

电力系统工程学

DIANLI XITONG GONGCHENGXUE



■ 姚建刚 曹一家 江全元 编著

清华大学出版社



电力系统工程学

姚建刚 曹一家 江全元 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

现代电力系统是集发电厂,输配电网直至用户的系统庞大、结构复杂、高度自动化的大系统。本书主要介绍电力系统主网络(或称一次网络)工程技术,内容新颖、重点突出,文字叙述深入浅出,流畅易懂,理论紧密联系实际,重在介绍电力系统工程的基本理论和技术。本书共10章,主要内容包括现代电力系统、载流导体的发热和电动力、高压开关的原理与选择、电气主接线、电力网络的等值电路和潮流计算、电力系统的经济运行、电力系统的稳定运行、电力系统故障的计算、电力系统过电压及柔性交流输电技术等内容。

本书可作为电气工程及自动化专业基础课程教材,也可作为动能经济类的本科生学习电力系统专业知识的通用教材,亦可作为计算机、软件工程等类工程师学习电力系统专业知识及其他专业的入门培训教材或自学参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电力系统工程/姚建刚,曹一家,江全元编著. —北京:清华大学出版社,2007.4
ISBN 978-7-302-14879-1

I. 电… II. ①姚… ②曹… ③江… III. 电力系统—系统工程—高等学校—教材 IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第037467号

责任编辑:邹杰 李春明

封面设计:杨玉兰

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任校对:李玉萍

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16 字 数:380千字

版 次:2007年4月第1版 印 次:2007年4月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:23.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:015414-01

前 言

电力是实现国民经济现代化和提高人民生活水平的重要物质基础。现代电力系统是集发电厂、输配电网络、直至用户的地域广阔、结构复杂、高度自动化的大系统。它包含了组成系统的设备、装置及网络的各种硬件和软件,涉及电路理论、大系统理论和电力系统专业技术知识。在传统的电力系统专业教材中,一次部分的课程通常包含有:发电厂电气部分、电力系统稳态分析、电力系统暂态分析和高电压技术。进入 21 世纪,我国的教育逐步与国际接轨,对本科生提出了厚基础、宽口径的培养方案,重在培养学生的实践与创新能力。随着现代科学技术课程开设的增多,传统的专业课程门数和课时将逐步减少。这就提出了对电气工程类课程门数与课时进行整合及压缩的要求。并且,电气工程类与动能经济类的非电力系统及其自动化方向的学生,希望通过一至两门课程的学习能基本了解电力系统工程技术。基于此,我们将近三年来的大学讲义和给几个信息与软件类公司讲课的讲稿整理成书,期望该书能符合现代化教学的要求,起到整合及压缩、精化电气类课程的作用。

本书立足于工程学,在对电力工程学的基本原理进行介绍的同时,着重阐述其实际应用和新技术的发展现状,较大地缩减了理论证明和分析的篇幅。作者希望读者通过本书的学习,能尽快了解和熟悉电力系统工程学方面的专业知识。

本书第 1~6 章由湖南大学姚建刚教授撰写,第 10 章由浙江大学曹一家教授撰写,第 7~9 章由浙江大学江全元博士撰写,全书由姚建刚教授整理统稿。在本书的编著过程中,湖南大学葛亮、李会杰等同志提供了大量的帮助,在此表示感谢。

