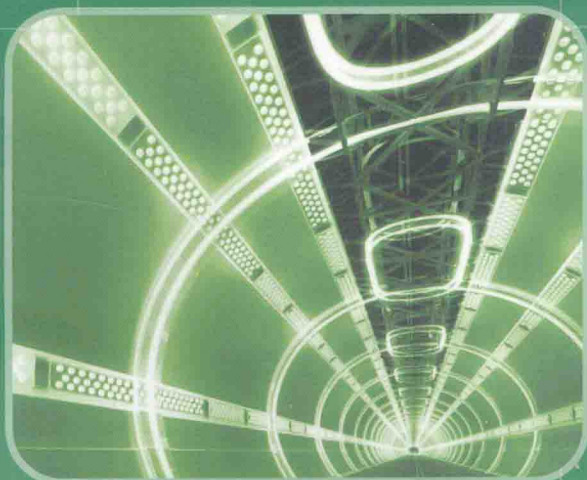


教育部高等学校交通运输与工程教学指导委员会推荐教材

TECHNOLOGY OF
TRAFFIC POWER
SUPPLY AND
LIGHTING

交通供配电



与照明技术 (第二版)

杨 林 姜保军◇编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

教育部高等学校交通运输与工程教学指导委员会推荐教材

交通供配电与照明技术

(第二版)

杨 林 姜保军 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本教材为教育部交通运输与工程教学指导委员会推荐教材。教材适应交通设备与控制工程、交通工程等专业教学建设的需要,围绕我国道路交通供配电与照明技术的发展与应用实际,结合相关规范与技术标准的更新,以高速公路、城市道路、公路桥梁、公路隧道、城市轨道交通等公共交通领域的供配电与照明系统为对象,对交通供配电与照明技术的基本概念、基本原理、应用特点、设计方法和工程应用进行了系统介绍。全书共分9章,包括:交通供配电概述、交通供配电基础、交通供配电电气设备、道路交通供配电系统、城市轨道交通供配电系统、道路照明基础、道路照明设计、公路隧道照明设计及接地、防雷与过电压保护。

本教材可作为普通高等学校交通设备与控制工程、交通工程及相近专业的教材,高等职业院校交通安全与智能控制等专业的教材,也可供从事交通供配电工作的工程技术和管理人员参考。

本教材配有电子课件,欢迎选用教材教师索取(邮箱:yanglin@cqjtu.edu.cn)。

图书在版编目(CIP)数据

交通供配电与照明技术 / 杨林,姜保军编. — 2版

— 北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.8

ISBN 978-7-114-11586-8

I. ①交… II. ①杨… ②姜… III. ①交通系统-供电系统②交通系统-配电系统③交通系统-照明技术
IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 176047 号

教育部高等学校交通运输与工程教学指导委员会推荐教材

书 名:交通供配电与照明技术(第二版)

著 作 者:杨 林 姜保军

责任编辑:周 宇(1175041648@qq.com)

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.5

字 数:380千

版 次:2012年10月 第1版 2014年8月 第2版

印 次:2014年8月 第2版 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11586-8

定 价:36.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

第二版前言

交通供配电是交通机电系统的主要组成部分,是交通安全、高效、畅通、低碳运营的能源支持、保障与应用系统。交通供配电是交通工程、电气工程、信息工程等多学科知识的综合与交叉,涉及交通系统的规划、设计、建设、运营、维护等全过程,行业特色鲜明,科技进步快速,规范标准自成体系。

我国综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的建设,对高校交通机电和智能交通类人才培养提出了更高要求。2012年,教育部增设了“交通设备与控制工程”特设本科专业,其专业课程体系尚处于探索中。“交通供配电系统”是交通设备与控制工程专业的核心专业课程,也是交通工程专业的专业选修课程。其教学目标是以交通工程学、电工学为基础,从交通供配电与照明技术应用的视角,使学生掌握交通供配电与照明领域的基本概念、基本原理、应用特点、设计方法,培养交通供配电与照明工程的规划设计、建设管理、运营维护等基本能力。

2010年,在重庆交通大学使用3届的“交通供配电系统”课程讲义的基础上,我们编写了该教材。教材出版后,受到众多使用者的关心与支持。在第1版的基础上,第2版重点结合公路隧道照明技术发展和我国《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01—2014)调整,对公路隧道照明设计内容进行了全面修订。同时,对其他内容进行了文字表述调整。

本教材以交通供配电共性基础、应用特点、设计方法、应用案例为主线,以道路交通供配电照明为主体,涵盖高速公路、城市道路、公路桥梁、公路隧道、城市轨道交通等应用领域,体现了理论知识与应用技术、标准规范、工程实例、发展前沿的紧密结合。

