



教育部高职高专规划教材

工厂供电

第二版

● 李友文 主编
李尔学 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

工厂供电

第二版

李友文 主编

肖申禧 副主编

李尔学 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂供电/李友文主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社,
2005.9

教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-7656-8

I. 工… II. 李… III. 工厂-供电-高等学校:
技术学院-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109366 号

教育部高职高专规划教材

工 厂 供 电

第 二 版

李友文 主编

肖申禧 副主编

李尔学 主审

责任编辑: 张建茹 王丽娜

责任校对: 于志岩

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行

教 材 出 版 中 心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 360 千字

2006 年 2 月第 2 版 2006 年 2 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-7656-8

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

第二版前言

根据教育部高等教育司的要求,化学工业出版社在2001年陆续出版了电类专业教材共20种。此套教材立足高职高专教育培养目标,遵循社会的发展需求,突出应用性和针对性,加强实践能力的培养,为高职高专教育事业的发展起了很好的推动作用。一些教材多次重印,受到了广大院校的好评。通过近四年的教学实践和全国高等职业教育如何适应各院校各学科体制的整合、专业调整的需求,于2004年底对此套教材组织了修订工作。

《工厂供电》教材的修订原则:

① 始终遵循教育部高职高专教育人才培养目标及培养规格的要求,教学宗旨和教学目的始终不变。

② 根据高等职业教育人才培养模式,对《工厂供电》教材体系和内容进行必要的调整,对学生应掌握的知识进行整合,以适应高职高专学制的过渡。

③ 继续贯彻高职高专教材“基本理论够用为度,不强调完整性、系统性;基本知识广而不深,点到为止;基本技能贯穿教材始终”的精神,及时补充生产第一线需要的新知识,新技术。

《工厂供电》(第二版)在保持原有教材特点和特色的基础上,着重在以下四个方面进行了修订。

一是对理论较深、分析过程较繁、工程实践中应用较少的内容进行大幅度删减。例如电弧理论、发电机短路电流的计算、互感器计算、三段式过电流保护、控制回路及信号系统、中央信号系统等。

二是对实践性较强,必须通过现场观察或实践才能完成的内容,合并到生产实习和毕业实践环节中加以解决。例如工厂变配电所的配电结构、供电线路的结构与敷设、工厂变配电所的运行维护、供电线路的运行维护等。

三是对相关知识或内容进行整合。例如工厂照明供电系统,合并到相关章节中,不再单独出现;工厂用电设备的电能节约、静电及其防护、微机控制系统等,本次修订时删掉,以缩小教材篇幅。

四是针对《工厂供电》没有配套的实验实训教材,本次修订时增加工厂供电课程实验、工厂供电系统主要电气设备试验等内容,以满足本课程实验实训的教学需要。

《工厂供电》教材的修订工作及新增加内容的编写,在征求原参编人员意见的基础上,由李友文负责完成,并最后定稿。

本书在修订过程中得到了化学工业出版社教材出版中心的大力协助,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳切希望使用本书的师生和广大读者批评指正。

编者

2005年7月

第一版前言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,为满足高职高专电类相关专业教学基本建设的需要,在教育部高教司和教育部高职教育教学指导委员会的关心和指导下,全国石油和化工高职教育教学指导委员会广泛开展调研,召开多次高职高专电类教材研讨会,组织编写了20本面向21世纪的高职高专电类专业系列教材,供工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、应用电子技术、机电应用技术及工业仪表自动化、计算机应用技术等相关专业使用。

本套教材立足高职高专教育人才培养目标,遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则,组织编写了专业基础课程的理论教材和与之配套的实训教材。实训教材集实验、设计与实习、技能训练与应用能力培养为一体,体系新颖,内容可选择性强。同时提出实训硬件的标准配置和最低配置,以方便各校选用。

由于本套教材的整体策划,从而保证了专业基础课与专业课内容的衔接,理论教材与实训教材的配套,体现了专业的系统性和完整性。力求每本教材的讲述深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书在编写过程中注意体现以下特点和特色。

