

建筑电气数据 选择指南

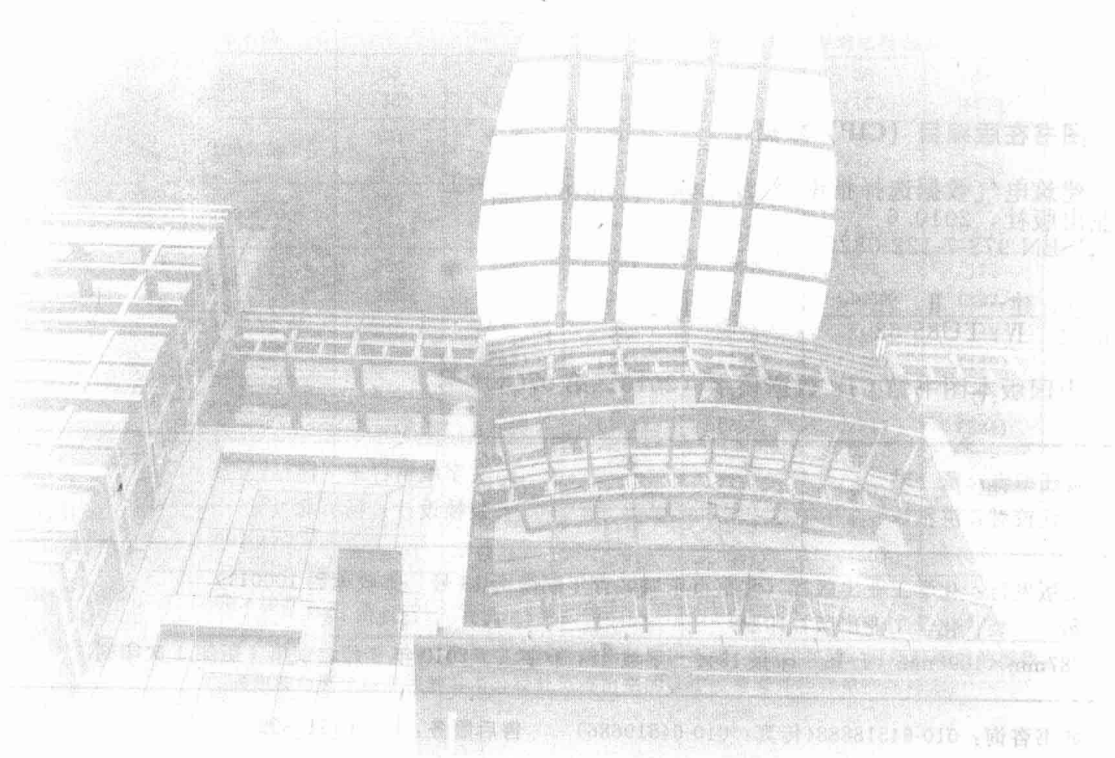
江 萍 主 编
魏立明 王琮泽 副主编



化学工业出版社

建筑电气数据 选择指南

江 萍 主 编
魏立明 王琮泽 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合《民用建筑电气设计规范》JGJ 16—2008,对民用建筑中智能建筑电气工程中的供配电系统、照明系统、动力配电系统、防雷接地系统、消防系统、综合布线系统、安全防范系统等部分,以基本理论、数据计算方法为理论框架,以规范要求、实际应用为基准,对常用数据进行了归纳总结,为设备选择应用提供延伸空间。

本书将理论、方法、数据、设备、应用结合在一起,条理清晰、数据实用、叙述言简意赅、语言深入浅出,可供建筑电气领域中广大电气工程专业技术人员及工人工作查阅,亦可作为大中专院校相关专业师生学习或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电气数据选择指南/江萍主编. —北京:化学工业出版社, 2010.6
ISBN 978-7-122-08269-5

I. 建… II. 江… III. 房屋建筑设备: 电气设备-指南 IV. TU85-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 070309 号

责任编辑: 董琳
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 王洋
装帧设计: 杨北

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 454 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着建筑业的发展，在建筑电气工程领域，新技术、新材料、新产品的应用不断出现，各种行业性、规范性文件也不断更新。在这一领域中的技术、设计、施工等人员越来越需要能方便查阅和使用的各类专业数据资料和设备选择资料。

从智能化的观点来看，将各类电气工程有效集成，并形成方便、安全、快捷的管理模式，是本学科的发展方向。本书以建筑中的电气工程为主线，将这一领域中常用的技术数据知识整合在一起，为学习、设计、施工、选择、应用以及科学研究提供方便条件，具有一定的实用价值。

作为一种资料图书，本书以系统集成作为基本理念，以简便、实用、规范、先进、节能为基本原则，将建筑电气工程应用领域中常用的数据从基本理论到实际选择应用，进行了归纳梳理，并提供了新技术、新产品、新领域的资讯。

本书结合《民用建筑电气设计规范》JGJ 16—2008，对民用建筑中智能建筑电气工程中的供配电系统、照明系统、动力配电系统、防雷接地系统、消防系统、综合布线系统、安全防范系统等部分，以基本理论、数据计算方法为理论框架，以规范要求、实际应用为基准，对常用数据进行了归纳总结，为设备选择应用提供延伸空间。

本书将理论、方法、数据、设备、应用结合在一起，条理清晰、数据实用、叙述言简意赅、语言深入浅出，可供建筑电气领域中广大电气工程专业技术人员及工人工作查阅，亦可作为大中专院校相关专业师生学习或参考用书。

本书由江萍担任主编并统稿，第1章、第2章、第3章由江萍编写，第4章、第5章由王琮泽编写，第6章由江萍、靖辉编写，第7章由魏立明编写，第8章由王琮泽、王亚娟编写，第9章由王亚娟编写。全书由翟大成高级工程师审阅，并提出宝贵意见。

