



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高校建筑电气与智能化学科专业指导委员会  
规划推荐教材



MOOC 全媒体

# 建筑电气

(第二版)

方潜生◎主 编  
牟志平 陈 杰◎副主编



中国建筑工业出版社



课程介绍



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高校建筑电气与智能化学科专业指导委员会  
规划推荐教材

MOOC 全媒体

# 建筑电气（第二版）

方潜生 主编

牟志平 陈杰 副主编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑电气/方潜生主编. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高校建筑电气与智能化学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-21597-3

I. ①建… II. ①方… III. ①建筑工程-电气设备-高等学校-教材 IV. ①TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 297183 号

本书以实际工程项目为案例, 以民用建筑 10kV 线路及一般照明为主线, 系统介绍了建筑电气的基本原理与重点内容。全书共 10 章, 主要包括: 建筑电气综述; 电气安全技术与措施; 建筑电气设计基础; 建筑照明设计; 建筑低压配电设计; 建筑高压供电设计; 继电保护与测量; 自备应急电源; 建筑防雷设计; 绿色建筑与节能设计。

本书可作为高等学校建筑电气与智能化专业、电气工程及其自动化专业和工科类其他相近专业本科生的教材, 也可作为从事建筑电气设计和施工的工程技术人员参考用书。

如果需要本书配套课件, 请发邮件至 524633479@qq.com 与责任编辑联系。

责任编辑: 张健 王跃 齐庆梅

责任校对: 刘梦然 李美娜

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高校建筑电气与智能化学科专业指导委员会规划推荐教材

### 建筑电气 (第二版)

方潜生 主编

牟志平 陈杰 副主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 449 千字

2018年3月第二版 2018年3月第九次印刷

定价: 35.00 元(赠课件)

ISBN 978-7-112-21597-3

(31177)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 教材编审委员会

主任：方潜生

副主任：寿大云 任庆昌

委员：（按姓氏笔画排序）

于军琪 王 娜 王晓丽 付保川 杜明芳

李界家 杨亚龙 肖 辉 张九根 张振亚

陈志新 范同顺 周 原 周玉国 郑晓芳

项新建 胡国文 段春丽 段培永 郭福雁

黄民德 韩 宁 魏 东

## 序 一

自 20 世纪 80 年代智能建筑出现以来，智能建筑技术迅猛发展，其内涵不断创新丰富，外延不断扩展渗透，已引起世界范围内教育界和工业界的高度关注，并成为研究热点。进入 21 世纪，随着我国国民经济的快速发展，现代化、信息化、城镇化的迅速普及，智能建筑产业不但完成了“量”的积累，更是实现了“质”的飞跃，已成为现代建筑业的“龙头”，为绿色、节能、可持续发展做出了重大的贡献。智能建筑技术已延伸到建筑结构、建筑材料、建筑能源以及建筑全生命周期的运营服务等方面，促进了“绿色建筑”、“智慧城市”日新月异的发展。

坚持“节能降耗、生态环保”的可持续发展之路，是国家推进生态文明建设的重要举措。建筑电气与智能化专业承载着智能建筑人才培养的重任，肩负着现代建筑业的未来，且直接关系到国家“节能环保”目标的实现，其重要性愈加凸显。

全国高等学校建筑电气与智能化学科专业指导委员会十分重视教材在人才培养中的基础性作用，多年来下大力气加强教材建设，已取得了可喜的成绩。为进一步促进建筑电气与智能化专业建设和发展，根据住房和城乡建设部《关于申报高等教育、职业教育土建类学科专业“十三五”规划教材的通知》（建人专函〔2016〕3号）精神，建筑电气与智能化学科专业指导委员会依据专业标准和规范，组织编写建筑电气与智能化专业“十三五”规划教材，以适应和满足建筑电气与智能化专业教学和人才培养需求。

