

建筑电气专业系列教材

城市供电技术

靖大为 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

城市供电技术

主编 靖大为

主审 曹发德



图书在版编目 (CIP) 数据

城市供电技术/靖大为主编. —天津:天津大学出版社,
2009.1
ISBN 978-7-5618-2837-3

I .城… II .靖… III .城市 — 供电 IV .TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 168498 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
网 址 www.tjup.com
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 20
字 数 550 千
版 次 2009 年 1 月第 1 版
印 次 2009 年 1 月第 1 次
定 价 38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

建筑电气专业系列教材 编写委员会

主 任:吴爱国

副主任:孟庆龙 王东林 黄民德

委 员:王 萍 王绍红 王东林 温海水 迟长春

苏 刚 龚 威 沈迺文 孟庆龙 黄民德

靖大为 郭福雁 季 中 王 赢 张志刚

杨国庆 崔同泰 曾永捷 孙绍国

秘 书:胡林芳 陈建辉

前 言

本书为普通高等院校电气专业供电技术课程的专用教材。根据目前国内高校中相关课程的划分原则,本教材以供电系统设计为教学核心内容,主要涉及 10 ~ 35 kV 电压等级供电系统设计与运行,而将 0.4 kV 低压配电系统的主要内容留给电气控制等课程。因此,从教材内容上强化了电力系统的概念,淡化了变电站内的配电、照明等方面内容。

本教材将供电系统定位于电力系统包含的发电、输电、供电、配电及用电体系中的城市供电范畴,故有别于传统意义上的供配电系统。这里不仅限于企事业单位内部电网的系统设计,而更多地介绍了公共电网的特征,并有选择地介绍了系统运行的基本过程,力图使学生更广泛地掌握专用供电系统与公共供电系统的设计技能。针对目前国内城市及其供电系统的发展趋势,本教材淡化了工厂供电的内容,强调了居民住宅供电与公共建筑供电的概念,突出了封闭式变电站结构、电缆化供电线路及 10 kV 网络控制的特征。

鉴于目前供电系统中的保护与控制装置仍然部分使用继电器电路,以及便于基础理论的学习,本教材的保护与控制部分仍然以介绍继电器电路为主。

本书第 1、4、6、7、9、10 章由靖大为编写,第 2 章由王瀛编写,第 3 章由张树臣编写,第 5 章由胡林芳编写,第 8 章由孙红跃编写。全书由靖大为统稿,由曹发德主审。

本教材编写过程中得到了天津电力公司及天津华汇设计公司张丽娟、王耀宗、肖开生、孙晓宁、宗烨琛、刘艳霞、许长春、孙滢、姚来庚等诸位同志的大力支持,在此一并表示感谢。

由于水平有限,书中的错漏之处敬请读者指正,不胜感谢。

作者

2008 年 6 月

目 录

第1章 供电系统的概念	(1)
1.1 电力系统与供电系统	(1)
1.2 电力系统的额定电压	(8)
1.3 电能供应的质量指标	(10)
1.4 电力负荷等级分类	(13)
1.5 系统设计与系统运行	(14)
1.6 系统分析的基础知识	(15)
思考题与练习题	(26)
第2章 系统的负荷分析	(29)
2.1 电力负荷曲线	(29)
2.2 用电设备功率	(33)
2.3 供电负荷计算	(34)
2.4 功率和电能损耗	(42)
2.5 逐级负荷计算	(44)
2.6 尖峰电流计算	(46)
2.7 无功功率补偿	(47)
2.8 电抗器与负荷	(56)
思考题与练习题	(56)
第3章 系统的短路分析	(58)
3.1 短路及短路电流	(58)
3.2 三相对称短路	(61)
3.3 短路电流分析	(67)
3.4 非对称性短路	(76)
3.5 短路电流效应	(82)
思考题与练习题	(87)
第4章 变电站一次设备	(89)
4.1 设备选择依据	(89)
4.2 供电用变压器	(91)
4.3 高压开关设备	(99)
4.4 互感器	(110)
4.5 母线与绝缘子	(119)
4.6 电抗器	(124)
4.7 低压开关设备	(127)
思考题与练习题	(132)