① 本书编写思路为:在以往同类教材的基础上,加强理论知识和实践技能的联系,理论知识必须够用并有储备,实践技能注重针对性和应用性。同时注意引入较为成熟的最新技术,力求取材新颖。

② 本书编写结构为:力求做到教学内容模块化,各教学模块不但具有可组合性,而且具有可选择性。为了满足各专业的需要,并考虑各专业讲授的学时数有一定差别(80~120学时),本书按多学时情况编写,对少学时情况可根据专业需要进行选择或删减。

③ 本书在知识点分布上,力求覆盖工厂供电所要求的全部重点内容。同时根据高等职业技术教育教育的状况,结合各行业工厂供电系统运行与管理实际,增加了“变电所运行与维护”、“供电系统的调度管理”、“变电所微机保护”、“变电所微机监控系统”、“变电所电气设计示例”等实践性强且包括高新技术的内容。

④ 为了便于教师授课和学生学习,每章末均附有“本章小结”和“思考题与习题”,并给出了部分习题参考答案,同时在附录中编辑了“工厂供电常用技术数据表”,供师生选用。

⑤ 本书符号和插图均采用国家新标准。

本书由李友文担任主编并编写一、二、七、十、十一章及第六章第八节;肖申禧担任副主编并编写第三、八、九章;王民权编写第五章;吴薛红编写第六章第一节至第七节;朱晓霞编写第四章;附表及习题解答由相关编者编写,全书由李友文整理并定稿。

本书由李尔学教授担任主审,审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议。另外还得到上海理工大学孔凡才教授的多次指导。

本书在编审中还得到化学工业出版社教材出版中心、各参编单位领导的大力协助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫，水平有限，书中难免存在缺点和错误之处，恳请使用本书的师生和广大读者批评指正。

编者

2001 年 5 月

内 容 提 要

本书共分十二章(带“*”为选学内容),主要内容有:工厂供电系统概述;工厂供电的一次系统;工厂电力负荷及其计算;短路电流及其计算;工厂供电设备及其选择校验;继电保护及二次系统;工厂供电自动化技术;防雷、接地及电气安全;工厂电气照明;工厂供电系统的运行;工厂供电实验;工厂供电系统电气设计*。

本书注意体现以下特点和特色。

1. 在以往同类教材的基础上,注意引入较为成熟的最新技术,力求取材新颖。
2. 全书结构力求做到教学内容模块化,各教学模块不但具有可组合性,而且具有可选择性。电类各专业可根据专业需要进行选择或删减。
3. 本书在知识点分布上,力求覆盖工厂供电所要求的全部重点内容。同时根据高等职业技术教育状况,结合各行业工厂供电系统运行与管理实际,增加了“工厂电气设备运行与试验”、“变电所微机保护”、“变配电所电气设计示例”等实践性强且含高新技术的内容。
4. 为了便于教师授课和学生学习,本书每章末均附有“本章小结”和“思考题与习题”,并对部分习题给出了参考答案,同时在附录中编辑了“工厂供电常用技术数据表”,供师生选用。
5. 本书符号和插图均采用国家新标准。

本书适用于高职、高专、成人高校电类专业(工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、机电应用技术、机电一体化等)学生选作“工厂供电”课程的教材;还可供中等职业学校、技工学校同类专业学生选用,也可作为工程技术人员的参考用书或岗位培训教材。