本教材共9章,内容包括:交通供配电概述、交通供配电基础、交通供配电高、低压电气设备、道路交通供配电系统、城市轨道交通供配电系统、道路照明基础、道路照明设计、公路隧道照明设计及接地、防雷与过电压保护。全书建议学时32学时。第1、2、4~8章由杨林教授修编,第3、9章由姜保军副教授修编。

鉴于我们水平有限,教材的缺点和错误在所难免,殷切希望同行、专家和读者批评指正。

编者

2014年4月于重庆

第一版前言

随着我国经济和城市建设的快速发展,高速公路、城市道路、城市轨道交通等交通基础设施建设发展迅速,交通运输综合化、信息化、智能化、高速化的发展趋势愈加明显,交通供电是交通机电系统的能源支持系统,是实现交通系统安全、畅通、高效、绿色、可靠运营的重要保证。

交通供电是交通工程、电气工程、信息工程等多学科的综合与交叉,其知识体系完整,应用特点突出,技术水平发展迅速,我国已形成了一套较为完整的交通供电行业规范与技术标准。交通供电已成为电力供电系统的一个重要分支,其理论与技术是现代交通机电工程人员必须掌握的专业知识。

为了适应现代交通科技快速发展对交通运输、交通工程类人才的需求,我们在重庆交通大学使用三届的“交通供电系统”讲义的基础上,吸纳当前国内外交通供电领域研究成果、先进技术、工程实例、行业规范、技术标准,编写了本教材。教材注重“理论知识与应用技术相结合、理论知识与国家标准相结合、理论知识与工程实例相结合”,并对交通供电中最新技术及发展趋势(如中压供电、LED 照明等)进行了介绍。

本书主要由四部分组成。第一部分包括第1~3章,主要介绍了交通供电与电力系统基本概念、电力负荷计算、用户变电所、常用供电电气设备等交通供电共性与基础知识。第二部分包括第4、5章,主要介绍了道路交通(高速公路、公路桥梁、公路隧道、城市道路)和城市轨道交通供电系统的构成、特点与应用。第三部分包括第6~8章,主要介绍了道路照明基础知识、道路照明设计、公路桥梁与隧道照明的设计。第四部分为第9章,主要介绍了交通供电系统的接地、防雷与过电压保护。每章后附有习题与思考题,供学习者复习参考。

本书由重庆交通大学杨林教授担任主编(编写第1、4、5、6、7、8章和第2章2.1~2.5节),姜保军副教授担任副主编(编写第2章2.6~2.8节和第3、9章)。编写过程中参考、引用了国内外专家学者的著作文献,在此表示衷心感谢。

限于编写人员的水平,书中难免有错漏之处,恳请批评指正。

编 者

2012年7月于重庆

目 录

1 绪论	1
1.1 交通供配电概述	1
1.2 电力系统的基本概念	4
1.3 交通供配电系统的基本要求	11
1.4 交通供配电系统设计概述	14
习题与思考题	15
2 交通供配电基础	17
2.1 电力负荷与负荷计算	17
2.2 用户变电所	23
2.3 变电所电气主接线	25
2.4 变电所二次接线	29
2.5 高低压配电网	36
2.6 无功功率补偿	37
2.7 备用电源系统	41
2.8 谐波分析与抑制	44
习题与思考题	48
3 交通供配电高、低压电气设备	50
3.1 供配电电气设备概述	50
3.2 低压熔断器	53
3.3 低压刀开关	55
3.4 低压断路器	57
3.5 低压成套装置	61
3.6 高压熔断器	62
3.7 高压断路器	63
3.8 高压隔离开关	67
3.9 高压负荷开关	68
3.10 高压成套配电装置	69
3.11 电力变压器	69
3.12 互感器	74

3.13	电线与电缆	79
3.14	高、低压电气设备的选择与校验	85
	习题与思考题	88
4	道路交通供配电系统	90
4.1	道路交通供配电系统概述	90
4.2	高速公路供配电系统	93
4.3	公路隧道供配电系统	95
4.4	公路桥梁供配电系统	98
4.5	城市道路供配电系统	99
4.6	道路交通中压供电系统	100
	习题与思考题	103
5	城市轨道交通供配电系统	104
5.1	城市轨道交通供配电系统概述	104
5.2	电源和主变电所	108
5.3	牵引供电系统	110
5.4	牵引网	120
5.5	动力照明供配电系统	122
	习题与思考题	125
6	道路照明基础	127
6.1	道路照明的基本概念	127
6.2	道路照明电光源	130
6.3	道路照明灯具	134
6.4	道路照明评价指标	139
	习题与思考题	142
7	道路照明设计	143
7.1	道路照明概述	143
7.2	路面的反射特性	145
7.3	道路照明计算	148
7.4	道路照明标准	151
7.5	城市道路照明设计	155
7.6	高速公路照明设计	165
7.7	公路桥梁照明设计	172
	习题与思考题	178
8	公路隧道照明设计	179
8.1	隧道的视觉现象与照明措施	179