由于电力系统工程学内容涉及面广,对于书中的立论和编著方式的不当之处及缺点错误,敬请读者阅后不吝批评指正。

作 者

目 录

第1章 现代电力系统	1	2.2.2 发热最高允许温度	36
1.1 现代电力系统的特点	1	2.2.3 母线的热平衡方程	36
1.1.1 能源	1	2.2.4 短路电流的热效应计算	36
1.1.2 电能的效率	1	2.3 导体短路的电动力	37
1.1.3 电能生命周期的特异性	1	2.3.1 三相导体短路的电动力	37
1.1.4 现代电力系统发展的特点	2	2.3.2 考虑动态应力时的三相 导体短路的电动力	38
1.1.5 现行电压等级	4	2.4 电气设备的选择	38
1.2 对现代电力系统运行的基本要求	4	2.4.1 按正常工作条件对电气 设备进行选择	39
1.2.1 电能的商品特性	4	2.4.2 按经济电流密度选择 导体截面	39
1.2.2 对现代电力系统运行的 基本要求	5	2.4.3 按短路状态对电气 设备进行校验	40
1.3 现代电力系统的构成	10	2.5 例题	41
1.3.1 电力系统的构成	10	2.6 小结	42
1.3.2 发电厂	12	2.7 思考与练习	43
1.3.3 变电所	13	第3章 高压开关的原理与选择	44
1.3.4 电力输送设备	14	3.1 电弧产生的物理过程	44
1.4 电能的传输	26	3.1.1 什么是电弧	44
1.4.1 单相交流电	26	3.1.2 电弧产生的原因	44
1.4.2 三相交流电	27	3.1.3 电弧熄灭的去游离方式	45
1.4.3 高压直流输电	29	3.2 交流电弧的特性及熄灭	45
1.4.4 各种输电方式和输电 功率的比较	29	3.2.1 交流电弧的特性	45
1.5 例题	30	3.2.2 交流电弧的熄灭原理	45
1.6 小结	31	3.2.3 电弧重燃的电击穿	45
1.7 思考与练习	32	3.3 QF 开断短路电流时的物理过程	46
第2章 载流导体的发热和电动力	34	3.4 高压断路器的选择	48
2.1 短路	34	3.4.1 断路器种类和型号的选择	48
2.1.1 短路的概念	34	3.4.2 操作性能	49
2.1.2 发生短路的原因	34	3.4.3 断路器型号	49
2.1.3 导体的短时发热	34	3.4.4 参数的选择	50
2.1.4 短路的危害	34	3.5 例题	51
2.1.5 短路的几个物理量	35	3.6 小结	52
2.2 载流导体的发热	35	3.7 思考与练习	52
2.2.1 长期发热的不良影响	35		

第4章 电气主接线	53	5.4.3 环形网络的潮流计算	83
4.1 有汇流母线接线.....	53	5.4.4 复杂网络的潮流计算	84
4.1.1 单母分段接线	53	5.5 例题	86
4.1.2 单母分段带旁路	54	5.6 小结	91
4.1.3 双母线接线	54	5.7 思考与练习	92
4.1.4 双母分段带旁路接线	55	第6章 电力系统的经济运行	94
4.1.5 一台半断路器接线	55	6.1 电网调度与能量交易	94
4.2 无汇流母线接线	56	6.2 电力负荷预测	94
4.2.1 桥形接线	56	6.3 负荷频率控制	96
4.2.2 角形接线	56	6.3.1 频率控制的必要性	96
4.2.3 单元接线	57	6.3.2 电力系统的频率特性	97
4.3 中性点接地方式	58	6.3.3 频率的调节	98
4.3.1 中性点直接接地	58	6.4 无功平衡与电压调整	100
4.3.2 中性点不接地	59	6.5 电力系统经济运行	102
4.3.3 中性点经消弧线圈接地	59	6.5.1 等耗量微增率准则	103
4.3.4 中性点经高阻接地	59	6.5.2 机组经济组合	104
4.4 低压配电系统接地、接零和等 电位连接	59	6.5.3 频率控制和经济负荷分配 之间的协调	107
4.4.1 低压配电系统的形式	59	6.6 例题	108
4.4.2 接地接零的一些概念	60	6.7 小结	112
4.4.3 工作接地	61	6.8 思考与练习	113
4.5 接地电阻的要求和接地装置敷设	64	第7章 电力系统故障计算	114
4.6 等电位连接	67	7.1 简单电力系统对称故障计算	114
4.7 例题	68	7.2 同步发电机三相短路计算	119
4.8 小结	70	7.3 输电线路三相短路计算	131
4.9 思考与练习	71	7.4 电力系统不对称故障计算	133
第5章 电力网络的等值电路和 潮流计算	73	7.4.1 对称分量法	133
5.1 电力网络各元件的特征参数和 等值电路	73	7.4.2 电力系统元件的序阻抗 及各序等效电路	138
5.2 电力网络中参数和变量的归算	77	7.4.3 简单电力系统不对称 故障计算	145
5.3 输电线路的电气特性	79	7.4.4 复杂电力系统不对称短路 故障的计算机算法	152
5.3.1 电力线路上的电压降落 及电压指标	79	7.5 例题	154
5.3.2 输电功率	80	7.6 小结	160
5.4 潮流计算(Power Flow Calculation)	82	7.7 思考与练习	161
5.4.1 潮流计算的特点	82	第8章 电力系统的稳定	163
5.4.2 辐射形网络潮流计算 步骤与程序流程图	82	8.1 电力系统的稳定性	163