目 录

第一章 工厂供电系统	1	第三节 变电所的微机保护	133
第一节 供电系统概述	1	本章小结	136
第二节 电力系统的额定电压	4	思考题与习题	136
第三节 电力系统中性点运行方式	7	第八章 防雷、接地及电气安全	137
本章小结	10	第一节 过电压与防雷	137
思考题与习题	11	第二节 电气设备的接地	144
第二章 工厂供电的一次系统	13	第三节 电气安全	149
第一节 工厂变电所的电气主接线	13	本章小结	151
第二节 工厂供电线路	20	思考题与习题	152
本章小结	26	第九章 工厂电气照明	153
思考题与习题	26	第一节 电气照明的基本知识	153
第三章 工厂电力负荷及其计算	27	第二节 工厂常用的电光源和灯具	155
第一节 电力负荷与负荷曲线	27	第三节 电气照明的照度计算	161
第二节 工厂电力负荷的计算	30	本章小结	165
第三节 尖峰电流的计算	43	思考题与习题	165
本章小结	44	第十章 工厂供电系统的运行	166
思考题与习题	45	第一节 电力变压器的经济运行	166
第四章 短路电流及其计算	46	第二节 工厂电气设备的运行与试验	168
第一节 短路问题概述	46	本章小结	176
第二节 短路电流的计算	48	思考题与习题	176
第三节 短路电流的效应	57	第十一章 工厂供电课程实验	177
本章小结	60	实验须知	177
思考题与习题	60	实验一 高压电器的认识实验	178
第五章 工厂供电设备及其选择校验	61	实验二 低压电器的认识实验	179
第一节 高低压电气设备	61	实验三 定时限过电流保护实验	181
第二节 电气设备的选择与校验	80	实验四 反时限过电流保护实验	182
第三节 导线截面的选择与校验	89	实验五 电力电缆绝缘电阻的测量及故障 探测	184
本章小结	97	第十二章 工厂供电系统电气设计*	187
思考题与习题	97	第一节 工厂供电系统电气设计概述	187
第六章 继电保护及二次系统	99	第二节 工厂供电系统电气设计示例	189
第一节 继电保护的基本知识	99	本章小结	201
第二节 高压供电线路的继电保护	107	思考题与习题	201
第三节 电力变压器的继电保护	117	附录	202
第四节 绝缘监察装置和电气测量仪表	122	一、工厂供电常用技术数据表	202
本章小结	125	附表1 用电设备组的需要系数、二项式系数 及功率因数	202
思考题与习题	126	附表2 部分工厂的全厂需要系数、功率因数 及年最大有功负荷利用小时参考值	202
第七章 工厂供电自动化技术	127		
第一节 供电线路自动重合闸装置 (ARD)	127		
第二节 备用电源自动投入装置 (APD)	130		

附表 3	SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据	203	附表 20	工厂常用高压负荷开关技术数据	214
附表 4	S9 系列低损耗电力变压器的主要技术数据	203	附表 21	工厂常用高压隔离开关技术数据	215
附表 5	10kV 电力变压器的主要技术数据 ...	205	附表 22	部分万能式低压断路器的主要技术数据	215
附表 6	35kV 电力变压器的主要技术数据 ...	206	附表 23	DZ10 自动开关技术数据	216
附表 7	并联电容器的无功补偿率	206	附表 24	RTO 型低压熔断器主要技术数据和保护特性曲线	217
附表 8	BW 型并联电容器的主要技术数据 ...	207	附表 25	电力变压器配用的高压熔断器规格	217
附表 9	LJ 型铝绞线、LGJ 型钢芯铝绞线和 LMY 型硬铝母线的主要技术数据	207	附表 26	LQJ-10 型电流互感器的主要技术数据	218
附表 10	电力电缆的电阻和电抗值	209	附表 27	部分生产车间和工作场所的最低光照度参考值	218
附表 11	室内明敷和穿管的绝缘导线的电阻和电抗值	209	附表 28	配照灯的比功率参考值/(W/m ²) ...	218
附表 12	架空裸导线的最小截面	209	附表 29	DL-20 (30) 系列电流断路器的技术数据	219
附表 13	绝缘导线芯线的最小截面	210	附表 30	DY、LY 系列电压继电器的技术数据	219
附表 14	绝缘导线明敷、穿钢管和穿硬塑料管时的允许载流量	210	附表 31	时间继电器的技术数据	220
附表 15	10kV 常用三芯电缆的允许载流量/A	212	附表 32	中间继电器的技术数据	221
附表 16	导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数	212	附表 33	信号继电器的技术数据	221
附表 17	部分高压断路器的主要技术数据	213	附表 34	GL-10 和 LL-10 系列电流继电器的技术数据	222
附表 18	10~35kV 多油式断路器的技术数据	213	二、部分习题参考答案	223	
附表 19	35~110kV 户外少油式断路器的技术数据	214	参考文献	225	