8.2 长隧道的照明设计	187
8.3 短隧道的照明设计	202
8.4 隧道照明的节能与控制	204
8.5 隧道照明的新能源应用	210
习题与思考题	215
9 接地、防雷与过电压保护	217
9.1 接地	217
9.2 工作接地和保护接地	223
9.3 雷电与雷电过电压	230
9.4 雷电的防护	231
9.5 供配电系统的防雷保护	242
9.6 内部过电压及其防护	247
习题与思考题	250
附录 常用电气图形及文字符号	251
参考文献	252

1 绪 论

交通供配电与照明是交通机电系统的主要组成部分,其作用是为交通管理部门和交通机电设施提供可靠、安全、稳定、经济的正常用电和应急用电,实现交通运输运营与管理的现代化,以保障交通运输安全、高效、畅通、节能、低碳和经济等综合效益最大限度的发挥。随着我国综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通的建设推进,作为能源支持与应用的交通供配电系统,与交通照明、通风、监控、通信等应用工程协同发展,已成为一个体系完整、特色鲜明的供配电应用系统。

1.1 交通供配电概述

1.1.1 我国公路交通的发展状况

交通运输是国民经济重要的基础性和先导性产业,是现代服务业的重要组成部分,在国家现代化建设中具有全局性、战略性地位。随着经济社会的不断发展和科学技术的快速进步,我国安全、畅通、高效、绿色的现代综合交通运输体系逐步发展起来。改革开放以来,我国公路交通实现了跨越式发展,路网结构逐步合理,通达深度明显提高,客货运空间增大,时间大大缩短,社会运输成本明显降低,对经济社会的持续快速发展起到了重要支撑作用。

1990~2012年,我国公路总里程由103万km增加到424万km,居世界第一。其中,二级以上公路比重由4.5%增加到11.8%。高速公路从无到有,建成了9.6万km的世界最大规模高速公路系统,覆盖全国90%以上的中等城市。普通干线公路基本实现对县级及以上行政区的连接和覆盖,农村公路通达几乎所有的乡镇和建制村。规划到2030年,将建成11.8万km横连东西、纵贯南北的“71118”国家高速公路网(7条首都放射线、11条南北纵向线和18条东西横向线)。

1990~2012年,我国公路客运量由64.8亿人增加到355.7亿人,年均增长20.4%;公路客运周转量由2620.3亿人公里增加到18467.5亿人公里,年均增长27.5%;公路货运量由72.4亿吨增加到318.8亿吨,年均增长15.5%;公路货运周转量由3358.1亿吨公里增加到59534.9亿吨公里,年均增长76.0%。



公路运输具有覆盖面大、机动灵活、方便快捷以及“门对门”运输的优势,随着高速公路的快速建设和路网结构的不断优化,公路运输在综合运输体系中始终居于主体地位。2012年,公路运输分别承担了的社会客货运总量的 93.5% 和 77.8%,以及社会客货运周转量的 55.3% 和 34.3%。

1.1.2 我国城市交通的发展状况

城市交通负担着大量的客货运输、转乘、中转、集散等任务,已经成为经济发展与城市可持续发展的重中之重。进入 21 世纪,随着城市化进程的加快,我国大中城市的交通基础设施水平也得到前所未有的改善。由公共汽车、电车、出租汽车、轨道交通等组成的城市公共交通系统发展迅速,快速公交系统 BRT(Bus Rapid Transit)和智能交通系统 ITS(Intelligent Transportation System)逐步投入应用,城市交通向着多层次、立体化、智能化的城市综合交通体系发展。

近年来,我国城市人流量、物流量和机动车保有量都以两位数的速度增长。截至 2013 年,全国机动车数量突破 2.5 亿辆,汽车达 1.37 亿辆,是 10 年前汽车数量的 5.7 倍。全国有 31 个城市汽车数量超过 100 万辆,其中 8 个城市超过 200 万辆,北京超过 500 万辆。大中城市道路交通拥堵问题日益严重,一些城市约 50% 的路段在高峰时段饱和度达到 95%,全天饱和度超过 70%,严重影响了交通运输效率。