8.1.1 稳定性的定义	163	9.2.3 集中参数等值电路—— 彼德逊法则	212
8.1.2 稳定问题的分类	164	9.3 雷电过电压	213
8.2 电力系统的电磁功率特性	165	9.3.1 雷击地面物体时的放电 过程	214
8.2.1 简单电力系统的功率特性	165	9.3.2 雷电参数	215
8.2.2 复杂电力系统的功率特性	171	9.3.3 雷击过电压的计算	217
8.3 电力系统静态稳定	173	9.3.4 雷电的防护	218
8.3.1 动力系统稳定性的 基本概念	173	9.4 操作过电压	219
8.3.2 单机无穷大系统的 静态稳定	178	9.5 铁磁谐振过电压	221
8.3.3 多机电力系统静态稳定的 简化分析	180	9.5.1 谐振过电压的基本概念 及其特点	221
8.4 电力系统的暂态稳定	182	9.5.2 铁磁谐振过电压的 一般性质	222
8.4.1 电力系统暂态稳定概述	182	9.5.3 消除和限制铁磁谐振过 电压的措施	225
8.4.2 简单电力系统的暂态稳定	183	9.6 电力系统的绝缘配合	225
8.4.3 多机电力系统暂态稳定的 简化分析	185	9.6.1 绝缘材料	226
8.5 电力系统的电压稳定性	187	9.6.2 绝缘配合	227
8.5.1 简单电力系统的电压稳定 问题	187	9.7 例题	229
8.5.2 电压稳定性与功角 稳定性的关系	190	9.8 小结	230
8.6 提高稳定性的方法	190	9.9 思考与练习	231
8.6.1 提高系统稳定性的 一般原则	191	第 10 章 灵活交流输电技术 (FACTS)简介	232
8.6.2 改善电力系统基本元件的 特性和参数	192	10.1 灵活交流输电技术的兴起	232
8.6.3 采用附加装置提高电力 系统的稳定性	194	10.1.1 灵活交流输电技术的 产生背景	232
8.6.4 改善运行条件及其他措施	197	10.1.2 电力电子技术的 发展为 FACTS 的提出 创造了条件	233
8.7 例题	198	10.1.3 FACTS 的定义和主要 功能	233
8.8 小结	205	10.2 灵活交流输电系统的工作原理	233
8.9 思考与练习	205	10.3 几种主要 FACTS 装置的介绍	235
第 9 章 电力系统过电压与绝缘	207	10.3.1 静止无功补偿器(SVC)	235
9.1 过电压的分类	207	10.3.2 静止同步补偿器 (STATCOM)	236
9.2 线路的波过程	207	10.3.3 晶闸管控制的串联 电容器(TCSC)	237
9.2.1 均匀无损耗单导线线路中 的波过程	207		
9.2.2 行波的折射和反射	209		

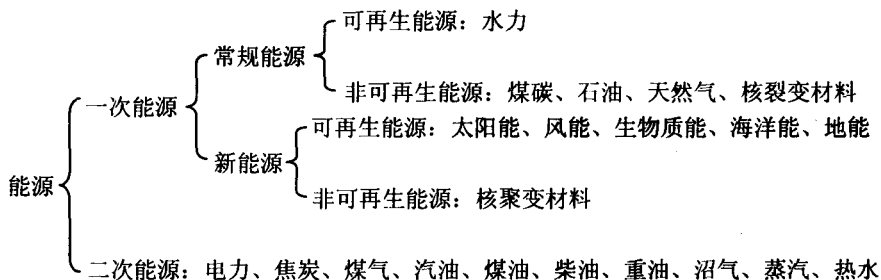
10.3.4 统一潮流控制器(UPFC).....	237	10.5 小结.....	241
10.4 FACTS 技术的发展与前景展望	239	10.6 思考与练习.....	242
10.4.1 第一代 FACTS 技术.....	239	参考文献	243
10.4.2 第二代 FACTS 技术.....	239		
10.4.3 第三代 FACTS 技术.....	240		