该系列教材的出版目的是为培养专业基础扎实、实践能力强、具有创新精神的高素质人才。真诚希望使用本规划教材的广大读者多提宝贵意见，以便不断完善与优化教材内容。

全国高等学校建筑电气与智能化学科专业指导委员会  
主任委员  
方潜生

## 序 二

进入 21 世纪,随着我国经济社会快速发展,智能建筑产业不但完成了“量”的积累,更是实现了“质”的飞跃,成为现代建筑业的“龙头”,赋予了节能、绿色、可持续的属性,延伸到建筑结构、建筑材料、建筑能源以及建筑全生命周期的运营服务等方面,更是促进了“绿色建筑”、“智慧城市”中建筑电气与智能化技术日新月异的发展。

坚持“节能降耗、生态环保”的可持续发展之路,是国家推进生态文明建设重要举措,建筑电气与智能化专业承载着智能建筑人才培养重任,肩负现代建筑业的未来,且直接关乎建筑“节能环保”目标的实现,其重要性与日俱增。

为充分利用互联网+的优势,全国高等学校建筑电气与智能化学科专业指导委员会、中国建筑工业出版社、深圳市松大科技有限公司于 2015 年 11 月签署 MOOC 教学系统联合开发协议,结合互联网在高等学校教学中的应用进行大胆尝试和创新,三方携手打造松大 MOOC 高等学校建筑电气与智能化学科专业 MOOC 全媒体教材,并组建了由全国知名建筑院校、出版社和企业专家组成的高等学校建筑电气与智能化学科专业 MOOC 开发委员会。

高等学校建筑电气与智能化学科专业 MOOC 开发委员会在高等学校建筑电气与智能化学科专业指导委员会的指导下,开展本专业课程的 MOOC 开发工作,先后召开了三次 MOOC 评审工作会议,对全媒体教学系统中的 MOOC 资源的质量进行严格细致的评审。

本套 MOOC 全媒体教材,通过图形识别技术,完成多平台多终端的资源展示和应用。学生可随时随地查看教材中知识点对应的多媒体资源,将原本枯燥的课堂教学带入一个栩栩如生的多媒体世界。MOOC 全媒体教材资源主要包括三维、平面动画、视频、教学 PPT、MOOC 教学视频、案例库、云题库等,用户可通过登录平台网站或在手机、平板等移动端扫码均可获取资源,真正打造一个全媒体全方位的教学环境。

本套 MOOC 全媒体教材系高等学校建筑电气与智能化专业“十三五”规划教材,该教材的出版目的是为培养专业基础扎实、实践能力强、具有创新精神的高素质人才。真诚希望使用本规划教材的广大读者多提宝贵意见,以便不断完善与优化教材内容。

高等学校建筑电气与智能化学科专业 MOOC 开发委员会  
主任委员  
方潜生

# 前 言

为促进“绿色建筑”、“智慧城市”中建筑电气与智能化的技术变革，充分利用“互联网+”的优势，在全国高等学校建筑电气与智能化学科专业指导委员会、中国建筑工业出版社、深圳市松大科技有限公司大力支持下，我们在原“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《建筑电气》的基础上，开发了本版教材。

在本版教材开发过程中，对原教材的章节内容作了大篇幅的修订，主要有：(1)更新相关现行标准、规范；(2)删减了已淘汰的电器、线缆产品介绍；(3)对教材原有基本内容的内涵及其表述层次予以调整；(4)对于部分图形符号、名词定义等参照国家新标准作了相应修正；(5)增补了建筑照明相关内容；(6)新增应急电源设计内容；(7)增补了绿色设计相关内容。

本版教材以实际工程项目为案例，以民用建筑 10kV 线路及一般照明为主线，系统介绍了建筑电气的基本原理与重点，培养学生独立完成建筑电气设计的基本能力，培养学生应用相关标准、规范的能力，使学生熟悉设计三阶段的主要任务、工作内容，具备建筑电气设计的基本能力。

本书共 10 章，分别介绍：建筑电气综述；电气安全技术与措施；建筑电气设计基础；建筑照明设计；建筑低压配电设计；建筑高压供电设计；继电保护与测量；自备应急电源及建筑防雷设计；绿色建筑与节能设计。