第5章 变电站及主接线	(134)
5.1 供电电压的选择	(134)
5.2 变配电站的设置	(135)
5.3 变配电站主接线	(137)
5.4 互感器配置	(150)
5.5 高低压开关柜	(151)
5.6 变电站结构与布置	(156)
5.7 箱式变电站	(161)
思考题与练习题	(162)
第6章 供电线路与线缆	(164)
6.1 线路走廊及其环境	(164)
6.2 供配电的架空线路	(165)
6.3 供配电的电缆线路	(169)
6.4 电力线缆截面选择	(171)
6.5 线缆的过负荷能力	(179)
思考题与练习题	(179)
第7章 供电系统的继电保护	(181)
7.1 继电保护基础	(181)
7.2 保护用继电器	(183)
7.3 保护接线方式	(188)
7.4 供电线路保护	(189)
7.5 变压器的保护	(208)
7.6 母线差动保护	(215)
7.7 电容器的保护	(216)
7.8 低压系统保护	(217)
7.9 微机保护概念	(218)
思考题与练习题	(218)
第8章 变电站二次回路	(221)
8.1 二次回路的概念	(221)
8.2 二次回路的电源	(221)
8.3 断路器控制回路	(225)
8.4 自动重合闸装置	(228)
8.5 备用电源的自投	(232)
8.6 计量与绝缘监视	(238)
8.7 中央信号及其回路	(241)
8.8 二次回路的接线	(245)
8.9 变电站的自动化	(248)
思考题与练习题	(249)
第9章 供电系统及网络	(251)

9.1 系统结构与备用容量	(251)
9.2 架空线路的就地控制	(255)
9.3 环网站及其远程控制	(264)
9.4 系统中性点接地	(265)
9.5 供电系统的发展改造	(265)
9.6 开环网络的潮流计算	(267)
思考题与练习题	(270)
第 10 章 供电系统的运行	(272)
10.1 系统设备编号	(272)
10.2 系统故障处理	(274)
10.3 设备检修操作	(276)
10.4 供电质量控制	(277)
10.5 系统经济运行	(282)
思考题与练习题	(285)
附表 A 系统设计常用数据	(287)
附表 B 供电设备常用数据	(291)
参考文献	(309)

第 1 章 供电系统的概念

内容提要：

作为国民经济的重要领域,电力工业的发展与国民经济的增长及人民生活水平的提高存在着紧密的联系。本章讨论了发电系统、输电系统、供电系统、配电系统及用电设备等电力系统的各主要环节及其整体结构的基本概念与基本内容,划分了供电系统的讨论范围,分析了供电系统设计与运行的目标、内涵及相关设备,介绍了电力系统的电压等级、电力供应的质量指标及电力负荷的等级分类。作为后续章节的预备知识,本章还给出了非对称三相电路的对称分量分析方法、电力电缆及变压器的电气参数以及系统中性点的各类运行方式。

1.1 电力系统与供电系统

作为洁净的二次能源,电能具有易于输送、分配、转换、控制及管理其特征,因而广泛地应用于工农业生产及城乡人民生活的各个领域。以电力的生产、输送与供配为核心的电力工业成为国民经济的重要支柱,并与其他行业存在密切的联系。从表 1-1 给出的 2005 年全国总用电量及国民经济各领域的用电量比例可知,国内的工业与生活用电量占据了全国总用电量的 85% 以上。

表 1-1 2005 年全国用电总量及其构成

	全国总量	农牧渔业	工业	建筑业	储运业	商业	其他	生活
电量(亿 kW · h)	24 940	876. 4	18 481. 7	233. 9	430. 4	752. 3	1 340. 9	2 824. 8
比例(%)	100	3. 51	74. 10	0. 94	1. 73	3. 02	5. 38	11. 33

图 1-1 曲线说明了全国总用电量与国内生产总值同步增长。而图 1-2 曲线说明,随着人民生活水平的逐渐提高与城市集中供热的普及,人均生活耗煤量在逐年下降,而人均生活用电量在加速增长。

附表 A-1 的数据表明,我国上世纪末的发电量年平均增速为 8. 1%,而本世纪初的发电量年平均增速上升为 13. 1%。在我国发电量构成中,火力发电量的比例长期以来始终占总发电量的约 80%,且有增长趋势。受水电资源的限制及水电开发周期较长的影响,我国水电在全国发电总量中所占比重有所下降。与此同时,以核电为代表的新能源在全国发电总量中将逐步占据较高比重。

附表 A-2 给出了全国历年发电机装机容量。从附表 A-1 及附表 A-2 数据可以看出,由于丰水期与枯水期等季节性水文条件的影响,2006 年水电装机容量占总装机容量的 20. 7%,而水力发电量占总发电量的 14. 7%。在三种类型机组中,水电机组的利用率较低,火电机组的利用率较高,而核电机组的利用率最高。