由于编者水平有限，不能完全反映建筑电气数据全貌，书中难免有遗漏和不当之处，诚望业内各位专家同仁不吝赐教，以便更正。

编 者
2010年3月

目 录

第 1 章 供配电系统	1
1.1 供电要求和电压等级	1
1.1.1 供电要求及供电措施	1
1.1.2 电压等级及输送距离	1
1.2 电能质量	4
1.2.1 电压偏差及改善措施	4
1.2.2 电压波动和电压闪变及抑制措施	4
1.2.3 三相电压不平衡度及改善措施	6
1.2.4 谐波及改善措施	7
1.2.5 频率偏差及对用电设备的影响	9
1.3 配电变压器的选择	11
1.3.1 变压器台数与容量的选择	11
1.3.2 配电变压器类型的选择	12
1.3.3 配电变压器技术数据	15
1.4 高压一次设备的选择	17
1.4.1 短路电流计算	17
1.4.2 高压侧配电设备的选择	21
1.4.3 高压成套开关柜的选择	25
1.5 继电保护装置选择	26
1.5.1 电力变压器继电保护装置选择	26
1.5.2 6~10kV 线路保护	29
1.5.3 6~10kV 分段母线保护继电保护 装置选择	29
1.5.4 6~10kV 电力电容器继电保护装 置选择	29
1.6 自备应急电源选择	33
1.6.1 柴油发电机选择	33
1.6.2 不间断电源装置 (UPS) 的选择	34
1.6.3 应急电源装置 (EPS) 的选择	36
第 2 章 负荷计算	39
2.1 负荷等级及有关规定	39
2.1.1 负荷等级确定依据	39
2.1.2 常用电气设备负荷等级划分	39
2.2 需要系数法	43
2.2.1 确定设备容量	43
2.2.2 需要系数法计算步骤	43
2.3 二项式法	49
2.3.1 二项式法计算公式	49
2.4 利用系数法	49
2.4.1 利用系数法计算公式	49
2.5 用电指标法	52
2.5.1 用电指标法计算公式	52
2.5.2 负荷各类指标	53
2.6 冲击性负荷和系统损耗负荷计算	54
2.6.1 冲击性负荷计算	54
2.6.2 系统损耗负荷计算	55
2.7 无功补偿计算	56
2.7.1 提高自然功率因数措施	56
2.7.2 采用电力电容器人工补偿	58
第 3 章 低压配电系统	61
3.1 常用线缆选择	61
3.1.1 常用线缆类型选择	61
3.1.2 相线导体截面选择	67
3.1.3 线路电压损失计算	73
3.1.4 中性线 (N) 的导体截面选择	77
3.2 低压开关电器的选择	79
3.2.1 选择的一般要求及校验项目	79
3.2.2 断路器选择	80
3.2.3 熔断器选择	84
3.2.4 隔离电器选择	88
3.3 特低电压电器选择要求	90
3.3.1 特低电压电器类型及要求	90
3.3.2 ELV 系统的保护及应用场所	91
3.4 电击防护的选择	92
3.4.1 电击防护分类及保护措施	92
3.4.2 TN 系统自动切断电源的电击防护 措施	93
3.4.3 TT 系统自动切断电源的电击防护 措施	94
3.4.4 IT 系统自动切断电源的电击防护	

措施	95	3.4.5 剩余电流保护装置的选择	96
第4章 常用电气设备保护选择	98	4.4 体育馆(场)电气设备的选择	113
4.1 三相异步电动机保护设备的选择	98	4.4.1 体育馆(场)供电电源选择	113
4.1.1 常见三相异步电动机保护类型	98	4.4.2 体育馆(场)照明设备选择	115
4.1.2 电动机的短路及接地故障保护器 件选择	98	4.5 医用电器配电设备选择	116
4.1.3 交流电动机的过载及断相保护器件 的选择	101	4.5.1 放射线设备的专用电源变压器 配电设备选择	116
4.1.4 交流电动机低电压保护器件 选择	106	4.5.2 放射线设备的供电线路的选择	117
4.2 电梯和自动扶梯保护设备的选择	108	4.5.3 放射线设备的电源开关和保护 设备的选择	118
4.2.1 一般规定	108	4.6 日用电器配电保护设备的选择	118
4.2.2 电源开关及导线选择要求	108	4.6.1 日用电器分类及保护要求	118
4.2.3 电梯保护设备及导线的选择	109	4.6.2 日用电器配电保护器件选择	119
4.3 自动门和电动卷帘门保护设备的 选择	111	4.7 低压电动机保护器的选择	119
4.3.1 自动门常用保护设备种类及 性能	111	4.7.1 低压电动机保护器的保护功能	119
4.3.2 电动卷帘门常用保护设备	112	4.7.2 低压电动机保护器的选型	120
第5章 建筑电气照明	124	4.7.3 智能型低压电动机保护器选择 参数	121
5.1 照度标准	124	5.4 照度计算方法	143
5.1.1 工业建筑照明标准	124	5.4.1 利用系数法	143
5.1.2 公用场所及居住建筑照明标准	125	5.4.2 单位容量法	146
5.1.3 公共建筑照明标准	125	5.4.3 逐点算法	148
5.1.4 照度标准的升级或降级	129	5.4.4 眩光计算	149
5.2 照明质量	130	5.5 常见布灯方法	152
5.2.1 照度水平和均匀度的基本要求	130	5.5.1 典型布灯	152
5.2.2 光源颜色	131	5.5.2 装饰布灯	152
5.2.3 眩光限制和利用	131	5.5.3 满足照度分布均匀的合理性	154
5.3 照明光源与灯具选择	132	5.6 照明节能	155
5.3.1 照明电光源	132	5.6.1 节能光源	155
5.3.2 照明光源的选择	137	5.6.2 节能灯具	159
5.3.3 照明灯具及其特性	139	5.6.3 合理的照明控制	160
5.3.4 灯具的选择	142	5.6.4 照明节能计算	162
第6章 建筑物防雷与接地安全	165	6.3.2 建筑物内部防雷措施	179
6.1 建筑物的防雷分类	165	6.3.3 内部防雷装置选择	180
6.1.1 雷电危害及参数	165	6.3.4 浪涌保护器选择	183
6.1.2 建筑物防雷分类	167	6.4 接地与等电位连接设备的选择	192
6.1.3 年预计雷击次数计算	168	6.4.1 接地与共用接地装置	192
6.2 民用建筑物外部防雷装置选择	171	6.4.2 等电位连接分类及要求	195
6.2.1 民用建筑物外部防雷措施	171	6.4.3 等电位连接网络结构的选择	196
6.2.2 建筑物防雷装置选择	171	6.4.4 等电位连接线的选择	197
6.2.3 避雷器的选择	176	6.5 低压配电系统的保护接地选择	198
6.3 建筑物内部防雷装置选择	178	6.5.1 保护接地范围	198
6.3.1 雷电防护分区及防护分级	178		