参加本次修订工作的有方潜生（第 1 章）、牟志平（第 2、3、4、5 章）、陈杰（第 6、7、8、10 章）、张鸿恺（第 9 章及全书的思考与练习题）。全书由方潜生、牟志平统稿。本书部分章节内容由安徽建筑大学刘红宇老师提供；项目案例由安徽建筑大学建筑设计研究院陈劲松先生提供并给予指导，在此谨表谢意。同时对本书修编过程中所列的各参考文献的作者致以衷心感谢。

针对《建筑电气》课程的特点，为便于学生理解课程内容和教师课堂教学，教材将知识点通过 Flash 动画、三维仿真、微课视频等形式进行展示，并在书中相应位置设置了资源的二维码；各章均附有思考题和习题。读者可以通过扫描本书封底的二维码下载松大慕课（MOOC）APP，在 APP 内打开扫码功能，扫描书中资源的二维码，即可查看并获取资源。“二维码使用说明及资源目录”详见附录。欢迎广大读者使用。

限于编者水平，书中难免有错漏之处。敬请广大师生和读者批评指正。意见建议请发至邮箱：[chenjie@ahjzu.edu.cn](mailto:chenjie@ahjzu.edu.cn)。

## MOOC 全媒体教材使用说明

MOOC 全媒体教材，以全媒体资源库为载体，平台应用服务为依托，通过移动 APP 端扫描二维码和 AR 图形的方式，连接云端的全媒体资源，方便有效地辅助师生课前、课中和课后的教学过程，真正实现助教、助学、助练、助考的理念。



教材使用帮助

在应用平台上，教师可以根据教学实际需求，通过云课堂灵活检索、查看、调用全媒体资源，对系统提供的 PPT 课件进行个性化修改，或重新自由编排课堂内容，轻松高效地备课，并可以在离线方式下在课堂播放。还可以在课前或课后将 PPT 课件推送到学生的手机上，方便学生预习或复习。学生也可通过全媒体教材扫码方式在手机、平板等多终端获取各类多媒体资源、MOOC 教学视频、云题与案例，实现随时随地直观学习。

教材内页的二维码中，有多媒体资源的属性标识。其中

▶为 MOOC 教学视频

↻为平面动画

▶为知识点视频

3D为三维

T为云题

📖为案例

扫教材封面上的“课程简介”二维码，可视频了解课程整体内容。通过“多媒体知识点目录”可以快速检索本教材内多媒体知识点所在位置。扫描内页二维码可以观看相关知识点多媒体资源。

本教材配套的作业系统、教学 PPT（不含资源）等为全免费应用内容。在教材中单线黑框的二维码为免费资源，双线黑框二维码为收费资源，请读者知悉。

本教材的 MOOC 全媒体资源库及应用平台，由深圳市松大科技有限公司开发，并由松大 MOOC 学院出品，相关应用帮助视频请扫描本页中的“教材使用帮助”二维码。

在教材使用前，请扫描封底的“松大 MOOC APP”下载码，安装松大 MOOC APP。



# 目 录

<b>第 1 章 建筑电气综述</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 建筑电气内涵 .....	2
1.3 建筑电气设计原则 .....	2
1.4 标准电压与电能质量 .....	3
思考与练习题 .....	8
<b>第 2 章 电气安全技术与措施</b> .....	9
2.1 概述 .....	9
2.2 基本术语 .....	9
2.3 电气触电种类及对人体危害因素 .....	11
2.4 电气安全技术措施 .....	15
思考与练习题 .....	22
<b>第 3 章 建筑电气设计基础</b> .....	24
3.1 方案设计 .....	24
3.2 初步设计 .....	25
3.3 施工图设计 .....	29
3.4 项目介绍暨方案设计 .....	33
思考与练习题 .....	38
<b>第 4 章 建筑照明设计</b> .....	40
4.1 概述 .....	40
4.2 照明设计要素与程序 .....	40
4.3 照明基础 .....	42
4.4 功能型照明方式与种类 .....	46
4.5 电光源及灯具 .....	47
4.6 照度计算 .....	53
4.7 灯具布置与眩光限制 .....	63
4.8 照明评价 .....	68
4.9 照明供配电设计 .....	70
4.10 线缆知识 .....	72
4.11 低压电器 .....	84
4.12 照明供电 .....	97
4.13 照明分支线负荷计算 .....	97