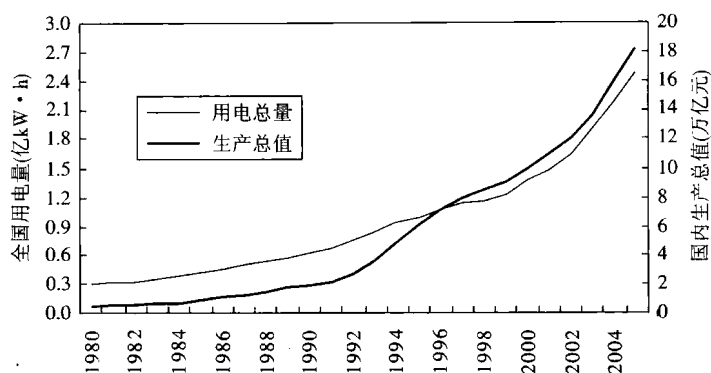


图 1-1 国内生产总值与总用电量的变化过程

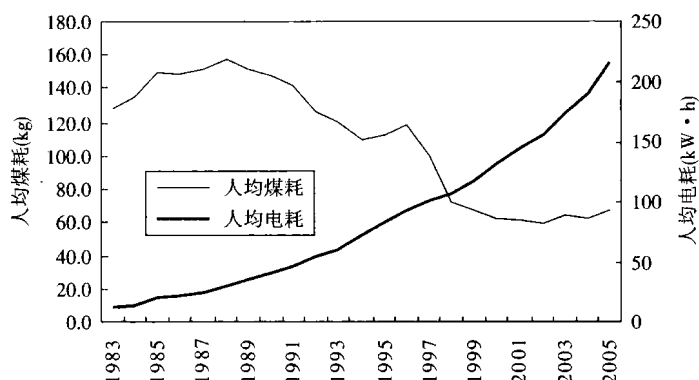


图 1-2 国内人均生活能源消耗量变化过程

1.1.1 电力系统

电力系统是由发电、输电、供电、配电及用电等分系统构成的一个完整体系,形成了电能从生产到使用的瞬时平衡。图 1-3 给出了电力系统的示意性结构,图 1-4 示出了电力系统中各分系统划分及其电压水平。

1. 发电电源

发电电源系统由火电(燃煤、燃油、燃气)、水电(坝后、引水、混合、抽水蓄能)、核电等主要形式电站以及风力、潮汐与太阳能等辅助形式电站构成。发电是将化学能、动能、核能、风能、太阳能等一次能源转换为二次电能的过程。由于我国可开发的可再生水力资源量居世界第一位,煤炭储量居世界第三位,而石油及天然气储量较少,我国电源的发展政策是优先发展水电、大力发展火电、适度发展核电。

火力发电过程是用燃料在锅炉中燃烧产生的热量将锅炉给水加热成高温高压蒸汽,由蒸汽推动汽轮机旋转,再由汽轮机带动同轴的发电机旋转,从而发出电能。由于我国具有丰富的煤炭资源,火电站主要是燃煤电站。因燃煤机组具有一定的输出功率调节能力,燃煤电站在系统中的主要作用是担负系统的“腰荷”。少数燃烧石油或天然气的电站主要是为了降低中心城市的大气污染,或是为了满足负荷中心的调峰要求。