第 1 章 现代电力系统

1.1 现代电力系统的特点

1.1.1 能源

能源的组成如下。



1.1.2 电能的效率

电能是由一次能源转换而成的，电能以其方便性、传输的快速性、无污染性使之成为无可替代的二次能源。用电能代替其他能源，可以提高能源利用率。

例如，用电动机代替柴油机可节能 50%；用电气机车代替蒸汽机车，效率可从 8% 上升到 30%。

美国一研究小组对 20 个部门的 350 种产品进行了统计分析，结果如下。

(1) 用电比重每升高 2%，单位产值的能源消费可降低 18%。

(2) 用电率——电能占一次能源供给的比率：

对 84 个国家的统计 { 用电率 $\geq 35\%$ 的国家, $0.7 \sim 1.2 \text{kgCE}/\$$ 产值。
用电率 $\leq 17.5\%$ 的国家, $2.8 \text{kgCE}/\$$ 产值。(CE - 标准煤)

1.1.3 电能生命周期的特异性

就一般商品而言，大都在经历了如图 1.1 所示的引入期、成长期、成熟期和衰退期 4 个阶段后自行消亡，被其他的功能更多、性能更先进的新产品所替代。然而，电力却是与众不同的商品。从 1885 年俄国人多里沃·多勃列沃列斯基在法兰克福举行的国际电工技术展览会上展出三相交流输电系统以来，电力工业经历着一代又一代的技术革命而不断焕发着青春，其生命周期似乎是无限扩展，永无止境，如图 1.2 所示。可以设想一下，有什么商品能够取代电力，像电力这样如此便于能量转换、输送快捷、使用方便呢？答案是没有！电力商品的这种特异性决定着人们只能不断地去进行电力技术的革命和电力管理体制的改革，以适应它的生命周期的无限扩展性。

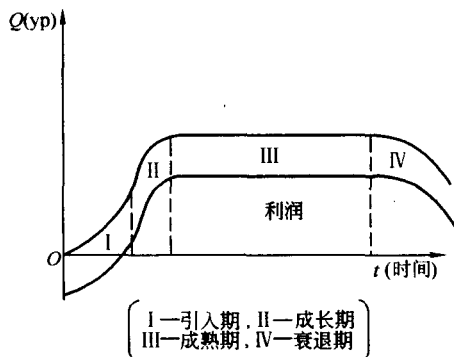


图 1.1 一般产品的生命周期

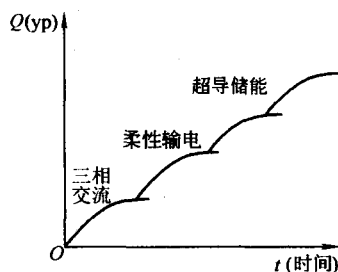


图 1.2 电能生命周期的特异性

1.1.4 现代电力系统发展的特点

1. 大电网

大电网的优越性可概括为：利于稳定周波，利于事故支援，能够减少负荷备用，具体如下。

- 有利于开发边远地区的水煤资源。
- 有利于降低发电成本(可安装大机组)。
- 有利于错开地区时差，实现经济调度，减少负荷备用。
- 有利于改善电能的质量。

例如，钢厂 150~200MW 的冲击负荷会导致产生高次谐波，电气化铁路(两相运行)会导致产生负序电流。而电网规模越大，其容纳高次谐波和负序电流的能力就越强。

2. 大机组

可节能降耗，降低单位建设成本。

3. 超高压

(1) 可提高线路输送功率

随着电网规模的扩大，电力线路的延长，大容量输电需要超高压。即

$$P = \frac{U_N^2}{X} \sin \delta \quad (1-1)$$

式中：P——线路输送的有功功率(MW)；

U_N ——线路额定电压(kV)；

X——线路电抗(Ω)；

δ ——送、受电端的电压相角差。

330kV~750kV 超高压输电线路的输送容量以大致接近于自然功率为宜。即

$$P \approx P_\lambda = \frac{U_N^2}{Z_\lambda} \quad (1-2)$$

式中：P——线路输送的有功功率(MW)。

P_λ ——线路输送的自然功率(MW)。所谓自然功率，是指线路阻抗为波阻抗，即“无损耗”传输时，线路所输送的有功功率。

U_N ——线路额定电压(kV)。

Z_λ ——线路波阻抗。对于长线路或分布参数的线路, 由于 $R \ll X_L$, 可假设线路上没有有功功率损耗。而对于这种“无损耗”线路, 其特性阻抗呈纯电抗性, 谓之波阻抗 Z_λ 。

$$Z_\lambda = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1-3)$$

当线路输送的有功负荷为 P_λ 时, 由于线路的无功损耗正好等于其充电功率, 因此完全补偿, 从而使全线路各点电压及电流大小一致, 线路任一点功率因数都一样, 实现无损耗传输。