第一章

工厂供电系统

第一节 供电系统概述

电能是现代人们生产和生活的重要能源。电能既易于由其他形式的能量转换而来，又易于转换为其他形式的能量以供应用。电能的输送和分配既简单经济，又易于控制、调节和测量，利于实现生产过程的自动化。因此，电能在水工农业生产、交通运输、科学技术、国防建设等各行各业和人民生活方面得到广泛应用。

工厂供电，就是指工厂所需电能的供应和分配问题。工厂所需要的电能，绝大多数是由公共电力系统供给的，所以在介绍工厂供电系统之前，有必要先了解电力系统的基本知识。

一、电力系统的基本概念

由发电厂、电力网和电能用户组成的一个发电、输电、变配电和用电的整体，称为电力系统，如图 1-1 所示。

电力系统中的各级电压线路及其联系的变配电所，称为电力网。电力网是电力系统的重要组成部分。电力网的作用是将电能从发电厂输送并分配到电能用户。

(一) 发电厂

发电厂又称发电站，它是将自然界蕴藏的多种形式的能源转换为电能的特殊工厂。发电厂的种类很多，一般根据所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂。此外，还有风力、地热、潮汐、太阳能等发电厂。

(二) 变配电所

变配电所又称为变配电站。变电所是接受电能、变换电压和分配电能的场所；而配电所只用来接受和分配电能，不承担变换电压的任务。

变电所又可分为升压变电所和降压变电所两大类。升压变电所的任务是将低电压变换为高电压，一般建在发电厂；降压变电所的任务是将高电压变换到一个合理的电压等级，一般建在靠近用电负荷中心的地点。降压变电所根据其在电力系统中的地位和作用的不同，又分为地区变电所和工厂变电所等。工厂变电所和工厂配电所，一般建在工厂内部。

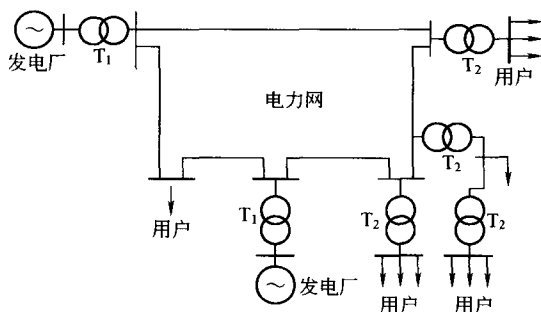


图 1-1 电力系统示意图

T₁—升压变压器；T₂—降压变压器

(三) 电力线路

电力线路又称输电线。由于各种类型的发电厂多建于自然资源丰富的地方，一般距电能用户较远，所以需要各种不同电压等级的电力线路，将发电厂生产的电能源源不断地输送到各电能用户。电力线路的作用是输送电能，并把发电厂、变配电所和电能用户连接起来。

电力线路按其用途及电压等级分为输电线路和配电线路。电压在 35kV 及以上的电力线路为输电线路；电压在 10kV 及以下的电力线路称为配电线路。电力线路按其架设方法可分为架空线路和电缆线路；按其传输电流的种类又可分为交流线路和直流线路。

(四) 电能用户

电能用户又称电力负荷。在电力系统中，一切消费电能的用电设备均称为电能用户。

用电设备按其用途可分为：动力用电设备（如电动机等）；工艺用电设备（如电解、电镀、冶炼、电焊、热处理等设备）；电热用电设备（如电炉、干燥箱、空调器等）；照明用电设备和试验用电设备等，它们分别将电能转换为机械能、热能和光能等不同形式的适于生产、生活需要的能量。