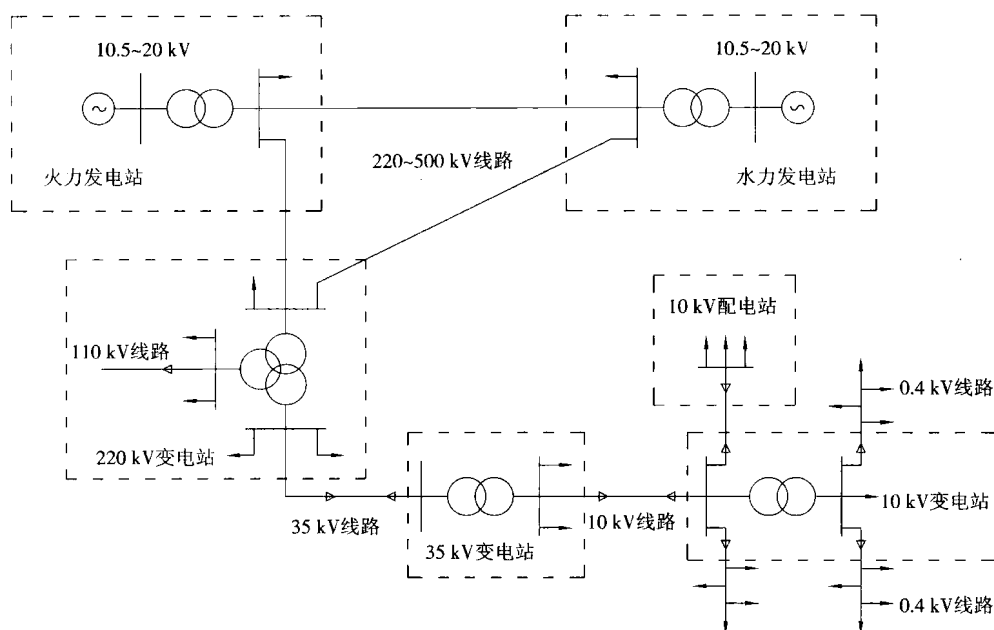


图 1-3 电力系统结构示例图

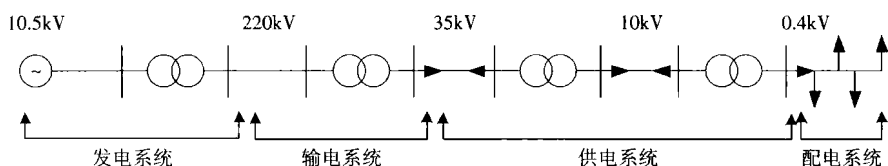


图 1-4 电力系统中发电、输电、供电及配电分系统划分示意图

水力发电过程是由高速下落水流推动水轮机旋转,再由水轮机带动同轴的发电机旋转,从而发出电能。按照径流调节能力,电站水库分为多年调节、年调节及无调节等多种形式。按照获得水位差的方式,电站水库分为坝后式、引水式及混合式等三种类型。按照流域控制范围,电站水库分为自调节、梯级调节、流域内调节及跨流域调节等多种形式。在丰水期内,为充分利用水利资源,水电站主要承担电力系统中的“基荷”;在枯水期内,为充分发挥水轮机组灵活的输出功率调节能力,水力发电站在系统中的主要作用是担负系统“峰荷”。在北方缺水及缺少调峰容量的系统中,也可使具有上下调节水池的水电站,在电力负荷高峰时下泄水流以发电,在电力负荷低谷时上抽水流以蓄能,从而形成专业调峰运行的抽水蓄能发电站。

核动力发电过程是利用核反应堆中可控核裂变过程所释放出来的巨大热量,将水加热成蒸汽并推动汽轮机,进而带动发电机发电。核电与火电的生产过程基本相同,主要区别是以核反应堆代替燃煤锅炉,以少量的核燃料代替大量的煤炭。例如,一座 500 MW 容量的火电机组每年需燃煤至少 150 万 t,而相同容量的核电机组每年仅需核燃料 600 kg。由于核电的发电成本较低以及出力调节较为困难,核动力发电站在电力系统中的主要作用是在系统负荷中心担负系统“基荷”。

各类发电形式存在很大差异,又具有各自的特点。火电的单位容量建设投资小、工程周期

短、发电运行成本高、发电出力稳定、消耗不可再生能源、环境污染严重、发电效率仅约 35% (1 000 MW 超超临界状态发电机组的能源利用率可达 45%)。水电的单位容量建设投资大、工程周期长、综合利用效益高、发电运行成本低、无不可再生能源消耗、发电效率可达 80% ~ 90%。因受水文、季节、防洪、灌溉、航运等因素的影响,水电的发电出力稳定性较差。核电的安全与技术要求高,大气污染小,但核泄漏的威胁大。

燃煤电站可以建在煤矿附近并长距离输电至中心城市;也可以用铁路运煤供应中心城市附近的燃煤电站。水电站只能建在水力资源丰富地区,并将电能输送至负荷中心。核材料体积小,不存在高额的原料与废料的运输及储备成本。在保证核安全条件下,核电站多建在中心城市附近。

热电联产火电机组的发电容量较小,而纯发电机组的容量较大。机组容量越大,机组的发电煤耗与供电煤耗越低,目前国内最大火电机组的容量已达到 1 000 MW,而 100 MW 容量以下机组已开始强行退役。水电站及其机组的容量依具体水力条件而定,世界上规模最大的三峡水电站由 26 台 700 MW 机组构成,总装机容量 18 200 MW。秦山核电站作为国内第一座核电站的机组容量为 300 MW,目前的主力核电机组容量多为 1 000 MW。