从式(1-1)可看出, 要提高线路输送容量, 可采用分裂导线降低波阻抗 Z_λ 。

电力线路的波阻抗变动幅值不大, 单导线架空线路约为 $385 \sim 415 \Omega$; 两分裂导线约为 $285 \sim 305 \Omega$; 三分裂导线约为 $275 \sim 285 \Omega$; 四分裂导线约为 $255 \sim 265 \Omega$; 电缆线路则小得多, 仅为 $30 \sim 50 \Omega$ 。如果 220kV 线路采用单导线, 波阻抗为 400Ω , 则 P_λ 为 120MW ; 500kV 线路若采用四分裂导线, 波阻抗为 260Ω , 则 P_λ 为 $1\,000\text{MW}$ 。在实际运行中, 输送功率 P 决定于线路长短、无功损耗及导线发热条件, 可通过电容器或电抗器补偿作适当调整。

我国: 短线路 $P = (3 \sim 5) P_\lambda$

长线路 $P = (1 \sim 1.2) P_\lambda$

德国: $L(\text{线路长度}) = 500\text{km}$, $P = P_\lambda$

$L = 300\text{km}$, $P = 1.5 P_\lambda$

$L = 150\text{km}$, $P = 2.0 P_\lambda$

$L < 150\text{km}$, $P = 4.0 P_\lambda$

美国: 354kV 线路的经济输送功率为 600MW

500kV 线路的经济输送功率为 950MW

765kV 线路的经济输送功率为 $1\,900 \sim 3\,000\text{MW}$

从式(1-1)可看出, 要提高线路输送容量, 需提高输电电压 U_N 。表 1.1 所示为以 110kV 线路为基础的电压升高与输送功率的倍比关系。

表 1.1 我国的电力线路输送功率与电压等级的近似计算关系

$U_N(\text{电压})$	110kV	220kV	330kV	500kV
$P(\text{功率})$	30MW	$30 \times 2^2 = 120\text{MW}$	$30 \times 3^2 = 270\text{MW}$	$30 \times 5^2 = 750\text{MW}$

(2) 节约输电线路走廊

例如美国 765kV 的输电走廊宽 60m , 可输送 $3\,000\text{MW}$ 功率, 而 345kV 的输电走廊宽 45m , 只能输送 600MW 功率。1 条 765kV 输电线路的输电容量相当于 5 条 345kV 输电线路的输电容量。输送相同容量时, 前者的走廊占用宽度只有后者的 26.7% 。

4. 高度自动化

集测量、控制、信号、保护于一体, 向小型化、集中化、自适应和自调节方向发展。

1.1.5 现行电压等级

我国现行的电压等级如表 1.2 所示。

表 1.2 我国现行电压等级

单位: kV									
低 压		高 压						超 高 压	
0.4		1	6	10	35	60	110	220	330 500 750 1000(筹建中)

其他部分国家的电压等级如表 1.3 所示。

表 1.3 部分国家现行电压等级

单位: kV			
国 名	电 压 等 级		
美国	500/230/115	765/345/133	
俄罗斯	500/220/110	1 150/750/330/110	
日本	500/275/154		
法国	380/225/90~150		
中国	500/220/110(60)	(750)/330/110	

1.2 对现代电力系统运行的基本要求

1.2.1 电能的商品特性

电能作为商品,既有它的一般商品属性,又有它的特殊性和公用性。作为一般商品属性,电能市场交易中,必然与其他商品一样,要服从价值规律,按照等价交换的原则,公平、公正地进行。电能与一般商品的不同之处在于:首先,电力行业是公用性服务行业,中断供电或电力供给不足会给国民经济和广大用户造成巨大损失。因此,实行电力市场化,必须以安全、可靠供电为前提,除保持电力供需平衡外,还必须留有足够的发电备用容量。其次,电力的产、供、销同时进行,瞬间完成(电能从一处输送至另一处所需的时间以 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ s 计),这就需要信息反馈迅速,市场预测准确,电网调度统一。再者,电力是看不见、摸不着的商品,不能像其他有形商品一样,买主可以一边观察商品,一边向卖主讨价还价,现买现卖,这就要求电力的交易具有提前性,要求电力市场的情报公开,透明度高,对所有的买者和卖者真正做到公平、公正和公开。

