

高等专科学校试用教材

工厂供电

(修订本)

刘介才 编

机械工业出版社

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

工厂供电

(修订本)

刘介才 编



机械工业出版社

本书是高等专科学校工业电气自动化专业和电气技术专业教材，是1984年版的修订本。

本书共分10章：首先扼要介绍工厂供电的有关知识；接着系统讲述工厂的电力负荷及其计算，短路电流及其计算，工厂变配电所及其一次系统，工厂电力线路，过电流保护装置及二次系统，自动装置，防雷、接地和电气安全，工厂的电气照明；最后论述工厂的电能节约问题。为便于复习和自学，每章末附有思考题和习题，书末附有习题的参考答案。

本书在1984年版的基础上，删去了一些实用性不大的内容，增加了一些有实用价值的内容，特别注意贯彻我国的最新标准、规程，尽量靠近国际标准，而且注意介绍更新换代的新产品，是一本内容比较新颖、实用和便于自学的教材。

工厂供电

(修订本)

刘介才 编

责任编辑：刘家琼 责任校对：张佳
责任印制：张俊民 版式设计：张世琴

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京市房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张18³/₄·字数452千字

1984年6月北京第一版

1991年5月北京第二版·1991年4月北京第八次印刷

印数 244,701—302,700 ·定价：4.90元

ISBN 7-111-02560-1/TM·329(课)

前 言

本书是高等专科学校工业电气自动化专业和电气技术专业教材，是1984年版的修订本。

本书也适用于广播电视大学、职工大学、业余大学，中等专业学校也可选用，并可供有关专业的大学本科学生及有关工程技术人员参考。

本书共分10章：首先扼要地介绍了工厂供电的有关基本知识；接着系统地讲述了工厂的电力负荷及其计算，短路电流及其计算，工厂变电所及其一次系统，工厂电力线路，过电流保护装置及二次系统，自动装置，防雷、接地和电气安全，工厂的电气照明；最后论述了工厂的电能节约问题。为便于学生复习和自学，每章末附有思考题和习题，书末还附有习题的参考答案，供核对之用。为便于学生更准确地理解专业名词术语的含义，本书对首次出现的一些专业名词术语加注了英文，并在本书前面列有中英含义对照的字符表，供参考。

本书在1984年版的基础上，删去了实用性不大的短路容量算法、短路发热计算的理论推导及照明线路按最少导电材料消耗量选择导线截面的公式推证等；补充了一些有实用价值的内容，如工厂供电设计的一般知识、供电系统的电能损耗计算、电力变压器联结组别选择及并列运行条件、工厂总降压变电所的主接线方案、高压电动机的继电保护、供电系统的自动重合闸、备用电源自动投入和远动装置简介以及照度计算的概算曲线法等。在思考题和习题方面也有适当增加。

本书这次修订的最大特点，是尽量贯彻了我国最新的一系列国家标准。不只是电气图形符号、文字符号和计量单位等方面全部采用了新国标，而且在学科内容和技术方针等方面也尽量遵循了新国标。例如对电力变压器的联结组别，注意介绍推行的D,yn11接线的变压器；对高压并联电容器的连接方式，注意介绍推行的Y形连接；对低压配电系统，按其接地型式不同分别对TN系统、TT系统和IT系统进行分析，并注意介绍其单向接地故障的保护措施；对建筑防雷保护的避雷针、线的保护范围，改“折线法”为“滚球法”，按IEC标准进行介绍；照度计算改“最低照度”标准为“平均照度”标准，按CIE标准进行介绍。在电气设备方面，也注意介绍更新换代产品。

本书由苏文成教授主审。他在审阅中对本书初稿提出了很多宝贵意见。在此表示衷心的感谢。

本书还得到不少单位和同志的大力支持和帮助。就在此表示诚挚的谢意。

由于本人的思想业务水平有限，加之我国的一些规程、标准也正在修订完善之中，因此本书内容虽力求新颖实用，便于自学，但错漏难免，敬希使用本书的广大师生和读者批评指正，本人不胜感激。

编者

字符表

一、电气设备的文字符号

(续)

| 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号① | 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号① |
|------|------------|--------------------------------------|-------|------|-----------------|---|----------|
| A | 装置 | device | — | N | 中性线 | neutral wire | N |
| A | 放大器 | amplifier | FD | PA | 电流表 | ammeter | A |
| APD | 备用电源自动投入装置 | reserve-source auto-put-into device | BZT | PE | 保护线 | protective wire | — |
| ARD | 自动重合闸装置 | auto-reclosing device | ZCH | PEN | 保护中性线 | protective neutral wire | N |
| C | 电容, 电容器 | electric capacity, capacitor | C | PJ | 电度表 | watt hour meter | Wh, varh |
| F | 避雷器 | arrestor | BL | PV | 电压表 | voltmeter | V |
| FU | 熔断器 | fuse | RD | Q | 电力开关 | power switch | K |
| G | 发电机, 电源 | generator, source | F | QF | 断路器 | circuit-breaker | DL |
| GN | 绿色指示灯 | green indicator lamp | LD | QF | 低压断路器 (自动开关) | low-voltage circuit-breaker (auto-switch) | ZK |
| HDS | 高压配电所 | high-voltage distribution substation | GBS | QK | 刀开关 | knife-switch | DK |
| HL | 指示灯, 信号灯 | indicator lamp, pilot lamp | XD | QL | 负荷开关 | load-switch | FK |
| HSS | 总降压变电所 | head step-down substation | ZBC | QM | 手力操动机构 辅助触点 | auxiliary contact of manual operating mechanism | — |
| K | 继电器 | relay | J | QS | 隔离开关 | disconnector | GK |
| KA | 电流继电器 | current relay | LJ | R | 电阻 | resistance | R |
| KG | 气体继电器 | gas relay | WSJ | RD | 红色指示灯 | red indicator lamp | HD |
| KH | 热继电器 | heating relay | RJ | RP | 电位器 | potential meter | W |
| KM | 中间继电器 | medium relay | ZJ | S | 电力系统 | electric power system | XT |
| KM | 接触器 | contactor | C, JC | S | 启辉器 | glow starter | S |
| KO | 合闸接触器 | closing operation contactor | HC | SA | 控制开关 | control switch | KK |
| KS | 信号继电器 | signal relay | XJ | SA | 选择开关 | selector switch | XK |
| KT | 时间继电器 | timing relay | SJ | SB | 按钮 | push-button | AN |
| KV | 电压继电器 | voltage relay | YJ | STS | 车间变电所 | shop transformer substation | CBS |
| L | 电感, 电感线圈 | inductance, inductive coil | L | T | 变压器 | transformer | B |
| L | 电抗器 | reactor | L | TA | 电流互感器 | current transformer | LH |
| M | 电动机 | motor | D | TAN | 零序电流互感器 | neutral-current transformer | LLH |