基于节煤与环保的目的,近年来国内的风力发电得到了迅速发展,太阳能发电及垃圾燃烧发电等技术也得到了迅速的发展与推广,从而形成了一个新型能源发电领域。由于各类新型能源形式的发电容量较小,实际输出功率受环境影响较大。尽管其节煤效果明显,但对降低常规能源形式系统备用容量的作用有限。因各小型新能源发电机组并入系统或从系统中解列均具有很大的随机性,其快速发展对于电力系统的运行技术也提出了更高的要求。

各发电站是由主、辅发电设备及升压变压器组成,站区外的超高压输电线路一般属于输电系统的范畴。200 ~ 300 MW 发电机组的输电电压一般为 220 kV,500 ~ 600 MW 发电机组的输电电压一般为 500 kV,1 000 MW 发电机组的输电电压应为 1 000 kV。

2. 输电网络

受发电机绝缘材料及电机结构的限制,发电机出口电压不可能很高。因水力及煤炭等能源中心与大中城市等负荷中心往往相距较远,水力发电站及坑口火电站与电力负荷中心之间的长距离电力输送将在输电线路消耗大量电能。为有效降低输电过程的电能损耗与线材消耗,需要将发电站出口电压升到更高水平以达到输电系统的电压要求。由此而产生的发电站专用输电线路、主干网超高压线路及相应的升压与降压变电站构成了完整的输电系统。

目前国内输电主网的电压水平为 220 kV 至 500 kV,并开始向 1 000 kV 发展。为了更有效地进行大功率电力输送,500 kV 甚至 800 kV 直流的超高压输电线路在国内也已经形成一定规模。为保证发电出力的波动、供电负荷的变化及输电线路的故障等工况条件下电力系统的安全运行,以及各电站发电功率间的安全调度与经济分配,输电线路需要闭环的网状结构,且各条线路多以双回线路架设。

输电网络的规模越大,系统的抗故障能力越强,经济运行的效果越明显,同时要求更高的设备制造水平、系统设计水平与运行管理水平。目前国内各省际电网已经基本联成一个全国性的整体电网。全国地市级城网近 300 个,其中近 40 个城市已形成 220 kV 环网。

随着城市化进程的加速,城市负荷水平不断提高,负荷密度不断增大,我国城市输电网形成如下特点:

- ① 220 kV 超高压电缆深入市中心区;

- ② 在市中心建设 $3 \times 150 \sim 3 \times 240$ MVA 大型变电站;
- ③ 采用 $1\,600 \sim 2\,000$ mm² 的大截面电缆;
- ④ 以高可靠性设备、多路电源供电及“N-1”或“N-2”设计标准提高系统的可靠性;
- ⑤ 采用线路变压器组结构简化系统接线方式;
- ⑥ 采用全封闭组合电器等技术实现电力设备的小型化、无油化、免维护、低噪音;
- ⑦ 与大型及高层建筑相配合建设地下变电站。

总之,城市电网以高电压、少回路、大容量、长距离的输电方式使系统达到安全(接线简单、回路数少)与经济(变电站占地少、供配电路径短)的目标。

3. 供电网络

出于设备成本限制及人身安全要求等多重目的,多数用电设备采用 0.4 kV 的较低等级工作电压,故从输电网的某个超高压站点到特定低压设备之间需要一个降压的供电系统。由于超高压枢纽变电站供电半径较大,所以若从 220 kV 或 500 kV 超高压等级直接降压到 0.4 kV 电压水平,仍将造成低压长距离供电的较高电能损耗和大量线材消耗。较为合理的供电方式应为逐级降低电压,各电压等级线路对应特定的线路长度,各电压等级网络对应特定的供电区域半径。国内的供电电压一般分为 110 kV、35 kV、10 kV 的不同等级。

在多电压等级的供电网络中,闭合的网状结构虽可保持较高的系统安全性与供电可靠性,但由变压器与线路构成的电磁环网将造成附加的电磁环流即附加的功率损耗,且环网结构将使系统保护复杂化。因此,在系统可靠性要求相对较低的供电网络中,为防止过高的线路损耗与复杂的继电保护,一般采用开放式的辐射网络结构。即使是为提高局部可靠性而实行双电源的供电系统中,也应采取“环网建设、开环运行”的原则,使实际系统仍然运行在开放式辐射网络结构之下。

