力系统总有功负荷在 1 年内的最大值，以 kW（千瓦）、MW（兆瓦）或 GW（吉瓦）计。年发电量与最大负荷的比常称为年最大负荷利用小时数。

最高电压等级指系统中所采用的最高额定电压，以 kV（千伏）计。

为了表示电力系统中各个元件之间的相互连接关系，通常采用两类接线图（又称接线图）：一类是地理接线图；另一类是电气接线图。地理接线图主要表示系统中各个发电厂和变电站的真实地理位置、电力线路的路径以及它们之间的相互连接关系。从地理接线图可以对电力系统的地理分布情况有一个比较清晰的了解。电气接线图主要用单线图来显示系统中各个发电机、变压器、母线、线路等元件（有的还包括断路器）之间的电气连接关系而不反映它们的地理位置。由电气接线图可以获得对系统更详细的了解。图 1-1-1 中表示发电机、变压器、母线和线路相互连接的部分就是一种电气接线图。

## 课题二 我国电力系统的电压等级

各种用电设备以及发电机、变压器都是按一定的标准电压设计和制造的，当在标准电压下运行时，它们的技术、经济性能指标都将发挥得最好，此标准电压就称为额定电压。要满足用电设备对供电电压的要求，电网应有自己的额定电压，并且规定电网的额定电压和用电设备的额定电压相一致。

图 1-1-1 中，线路中有功率通过时，将有电压降存在，因而首、末端电压不等，接在线路始末端的用电设备所承受的电压也不相同，为了使用电设备实际承受的电压尽可能接近它们的额定电压值，应取线路的平均电压等于用电设备的额定电压。

三相交流输电线路传输的有功功率为

$$P = \sqrt{3} UI \cos\varphi$$

当传输功率一定时，所采用的输电电压越高，则线路流过的电流将越小，因而所需要的导线截面越小，而且线路电阻中的功率损耗和线路上的电压降落也越小。但是，电压越高对绝缘的要求也越高，使得杆塔、变压器和断路器所需要的投资也越大。因此，对应于一定的传输功率和输送距离，将有一个最佳的输电电压。然而，在实际电力系统中有大量的输电和

配电线路，它们输送功率的大小和距离各不相同，不可能、也没有必要对它们分别采用不同的最佳电压。特别是从设备制造的经济性和运行维护的方便性来说，需要对设备进行规格化和系列化，不宜有过多的额定电压等级。额定电压过多使设备生产复杂化，增大设备成本，运行部门也因电压层次太多管理困难；过少则使电力部门合理地选择电压等级有一定困难。为此，世界各国都规定一定数量的标准电压，这些标准电压通常称为电压等级，或称为网络额定电压或者用电设备额定电压。综合考虑各种因素的影响，对于电力系统，我国曾规定1000V以上交流电压的额定电压标准为3、6、10、35、(60)、110、(154)、220、330、500、750kV见表1-1-1，其中60kV和154kV已不再发展。

表 1-1-1 我国规定的电压等级

用电设备额定线电压 (kV)	发电机额定电压 (kV)	变压器额定电压 (kV)	
		一次侧绕组	二次侧绕组
3	3.15	3.0, 3.15	3.15, 3.3
6	6.3	6.0, 6.3	6.3, 6.6
10	10.5	10.0, 10.5	10.5, 11.0
	15.75	15.75	
	23.0	23.0	
35		35	38.5
110		110	121
220		220	242
330		330	345, 363
500		500	525, 550
750		750	788, 825

这里需要特别强调指出以下两点：

(1) 所有的电压等级（网络额定电压、用电设备额定电压）都是指线电压而不是相电压。

(2) 网络额定电压或用电设备额定电压并不是发电机和变压器的额定电压。

各种电气设备都是以它自己的额定电压来进行设计和制造的，当设备正好在其额定电压下运行时，可以获得比较好的性能和效率，并保证预期的寿命。但是在实际电力系统运行过程中，由于线路和变压器流过电流后将产生电压降落，使系统中各点的实际运行电压都不相同，一些地方电压较高而另一些地方电压较低。为了使设备的额定电压尽量接近其实际运行电压，应该对经常运行于电压较高处的设备采用稍高一些的额定电压，而对经常运行于电压较低处的设备采用稍低一些的额定电压，这就是发电机和变压器所采用的额定电压与网络额定电压不同的原因。具体来说，用电设备一般希望运行电压与其额定电压之差不要超过±5%，这就要求线路上的电压降落最好不要超过10%，从而可以让线路始端电压约比网络额定电压高出5%，而线路末端电压不致低于网络额定电压的95%。如图1-1-1所示，发电机经过线路供给负荷，考虑到线路上的电压降落约为10%，因此发电机的常期运行电压将比网络额定电压高出5%左右，这就是为什么将发电机的额定电压取得比网络额定电压高5%的原因。