电能作为商品,它的市场供给除受电价 P_i 、发电成本 C_i (含燃料费、水费、材料费、人工工资、基本折旧、修理费、管理费等)影响外,还受输电服务费 W_i 、投资利润 T 等影响,用 Q_s 表示电力供给,其函数关系可表示为:

$$Q_s = S(P_i, C_i, W_i, \pi, T, \dots) \quad (1-4)$$

电力的需求 Q_d 是电价 P_t 、国民收入 G_t 、季节气候 θ_t 、物价指数 U_t 等的函数, 用公式表示为:

$$Q_d = D(P_t, G_t, \theta_t, U_t, \dots) \quad (1-5)$$

世界各国的历史统计资料表明, 国民收入(或国民生产总值)和电力消费之间有一定的相关关系, 通常是电力消费的增长速度快于国民收入的增长速度, 这种规律称为电力工业超前发展的规律。在若干年的时期内, 电力消费平均年增长率与国民收入平均年增长率之比, 称为电力弹性系数, 用公式表示为:

$$\begin{cases} K_E = \frac{V_w}{V_y} \\ V_w = \sqrt[n]{\frac{W_n}{W_0}} - 1 \\ V_y = \sqrt[n]{\frac{Y_n}{Y_0}} - 1 \end{cases} \quad (1-6)$$

式中: K_E ——电力弹性系数;

V_w ——用电量年均增长率;

V_y ——国民收入或国民生产总值年均增长率;

W_n 、 W_0 ——计算期末、期初用电量, 单位为 kWh;

Y_n 、 Y_0 ——计算期末、期初国民收入。

电能在短期内的需求价格缺乏弹性, 但在长期内的需求价格是富有弹性的。在电力市场中的实时交易阶段, 为调整负荷的供需平衡, 可人为地将需求价格弹性地进行调整。

1.2.2 对现代电力系统运行的基本要求

根据电能生产、输送、消费的同时性, 交易的提前性以及不能大量储存的特殊性和电网不可分割、交易调度的统一性等特点, 现代电力系统的运行必须达到如下 3 点要求。

1. 可靠持续的供电

持续、安全、可靠地供电是国民经济稳定、快速发展与人民生活安全、幸福的保障。由于电力系统的事故难以绝对避免, 电力负荷的瞬变性随时存在, 要长期保证所有电力用户绝对可靠供电是相当困难的。为此, 可按供电可靠性的要求将电力负荷进行分级管理和调度。在我国, 通常按民用建筑电力负荷与工业电力负荷而分为一级、二级和三级负荷。