6.5.2 低压配电系统的接地保护	198
第7章 火灾自动报警系统及联动系统	201
7.1 系统保护对象分级及系统分类	201
7.1.1 消防系统的组成	201
7.1.2 建筑分类及系统保护对象分级	201
7.1.3 消防系统的分类	203
7.2 火灾自动报警系统设备选择	204
7.2.1 火灾探测器分类	204
7.2.2 探测器种类的选择及布置	205
7.2.3 火灾自动报警系统主要设备	210
7.3 消防控制室	212
7.3.1 消防控制室的设置原则	212
7.3.2 消防控制室的位置选择及布置 要求	212
7.3.3 消防联动控制器	213
第8章 安全防范系统设备选择	226
8.1 通用型公共建筑安全防范系统配置	226
8.1.1 一般要求	226
8.1.2 系统配置类型选择	226
8.2 入侵报警系统设备选择	228
8.2.1 一般规定	228
8.2.2 入侵报警系统基本组成及功能	229
8.2.3 设备选型与设置	230
8.3 视频安防监控系统设备选择	235
8.3.1 一般规定	235
8.3.2 系统基本组成及主要功能	236
8.3.3 视频安防监控系统的设备选择与 设置	237
第9章 综合布线系统	256
9.1 综合布线系统功能与系统指标	256
9.1.1 综合布线系统组成及主要功能	256
9.1.2 综合布线系统设计配置	256
9.1.3 综合布线系统的传输介质	258
9.2 工作区设备选择	262
9.2.1 工作区组成及信息点配置	262
9.2.2 主要设备选择	263
9.3 配线子系统设备选择	264
9.3.1 配线子系统组成及连接方式	264
9.3.2 主要设备选择	264
9.3.3 配线子系统线缆量计算方法	267
9.3.4 楼层配线设备选择	268
参考文献	284
7.4 自动灭火控制系统	213
7.4.1 灭火形式、方法以及灭火介质	213
7.4.2 自动水灭火系统	215
7.4.3 气体灭火系统	215
7.5 火灾应急照明与消防通信系统	216
7.5.1 应急照明分类和设置场所	216
7.5.2 应急照明的设置要求	217
7.5.3 消防通信系统设置要求	219
7.6 消防联动控制系统	220
7.6.1 消防联动控制系统组成及设计 要求	220
7.6.2 消防联动控制系统的布线	224
7.6.3 消防联动控制系统注意事项	224
8.3.4 视频安防监控设备技术参数	242
8.4 出入口控制系统设备选择	243
8.4.1 系统基本组成及主要功能	243
8.4.2 出入口控制系统的设备选择与 设置	247
8.5 访客对讲系统设备选择	249
8.5.1 访客对讲系统基本组成及类型	249
8.5.2 访客对讲系统设备选型	250
8.6 电子巡更系统	252
8.6.1 一般要求	253
8.6.2 系统基本组成及主要功能	253
8.6.3 电子巡更系统设备选择	254
9.4 干线子系统设备选择	269
9.4.1 干线子系统组成及拓扑结构	269
9.4.2 干线子系统线缆的选择	271
9.5 进线间、设备间和电信间设备选择	272
9.5.1 进线间设备选择	272
9.5.2 设备间设备选择	272
9.5.3 电信间设备选择	274
9.5.4 设备管理	274
9.6 综合布线系统中的线缆敷设	276
9.6.1 铜线缆敷设	276
9.6.2 光缆敷设	279

第 1 章 供配电系统

民用建筑中的电气工程系统主要由强电和弱电两大部分组成, 10kV 高压配电系统和 220/380V 低压配电系统是配送电能的强电系统。确定用电负荷的等级以及合理选择供配电系统电气设备是设计供配电系统合理性的主要理论依据。

1.1 供电要求和电压等级

1.1.1 供电要求及供电措施

(1) 供电要求 各等级用电负荷的供电要求基本上可分为对供电电源要求和对供配电系统基本要求等部分, 其内容见表 1-1。

表 1-1 各等级用电负荷供电要求表

负荷级别	对供电电源的要求	供配电系统
一级负荷	应由两个独立电源供电, 当一个电源发生故障时, 另一个电源不应同时受到损坏。而且当一个电源中断供电时, 另一个电源应能承担本用户的全部一级负荷设备的供电	10(6)kV 供电线路宜深入负荷中心。同时供电的两回路及以上供配电线路中, 其中一个回路中断供电时, 其余线路应能满足全部一级负荷及全部或部分二级负荷的供电。 两回电源线路的用电单位, 当用电负荷中含有大量一级负荷中的特别重要负荷或大量的消防负荷时, 两路电源应同时供电。
一级负荷中特别重要负荷	除两个独立电源之外, 还应增设应急电源作为第三电源, 并严禁将其他负荷接入应急供电系统	供配电系统应简单可靠, 10(6)kV 配电系统的配电级数不宜多于两级, 且配电系统宜采用放射式, 根据具体情况也可采用环形或树干式
二级负荷	宜由两回线路供电	
三级负荷	供电无特殊要求, 可按约定供电	供配电系统简洁可靠, 减量减少电压偏差和电压波动