对于变压器来说，一次侧的额定电压有两种可供选用：一种是与用电设备的额定电压相

等；另一种是与发电机的额定电压相等。其原因是因为变压器的一次侧绕组从发电机或网络中接受电能，它的处境与用电设备相当，因此其额定电压应与用电设备的额定电压相同；考虑到有些变压器的一次侧绕组可能直接与发电机相连接或者比较靠近发电机，在这种情况下一次侧的额定电压应与发电机的额定电压相同。由于发电机最高的额定电压在 35kV 以下，因此，当绕组电压在 35kV 及以上时，一次侧的额定电压只有一种。变压器二次侧的额定电压也有两种：①变压器的二次侧绕组将向负荷供电，它的处境与发电机相当，因此，二次侧的额定电压至少应比网络额定电压高出 5%；②考虑到变压器的额定电压是指其空载时的电压，带负荷后绕组本身存在电压降落，为了补偿这一电压降落，使其输出电压仍然能够高出网络额定电压，一些变压器的二次侧额定电压比网络额定电压高出 10%。

用电设备一般允许其实际工作电压偏离额定电压 $\pm 5\%$ ，而电力线路从首端至末端电压损耗允许为 10%，故通常让线路首端的电压比额定电压高 5%，而让末端电压比额定电压低 5%。这样无论用电设备接在线路的哪一点，承受的电压都不超过额定电压值的 $\pm 5\%$ 。

发电机总是接在电力网的首端，所以它的额定电压应比所接电网的额定电压高 5%。

变压器具有发电机和用电设备的两重性。如一次侧由电网接受电能，相当于用电设备，二次侧供出电能，相当于发电机。因此规定：变压器一次侧额定电压等于电网的额定电压。但是注意，与发电机直接连接的变压器，其一次侧额定电压应等于发电机额定电压。变压器二次侧的额定电压定义为空载时的电压。变压器在带额定负荷时内部阻抗上约有 5% 的电压损耗，为使二次侧的电压高于额定电压 5%，规定变压器二次侧的额定电压比用电设备额定电压高 10%。如果变压器阻抗较小，内部电压损耗也比较小，规定其二次侧额定电压可比用电设备额定电压高 5%。

### 课题三 电力系统的特点和运行的基本要求

#### 一、电能生产、输送、分配和使用的特点

电能的生产、输送、分配和使用有着极明显的特殊性，主要表现在以下几点：

(一) 电能与国民经济各个部门、国防和日常生活之间的关系都很密切

由于电能与其他能量之间的转换十分方便，而且容易进行大量生产、远距离输送和控制，因此使用非常广泛。如果电能供应不足，将影响国民经济的各个部门、国防和日常生活。另外，如果能降低电能的价格，将有利于降低其他商品的成本。

(二) 电能不能大量储存

电能的生产、输送、分配和使用实际上是在同一时刻进行的。也就是说，发电设备在任何时刻所生产的总电能严格等于该时刻用电设备取用的电能和输、配电过程中电能损耗之总和。由于存在这一特点，在系统发生某些故障后，由于没有储存手段，可能会造成局部停电，甚至造成全系统瓦解。如 2003 年在北美和欧洲的几个国家相继发生的大停电事故。

(三) 电力系统中的暂态过程十分迅速

在电力系统中，由于雷击或开关操作引起的过电压，其暂态过程只有微秒到毫秒数量级；从发生故障到系统失去稳定性通常也只有几秒的时间；因事故而使系统全面瓦解的过程一般也只以分钟计。为了使设备不致因暂态过程的发生而招致损坏，特别是为了防止电力系