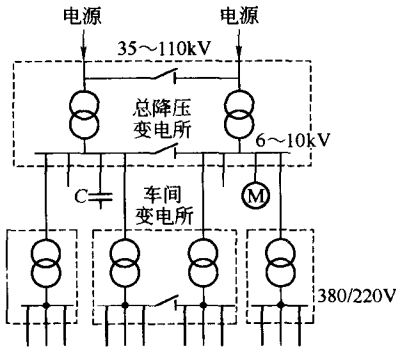


图 1-2 工厂二次变压供电方式

二、工厂供电系统

工厂供电系统是指工厂所需的电力能源从进厂起到所有用电设备终端止的整个电路。

工厂供电系统由工厂总降压变电所（高压配电所）、高压配电线路、车间变电所、低压配电线路及用电设备组成。

(一) 二次变压的工厂供电系统

大型工厂和某些电力负荷较大的中型工厂，一般采用具有总降压变电所的二次变压供电系统，如图 1-2 所示。该供电系统，一般采用 35~110kV 电源进线。先经过工厂总降压变电所，将 35~110kV 的电源电压降至 6~10kV，然后经过高压配电线路将电能送到各车间变电所，再由 6~10kV 降至 380/220V，供低压用电设备使用。高压用电设备则直接由总降压变电所的 6~10kV 母线供电。这种供电方式称为二次变压供电方式。

(二) 一次变压的工厂供电系统

1. 具有高压配电所的一次变压系统

一般中型工厂，多采用 6~10kV 电源进线，经高压配电所将电能分配给各车间变电所，由车间变电所将 6~10kV 电压降至 380/220V 电压，供低压用电设备使用。同样，高压用电设备直接由高压配电所的 6~10kV 母线供电，如图 1-3 所示。

2. 高压深入负荷中心的一次变压系统

某些中小型工厂，如果本地电源电压为 35kV，且工厂的各种条件允许时，可直接采用 35kV 作为配电电压，将 35kV 线路直接引入靠

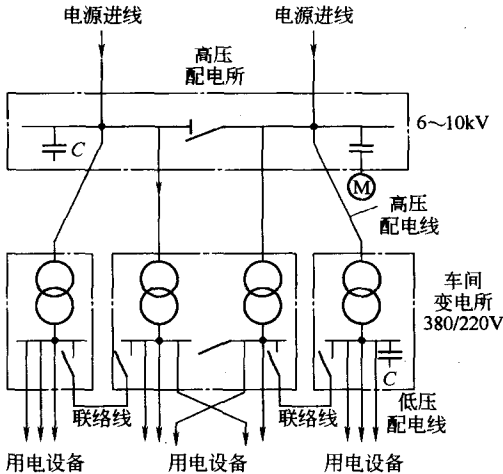


图 1-3 具有高压配电所的工厂供电系统

近负荷中心的工厂车间变电所，再由车间变电所一次变压为 380/220V，供低压用电设备使用，如图 1-4 所示。这种高压深入负荷中心的一次变压供电方式，可节省一级中间变压，从而简化了供电系统，节约有色金属，降低电能损耗和电压损耗，提高了供电质量，而且适应工厂电力负荷的发展。