4.14	照明支线负荷计算 .....	100
4.15	照明干线负荷计算 .....	100
4.16	照明施工图设计 .....	101
	思考与练习题 .....	112
<b>第5章</b>	<b>建筑低压配电设计 .....</b>	<b>115</b>
5.1	分系统配置及负荷计算基础 .....	115
5.2	负荷计算 .....	118
5.3	单相负荷折算 .....	123
5.4	尖峰电流计算 .....	125
5.5	功率因数补偿 .....	126
5.6	低压供电系统接地形式 .....	126
5.7	常用低压电力配电系统接线形式 .....	129
5.8	计算实例 .....	130
	思考与练习题 .....	133
<b>第6章</b>	<b>建筑高压供电设计 .....</b>	<b>135</b>
6.1	变电所选址 .....	135
6.2	变压器选型 .....	136
6.3	高压电器 .....	147
6.4	10kV 变(配)电所主接线形式及电器选型 .....	165
6.5	高压供电方案 .....	167
6.6	供配电系统施工图设计 .....	168
	思考与练习题 .....	171
<b>第7章</b>	<b>继电保护与测量 .....</b>	<b>173</b>
7.1	短路电流计算基础 .....	173
7.2	电路元件参数换算及网络变换 .....	175
7.3	短路电流计算 .....	180
7.4	变电所二次回路 .....	182
7.5	继电保护 .....	188
	思考与练习题 .....	211
<b>第8章</b>	<b>自备应急电源 .....</b>	<b>213</b>
8.1	自备应急电源概念 .....	213
8.2	常用自备应急电源的种类 .....	213
8.3	自备应急电源特点 .....	215
8.4	自备应急电源的分类 .....	215
8.5	自备应急电源选配 .....	216
8.6	自备应急电源计算方法 .....	217
	思考与练习题 .....	221

<b>第 9 章 建筑防雷设计</b> .....	223
9.1 基础知识 .....	223
9.2 建筑物防雷分类 .....	226
9.3 防雷设备 .....	227
9.4 防雷措施 .....	239
9.5 防雷元件选择 .....	249
9.6 接地装置计算及敷设要求 .....	253
9.7 综合楼防直击雷计算举例 .....	257
思考与练习题 .....	259
<b>第 10 章 绿色建筑与节能设计</b> .....	261
10.1 绿色建筑概念 .....	261
10.2 绿色建筑电能节约与利用 .....	262
10.3 基于 BIM 的绿色设计 .....	266
<b>多媒体资源知识点目录</b> .....	270
<b>参考文献</b> .....	278

# 第 1 章 建筑电气综述

建筑电气是“建筑电气工程”的简称，是指电气工程技术在建筑中的应用。它是以电能、电气设备和电气技术为手段，创造、维持或改善建筑环境功能，提高建筑环境等级和效益的一门科学。从广义上讲，建筑电气根据建筑的使用性质分为民用建筑电气和非民用建筑电气。本章着重介绍建筑电气的内涵、工作重点、建筑电气特征、设计原则等，最后简要介绍一些与电能质量相关的基本概念。



## 1.1 概 述

据史料记载，在 16 世纪末之前的时间里，无论中国，还是古埃及、古希腊、古罗马以及阿拉伯人，对电并没有太多的具体认知，仅限于是对一种自然现象的了解。

直到 17 和 18 世纪，人类对于电的研究才出现了一些在科学方面重要的发展和突破。即使如此，那时的科学家也并没有找到什么电的实际用途。

到 19 世纪末期，由于电机工程学的进步，把电带进了工业和家庭。20 世纪是电气研发的黄金时代，日新月异、连绵不断的快速发展带来了工业和社会巨大的改变。作为能源的一种供给方式，电所具有的多重优点，被广泛应用在动力、照明、冶金、化学、纺织、通信、广播等各个领域，成为科学技术发展、国民经济飞跃的主要动力。电的用途几乎无限量，如同阳光、水、空气一样，与人类各种活动息息相关，密不可分。