统失去稳定或发生崩溃，必须在系统中采用相应的快速保护装置和各种自动控制装置。

#### （四）对电能质量的要求比较严格

电能质量主要指频率、供电电压偏移和电压波形。我国电力系统的额定频率规定为50Hz。当实际频率与额定频率之间的偏差过大，或者实际供电电压与额定电压之间有较大的偏差时，都可能导致减产或产生废品、损坏设备，或者使系统发生频率或电压崩溃。电压波形的要求主要指波形中谐波含量的限制，如果因谐波含量过高而使波形严重畸变，同样会影响设备的正常运行，特别是对那些精密的电子设备和仪器。另外，谐波还可能在电力系统中产生局部谐振，以及对通信造成严重的干扰等。

此外，电压闪变、电压凹陷和凸起、电压间断等现象也属于电能质量问题。

### 二、对电力系统运行的基本要求

根据电能商品的特殊性，对电力系统运行的基本要求可以概括为安全、优质和经济。由于这三个基本要求之间存在一定的矛盾，因此，处理这三者之间关系的一般原则是：在保证安全和电能质量的前提下，使运行最为经济。

要满足运行的基本要求，在电力系统规划和设计时必须加以考虑。另外，安全性要求的定性和定量指标也是一个十分重要而且尚未完满解决的问题。

下面对三个基本要求作简要的介绍。

#### （一）保证系统运行的安全可靠

电力系统运行的安全可靠主要指保证对用户的持续供电，并保证系统本身设备的安全。为了提高电力系统的安全可靠性，首先要求系统必须有足够的电源容量（包括具有一定的备用容量）和合理的布局；而且电网的结构也必须合理，使得在某一（或某些）线路或变压器因故障或检修而退出运行后仍然能对用户继续供电。为此，在电网容量不是足够大的输电系统中大都采用环形网络，即将各个发电厂和各个向负荷供电的变电站之间用线路连接成单个或多个复杂的环，使得当其中的某一线路退出运行时，各变电站仍能从其他线路获得电能；或者采用双回线路供电，使当其中一回线路退出运行时，另一回线路仍能继续供电。在电网容量大的输电系统及配电网中，通常采用闭环结构开环运行的方式，即网络本身是环形的，但在正常运行情况下断开其中的一些线路，使其呈辐射形（即树枝形），而在发生故障后则通过开关操作将失去电源的负荷转移到其他线路上去。

对电力系统安全可靠最大的威胁是系统失去稳定，对此必须在系统不同运行方式下经常进行稳定性分析和计算，并在必要时采取提高稳定性的措施。

虽然保证对用户的持续供电非常重要，但并不等于说所有的负荷都不能停电。一般，按对供电可靠性的要求将负荷分为三类：

第一类负荷：这类用户停电将造成人身事故、设备损坏、产品报废、生产秩序长期不能恢复，市政生活混乱等。

第二类负荷：该类负荷供电中断将造成大量减产，使人民生活受到影响。

第三类负荷：不属于第一、二类的负荷，如工厂的附属车间，小城镇及农村公用负荷等。

对第一类负荷要保证不间断供电；对第二类负荷，如有可能，也要保证不间断供电。

#### （二）保证电能质量

用电设备是按额定电压设计的，实际供电电压过高或过低都会使用电设备的运行技术指

标、经济指标下降,甚至不能正常工作。一般规定,电压偏移不应超过额定电压值的 $\pm 5\%$ 。频率的变化同样影响用电设备的正常工作。以电动机为例,频率降低将引起转速下降,频率升高则转速上升,对转速有严格要求的部门,如纺织厂,其产品的质量可能因此而降低。电力系统规定,频率偏移应不超过 $\pm (0.2\sim 0.5)$  Hz。

随着自动化及电子技术应用的发展,接入系统的整流设备增多,引起谐波比重增大,如不采取严格的滤波措施,将对用户产生不利影响。因此检测和控制谐波开始成为维持电能质量的重要一环。

### (三) 提高电力系统运行的经济性

节约能源是当前各国普遍关注的一个大问题。电能生产的规模很大,消耗大量一次能源,在电能生产过程中应力求节约,减少能源消耗,最大限度地降低电能成本。为了达到运行经济的目的,首先要采用高效、节能的发电设备,提高发电运行的经济性,降低发电过程中的能源消耗;要合理发展电力网,降低电能输送、分配过程中的损耗;要大力开展电力系统中的经济运行工作,合理分配电厂之间的负荷,让经济性能好的发电厂多发电,差的少发电;充分利用水电资源,注意水、火电厂之间的合理调配,力求以更少的水耗获得更多的电能。