(2) 供电措施 各等级负荷用户的供电措施, 均应考虑外部电源条件, 并结合本工程用电量、负荷等级、供电距离等因素综合考虑, 确定工程的外部电源、备用电源及供配电系统。常见各等级负荷供配电措施可见表 1-2。

(3) 应急电源 应急电源是一种安装在建筑物内的备用电源装置。当建筑物发生火灾、事故或其他紧急情况导致市电断电时 应急电源可以为消防用电负荷和其他重要负载提供第二路应急供电。

严禁将其他负荷接入应急电源供电系统, 应急电源与正常电源之间必须采取安全可靠措施, 防止其并列运行, 尤其防止向系统反送电。

根据负荷对中断供电时间的要求, 应急电源类型的选择见表 1-3。

1.1.2 电压等级及输送距离

(1) 电力网电压等级 按作用分类, 电力网一般由输电网和配电网组成, 输电网主要完成电能远距离输送功能, 输电电压等级在 220~750kV 之间。配电网主要完成对电能进行降压处理, 并按一定方式分配至电能用户。一般情况下, 110kV 及以下电压为配电电压。配电网电压分级见表 1-4。

表 1-2 常见各等级负荷供电措施

负荷级别	供电电源措施	供配电系统措施
一级负荷	1. 当一级负荷容量在 200kW 以上,或有 10kV 用电设备时,应采用两路来自不同区域变电站的 10kV 高压电源;亦可采用不同电压供电,或自备柴油发电机组。 2. 当一级负荷容量在 100kW 及以下时,应优先采用从电力系统或临近单位取得第二低压电源,亦可采用应急发电机组。 3. 当一级负荷仅为照明或电信负荷时,宜采用不间断电源 UPS 或 EPS 作为备用电源。 4. 作为应急电源用的自备电源与正常电力电源之间必须采取防治并列运行的措施	1. 一级负荷用户的变配电室内的高低压配电系统,均应采用单母线分段系统,分列运行互为备用。 2. 一级负荷设备采用双电源供电,并在最末一级配电装置处自动切换。 3. 不同级别的负荷不应共用供电回路,为一级负荷供电的回路中,不应接入其他级别的负荷。 4. 为一级负荷供电的低压配电系统,应简单可靠,尽量减少配电级数,一般情况下不应超过三级
一级负荷中特别重要负荷	一级负荷中特别重要负荷亦即负荷中的特别重要负荷用户,应考虑一个电源系统检修或故障的同时,另一电源又发生故障的可能,应从电力系统取得第三电源或设置自备电源	1. 在变电所内的低压配电系统中,应设置应急供电系统,为一级负荷和特别重要负荷供电,并严禁其他级别的负荷接入此应急供电系统。 2. 特别重要负荷设备应由两个电源供电,在设备的控制装置内自动互投,并应满足设备对电源中断供电时间的要求,或选用不间断电源装置供电(UPS)
二级负荷	1. 宜由两个回路供电,第二回路可来自地区电力网或邻近单位,也可自备柴油发电机组。 2. 在负荷较小或地区供电条件困难时,可由一回路 6kV 及以上专用的架空线路或电缆供电。当采用架空线时,可为一回路架空线供电;当采用电缆线路时,应采用两根电缆组成的线路供电,其每根电缆应能承受 100% 的二级负荷。 3. 由同一区域变电站的两段母线分别引来的两个回路供电	二级负荷设备供电可采用下列方式之一。 1. 双电源或双回路供电,在最末一级配电装置内自动切换。 2. 双电源或双回路供电到适当的配电点自动互投后,再用专线送到用电设备或其控制装置上。 3. 有变电所引出可靠的专用的单回路供电。 4. 应急照明灯分散的小容量负荷,可采用一路市电,另一路 EPS 电源;或者采用一路市电与设备自带的蓄电池等在设备处自动切换
三级负荷	采用一路市电单回路供电	尽量减少配电级数,低压配电级数一般不宜超过四级

表 1-3 应急电源类型的选择

应急电源类型	负荷对中断供电时间的要求	备 注
供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路	允许中断供电时间大于电源切换时间	选用带有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路
独立于正常电源的发电机组	允许中断供电时间为 15~30s 的负荷	选用快速自动启动的应急发电机组,并设置与市电自动切换装置,且有防止与市电并列运行的措施
UPS 不间断电源	允许中断供电时间为毫秒(ms)级的负荷	适用于交流供电负荷,如计算机等电容性负荷
EPS 应急电源	允许中断供电时间为 0.25s 以上的负荷	适用于交流供电的电感性及电阻性应急照明负荷
蓄电池组	允许停电时间为毫秒级的特别重要负荷	容量不大、采用直流电源供电的负荷

表 1-4 配电网电压分级表

低 压	中 压	高 压
1.0kV 以下	1kV、3kV、6kV、10kV、35kV	66kV、110kV、220kV

(2) 额定电压 我国国家标准规定的三相交流电网和电力设备常用的额定电压见表 1-5。

(3) 电能的输送距离 电能的输送距离与输送的功率和线路电压等级有关,电力线路合理输送功率和输送距离见表 1-6。

表 1-5 我国三相交流电网额定电压和系统平均额定电压

电网和用电设备额定电压 /kV	交流发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV		系统平均额定电压 /kV
		一次绕组	二次绕组	
0.22	0.23	0.22	0.23	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40	0.40
0.66	0.69	0.66	0.69	0.69
3	3.15	3 3.15	3.15 3.3	3.15
6	6.3	6 6.3	6.3 6.6	6.3
10	10.5	10 10.5	10.5 11	10.5
—	13.8 15.75 18	13.8 15.75 18	—	—
(20)	(20)	(20) (21)	(21) (22)	(21)
35	—	35	38.5	37
66	—	66	69	69
110	—	110	121	115
220	—	220	242	231
330	—	330	363	347
500	—	500	550	525