一般而言,从输电网中 500 ~ 220 kV “枢纽变电站”辐射出的 110 ~ 35 kV “高压供电线路”、110 ~ 35 kV “供电变电站”、辐射状的 10 kV “中压供电线路”与 10 kV “配电变电站”构成了地域分散且相对独立的供电系统。图 1-5 示出典型供电系统中变电站点及电缆线路的辐射状结构。

目前城市供电系统所呈现出的主要特点包括:

- ① 变电站及变压器容量不断增大;
- ② 线路实现电缆化;
- ③ 开关柜多为移出式;
- ④ 断路器实现无油化;
- ⑤ 保护装置实现微机化;
- ⑥ 变电站完成遥测、遥信、遥控、遥调甚至遥视(四遥甚至五遥),即实现无人值守;
- ⑦ 负荷管理实现自动及远程控制;
- ⑧ 10 kV 系统出现大量预装式变电站。

4. 配电网络

配电网络系指电机、照明、电热等直接与用电设备连接的线路及开关设备。配电系统的电压水平为 6 kV、3 kV 与 0.4 kV 不同等级。电压为 3 kV 或 6 kV 的称为“高压配电网”,电压为 0.4 kV 的称为“低压配电网”。配电网络系统较供电网络系统的电压更低,结构更加独立与分散,且同为辐射形结构。

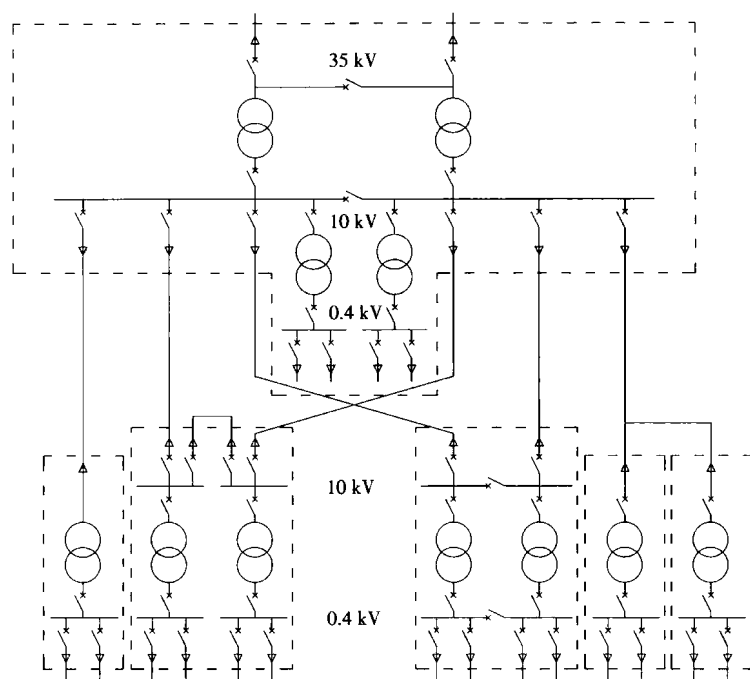


图 1-5 供电系统结构示意图

电力系统中的负荷多为 0.4 kV (包括单相 220 V) 的低压小型负荷 (如一般照明负荷、一般民用及工业电器与电机负荷等), 也有 0.6 kV 的中压大型负荷, 10 kV 的高压特大型电动机极为少见。目前, 我国可生产的最大功率电动机为 9 000 kW (额定电压 10 kV)。

1.1.2 供电系统

1. 供电系统的定义

典型供电系统包括 35 kV 线路、35 kV 变电站、10 kV 线路、10 kV 变电站。由于 10 kV 变电站中包括了属于配电系统的 0.4 kV 母线及出线的相应设备, 故本书中讨论的“供电系统”也称“供配电系统”, 而属于纯配电系统的 0.4 kV 线路及其网络不包括在本书讨论范围之内。有关防雷、接地及照明等内容的介绍也请参阅其他书籍。

2. 设计及运行目标

供电系统是连接输电系统与配电系统的重要电力供应环节, 供电系统的研究包括系统设计与系统运行两大范畴。通过两者的有机结合, 保证供电系统安全、可靠、优质与经济的四大目标。