交通设施是城市形态的骨架,具有先行功能、从属功能、引导和调节功能,对城市形态起着重要的影响作用。随着城市规模、人口和经济的不断增长,城市地面空间越来越拥挤,过度依赖汽车的城市交通发展模式已难以为继,大力发展城市轨道交通成为各国人民的共识。以地铁、轻轨为代表的城市轨道交通,具有运营有序、运量大、速度快、能耗低、污染小、安全可靠、准点舒适、不受气候干扰等显著优势,能有效提高人们出行效率,而且有利于扩展城市空间、优化城市布局,促进沿线商业和房地产发展。

国外发达城市的经验表明,城市轨道交通是城市公共交通网络的主动脉,而路面交通则是其毛细血管,二者有机结合、互为补充。自 1863 年英国伦敦建成世界上首条地铁以来,城市轨道交通已有 100 多年的发展历史,世界主要大城市都逐步形成了以地铁为主、多种轨道交通类型并存的现代城市轨道交通格局。目前,全球地铁运营线路超过 100km 的城市已有十多个,有些城市轨道交通运量占城市公交运量的 50% 以上,甚至超过 70%。

建立以轨道交通为骨干、常规地面公交为主体,其他方式为补充的城市公共交通网络,已成为我国大城市交通发展的必然选择。自 1969 年北京地铁 1 号线开通以来,经过 40 多年的发展,我国已成为世界上城市轨道交通发展最快的国家。截至 2013 年,全国有 37 个城市获得国家批准建设城市轨道交通,19 个城市建成投运线路 87 条,运营里程 2 539km。规划到 2020 年,总规模将超过 3 000km;到 2050 年,100 多个城市将基本建成 4 万 km 的轨道交通体系。

1.1.3 交通供配电系统的主要内容

(1) 高低压供配电系统

高低压供配电系统主要包括高速公路、城市道路、轨道交通、隧道、桥梁等交通设施的变

电和配电系统。其作用是接受和分配电能,将电力输电网电能进行降压或整流(轨道交通直流供电),并向交通机电设施输送供电,确保用电的质量、安全、可靠和经济性。

(2) 备用电源系统

备用电源系统主要包括柴油发电机组、不间断电源 UPS(Uninterruptible Power Supply)和应急电源 EPS(Emergency Power Supply)。其作用是在电力网络供电中断时提供备用电源,为供电系统自身提供操作电源,并为重要交通机电设施供电。

(3) 照明系统

照明系统主要包括高速公路照明、城市道路照明、桥梁照明、隧道照明、收费站照明及景观照明等。其作用是创造良好的视觉环境,减轻驾驶疲劳,增加夜间行车的安全性和舒适感,提高道路的利用率和运输效率,并美化交通环境。

(4) 防雷系统

防雷系统主要包括交通供配电防雷系统、交通机电设备防雷系统。其作用是避免或降低雷电对交通供配电设施和交通机电设备的损害。

(5) 接地系统

接地系统主要包括交通供配电系统和交通机电设备的功能性接地和保护性接地。功能性接地是保证电气设备正常运行或电气系统低噪声的接地,包括工作接地、逻辑接地、信号接地和屏蔽接地等;保护性接地是为了防止人、畜或设备因电击而造成伤亡或损坏的接地,包括防电击接地、防雷接地、防静电接地和防电蚀接地。

1.1.4 交通供配电系统的重要性

随着经济社会的快速发展和人民生活水平的不断提高,迫切需要建立能力充分、组织协调、运行高效、服务优质、安全环保的公路运输系统,与其他运输方式共同构筑布局协调、衔接顺畅、优势互补的现代综合交通运输体系,为社会和公众提供便捷、通畅、高效、安全的运输服务。由于资源和环境的制约,光靠扩大路网无法较好地解决这些问题,还需加快公路交通发展方式的转变,应用现代科技提高交通基础设施、运输装备的智能化水平和运营效能,建设畅通、高效、安全、绿色的现代综合交通运输体系。现阶段,公路和城市交通智能化建设主要体现在交通机电系统建设及改造上。

交通机电系统是高速公路和城市交通的主要辅助系统,由监控、收费、通信、供配电照明等子系统组成,是以电气、电子、控制、通信、机械和交通工程等技术为基础的综合性和大系统,是保障交通安全、高效和舒适的基础系统,也是提高交通运营、管理、维护水平的重要手段。随着网络技术、全球定位系统 GPS(Global Positioning System)、交通地理信息系统 GIST(Geography Information System Transportation)等先进科技和设备的应用,交通机电系统将向数字化、网络化、信息化方向发展,逐步实现智能型交通,进一步提高交通管理和服务水平,最大限度地降低交通事故损失,确保交通安全畅通。