说明：圆括号中的数据为用户有要求时使用。

表 1-6 电力线路合理输送功率和输送距离

额定线电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
0.22	架空线	50 以下	0.15
0.22	电缆线	100 以下	0.20
0.38	架空线	100 以下	0.25
0.38	电缆线	175 以下	0.35
3	架空线	100~1000	1~3
6	架空线	100~1200	4~15
6	电缆线	3000 以下	8 以下
10	架空线	200~2000	6~20
10	电缆线	4000 以下	10 以下
35	架空线	2000~15000	20~50
110	架空线	10000~3000	50~150
220	架空线	100000~500000	200~300
330	架空线	200000~800000	200~600
500	架空线	1000000~1500000	150~850

(4) 建筑电气供电电压等级 用电单位的供电电压等级应根据用电负荷容量、设备特征、供电距离、当地公共电网现状及发展规划等因素，经技术经济比较后确定。

城镇的高压配电系统亦宜采用 10kV，低压配电系统应采用 220/380V。建筑电气供电电压等级选择基本要求见表 1-7。

表 1-7 建筑电气供电电压等级选择

用户容量		供电电压/kV	备 注
用电设备总容量/kW	或变压器容量/kV·A		
250 及以上	160 及以上	10 或 6	当采用 35kV 配电经济合理时，可采用 35/0.4kV 直降方式
250 以下	160 以下	0.22/0.38	特殊情况也可高压供电

1.2 电能质量

评价供配电系统电能质量的主要指标有电压偏差、电压波动和闪变、三相电压不平衡度、谐波和频率偏差。

1.2.1 电压偏差及改善措施

(1) 电压偏差 电压偏差为供配电系统各点实际电压偏离系统额定电压的百分比, 计算公式为:

$$\Delta U = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中 ΔU ——电压偏差百分比;

U ——实际运行电压, V;

U_N ——系统额定电压, V。

(2) 电压偏差的改善措施 电压偏差过大将对供配电系统中的用电设备产生不利影响(见表 1-8)。电压偏差允许值通常分为用电单位受电端的供电电压偏差允许值和用电设备端子处的电压偏差允许值。电压偏差及改善措施见表 1-9。

表 1-8 电压偏差对系统中用电设备的影响

用电设备	电压偏差产生的影响	备 注
异步电动机	电压偏差过高, 会使电动机端电压升高, 励磁电流和温升增加, 产生有害的谐波电流, 降低使用寿命。 电压偏差过低, 会使电动机的电磁转矩下降较多, 转速降低, 负荷电流增加, 影响使用寿命	电动机转矩 M 与端电压 U 平方成正比, 即 $M \propto U^2$
照明设备	电压偏差过高, 会使照明设备光通量增加, 减少使用寿命。 电压偏差过低, 会使照明设备光通量减少, 照度不足, 影响照明效果, 甚至导致气体放电光源的照明不能正常点燃	
电子设备	电压偏差过大, 会使计算机系统工作紊乱, 数据损坏, 还会造成精密机床、机器人等无法保持精确控制	
无功补偿电容器	电压偏差过高, 会使无功功率(Q)输出增加, 影响系统正常工作。 电压偏差过低, 会使无功功率(Q)输出减少, 不能满足补偿要求	$Q \propto U^2$

表 1-9 电压偏差及改善措施

用电单位	电压偏差允许值	改善措施	备 注
受电端电压	35kV 及以上	1. 正确选择变压器的变压比和电压分接头。 2. 降低系统阻抗, 如减少变压级数, 增加线路截面, 用电缆代替架空线路或普通绝缘导线等。 3. 合理采用无功功率补偿措施。如采用自动调节补偿方式等。 4. 平衡三相负荷。由地区公共低压电网供电的 220V 照明负荷, 线路电流小于或等于 40A 时, 宜采用 220V 单相供电; 大于 40A 时, 宜采用 220/380V 三相四线制供电	有特殊要求的用电单位应与供电企业协议确定
	10kV 及以下		
	220V		
用电设备端子处	一般用途电动机		
	电梯电动机		
	一般照明		
	远离变电所的小面积场所照明		
	应急照明、景观照明、道路照明和警卫照明		
	无特殊规定的用电设备	$\pm 5\%$	

1.2.2 电压波动和电压闪变及抑制措施

(1) 电压波动 当一系列电压均方根值的变动或电压包络线的周期性变动速度等于或大于 0.2%/s 时称为电压波动。计算公式为:

$$d\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\%$$

式中 $d\%$ ——电压波动百分比；

$U_{\max}$ ——电力系统在最小运行方式下，一个以上用户连接点的公共供电点相邻电压的均方根最大值，V；

$U_{\min}$ ——电力系统在最小运行方式下，一个以上用户连接点的公共供电点相邻电压的均方根最小值，V；

U_N ——系统额定电压，V。

对于三相平衡负荷，由负荷引起的电压波动的计算公式为：

$$d\% = \frac{R_L \Delta P + X_L \Delta Q}{U_N^2} \times 100\% \approx \frac{\Delta S_i}{S_{SC}} \times 100\%$$

式中 R_L 、 X_L ——系统电阻和电抗， Ω ；

ΔP 、 ΔQ ——负荷的有功功率（单位为 W）和无功功率（单位为 Var）变化量；

U_N ——系统额定电压，V；

ΔS_i ——波动负荷视在功率的变化，V·A；

S_{SC} ——公共连接点短路容量，V·A。

国际电工委员会标准（IEC）规定，在低压民用电力网中，稳态电压波动应不超过 3%，最大的电压波动应不超过 4%，电压波动超过 3% 的持续时间不应超过 200ms。