除此而外,环境保护问题为人们日益关注。在火力发电厂中产生的各种污染物质,包括二氧化硫、氧化氮、飞灰等排放量的限制,也将成为对电力系统运行的要求。

### 三、提高供电可靠性的措施

电力系统的供电可靠性,与发、供电设备和线路的可靠性、电力系统结构和接线(包括发电厂和变电站的电气主接线)、备用容量、运行方式(和稳定储备有关)以及防止事故连锁发展的能力有关。因此,在电力系统规划设计和运行阶段,都应注意供电可靠性的提高,其措施有如下几项。

#### 1. 提高发、供电设备的可靠性

采用高度可靠的发、供电设备,做好发、供电设备的维修工作,防止各种可能的误操作。

#### 2. 提高送电线路的可靠性

电力系统中的重要线路一般按双回路建设。双回路与导线截面加倍的单回路送电线路相比,可靠性要高得多,对长线路来说,双回路输送能力大,稳定储备高,无功损耗也小。国外只有在发展初期对可靠性要求不高,而在将来对同一受端还要从另外电源建设一回线路时,才允许建设单回路线。在走廊困难地区更要建设双回路线,如城市和工业地区的线路、发电厂和变电站的进出线。

#### 3. 选择合理的电力系统结构和接线

电力系统结构和接线以及发电厂和变电站的主接线,对供电可靠性的影响很大。在设计阶段,就应保证有高度可靠性。对重要用户采取双电源供电,例如由一个电厂用双回路或两条单回路线向一个用户供电,或分别由两个电厂同时向一个用户供电。由于用户用电量增大,对供电可靠性的要求也随之提高,因此有些国家按用户负荷的大小来规定供电可靠性的要求。例如俄罗斯规定负荷超过1万kVA的城市用户为第一类用户,由两个独立电源供电。英国规定在电网中任何设备或线路切除或损坏时,都应对负荷超过1.5万kVA的用户保证连续供电。



#### 4. 保持适当的备用容量

为了使电力系统在发电设备定期检修及机组发生事故时,均不致对用户停电,并能满足国民经济发展的需要,在系统规划设计时,应使电力系统留有15%~20%的装机备用容量,即装机容量比最高负荷大15%~20%。

#### 5. 制定合理的运行方式

电力系统运行方式必须满足系统稳定和可靠性的要求。在制定运行方式时,必须考虑送电线路本身的输电能力,还要考虑线路或设备突然切除(单独切除或切除与其他故障同时发生)时所造成的输电网络及其他线路和设备不能接受的运行条件。

#### 6. 采用自动装置

例如对高压送电线路采用自动重合闸装置;对备用水轮机组装设低频率自动启动装置,当运行机组发生故障,系统出力不足,频率下降时,使备用水轮机组自动启动,投入运行;还应在变电站中装设低频率自动减负荷装置,当系统发生事故,频率降低到一定数值(如48、41.5、47、46.5、46Hz)时,自动断开某些配电线路的断路器,切除部分不重要负荷,使系统出力与用电负荷平衡,频率迅速恢复正常,以便保证对重要用户的连续供电。

提高供电可靠性的自动装置,除了各种自动重合闸装置、低频率自动启动装置和低频率自动减负荷装置以外,还有自动励磁调节装置、自动切机装置、自动解列装置、原动机事故调节装置、发电机从调相转到发有功状态的装置、串联补偿电容器的自动控制装置、联络线交换功率自动调节和限制装置、受端系统自动切同步调相机的装置以及受端系统按功率或电压接近稳定极限时的自动切负荷装置等。

#### 7. 采用快速继电保护装置

近年来,国内继电保护装置与早期的继电保护装置相比,在多个方面取得了突破性进展。工频变化量原理等新原理和新方法的应用,使继电保护动作的可靠性和抗干扰性得到了极大提高,并满足或超过了电力工业典型应用的电磁兼容要求。继电保护装置的结构也更加完善和合理,国内继电保护主要制造厂家的工艺结构水平基本上达到了国外厂家的制造水平。