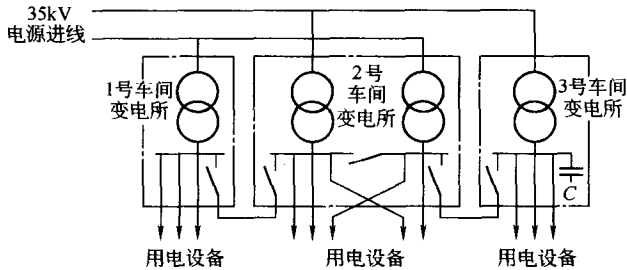


图 1-4 高压深入负荷中心的一次变压系统

3. 只有一个变电所的工厂供电系统

对于小型工厂，由于用电较少，通常只设一个将 6~10kV 电压降为 380/220V 电压的变电所，见图 1-5 所示。

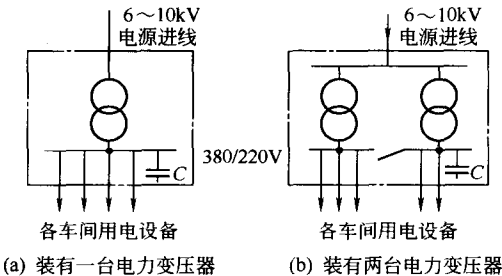


图 1-5 只有一个降压变电所的工厂供电系统

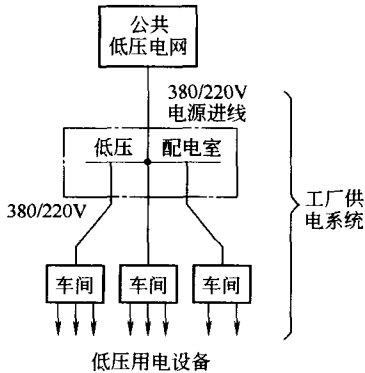


图 1-6 低压进线的小型工厂供电系统

(三) 低压供电的工厂供电系统

某些小型工厂，有时也采用 380/220V 低压电源进线，只需设置一个低压配电室，将电能直接分配给各车间低压用电设备使用，如图 1-6 所示。

三、对工厂供电的基本要求

为了保证生产和生活用电的需要，工厂供电工作要达到以下基本要求。

- (1) 安全 在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。
- (2) 可靠 应满足电能用户对供电可靠性的要求。
- (3) 优质 应满足电能用户对电压质量和频率等方面的要求。
- (4) 经济 应使供电系统的投资少、运行费用低，并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。

此外，在工厂供电中应采用科学管理方法，合理地处理局部和全局、当前和长远等关系，统筹规划，顾全大局，适应发展。

第二节 电力系统的额定电压

一、供电质量的主要指标

供电系统的所有电气设备，都规定具有一定的工作电压和频率。电气设备在其额定电压和频率条件下工作时，其综合的经济效果最佳。因此，电压和频率被认为是衡量电能质量的两个基本参数。

(一) 电压

额定电压是指用电设备处在最佳运行状态的工作电压。当施加于用电设备两端的电压与用电设备的额定电压差别较大时，将对用电设备产生较大危害。对电动机而言，当电压降低时，其转矩急剧减小，使得转速降低，甚至停转，从而导致产生废品，甚至引起重大事故。对照明用的白炽灯而言，当电压降低时，白炽灯的发光效率降低，灯光变暗，降低工作效率，还可能增加事故的发生率。用电设备除对供电电压的高低有要求之外，还要考虑供电电压波形畸变的问题。近些年来，随着硅整流、晶闸管变流设备、各种微机及网络和各种非线性负荷的增加，致使大量谐波电流注入电网，造成电压正弦波波形畸变，使电能质量大大下降，给供电设备及用电设备带来严重危害，不仅损耗增加、某些用电设备不能正常运行，甚至可能引起系统谐振。

(二) 频率

中国采用的工业频率（简称工频）为 50Hz。当电力网低于额定频率运行时，所有电力用户的电动机转速都将相应降低，因而工厂产品的产量和质量都将不同程度受到影响。电力网频率的变化对工厂供电系统运行的稳定性影响很大，因而对频率的要求比对电压的要求更严格，频率的变化范围不应超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

二、额定电压的国家标准

国家标准规定的三相交流电网和电气设备的额定电压，如表 1-1 所示。

表 1-1 三相交流电网和电气设备的额定电压

分类	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8,15,18,20	13.8,15,18,20	—
	35	—	35	38.5
	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

(一) 电力线路的额定电压

电力线路(或电网)的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要及电力工业的水平,经全面技术经济分析后确定的。它是确定各类用电设备额定电压的基本依据。

(二) 用电设备的额定电压

用电设备运行时,电力线路上要有负荷电流流过,因而在电力线路上引起电压损耗,造成电力线路上各点电压略有不同,如图 1-7 所示。但成批生产的用电设备,其额定电压不可能按使用地点的实际电压来制造,而只能按线路首端与末端的平均电压即电力线路的额定电压 U_N 来制造。所以用电设备的额定电压与同级电力线路的额定电压是相等的。

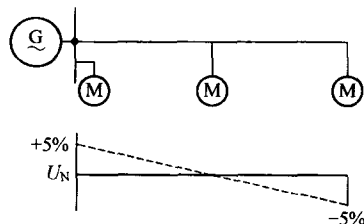


图 1-7 用电设备和发电机的额定电压

(三) 发电机的额定电压

由于同一电压的线路允许电压损耗为 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压损耗,因此为了维持线路首端与末端平均电压的额定值,线路首端(电源端)电压应比线路额定电压高 5% ,而发电机是接在线路首端的,所以规定发电机的额定电压高于同级线路额定电压 5% ,用以补偿线路上的电压损耗,如图 1-7 所示。