（2）电压波动频度 单位时间内电压波动的次数称为电压变动频度。电压由大到小或由小到大各算一次波动。同一方向的若干次波动，如间隔时间小于 30ms，则算一次波动。计算公式为：

$$r = \frac{m}{T}$$

式中 r ——电压波动频度， h^{-1} ；

m ——某一规定时间内电压变化次数；

T ——冲击负荷的周期，h。

（3）电压闪变 瞬时电压的升降将造成照明设备的灯光亮度急剧变化，使人眼对灯光的闪烁感到不适应的现象称为电压闪变。

（4）短时间闪变值 P_{st} 和长时间闪变值 P_{lt} 闪变是由于电压波动而引起的灯光不稳定的视觉效应，短时间闪变值 P_{st} 是衡量短时间（若干分钟）内闪变强弱的一个统计量， $P_{st}=1$ 为闪变引起视觉激性的通常值。长时间闪变值 P_{lt} 是反映长时间（若干小时）闪变强弱的量值。

电压波动和电压闪变主要是由冲击性功率负荷引起的，如电力牵引车、炼钢电弧炉、电弧焊机和轧钢机等。电压波动对电压质量要求很高的敏感性负荷影响巨大。电压闪变超过限值时，照明负荷无法正常工作，损害人身健康。电压闪变和电压波动的允许值见表 1-10 和表 1-11。电压波动和电压闪变对用电设备的影响见表 1-12。

表 1-10 各级电压下的闪变限制值

系统电压等级	$\leq 1\text{kV}(\text{LV})$	$1 \sim 35\text{kV}(\text{MV})$	$> 35\text{kV}(\text{HV})$
短时间闪变值 P_{st}	1.0	0.9(1.0)	0.8
长时间闪变值 P_{lt}	0.8	0.7(0.8)	0.6

注：1. P_{st} 和 P_{lt} 每次测量周期分别取 10min 和 2h。

2. LV 表示低压，一般指 $U_r \leq 1\text{kV}$ 的低电压配电网；MV 表示中压，一般指 $1\text{kV} < U_r \leq 35\text{kV}$ 的配电网；HV 表示高压，一般指 $35\text{kV} < U_r \leq 230\text{kV}$ 的大型用户的高压供电和地区性连接的配电网。

3. MV 括号中的值仅适合于公共连接点连接的所有用户为同电压等级的场合。

表 1-11 电压变动限制值

电压波动频度 r/h^{-1}	电压波动 $d\%$		电压波动频度 r/h^{-1}	电压波动 $d\%$	
	$\leq 1kV, 1\sim 35kV$	$35\sim 220kV$		$\leq 1kV, 1\sim 35kV$	$35\sim 220kV$
$r\leq 1$	4	3	$10<r\leq 100$	2	1.5
$1<r\leq 10$	3	2.5	$100<r\leq 1000$	1.25	1

表 1-12 电压波动和闪变对用电设备的影响

用电设备类别	影 响 及 危 害
照明设备	引起照明光源的闪烁,照明质量下降,严重时将难以正常工作
显示设备	使电视机、计算机显示器中的显像管不能正常工作,图像变形
电动机设备	电压波动会使电动机转速不均匀,影响产品质量,严重时将使电动机无法正常启动。对同步电机还可以引起转子振动
电子设备	导致电子设备、自控设备或测量仪器无法准确工作

(5) 电压波动和闪变的抑制措施 通常供电系统中的电压波动和闪变是由于用户波动性负荷引起的。在高压级出现的闪变将全部传到中压和低压系统,低压级的闪变干扰几乎不会传递到高压级。通常抑制电压波动和闪变可采取的措施见表 1-13。

表 1-13 电压波动和闪变的抑制措施

抑制措施	使用场所	备 注
采用单回路供电	对负荷急剧变化的大型用电设备以专线单独供电;对较大功率的冲击性负荷或负荷群由专门的变压器供电,以限制对其他负荷的影响	最简便有效的方法
降低配电线路阻抗	将单回路线路改为双回路线路,或将架空线路改为电缆线路,降低配电系统线路上的阻抗值,从而减小负荷变动时引起的电压波动	
提高供电电压等级	电压损失的百分比与电网的额定电压平方成反比,因此,提高供电电压等级能抑制电网电压的波动。对大功率用电设备,可选用更高等级电压供电	对大功率电弧炉等冲击性负荷的变压器,宜由短路容量较大的电网供电
装设静止型无功补偿装置(SVC)	吸收无功功率和动态谐波电流。对大功率电弧炉或其他大功率冲击性负荷引起的电压波动和闪变以及产生的谐波有很好的抑制和补偿作用	自饱和电抗器效能最好
减小或切除引起电压波动大的负荷	在供配电系统出现严重电压波动时,可以采取这一措施	

1.2.3 三相电压不平衡度及改善措施

(1) 三相电压不平衡及三相电压不平衡度 在供配电系统中,当三相电压的幅值不相等,或彼此之间的相位差不等于 120° 时,称为三相电压不平衡(不对称)。

三相电压的不平衡程度用三相系统的电压负序分量与电压正序分量的均方根值百分比表示,即:

$$\epsilon_U = \frac{U^-}{U^+} \times 100\%$$

式中 U^- ——三相电压负序分量的均方根值, V;

U^+ ——三相电压正序分量的均方根值, V;

ϵ_U ——三相电压的不平衡度。

电力系统中三相电压不平衡度的允许值见表 1-14。

表 1-14 三相电压不平衡度的允许值

系统范围	三相电压不平衡度 $\epsilon_U\%$
电力系统	公共连接点正常不平衡度允许值为 2%,短时不得超过 4%
用户	接于公共连接点的每个用户,引起该点正常电压不平衡度允许值一般为 1.3%
电气设备	额定工况的电压允许不平衡度和负序电流允许值按各自标准确定