供配电照明是交通机电系统的主要组成部分,其作用是为交通机电设施提供可靠、安全、稳定、经济的电能,满足交通管理部门和交通机电设施的正常用电和应急用电需要,确保交通运输安全、高效、畅通、节能、低碳和经济等综合效益最大限度的发挥。交通机电系统涉及知识领域广泛,学科交叉与综合特点突出,系统性、综合性和特殊性突出。交通供



配电照明系统已发展成为电力供电系统的一个重要分支,既不同于工矿企业的供配电设计,也与电力系统内部供配电设计有所区别,国内外已经形成了相应的设计规范和技术标准体系。

1.2 电力系统的基本概念

1.2.1 电能的特点

电力是应用最广泛的能源,电能是电做功的能力。电能有各种形式,如直流电能、交流电能和高频电能等,这几种电能可相互转换。

电能是二次能源,由一次能源(如水能、热能、核能、风能、潮汐能、太阳能等)转换而来。电能是社会现代化的基石,具有以下特点:

- ①转换方便,可转换成其他所需能量形式。
- ②输配简单,可以远距离传输。
- ③控制容易,可以精确控制、调节和测量,便于集中管理。
- ④使用方便、清洁,易于大量生产。
- ⑤不易储存,电厂的电能生产和用户消耗是随时平衡的。

1.2.2 电力系统的组成

电能从生产到使用,一般要经过发电、输电、配电和用电等环节(图 1-1)。为了提高供电的可靠性和经济性,通常将发电厂、变电所、输配电线路及电力用户连接起来构成整体,称为电力系统(图 1-2)。

随着电力用户对用电量和用电质量的要求不断提高,电力系统规模日益扩大。组成大型电力系统的优点有以下几点:

- ①高效、合理地开发和利用一次能源,减少环境污染,优化电能资源配置,实现水电与火电资源的优势互补。
- ②提高供电的可靠性和供电质量,大电网可视为无限大容量,承受故障能力强。
- ③电能发、输、配、用同时进行,便于集中管理和运行调度,合理分配负荷,提高发电机组利用率。
- ④节约投资、降低成本,用电负荷变化较大,大电网可以发挥较好的调剂作用,减少总装机容量。

(1) 发电厂

电力系统中,发电厂主要有以煤、石油、天然气和垃圾为燃料的火力发电厂,利用水的位能和动能发电的水力发电厂,利用核燃料裂变反应所释放出的热能进行发电的核能发电厂。此外,利用风能、太阳能、潮汐能、地热能等发电也在不断发展中。