电力系统是人类工程科学史上最重要的成就之一，是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的大规模电力生产与消费系统。它将自然界的一次能源，如煤、油、水、太阳能、风力、核能、氢能等，通过发电动力装置转化成电能，再经输电、变电和配电将电能提供给千家万户，如图 1-1 所示。

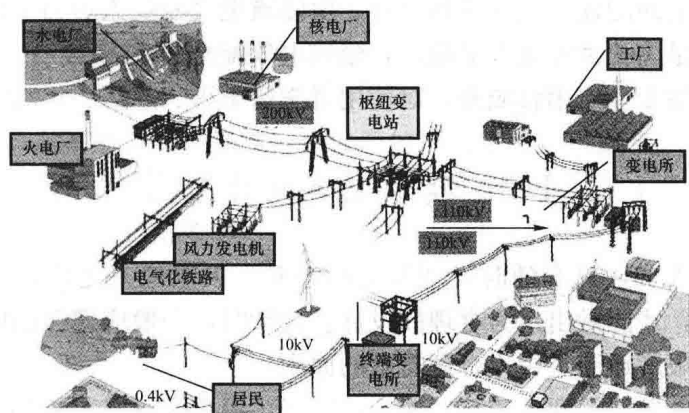


图 1-1 电力系统示意图

电的发现和应用,极大地节省了人类的体力劳动和脑力劳动,使人类的力量长上了翅膀,使人类的信息触角不断延伸。

进入到 21 世纪,无论是传统、现代,还是创新,电依旧是社会发展的骨干能源,依旧是科技进步的主角之一。

### 1.2 建筑电气内涵

通常意义上,建筑电气是指电气工程技术在民用建筑中的应用。它是以电能、电气设备和电气技术为手段,创造、维持或改善建筑环境功能,提高建筑环境等级和效益的一门科学。

建筑电气工作重点主要集中在两个方面:一个是以传输、分配、转换电能为标志,承担着实现电能的供应、输配、转换和利用;另一个是以传播信号,进行信息交换为标志,承担着实现各类信息的获取、传输、处理、存储、显示及应用。习惯上,前者称为“强电”,后者称为“弱电”。

与非建筑电气专业相比,建筑电气有着自身鲜明的特征:

(1) 建筑电气是由供、输、变、配(含操作、控制、计量、保护等)、用多个环节共同组成的统一体。而每一环节始终贯穿于从一条简单支路到规模复杂电网的勘察、设计、施工、验收、运行、维保、使用的每一过程中。因此,“建筑电气”涵盖了上述各环节全过程的方方面面。

(2) 建筑电气因电源性质不同,有直流电路和交流电路之分。直流电路中,既有独立变送配的专用直流电路,如地铁、城际高铁、动车等;也有寄生在交流电路中的直流电路,如变频器、各种电子类、安全类系统、充电桩等。交流电路中,因负载连接的不同,电路有单相,还有三相;有对称,也有不对称。大多数情况下,民用建筑中的三相系统多为不对称系统。

(3) 负载属性因电源性质而具有多重性。直流中为阻性,交流中既可以是纯阻性、纯感性、纯容性,也可以是电阻—电感、电阻—电容、电阻—电感—电容的任意组合。

(4) 建筑电气中,多种电路并举共存,功能各异。技术涵盖电力、电能、自动化、电子、通信、计算机、网络、智能化等领域,种类多、范围广、覆盖面大,对专业人员的技能要求越来越高。