(2) 三相电压不平衡对用电设备的影响 三相电压不平衡时, 电压负序分量会对系统和用电设备产生不良影响, 见表 1-15。

表 1-15 三相电压不平衡对用电设备的影响

用电设备	影 响 程 度
三相变压器	当三相电压不平衡度超过允许值时, 由于要求三相负载均不能过载, 变压器容量必须大于最大一相容量的 3 倍, 降低了变压器的利用率
电动机	负序电流流入同步电动机或异步电动机时, 会使电动机产生附加损耗而过热, 产生附加转矩而降低使用效率, 还会缩短电动机的使用寿命
变流装置	对多相整流装置, 不平衡电压会使电流在各整流元件上导通的时间和大小发生差异, 导致部分元件的效能得不到充分利用, 同时还会产生偶次非特征谐波, 其幅值与电压的不平衡度成正比, 进一步影响电能质量
补偿电容器	不平衡电压会使各相输出的无功功率不平衡, 改变了总无功功率的输出值
照明设备	电压过高相的照明设备将缩短光源寿命, 电压过低的照明设备将产生电光源照度不足
计算机电视机	影响计算机和电视机正常工作
通信设备	电力系统三相不平衡度越大, 会增大对通信设备的干扰程度, 影响正常通信质量

(3) 三相电压不平衡度的改善措施 产生三相电压不平衡的主要原因是单相负荷在三相系统中容量和位置分布不合理, 其改善措施见表 1-16。

表 1-16 三相电压不平衡度的改善措施

序号	三 相 电 压 不 平 衡 度 的 改 善 措 施
1	将单相负荷平衡分布于三相上, 并考虑用电设备不同的功率因素, 尽量使有功功率和无功功率在三相系统中达到平衡。低压系统三相之间的容量之差不得超过计算范围内三相负荷平均值的 15%
2	对不能平衡的单相负荷, 采用单独的单相变压器供电
3	对不对称的三相负荷, 尽量连接在短路容量较大的系统
4	采用平衡电抗器和电容器组成的电流平衡装置

1.2.4 谐波及改善措施

(1) 谐波及谐波含量 对周期性非正弦交流量按傅里叶级数分解, 所得到的一系列频率大于基波频率 (50Hz)1 倍以上的分量称为谐波。

向公共电网注入谐波电流或在公共电网中产生谐波电压的电气设备称为谐波源。谐波含量分为谐波电压含量 U_H 和谐波电流含量 I_H , 其表达式为:

$$U_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (U_h)^2}$$
$$I_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}$$

式中 U_H ——谐波电压含量, 即各次谐波电压的均方根值, V;

U_h ——第 h 次谐波电压均方根值, V;

h ——谐波次数, h 为偶数, 则为偶次谐波, h 为奇数, 则为奇次谐波;

I_H ——谐波电流含量, 即各次谐波电流的均方根值, A;

I_h ——第 h 次谐波电流的均方根值, A。

(2) 谐波含有率 HR 谐波含有率 HR 分为第 h 次谐波电流含有率 HRI_h 和第 h 次谐波电压含有率 HRU_h , 表达式为:

$$HRI_h = \frac{I_h}{I_1} \times 100\%$$

$$HRU_h = \frac{U_h}{I_1} \times 100\%$$

式中 I_1 ——基波电流均方根值, V;

HRI_h ——第 h 次谐波电流含有率;

HRU_h ——第 h 次谐波电压含有率。

(3) 总谐波畸变率 THD 周期性交流量中的各次谐波含有的均方根值 (U_H 或 I_H) 与其基波分量的均方根值 (U_1 或 I_1) 之比称为总谐波分量的畸变率 THD 。

总谐波畸变率 THD 分为电压总谐波畸变率 THD_u 和电流总谐波畸变率 THD_i , 表达式为:

$$THD_u = \frac{U_H}{U_1} \times 100\% = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (HRU_h)^2} \times 100\%$$

$$THD_i = \frac{I_H}{I_1} \times 100\% = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (HRI_h)^2} \times 100\%$$

许多国家规定低压供电电压总谐波畸变率不得超过 5%, 通常将符合这种标准的工业供电的电压波形近似地认为是实际上的正弦波形。

我国公用电网谐波电压限值见表 1-17。公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量允许值不应超过表 1-18 中规定的允许值。当公共连接点处的最小短路容量不同于基准短路容量时, 表 1-18 中的谐波电流允许值可以进行换算, 换算公式为:

$$I_h = \frac{S_{k1}}{S_{k2}} I_{hP}$$

式中 S_{k1} ——公共连接点的最小短路容量, $MV \cdot A$;

S_{k2} ——基准短路容量, $MV \cdot A$;

I_{hP} ——表 1-18 中的第 h 次谐波电流允许值, A;

I_h ——短路容量为 S_{k1} 时的第 h 次谐波电流允许值, A。

表 1-17 公用电网谐波电压 (相电压) 限值

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

表 1-18 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 /kV	基准短路 容量/MV·A	谐波次数及谐波电流允许值																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	4.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	

(4) 谐波对系统和供用电设备的影响 电力系统中主要的谐波源可分为两大类, 第一类是含有半导体非线性元件的谐波源, 如各种整流设备、交直流换流设备、变频器、节能控制

用的电力电子设备等；第二类是含有电弧和铁磁非线性设备的谐波源，如交流电弧炉、交流电焊机、日光灯、发电机、变压器、电视机等。家用电器设备分属于上述两类谐波源。家用电器虽然容量小，但数量大，接入电网会将大量的谐波电流注入电网中。各种谐波源产生的谐波电流主要成分见表 1-19。