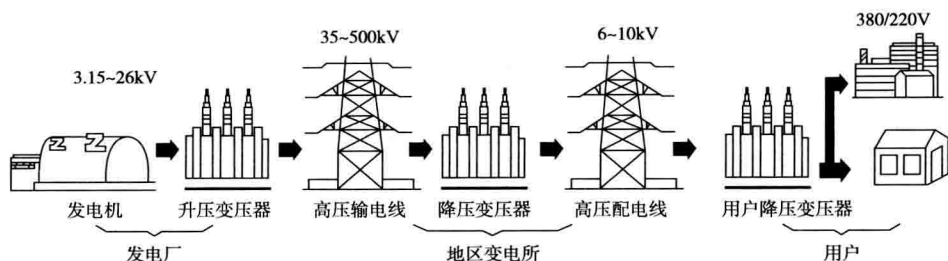


图 1-1 电能的传输与分配过程

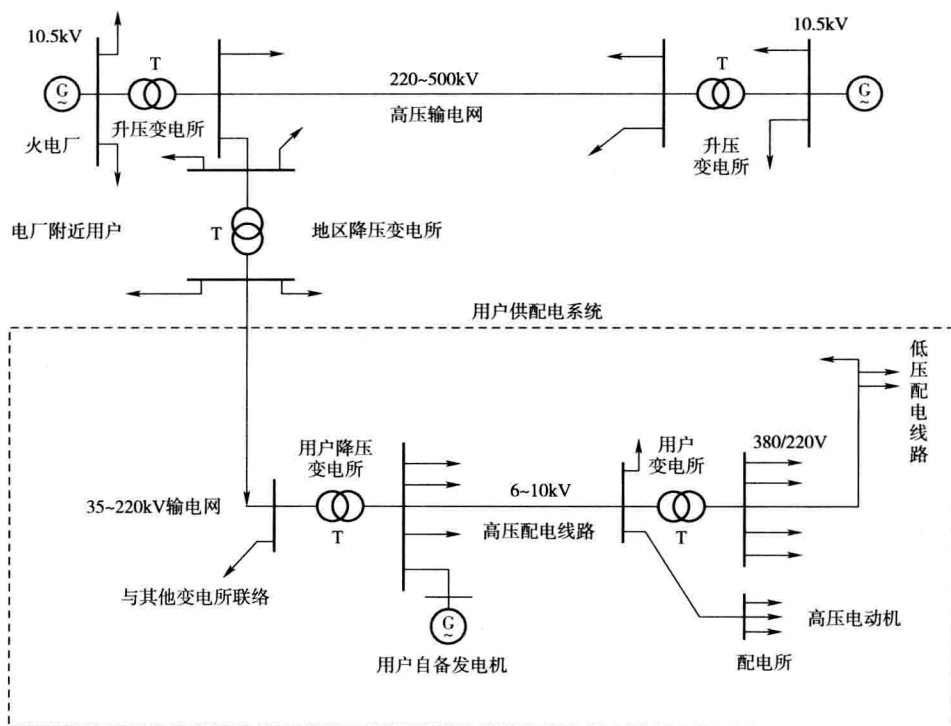


图 1-2 电力系统组成

(2) 变电所

变电所是接收电能、变换电压和分配电能的中间环节。变电所按用途分为升压变电所和降压变电所，按供电范围分为枢纽变电所、区域变电所和用户变电所。不承担变换电压，只接受和分配电能的场所，称为配电所。

- ①升压变电所。将发电厂发出的电能进行升压，便于大功率和远距离传输。
- ②降压变电所。对电力系统的高电压进行降压，便于电气设备的使用。
- ③枢纽变电所。起到对整个电力系统各部分的纽带联结作用，负责整个系统中电能传输和分配。
- ④区域变电所。将枢纽变电所送来的电能作一次降压后分配给电能用户。
- ⑤用户变电所。接受区域变电所的电能，将其降压为满足用电设备电压要求的电能，并



合理地分配给各用电设备。

(3) 输配电线路

①输电线。将各发电厂相互连接,使所有同步发电机并列运行,并将发电厂发出的经升压后的电能送到枢纽变电所和区域变电所,其电压等级一般在 220kV 以上。

②配电线路。将电能从区域变电所经降压后输送到电能用户,对电网电能进行降压、分配和输送,其电压等级一般为 110kV 及以下。

按照电力网电压等级划分,1kV 及以下的是低压电网,1 ~ 220kV 为高压电网,330kV 以上为超高压电网。一般企业和民用供电电压在 10kV 及以下,只有少数特大型建筑物及用电负荷大的工业企业供电电压在 35 ~ 110kV。

(4) 电力用户

电力用户包括工业、农业、交通运输等国民经济各部门和市政、生活用电等场所。

1.2.3 电力系统的额定电压

(1) 电力系统的额定电压

电力系统的额定电压等级是根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性及电气设备的制造水平等因素,由国家统一制定的。我国交流电网和电气设备的额定电压见表 1-1。

我国交流电网和电气设备的额定电压表

表 1-1

电 压 等 级	电网和用电设备额定电压	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(V)	220/127	230	220/127	230/133
	380/220	400	380/220	400/230
	660/380	690	660/380	690/400
高压(kV)	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, 15.75, 18, 20	13.8, 15.75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	—

注:表中“/”左边数字为三相电路线电压,右边数字为相电压。

表 1-1 中同一电压等级下设备的额定电压并不相同,这是由于电力线路中存在电压降,线路首端电压往往高于末端电压,如图 1-3 所示。

(2) 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压是设备长期运行最经济合理的工作电压。用电设备的额定电压与

同级电网的额定电压相同,允许电压偏差为 $\pm 5\%$ 。

(3) 发电机的额定电压

一般正常工作时,用电设备允许电压偏差 $\pm 5\%$,即整个线路电压降不允许大于 10% 。因此,发电机的额定电压要高于电网额定电压 5% ,以使末端电压不低于额定电压的 95% ,如图 1-3 所示。

(4) 电力变压器的额定电压

①一次绕组额定电压。当变压器接于发电机输出端时(图 1-4 中 T_1),与发电机额定电压相同,高于同级电网额定电压 5% ;当变压器接于电网时(图 1-4 中 T_2),与电网额定电压相同。