先进继电保护装置的应用,使电力系统在发生故障时能够快速、可靠、准确地切除故障设备(故障点),最大限度地保证电网的安全运行,从而提高供电可靠性。

#### 8. 采用以计算机为中心的自动安全监视和控制系统(变电站综合自动化)

伴随着计算机和数字信号处理器(DSP)的运算和处理能力的日益强大,计算机网络及光纤等技术的快速发展,变电站综合自动化技术已开始电力系统得到广泛应用。

变电站综合自动化充分利用了各种综合信息,并且可以实现信息远传和信息共享,帮助变电站运行和电网调度人员识别不同运行工况,提供合理操作判据,有效地提高了判断和操作的准确性,保证了电网安全运行和供电可靠性。

## 课题四 特高压电网及发展目标

### 一、特高压电网

电能从生产到消费一般要经过发电、输电、配电和用电四个环节,而远距离、大容量输电的需求带动了高压输电技术的研究和发展。输电通常指的是将发电厂或发电基地(包括若

干电厂)发出的电能输送到消费电能的地区,又称负荷中心,或者将一个电网的电能输送到另一个电网,实现电网互联,构成互联电网。

输电电压一般分高压、超高压和特高压。高压电网指 110kV 和 220kV 电网,超高压电网指 330、500kV 和 750kV 电网;特高压电网指以 1000kV 输电网为骨干网架,由超高压输电网和高压输电网以及特高压直流输电、高压直流输电和配电网构成的分层、分区、结构清晰的现代化大电网。电能的广泛运用和需求的不断增加,推动电力技术日益向高电压、大机组、大电网发展。

我国国家电网特高压骨干网架将由 1000kV 级交流输电网和±800kV 级直流系统构成。

## 二、特高压交流输电的主要技术特点

(1) 特高压交流输电中间可以落点,具有网络功能,可以根据电源分布、负荷布点、输送电能、电能交换等实际需要构成国家特高压骨干网架。特高压交流电网的突出优点是:输电能力大、覆盖范围广、网损小、输电走廊明显减少,能灵活适合电力市场运营的要求。

(2) 随着电力系统互联电压等级的提高和装机容量增加,等值转动惯量加大,电网同步功率系数将逐步加强,交流同步电网越来越坚强,同步能力也越来越大,电网的功角稳定性得以极大提高。

(3) 特高压交流线路产生的充电无功功率约为 500kV 线路的 5 倍,为了抑制工频过电压,线路必须装设并联电抗器。线路输送功率变化时,送、受端无功功率将发生很大变化。如果受端电网的无功功率分层分区平衡不合适,特别是动态无功功率备用容量不足,在严重工况和严重故障条件下,电压稳定可能成为主要的稳定问题。

(4) 引入 1000kV 特高压输电,可为直流多馈入的受端电网提供坚强的电压和无功支撑,有利于从根本上解决 500kV 短路电流超标和输电能力低的问题。

## 三、特高压直流输电的主要技术特点

(1) 特高压直流输电系统中间不落点,可点对点、大功率、远距离直接将电能送往负荷中心。在送受关系明确的情况下,采用特高压直流输电,可实现交直流并联输电或非同步联网,电网结构比较松散、清晰。

(2) 特高压直流输电可以减少或避免大量过网潮流,按照送受两端运行方式变化而改变潮流。特高压直流输电系统的潮流方向和大小均可以方便地进行控制。

(3) 特高压直流输电的电压高、输送容量大、线路走廊窄,适合大功率、远距离输电。选用 4000A 换流阀,±800kV 特高压直流输电能力约为 6400MW;±600kV 超高压直流输电能力为 3500~4800MW;如果取低值,前者输电能力约为后者的 2 倍。这一点在电力流大、输电走廊拥挤的情况是十分重要的。

(4) 在交直流并联输电的情况下,利用直流有功功率调制(如双侧频率调制),可以有效抑制与其并列的交流线路的功率振荡(包括区域性低频振荡),明显提高交流系统的暂态、动态稳定性能。

(5) 大功率直流输电,当发生直流系统闭锁时,两端交流系统将承受大的功率冲击。

## 四、发展特高压输电的目标

(1) 大容量、远距离从发电中心向负荷中心输送电能。

(2) 超高压电网之间的强互联可形成坚强的互联电网,能够更有效地利用整个电网内各种可以利用的发电资源,提高互联的各个电网的可靠性和稳定性。