(四) 电力变压器的额定电压

1. 变压器一次绕组的额定电压

当变压器直接与发电机相连,如图 1-8 中变压器 T_1 ,则其一次绕组的额定电压应与发电机额定电压相同,即高于同级线路额定电压 5% 。当变压器不与发电机相连,而是连接在电路上,如图 1-8 中变压器 T_2 ,则可将变压器看做是线路上的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与线路额定电压相同。

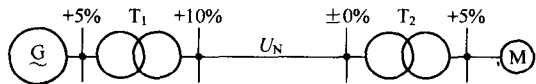


图 1-8 电力变压器的额定电压

2. 变压器二次绕组的额定电压

变压器二次绕组的额定电压,是指变压器一次绕组接上额定电压而二次绕组开路时的电压,即空载电压。而变压器在满载运行时,二次绕组内约有 5% 的阻抗电压降。因此分两种情况讨论。

如果变压器二次侧供电线路很长(例如较大容量的高压线路),则变压器二次绕组额定电压,一方面要考虑补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗电压降,另一方面还要考虑变压器满载时输出的二次电压要满足线路首端应高于线路的额定电压 5% ,以补偿线路上的电压损耗。综上,变压器二次绕组的额定电压要比线路额定电压高 10% ,见图 1-8 中变压器 T_1 。

如果变压器二次侧供电线路不长(例如为低压线路或直接供电给高、低压用电设备的线路),则变压器二次绕组的额定电压,只需高于其所接线路额定电压 5% ,即仅考虑补偿变压器内部 5% 的阻抗电压降,见图 1-8 中变压器 T_2 。

综上所述,在同一电压等级中,电力系统中各个环节(发电机、变压器、电力线路、用电设备)的额定电压数值并不都相同。

三、电压偏移和电压调整

(一) 电压偏移

电压偏移是指用电设备端电压 U 与用电设备额定电压 U_N 差值的百分数,即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100 \quad (1-1)$$

电压偏移是由于供电系统改变运行方式或电力负荷缓慢变化等因素引起的,其变化是相当缓慢的。

中国规定,正常运行情况下,用电设备端子处电压偏移的允许值为:

电动机 $\pm 5\%$;

照明灯 一般场所 $\pm 5\%$; 在视觉要求较高的场所 $+5\%$, -2.5% ;

其他用电设备 无特殊规定时 $\pm 5\%$ 。

(二) 电压调整

为了减小电压偏移,保证用电设备在最佳状态下运行,工厂供电系统必须采取相应的电压调整措施,即

① 合理选择变压器的电压分接头或采用有载调压型变压器,使之在负荷变动的情况下,有效地调节电压,保证用电设备端电压的稳定。

② 合理地减少供电系统的阻抗,以降低电压损耗,从而缩小电压偏移范围。

③ 尽量使系统的三相负荷均衡,以减小电压偏移。

④ 合理地改变供电系统的运行方式,以调整电压偏移。

⑤ 采用无功功率补偿装置,提高功率因数,降低电压损耗,缩小电压偏移范围。

四、工厂供电电压的选择

(一) 高压配电电压的选择

工厂供电系统的高压配电电压,主要取决于当地供电系统电源电压及工厂高压用电设备的电压和容量等因素。

对于大型工厂和某些电力负荷较大的中型工厂,设备容量在 $2000 \sim 50000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、输送电能距离在 $20 \sim 150 \text{ km}$ 以内的,可采用 $35 \sim 110 \text{ kV}$ 电压供电。

对于中小型工厂,设备容量在 $100 \sim 2000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、输送电能距离在 $4 \sim 20 \text{ km}$ 以内的,可采用 $6 \sim 10 \text{ kV}$ 电压供电。