②二次绕组额定电压。额定电压是指变压器空载电压,对于升压变压器,考虑变压器承载时自身电压损失(约为 5%),以及二次侧输电线路电压损失(按 5% 计),二次绕组额定电压应比电网额定电压高 10% (图 1-4 中 T_1)。对于降压变压器,当二次侧供电线路不长时,二次绕组额定电压只需高于所连电网额定电压 5% (图 1-4 中 T_2)。

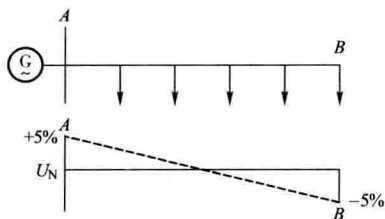


图 1-3 电力网电压的变化

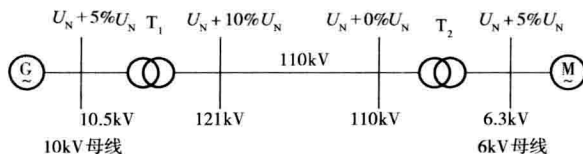


图 1-4 发电机和变压器的额定电压

1.2.4 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点是指发电机或变压器的绕组作星形连接的中性点。电力系统中性点的运行方式对电力系统的安全运行有很大的意义,主要取决于单相接地时电气设备对绝缘的要求和对供电可靠性的要求,它关系到绝缘水平、通信干扰、继电保护及自动装置的正确动作等方面。

我国电力系统中性点运行方式有两大类:中性点非有效接地系统[不接地,如图 1-5a)所示;经消弧线圈或电阻接地,如图 1-5b)所示]、中性点有效接地系统[中性点直接接地,如图 1-5c)所示]。

(1) 中性点非有效接地系统

在正常运行时,各相对地分布电容相同,三相对地电容电流对称且其和为零,各相对地电压为相电压,中性点对地电压为零。

当系统发生单相接地故障时,接地相对地电压为零,非接地相对地电压升高为线电压,即为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍;接地相的电容电流为零,非接地相的对地电流也增大为 $\sqrt{3}$ 倍,接地电流为正常运行时每相的对地电容电流的 3 倍。因此,电气设备的绝缘要按线电压来选择。

该系统最大优点在于发生单相接地时,线间电压不变,不能构成短路回路,系统中没有短路电流,系统仍可继续运行。为了防止单相接地扩大为两相或三相弧光短路,规定单相接



地后带故障运行时间最多不超过 2h。

当中性点不接地系统的单相接地电流超过规定值(6~10kV 线路为 30A, 35kV 线路为 10A), 为了避免产生电弧引起过电压或造成短路, 中性点应经消弧线圈接地。消弧线圈是一个带有铁芯的电感线圈, 其线圈的电阻很小, 电抗很大, 起到有效的消弧作用。

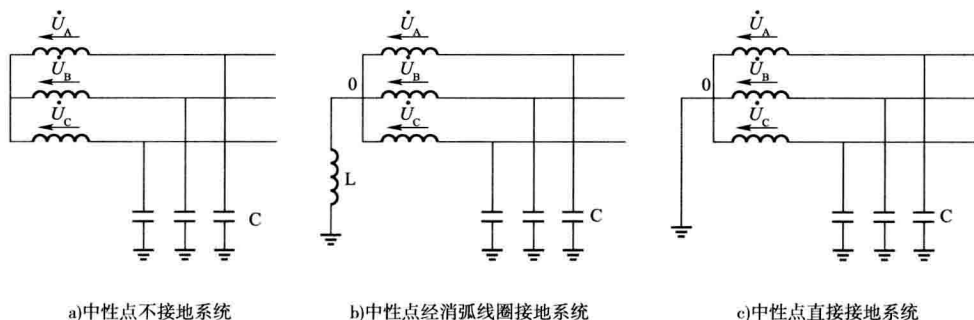


图 1-5 电力系统中性点运行方式

(2) 中性点直接接地系统

这种运行方式发生一相对地绝缘破坏时, 故障相直接经过大地形成单相短路, 开关跳闸, 供电中断, 可靠性会降低。但非故障相对地电压不变, 电气设备绝缘可按相电压考虑, 降低设备绝缘要求。在中性点直接接地的低压配电系统中, 如为三相四线制供电, 可提供 380V/220V 两种电压, 供电方式灵活。

目前, 在我国电力系统中:

- ① 110kV 以上高压系统中, 为降低设备绝缘要求, 多采用中性点直接接地运行方式。
- ② 6~35kV 中压系统中, 为提高供电可靠性, 首选中性点不接地运行方式, 当接地电流不满足要求时, 可采用中性点经消弧线圈或电阻接地的运行方式。
- ③ 低于 10kV 的低压配电系统中, 考虑到单相负荷的使用, 通常均为中性点直接接地运行方式。