(5) 一个完整全面的建筑电气项目设计,由建筑电气专业人员自主设计的仅占其中的一部分,其余部分是由相关专业人员设计,建筑电气配合完成。

(6) 建筑电气除专业应用领域外,对使用者学历学识、经历、年龄等没有过高要求。



### 1.3 建筑电气设计原则

作为电气设计人员,只有随时发现和总结经验,汲取他人之长,不断丰富自己的知识,积极开拓思路,才能做出最为合理的设计。设计时,一般应遵循的原则如下:

(1) 坚持最大限度地满足用户合理需求的原则

由于科学技术的发展,现代建筑功能日趋复杂,用户要求日益提高。因此,设计时首先要对设计对象的性质、使用功能与用途有充分的了解。其次是对设计委托书和用户的使

用要求,进行认真分析与综合,并在此基础上,在不违反国家相关政策法令、现行标准与规范的前提下,最大限度地满足用户合理需求,并适当留有发展余地。

#### (2) 建筑电气设计应贯彻安全的原则

电气安全主要包括人身安全、设备、设施及供用电安全和建筑物安全等几个方面。严格地讲,安全是建筑电气设计的第一要务。现代建筑由于设备设施的增多,使得建筑内敷设有大量用途各异的管线,为安全起见,这些管线应具有足够的安全间距、绝缘强度、负荷能力、动热稳定裕量,以保证设备、设施及供用电线路的运行安全,确保从事电气设备操作、使用、维护人员的人身安全。因此,通常根据建筑物的重要性和潜在危险程度,设有接地、防雷与防电击、火灾报警与联动、安全监控等必要的技术措施,特殊场合或有特殊要求时,还应设有防静电或抗震技术措施等。

#### (3) 在满足用户需求条件下,应贯彻经济、适用的原则

所谓经济是指在设计中采用符合现行规程、规范的先进技术和节能设备,选择合理运行方式,达到既满足使用功能,又最大限度减少电能,降低各种资源消耗、节约运行费用的目的。有条件时,尽可能合理利用自然环境因素,提高能源利用率,为建筑物的经济运行创造条件。

适用是指能为建筑设备、建筑及其环境正常运行提供所必需的动力,能满足用电设备对负荷容量、电能质量与供电可靠性的要求,真正做到安全、稳定、便捷、高效、易操作、无障碍。

#### (4) 建筑电气设计应贯彻节能、环保的原则

节能是我国的一项基本国策。对于以电能作为唯一动力源的建筑设备设施而言,在建设方案确定之后,电气设计就是贯彻、执行节能国策的重要技术环节,也是每个电气工作者应尽的职责和义务。

电气设计不应以节能为目的而降低设计标准,甚至忽视安全保障。正确的做法是从系统的观念出发,在电气设备、设施运行的全寿命周期内,从设计到运行全过程中的每一个环节,自觉关注并应用安全、合理、可行的节能技术措施。

电能是清洁的能源,但其供配电设备在运行过程中会对环境造成化学污染、电磁噪声和电磁污染。因此,在电气设计中应采取必要的措施,以减少这些污染,保护人身安全及供配电设备周边的自然环境。

#### (5) 建筑电气设计应贯彻统筹兼顾的原则,为新技术应用留有适度发展空间

建筑电气设计还应考虑当地经济水平,正确处理近期与远期的关系;应考虑设备材料的供应情况以及安装维护管理水平;考虑设备设施的形体、色调、安装位置与建筑物的性质、风格协调一致。在不增加或仅增加少量投资的情况下,尽可能创造美好的氛围,并为新技术应用留有适度发展空间,使之达到满意适用、安全可靠、技术先进、经济合理、管理方便、易维护、可扩展的基本要求。

## 1.4 标准电压与电能质量

### 1. 标准电压

标准电压是用于标志或识别系统和设备电压给定值的一个电压等级系列。在三相交流

系统中,通常把 1000V 及以下称为低压,1000V 以上至 35kV 为中压,35kV 以上至 220kV 为高压,330kV 以上为超高压,1000kV 及以上称为特高压。