- 1) 安全 在供电系统的运行过程中, 必须保证人身与设备的安全无事故。
- 2) 可靠 在发生供电设备与线路故障时, 仍能保证供电系统可靠运行。
- 3) 优质 在保证电力供应的同时, 使电压的频率、偏差、波动及谐波等质量指标满足要求。
- 4) 经济 在保证电力供应的同时, 努力节省系统的建设及运行费用, 减少有色金属用量, 降低供电网络的电能损耗。

上述供电系统设计与运行的四大目标既相互联系又相互制约,优化的系统设计与系统运行应能兼顾各项目标要求、全面提升系统目标水平。

3. 供电系统的要求

供电系统欲达到安全、可靠、优质及经济四项目标,应根据各方面的要求建立一套完整的结构与控制体系。

1) 保证正常供电 为满足负荷要求,供电系统必须形成特定的辐射网络结构,线缆载流量与变压器容量必须达到一定水平,并要求进行正常状态下的运行参数测量与用电负荷计量。随负荷的不断变化,需要及时调整无功补偿电容器投切量,并及时调整有载调压变压器的分接头位置,以保证系统的合理功率因数与正常电压水平。

2) 满足异常需求 为保证个别变压器及线缆因故障或检修而退出运行情况下的系统正常供电,系统网络结构需要相应加强,且线缆载流量与变压器容量需留有相应裕度。系统控制回路需要具有自动电源切换等控制功能。

3) 判别系统故障 当系统运行过程中发生短路或接地等故障时,系统应能自动、迅速、准确地判别故障的性质及位置,并发出切除故障设备的指令和发出声、光报警信号。欲完成这些功能需要一整套继电保护系统。

4) 系统故障切除 当保护系统发出切除故障设备的指令时,执行对高压感性电流的切除,需要具备一定开断能力的断路器、熔断器等开关设备。为使瞬时性短路故障切除后能够及时正常供电,需要在断路器控制回路中配设自动重合闸。为方便故障率较高的断路器的检修,断路器两端应配置隔离开关装置。

4. 一次与二次设备

根据上述分析,一个完整的供电系统可以分为功率输送和运行控制两大功能,也可将全部设备分为一次设备与二次设备。一次设备包括变压器、线缆、母线、电容器、电抗器、断路器、负荷开关、隔离开关、熔断器、避雷器、接地开关、电压互感器与电流互感器等承受电网电压与负荷电流的主设备,执行输送电能、断开故障等功能。二次设备包括测量、计量、保护、控制、通信及操作电源等不承受电网电压与负荷电流的辅助设备,用以保证一次设备的可靠运行。近年来,一次系统设备的快速发展,有效提高了供电系统的建设水平,变配电设备的组合化、预装化、无油化、小型化,供电线路的电缆化,有效地减小了占用空间、美化了城市环境。由于二次系统设备的快速发展,实现了系统运行的无人值守,提高了系统的遥控、遥测、遥信与遥调等远程动作能力,实现了无功功率的自动补偿,完成了负荷的远程管理。

5. 设计与运行配合

供电系统的设计与运行具有密切的联系,系统设计要为系统的发展、故障、检修、调整、安全调度与经济调度等留有充分的空间,系统运行也要充分发挥电气设备的固有功能。例如网络结构的“闭环建设、开环运行”、供电电源的“双电源建设、单电源运行”、电源故障时的备用电源自动投切、架空线路故障的自动重合闸、变压器的多台数设置少台数运行、调整功率因数的电容器自动投切、变压器分接头的有载或无载调压、特殊运行工况下的负荷切除等等。

6. 供配电系统建设

受长期计划经济体制及整体经济发展水平的影响,我国的电力工业长期存在重发电、轻供电、不管用电的状况。如表 1-2 所示,至上世纪晚期,我国与发达国家相比,在发电、输电及供配电领域的投资比例仍然存在很大差距。在发达国家中,电网(包括输电网与供配电网)投资

均大于电源(包括常规电源与新型电源)投资,供配电网的投资又明显大于输电网的投资;而我国的电网投资不足电源投资的一半,供配电网投资又小于输电网。

表 1-2 1995 年部分国家电力投资比值

国家	发电投资	输电投资	供配电投资	电网投资合计
法国	1.00	0.67	1.60	2.27
英国	1.00	0.45	0.78	1.23
日本	1.00	0.47	0.68	1.15
美国	1.00	0.43	0.70	1.13
中国	1.00	0.23	0.20	0.43