1.2.5 低压供配电系统的接地方式

接地系统关系到供配电系统的安全性、可靠性。按照 IEC 60364 规定, 低压配电系统的接地分为三类五种方式: TN(TN-C、TN-S、TN-C-S)、TT、IT。

第一个字母表示电源中性点的对地关系: T——直接接地; I——不接地或一点经电阻接地。

第二个字母表示电气装置保护线的对地关系: T——对地直接电气连接, 与电力系统的任何接地点无关; N——与电力系统的接地点直接电气连接。

第三个字母表示电源中性线与保护线的组合关系: C——中性线 N 与保护线 PE 合二为一(PEN 线); S——中性线 N 与保护线 PE 分开; C-S——在电源侧为 PEN 线, 从某一点分开为中性线 N 和保护线 PE。

(1) TN 系统

在 TN 系统中, 电源中性点直接接地, 所有电气设备的外壳接到保护线 PE 上, 与配电系

统的中性点相连。当电气设备的金属外壳发生接地时,回路处于短路状态,使过流装置动作并切除故障。按照中性线和保护线的组成情况,TN 分为 TN-C、TN-S 和 TN-C-S。

①TN-C 系统。TN-C 系统为三相四线制低压配电系统,如图 1-6 所示,N 线和 PE 线合用一根导线——保护中性线(PEN 线),所有设备外露导电部分均与 PEN 线相连。发生接地短路故障时,故障电流大,可采用过流保护电器瞬时切断电源,以保证人员生命和财产安全。

优点:方案易于实现,节省了一根导线,且保护电器可节省一极,降低设备的初期投资费用。

缺点:线路中有单相负荷或三相负荷不平衡,以及电网中有谐波电流时,PEN 中有不平衡电流,电气设备的外壳和线路金属套管间有压降,对敏感性电子设备不利,不适宜有爆炸危险的环境;PEN 线断线或相线对地短路时,会呈现相当高的对地故障电压,会造成人身触电危险,且会造成有的相电压升高而烧毁单相用电设备,可能扩大事故范围;不能使用剩余电流保护装置 RCD。因此绝缘故障时,不能有效地对人身和设备进行保护。

TN-C 系统在低压配电系统中应用普遍,适用于三相负载基本上平衡的情况,对安全及电磁干扰要求不高的场所。

②TN-S 系统。TN-S 系统为三相五线制低压配电系统,如图 1-7 所示,N 线和 PE 线分开,所有设备的外露可导电部分均与公共 PE 线相连。在一相接壳或接地故障时过电流保护装置动作,将切除故障线路。如果回路阻抗太高或者电源短路容量较小,需采用剩余电流保护装置 RCD 对人身安全和设备进行保护,防止火灾危险。

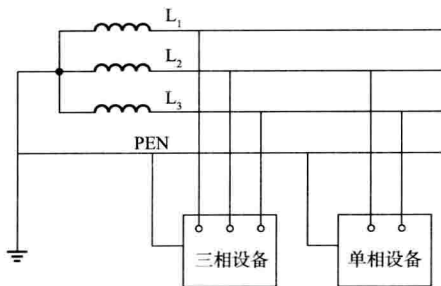


图 1-6 TN-C 系统

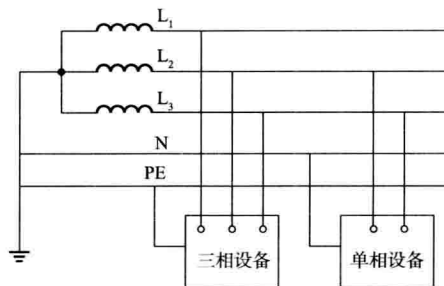


图 1-7 TN-S 系统

优点:正常时 PE 线不通过负荷电流,所有设备之间不会产生电磁干扰;PE 线断线时,正常情况不会使 PE 的设备外露可导电部分带电;适用于数据处理和精密电子仪器设备,也可用于爆炸危险场合;民用建筑中,家用电器大都有单独接地触点的插头,采用 TN-S 系统,既方便,又安全。

缺点:由于增加了中性线,初期投资较高;TN-S 系统相对地短路时,对地故障电压较高。

该系统适用于对安全或抗电磁干扰要求高的场所,常用于变压器设在用电建筑物中的民用建筑供电。

③TN-C-S 系统。TN-C-S 系统为三相五线制低压配电系统,如图 1-8 所示,是 TN-C 系统与 TN-S 系统的组合,在系统某一点,PEN 分为保护线和中性线,设备外露可导电部分接 PEN