(1) 民用建筑物电力负荷分级

一级负荷: 因中断供电能造成重大政治影响的建筑物和因中断供电能造成人员伤亡的建筑物, 如人民大会堂、大型体育馆、重要宾馆、医院的手术室。

二级负荷: 因中断供电能造成经济上较大的损失的建筑物和因中断供电能造成秩序混乱的重要公共建筑物, 如某些实验室、大型影剧院、大型商场。

三级负荷: 停电造成的影响和损失不大的一般建筑物。

民用建筑中常用用电设备及部位的负荷分级见表 1.4。

表 1.4 常用民用用电设备的负荷级别

序号	建筑类别	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
1	住宅建筑	高层普通住宅	客梯电力, 楼梯照明	二级
2	宿舍建筑	高层宿舍	客梯电力, 主要通道照明	二级
3	旅馆建筑	一、二级旅游宾馆	经营管理用电子计算机及其外部设备电源, 宴会厅电声、新闻摄影、录像电源, 宴会厅、餐厅、娱乐厅、高级客房、厨房、主要通道照明, 部分客梯电力, 厨房部分电力	一级
			其余客梯电力, 一般客房照明	二级
		高层普通建筑	客梯电力, 主要通道照明	二级
4	办公建筑	省、市、自治区及部级办公楼	客梯主力, 主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明	一级
		银行	主要业务用电子计算机及其外部设备电源, 防盗信号电源	一级
			客梯主力	二级
5	教学建筑	高等学校教学楼	客梯主力, 主要通道照明	二级
		高等学校的主要实验室		一级
6	科教建筑	科研院所的重要实验室		一级
		市(地区)级及以上气象台	主要业务用电子计算机及其外部设备电源, 气象雷达、电报及传真收发设备、卫星云图接收机、语言广播电源, 天气绘图及预报照明	一级
			客梯电力	二级
		计算中心	主要业务用电子计算机及其外部设备电源	一级
			客梯电力	二级
7	文娱建筑	大型剧院	舞台、贵宾室、演员化妆室照明, 电声、广播及电视转播、新闻摄影电源	一级
8	博览建筑	省、市、自治区级及以上博物馆、博览馆	珍贵展品展室的照明, 防盗信号电源	一级
			商品展览用电	二级
9	体育建筑	省、市、自治区级及以上体育馆、体育场	比赛厅(场)、主席台、贵宾室、接待室、广场照明, 计时计分、电声、广播及电视传播、新闻摄影电源	一级
10	医疗建筑	县(区)级及以上医院	手术室、分娩室、婴儿室、急诊室、监护病房、高压氧仓、病理切片分析、区域性中心血库的电力及照明	一级
			细菌培养、电子显微镜、电子计算机 X 线断层扫描装置、放射性同位素加速器电源, 客梯电力	二级
11	商业仓库建筑	冷库	大型冷库、有特殊要求的冷库的一台氨压缩机及其附属设备电力, 电梯电力, 库内照明	二级

续表				
序号	建筑类别	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
12	商业建筑	省辖市及以上重点百货大楼	营业厅部分照明	一级
			自动扶梯电力	二级
13	司法建筑	监狱	警卫照明	一级
14	公用附属建筑	区域采暖锅炉房		二级
15	一类高层建筑	高层建筑的消防设施	消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟设施、水灾自动报警、自动灭水装置、水灾事故照明、疏散指示标志和电梯的防火门	一级
16	二类高层建筑		窗、阀门等消防用电	二级

(2) 工业电力负荷分级

一级负荷：因中断供电能造成人身伤亡和造成国民经济重大损失的电力负荷(如重大设备损坏、重大产品报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱，需要长时间才能恢复，以及破坏重要的交通枢纽、重要通信设施等)。

二级负荷：因中断供电能造成国民经济较大损失的电力负荷(如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等)。

三级负荷：即为不属于一级和二级负荷者。

工业建筑中常用用电设备的负荷级别参见表 1.5。

(3) 各级电力负荷对电力的要求

一级负荷：应有两个以上独立电源供电。独立电源是指在若干电源中任一电源发生故障或因检修停电时，不影响其他电源继续供电。对有特殊要求的一级负荷，为保证供电绝对可靠，独立电源应来自不同地点。

二级负荷：一般采用双回路供电，即采用两条线路供电。若条件不允许，可采用 10kV 及 10kV 以下的专用架空线供电。是否设置备用电源应作经济技术比较，若中断供电所造成的损失大于设置备用电源的费用，则应设置备用电源。否则允许采用一个独立电源。

三级负荷：对供电无特殊要求。在不增加投资的情况下，应尽量提高供电的可靠性。

表 1.5 常用工业用电设备的负荷级别

序号	厂房或车间名称	用电设备名称	负荷级别	备 注
1	热煤气站	鼓风机、发生炉传动机构	二级	
2	冷煤气站	鼓风机、排送机、冷却通风机、发生炉转动机构、中央仪表室计量屏、冷却塔风扇、高压整流器、双皮带系统的机械化输煤系统	二级	
3	部定重点企业中总蒸汽量超过 10t/h 的锅炉房	给水泵、软化水泵、鼓风机、引风机、二次鼓风机、炉排机构	二级	