因此,国家电力部门在上世纪末期进行了城乡电网的大规模改造,加强了网络结构,更换了新型设备,提高了系统的可靠性与自动化水平,大幅度提高了供电能力与供电质量。

1.2 电力系统的额定电压

发电、输电、供电及配电系统中存在不同的电压等级。为简化变电环节与提高变压效率,各等级电压之间应保持较大的差距。因各电压等级网络存在着特定的建设成本、供电面积与线路损耗等,各等级电压的差距又不可能太大。电压等级的差距还与供电区域内的电力负荷密度相关。高负荷密度区域内的电压级差较大,低负荷密度区域内的级差较小。电压等级的制定涉及经济与技术的发展水平与发展趋势,关系到历史沿革与国际惯例等多种因素。

设定低压配电电压水平所涉及的方面很多,我国与欧洲等多数国家的配电电压为 380 V,而美国与日本国的配电电压为 190 V。配电电压较低时,人畜触电的威胁较小,线缆绝缘的成本较低,但相应的负荷电流较大,配电线损较高、线路压降较大、供电半径较小。换言之,低配电电压系统节省了绝缘材料,增加了金属材料;而高配电电压系统的情况则相反。

我国实行的各电网电压等级的额定值如表 1-3 所示。对于负荷密度较低的农村电网,表 1-3 示出的各电压等级尽数存在;而负荷密度较高的中心城市电网中,上世纪末已经基本取消了 3 kV 电压等级,本世纪初又开始逐步取消一些中间电压等级。例如,天津市区在取消 110 kV 电压等级,北京市区在取消 35 kV 电压等级,苏州地区在建立 20 kV 电压等级而取消 35kV 与 10 kV 电压等级。因此,电力系统的电压等级同时存在两个发展趋势,一个是随着技术进步与负荷增长而不断抬升最高电压水平,另一个是随着负荷密度的增长而逐步简化中间电压等级。

1. 供电线路的额定电压

供电线路是供电网络的重要组成部分,各线路的额定电压就是相应电网的额定电压。线路中的架空线路和电缆线路以及附属设备均应符合额定电压的要求。当电力线路输送负荷时,线路两端将产生电压差。如图 1-6 所示,线路沿途的电压分布一般是电源端高于负荷端。线路运行时线路两端实际电压的平均值应保持或接近线路的额定电压。

表 1-3 我国交流电网与电力设备的额定电压(kV)

分类	电网与供电设备 额定电压	发电机 额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
高压	3	3.15	3,3.15	3.15,3.30
	6	6.30	6,6.30	6.30,6.60
	10	10.5	10,10.5	10.5,11.0
	—	18, 20, 22, 24, 26	18, 20, 22, 24, 26	—
	20	—	20	22
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	1 000	—	1 000	1 100

2. 供用电设备额定电压

电力系统中的变压器、导线电缆、断路器等以供配电为目的的各类设备统称为“供电设备”,电动机、电热器及照明电器等以电力应用为目的的各类设备统称为“用电设备”。尽管线路沿途的运行电压存在差异,但因差异幅度有限,且供用电设备的实际耐压水平较额定电压有足够裕度,线路不同位置上安装的供用电设备的额定电压均应与线路所属电压等级的额定值一致。

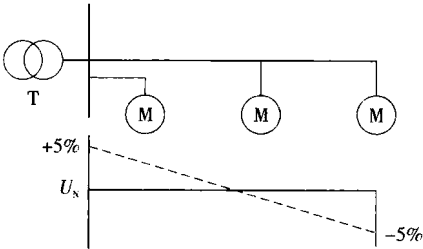


图 1-6 线路沿途的电压分布示意图

3. 发电设备的额定电压

由于供电设备可以在额定电压的 $\pm 5\%$ 变化范围内运行,且线路的最大允许压降为 10% ,线路的电源端电压可为线路额定电压的 105% ,负荷端电压可为额定电压的 95% 。当发电机向线路提供电源时,发电机的额定电压应为线路所在电压等级额定值的 105% 。

4. 电力变压器额定电压

供电变压器一般有两个绕组,分别对应两个电压等级,应该有两个额定电压。

(1) 变压器一次绕组额定电压

电力变压器的一次绕组是变压器的电源端,当直接与发电机连接时,其一次绕组的额定电压应与发电机的额定电压一致,即为相应等级线路额定电压的 105% ;当与电力线路连接时,变压器为典型的供用电设备,其一次绕组的额定电压应与线路的额定电压一致。

(2) 变压器二次绕组额定电压

变压器二次绕组是线路的电源端,额定负载下的输出电压应为线路额定电压的 105% 。