表 1-19 谐波源产生的谐波电流主要成分

谐波源		注入电网的谐波电流主要成分	备 注
含半导体非线性元件设备	单相半波可控变流器	直流分量及各次谐波	
	单相全控桥式整流器	奇次谐波	
	通断控制的交流调压器	只有基波，不产生谐波	会产生次谐波和间谐波
	三相桥式全控整流器	$6k \pm 1$ 次谐波	
含电弧和铁磁非线性设备	旋转电机	产生的谐波并不严重	通常可不看成谐波源
	变压器	奇次谐波	
	电弧炉	奇次谐波和偶次谐波	熔化初期和熔化期谐波含有率较高，精炼期谐波含有率显著减少
照明设备	紧凑型荧光灯	奇次谐波	HRI_3 为 12%， THD_i 为 12.3%
	普通直管型荧光灯	奇次谐波	高功率因数的电感镇流器，其 THD_i 为 41.4%。电子脉冲式镇流器，其 THD_i 为 135%。电子高频式镇流器，其 THD_i 为 24.4%。电子新一代式镇流器，其 THD_i 为 7.85%
日用电器	普通空调	各次谐波	某型号空调风扇时 THD_i 为 7.2%，制冷时 THD_i 为 23.9%，中热时 THD_i 为 32.1%。变频空调的谐波电流含量远大于普通空调
	电冰箱	奇次谐波	松下某型号 HRI_3 为 12%， THD_i 为 12.4%
	彩色电视机	奇次谐波	索尼 F29MF 的 HRI_3 为 89.9%， HRI_5 为 73.2%， HRI_7 为 52.4%， THD_i 为 132.4%；康佳 T2988 的 HRI_3 为 87.1%， HRI_5 为 68.9%， HRI_7 为 46.1%， THD_i 为 123%
	计算机	奇次谐波	COMPAQ 型号的 HRI_3 为 87.1%， HRI_5 为 68.5%， HRI_7 为 44.4%， THD_i 为 124.3%

注：1. 次谐波的频率为电源基波频率的分数倍，间谐波的频率介于电源基波频率和谐波频率之间。

2. 当电网电压为正弦波形时，由各种装置产生的谐波为特征谐波。当电网电压波形发生畸变，各种装置可能产生特征谐波以外的其他次数的谐波，将这类谐波称为该装置的非特征谐波。

大量谐波电流流入电网后，通过电网阻抗产生谐波压降，叠加在基波电压上，引起电压波形的畸变，污染了电力系统的电气环境，对电网中的其他设备产生影响。归纳起来主要表现为过负荷而发热，过电压而增加介质应力，干扰并危害电子设备和保护控制设备的正常工作及其性能。谐波对系统和供用电设备的主要影响见表 1-20。

(5) 抑制谐波的措施 抑制电力系统中的高次谐波的措施，主要有提高系统承受谐波的能力、供用电设备抗谐波干扰能力、限制谐波产生和吸收谐波等。抑制高次谐波的基本措施见表 1-21。

1.2.5 频率偏差及对用电设备的影响

一、标称频率及频率偏差

(1) 标称频率 我国电力系统标称频率为 50Hz。标称频率也称为工频，一般交流电力设备的额定频率为 50Hz。

表 1-20 谐波对系统和供用电设备的主要影响

供用电设备	谐波的主要影响	备 注
旋转电机	谐波电流将产生附加功率损耗而发热,产生脉动转矩和噪声	由整流器供电的电动机可引起明显的电压畸变
无功补偿电容器	谐波会引起电容器组谐振和谐波电流放大,导致电容器组过负荷或过电压而损坏	
供电网线路	谐波会增加供电网的损耗,还会造成因过负荷或过电压而损坏电力电缆	在三相四线制的中线上,会造成不正常的3次谐波高电流,致使中性线过负荷
断路器	谐波电流改变了线路电流的变化率,影响断路器短路容量,延长了故障电流切除时间	
熔断器	谐波引起的过电流集肤效应产生的发热效果,会降低熔断器正常保护性能	
变压器	谐波电流会产生附加损耗而至发热,降低变压器带负荷的能力	
电子设备	谐波畸变产生多个电压过零点,破坏电子设备正常工作运行	
继电保护控制设备	谐波将产生干扰,造成误动或拒动	
仪表和电能计量	谐波对感应性电能仪表将产生计量误差	指示均方根值的电压表和电流表受波形畸变影响较小
照明设备	谐波电压会使白炽灯损失寿命	
计算机	谐波会使计算机数据混乱、程序破坏,甚至会使 UPS 工作失常	计算机群、显示仪器、低压电力电子设施产生相互叠加的三次谐波电流,会使中线电流达到相线电流的 1.7 倍
电脑自动控制的家用电器	谐波会破坏电脑控制板,致使各种电脑控制的家用电器不能正常工作	
电视机	谐波电压能使电视机图像大小和亮度发生变化	

表 1-21 抑制高次谐波的基本措施

分 类	基本措施	备 注
加强系统承受谐波能力	增大系统容量。可以增强系统承受谐波的能力并降低系统的谐波电压水平	有待电力系统发展
	将谐波源接入短路容量较大的电网。谐波源采用高一等级电网电压供电,或改由容量较大的母线供电	
	采用低阻抗专用馈电路供电	如 X 射线机、CT 机、核磁共振机等谐波较严重的大功率用电设备
提高供用电设备抗干扰能力	按电磁兼容的有关标准,电力系统中的供用电设备的抗谐波干扰能力应高于系统的谐波兼容值	在设备的设计生产中应制定相应的标准
限制谐波产生	三相整流变压器采用 Y,d 或 D,y 连接。由于在三角形连接的绕组内,3 次及 3 的倍数次谐波电流可以形成环流,而不能注入电网,减少了谐波源的谐波电流含量	抑制高次谐波最基本的措施
	三相配电变压器采用 D,yn11 连接组别,变压器的负荷率不应高于 70%。 高压侧的三角形连接,能使负荷端谐波源产生的 3 次及 3 的倍数次谐波电流形成环流,而不致注入电网	
	增加换流器的相数。整流装置的相数越多,次数低的谐波电流被消去的也就越多	增加换流器的相数对高次谐波的抑制作用效果显著
	电容器宜配电抗器使用。根据设备情况,调整与并联补偿电容器串联的电抗器,能避免电容器对谐波电流的放大作用	投资不高,效果显著
设置交流滤波器	装设无源滤波器。无源滤波器由电力电容器、电抗和电阻等无源元件组合而成,在大型晶闸管整流装置与电网连接处装设,能吸收一些谐波电流而使其不致注入电网	谐波源较多的一般公共建筑,可在办公设施、计算机网络设备等配电干线上设置滤波装置
	装设静止无功补偿(SVC)。SVC 通常与无源滤波器(FC)一起使用,能快速调节无功功率并吸收高次谐波电流	