我国规定的三相交流系统和设备的标准电压,见表 1-1。电力系统中发电、输电及配电、用电设备在正常工作电压(即:额定电压),必须要与其相符合。

三相交流系统及相关设备的标准电压

表 1-1

序号	分类	系统标称电压 (kV)	设备最高电压 (kV)	交流发电机电压 (kV)
1		—	—	0.115
2		0.22/0.38	—	0.23
3		0.38/0.66	—	0.4, 0.69
4		1 (1.14)	—	—
5		3 (3.3)	3.6	3.15
6		6	7.2	6.3
7		10	12	10.5, 13.8, 15.75, 18
8		20	24	20, 22, 24, 26
9		35	40.5	—
10		66	72.5	—
11		110	126 (123)	—
12		220	252 (245)	—
13		330	363	—
14		500	550	—
15		750	800	—
16		1000	1100	—

注: 1. 系统标称电压定义为: 用以标志或识别系统电压的给定值。

2. 规定设备最高电压用以表示设备绝缘, 以及在相关设备性能中可以依据这个最高电压的其他特性。

3. 对用于标称电压不超过 1000V 的设备, 运行和绝缘仅依据系统标称电压而定。

4. 1.14kV 仅限于某些行业内部使用, 其余括号内的数值为用户有要求时使用。

## 2. 电能质量

电能质量即电力系统中电的质量。电能和其他产品不同, 供、输、变、配、用电设备是连接在一个系统内。因此, 电能质量不但取决于供、输、变、配各环节, 而且也取决于用电这个环节。理想的电能应该是完美对称的正弦波。但一些因素会使波形偏离对称正弦, 由此便产生了电能质量问题。影响电能质量的因素有:

### (1) 电网频率

电能传输大多以交流三相为主。我国电力系统的标称频率为 50Hz。《电能质量 电力系统频率偏差》GB/T 15945 规定: 电力系统正常运行条件下频率偏差限值为  $\pm 0.2\text{Hz}$ , 当系统容量较小时, 偏差限值可放宽到  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

在《全国供用电规则》中规定供电局供电频率的允许偏差: 电网容量在 300 万 kW 及以上者为  $\pm 0.2\text{Hz}$ ; 电网容量在 300 万 kW 以下者, 为  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。从全国各主要电力系统的实际运行来看, 都保持在不大于  $\pm 0.1\text{Hz}$  范围内。

### (2) 电压偏差

指实际运行电压  $U_0$  与系统标称电压  $U_N$  偏差相对值的百分数。即:

$$\Delta U(\%) = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中  $\Delta U$  (%)——电压偏差相对百分数；

$U_0$ ——实际运行电压，V 或 kV；

$U_N$ ——系统标称电压，V 或 kV。

电压长时间在偏离标称值下运行，对系统运行或设备寿命影响很大。例如：若实际运行电压低于标称值（欠电压），会使作为动力的感应电动机转矩下降、电流增大、温度升高，从而降低生产效率、影响产品质量、缩短电机寿命；会使气体放电灯不易或反复点燃，降低照度等。若实际运行电压高于标称值（过电压），会使感应电动机电流增加、温度升高、绝缘受损，从而缩短电机寿命；会使电光源亮度增加但寿命缩短；会使电子产品的绝缘永久损坏等。

《电能质量 供电电压偏差》GB/T 12325 中规定：35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过标称电压的 10%；20kV 及以下三相供电电压偏差为标称电压的  $\pm 7\%$ ；220V 单相供电电压偏差为标称电压的  $+7\%$ ， $-10\%$ 。

### (3) 三相电压不平衡

又称三相电不对称。指三相电压的幅值不等，或相位差不是  $120^\circ$ ，或兼而有之，均称为三相电压不平衡。引起三相电不平衡的因素有非正常和正常两方面。系统中发生各种不对称的短路故障时，会造成非正常的三相不平衡，需由保护装置切除以恢复正常。建筑电气中正常运行时的三相不平衡，主要是由三相负载不对称引起的。