确定工厂的高压配电电压时,应对各种方案的技术和经济指标进行全面比较。表 1-2 列出了各级电压线路合理的输送功率和输送距离。对于采用 $6 \sim 10 \text{ kV}$ 电压作为高压配电电压的工厂,应首选 10 kV 。因为从技术经济指标来看,采用 10 kV 较之采用 6 kV 作高压配电电压有许多优越性:一是在输送功率和输送距离一定时,选用电压越高,可以减小架空导线或电缆截面,从而可减少线路的初投资和有色金属消耗量,且可减少线路的电压损耗和电能损耗,电压质量容易保证;二是 10 kV 电压较之 6 kV 电压输送的功率更大,输送的距离更远,而且更易适应今后的发展;三是实际使用的 6 kV 开关设备与 10 kV 开关设备在型号规格上是基本相同的,因此采用 10 kV 电压等级后,开关设备的投资较采用 6 kV 电压等级的投资增加很少;四是从供电的安全性和可靠性来说, 10 kV 与 6 kV 相差无几。

采用 10 kV 作为高压配电电压的工厂,如果有 6 kV 的高压用电设备(如 6 kV 高压电机),则可通过专用的 $10/6.3 \text{ kV}$ 变压器单独供电。

(二) 低压配电电压的选择

工厂供电系统的低压配电电压,主要取决于低压用电设备的电压,通常采用 $380/220 \text{ V}$ 。其中线电压 380 V 接三相动力设备,相电压 220 V 供电给照明及其他 220 V 的单相设备。对

于容易发生触电或有易燃易爆物的个别车间、工段或厂房，可考虑采用 220/127V 作为工厂的低压配电电压。至于一些有特殊要求的场所，应根据国家有关规定，局部采用安全电压供电。

表 1-2 各级电压电力线路合理的输送功率和输送距离

线路电压 /kV	线路结构	输送功率 /kW	输送距离 /km	线路电压 /kV	线路结构	输送功率 /kW	输送距离 /km
0.38	架空线	≤100	≤0.25	10	电缆线	≤5000	≤10
0.38	电缆线	≤175	≤0.35	35	架空线	2000~15000	20~50
6	架空线	≤2000	3~10	63	架空线	3500~30000	30~100
6	电缆线	≤3000	≤8	110	架空线	10000~50000	50~150
10	架空线	≤3000	5~15	220	架空线	100000~500000	200~300

第三节 电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点是指发电机或变压器的中性点。考虑到电力系统运行的可靠性、安全性、经济性及人身安全等因素，电力系统中性点常采用不接地、经消弧线圈接地和直接接地三种运行方式。

一、中性点不接地的电力系统

中性点不接地方式，即电力系统的中性点不与大地相接。

电力系统中的三相导线之间和各相导线对地之间都存在着分布电容。设三相系统是对称的，则各相对地均匀分布的电容可由集中电容 C 表示，线间电容电流数值较小，可不考虑，如图 1-9 (a) 所示。

系统正常运行时，三个相电压 $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ 是对称的，三相对地电容电流 $\dot{I}_{C1}, \dot{I}_{C2}, \dot{I}_{C3}$ ，也是对称的，其相量和为零，所以中性点没有电流流过。各相对地电压就是其相电压，如图 1-9 (b) 所示。

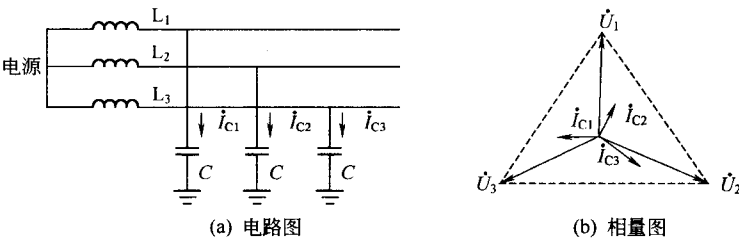


图 1-9 正常运行时中性点不接地的电力系统

当系统任何一相绝缘受到破坏而接地时，各相对地电压、对地电容电流都要发生改变。当故障相（例如第 3 相）完全接地时，如图 1-10 (a) 所示。

接地的第 3 相对地电压为零，即 $\dot{U}'_3 = 0$

非接地相的第 1 相对地电压： $\dot{U}'_1 = \dot{U}_1 + (-\dot{U}_3) = \dot{U}_{13}$

第 2 相对地电压： $\dot{U}'_2 = \dot{U}_2 + (-\dot{U}_3) = \dot{U}_{23}$