续表

序号	厂房或车间名称	用电设备名称	负荷级别	备 注
4	部定重点企业中总 排气量超过 $40\text{m}^3/\text{min}$ 的压缩空气站	压缩机、独立励磁机	二级	
5	铸钢车间	平炉气化冷却水泵、平炉循环冷却水泵、平炉加料起重机、平炉所用的 75t 及以上浇铸起重机、平炉鼓风机、平炉用其他用电设备(换向机构、炉门卷扬机构、计器屏), 5t 、 10t 电弧炼钢炉低压用电设备(升降机构、倾炉机构)及其浇铸起重机	二级	
6	铸铁车间	30t 及以上的浇铸起重机、部定重点企业冲天炉鼓风机	二级	
7	热处理车间	井式炉专用淬火起重机、井式炉油槽油泵	二级	
8	300t 及以下的水压机车间	锻造专用设备: 起重机、水压机、高压水泵	二级	
9	水泵房	供二级负荷用电设备的水泵	二级	
10	大型电机实验室	主要机组、辅助机组	二级	$2 \times 10^5 \text{kW}$ 及以上发电机的实验站
11	刚玉冶炼车间	刚玉冶炼电炉变压器、低压用电设备(循环冷却水泵、提升机构、电炉传动机构、卷扬机构)	二级	
12	磨具成型车间	隧道窑鼓风机、卷扬机构	二级	
13	油漆树脂车间	反应釜及其供热锅炉	二级	2500t 及以上
14	层压制品车间	压机及其供热锅炉	二级	
15	动平衡实验站	动平衡实验装置的润滑油系统	二级	
16	线缆车间	熔炼炉的冷却水泵、鼓风机、连铸机的冷却水泵及润滑泵压铅机、压铅机的熔化炉、高压水泵、水压机 交联聚乙烯加工设备的挤压交联、冷却、收线用电设备漆包机的传动机构、鼓风机、漆泵 干燥浸油缸的连续电加热、真空泵、液压泵	二级	
17	焙烧车间	隧道窑鼓风机、排风机、客车推进机、窑门关闭机构油加热器、油泵及其供热锅炉	二级	

对这三级负荷,可通过电价作杠杆和需求作管理来进行科学管理和合理调度。供电可靠性高的负荷电价高,供电可靠性低的负荷电价低。第三级负荷可在用电高峰时让电给一、二级负荷而获得一定的停电补偿费用。

2. 良好的电能质量

电能质量包含频率质量、波形质量和电压质量。

(1) 频率质量

我国的频率为工频 50Hz。美国等一些国家的频率为 60Hz。我国规定允许频率偏移为 $\pm(0.2 \sim 0.5)\text{Hz}$ 。

(2) 波形质量

在我国,波形质量是以正弦波畸变率是否超过给定值来衡量的。所谓正弦波畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值与正弦波有效值的百分比。为保证波形质量,必须限制或消除各种非线性谐波源,如限制或滤除电气化线路、换流装置、电热电炉等非线性负荷向系统注入的谐波电流。

(3) 电压质量

能使电力设备正常工作的电压叫额定电压(U_N)。各种电力设备在额定电压下运行时,其技术经济性能指标能够达到最优。

我国规定的电网额定电压如表 1.2 所示,部分国家的现行额定电压等级见表 1.3。

由于用电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$,电力网的电压损失不得大于 10%,这就要求线路始端电压为额定值的 105%,以使其末端电压不低于额定值的 95%。发电机往往接于线路始端,因此,发电机的额定电压为线路末端电压的 105%。变压器的一次侧接电源,相当于用电设备,二次侧向负荷供电,又相当于发电机。因此,变压器一次侧额定电压应等于用电设备额定电压,二次侧额定电压应较线路额定电压高 5%。因变压器二次侧电压规定为空载时的电压,而额定负载下变压器内部的电压降落约为 5%,为使正常运行时变压器二次侧额定电压较线路额定电压高 5%,变压器二次侧额定电压应较线路额定电压高 10%。

送电线路的电压分布如图 1.3 所示。带载调压变压器的高压绕组上具有改变变压比的分接头,可根据电网电压损失的大小及用户实际电压的要求而进行电压调整。

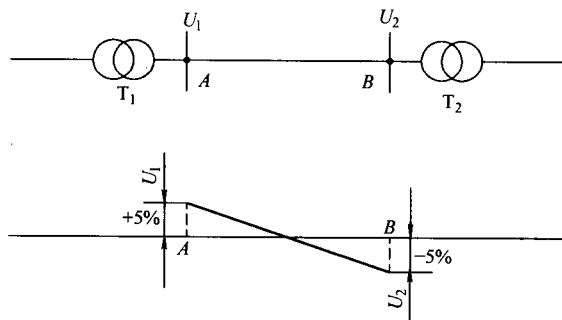


图 1.3 输电线路电压分布图

3. 经济灵活的运营

电力系统经济运营的目标是在保证安全优质供电的条件下,尽量降低供电能耗与供电