三相电不平衡会造成旋转电机振动、发热过度，引起保护误动作，发电机的容量利用率下降，变压器的磁路不平衡产生附加损耗、负荷较大相的绕组过热，加大对通信系统的干扰等。

通常用三相不平衡度，作为衡量三相电电能质量的指标之一。用电压（流）负序基波分量或零序基波分量与正序基波分量方均根值（有效值）的百分比来表示。

如：负序电压的不平衡度  $\epsilon_{u2}$ ，用电压负序分量方均根值  $U_2$  与电压正序分量方均根值  $U_1$  的百分比表示，即：

$$\epsilon_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

相应的，电流负序和零序不平衡度分别用  $\epsilon_{i2}$  及  $\epsilon_{i0}$  表示，其电流负序分量方均根值与电流正序分量方均根值分别用  $I_2$  及  $I_1$  表示。

《电能质量 三相电压不平衡》GB/T 15543 中规定：系统正常运行时，公共连接点（PCC）的负序电压不平衡度  $\epsilon_{u2} \leq 2\%$ ，短时间内  $\epsilon_{u2} \leq 4\%$ ；接于公共连接点的每个用户的允许值，一般为  $\epsilon_{u2} \leq 1.3\%$ ，短时间内  $\epsilon_{u2} \leq 2.6\%$ 。

低压系统零序电压限值暂不作规定，但各相电压必须满足《电能质量 供电电压偏差》GB/T 12325 的要求。

### (4) 公用电网谐波

理想的公用电网所提供的电量，应该具有单一而固定的频率以及规定的幅值。而实际中，公用电网提供的工频交流电除含有周期性的正弦电量外，还含有周期性的非正弦电量。对这类周期性的非正弦电量按傅里叶级数分解，频率与工频相同的分量是基波，大于基波频率整数倍的分量，被称为交流电的高次谐波，简称谐波。



谐波的出现,对公用电网是一种污染,它使用电设备所处的环境恶化,也对周围的其他设备产生干扰。

谐波产生的主要原因是:当正弦电压施加在非线性负载上时,因其基波电流发生畸变而产生。主要非线性负载有 UPS、开关电源、整流器、变频器、逆变器等。

谐波的危害:降低系统(如变压器、断路器、电缆等)容量;加速设备老化,缩短设备使用寿命,甚至损坏设备;危害生产安全与稳定;浪费电能等。

《电能质量 公用电网谐波》GB/T 14549 规定了公用电网谐波(相)电压的限值,见表 1-2。

公用电网谐波(相)电压限值

表 1-2

电网标称电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

#### (5) 公用电网间谐波

间谐波是指非基波频率整数倍的谐波,也称分数次谐波或分数谐波。

间谐波往往由较大的电压波动或冲击性非线性负载引起,所谓非线性的波动负载,如电弧焊、电焊机、各种变频调速装置、同步串级调速装置及感应电动机等均为间谐波源,电力载波信号也是一种间谐波。

在各种电压等级供电网中都可能出现间谐波。间谐波源主要有静止频率变换器,循环换流器,感应电机和电弧设备等。

间谐波源的特点是放大电压闪变和音频干扰,影响电视机画面及增大收音机噪声,造成感应电动机振动及异常。对于由电容、电感和电阻构成的无源滤波器电路,间谐波可能会被放大,严重时会使滤波器因谐波过载而不能正常运行,甚至造成损坏。间谐波的影响和危害等同谐波电压的影响和危害。

《电能质量 公用电网间谐波》GB/T 24337 中,对我国电力系统中的间谐波限值作了规定:220kV 及以下电力系统公共连接点(PCC)各次间谐波含有率应不大于表 1-3 限值;接于公共连接点(PCC)的单一用户引起的各次间谐波电压含有率一般不超过表 1-4 限值。根据连接点的负荷状况,该限值可以做适当变动,但须满足表 1-3 的规定。

间谐波电压含有率限值 (%)

表 1-3

电压等级	频率 (Hz)	
	<100	100~800
1000V 及以下	0.2	0.5
1000V 以上	0.16	0.4

注:800Hz 以上间谐波电压限值尚在研究中。