(续)

(续)

| 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号 ^① | 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号 |
|------|-----------|---------------------------------------|------------------|------|---------|------------------------------|-------|
| TV | 电压互感器 | voltage transformer | YH | Al | 铝 | aluminium | Al |
| U | 变流器 | converter | BL | al | 允许 | allowable | yx |
| U | 整流器 | rectifier | ZL | av | 平均 | average | pj |
| V | 二极管 | diode | D | C | 电容, 电容器 | electric capacity, capacitor | C |
| V | 晶体管 | transistor | BG | c | 计算 | calculate | js |
| W | 导线, 母线 | wire, busbar | l, M | c | 顶棚, 天花板 | ceiling | — |
| WAS | 事故音响信号小母线 | accident sound signal small-busbar | SYM | cab | 电缆 | cable | L |
| WB | 母线 | busbar | M | cr | 临界 | critical | ij |
| WC | 控制电路电源小母线 | control circuit source small-busbar | KM | Cu | 铜 | copper | Cu |
| WF | 闪光信号小母线 | flash-light signal small-busbar | SM | d | 需要 | demand | x |
| WFS | 预报信号小母线 | forecast signal small-busbar | YBM | d | 基准 | datum | j |
| WL | 灯光信号小母线 | lighting signal small-busbar | DM | d | 差动 | differential | — |
| WL | 线路 | line | l | dsq | 不平衡 | disequilibrium | bp |
| WO | 合闸电路电源小母线 | switch-on circuit source small-busbar | HM | E | 地, 接地 | earth, earthing | d, jd |
| WS | 信号电路电源小母线 | signal circuit source small-busbar | XM | e | 设备 | equipment | S |
| WV | 电压小母线 | voltage small-busbar | YM | e | 有效的 | efficient | yx |
| X | 电抗 | reactance | X | ec | 经济 | economic | ji, j |
| X | 端子板 | terminal strip | — | eq | 等效的 | equivalent | dx |
| XB | 连接片 | link | LP | es | 电动稳定 | electrokinetic stable | dw |
| YA | 电磁铁 | electromagnet | DC | FE | 熔体 | fuse-element | RT |
| YO | 合闸线圈 | closing operation coil | HQ | Fe | 铁 | iron | Fe |
| YR | 跳闸线圈, 脱扣器 | opening operation | TQ | FU | 熔断器 | fuse | RD |
| | | | | h | 高度 | height | h |
| | | | | i | 电流 | current | i |
| | | | | i | 任意常数 | arbitrary constant | i |
| | | | | ima | 假想的 | imaginary | jx |
| | | | | k | 短路 | short-circuit | d |
| | | | | KA | 继电器 | relay | J |
| | | | | L | 电感 | inductance | L |
| | | | | L | 负荷 | load | H |
| | | | | L | 灯 | lamp | D |
| | | | | l | 线 | line | l |
| | | | | l | 长延时 | long-delay | l |
| | | | | M | 电动机 | motor | D |
| | | | | man | 人工的 | manual | rg |
| | | | | m | 最大 | maximum | m |
| | | | | max | 最大 | maximum | max |
| | | | | min | 最小 | minimum | min |
| | | | | N | 额定, 标称 | rated, nominal | e |
| | | | | n | 数目 | number | n |
| | | | | nat | 自然的 | natural | zr |
| | | | | np | 非周期性的 | non-periodic | f-zq |

① 旧符号主要指本书1979年版和1984年版曾用过的文字符号, 这些符号基本符合 GB315—64《电工设备文字符号编制通则》的规定, 下同。

二、物理量下角标的文字符号

| 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号 |
|------|------|------------------|-------|
| a | 年 | year (拉丁文 annum) | n |
| a | 有功 | active | a, yg |

(续)

(续)

| 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号 |
|------|-----------------|---|--------|
| oc | 断路 | open circuit | dl |
| oh | 架空线路 | over-head line | K |
| OL | 过负荷 | over-load | gh |
| op | 动作 | operating | dz |
| OR | 过流脱扣器 | over-current release | TQ |
| p | 有功功率 | active power | P |
| p | 周期性的 | periodic | zq |
| p | 保护 | protect | J |
| pk | 尖峰 | peak | jf |
| q | 无功功率 | reactive power | q |
| QF | 断路器 | circuit-breaker | DL |
| QF | 低压断路器 (自动开关) | low-voltage circuitbreaker (autoswitch) | ZK |
| qb | 速断 | quich break | sd |
| r | 无功 | reactive | r, wg |
| RC | 室空间 | room cabin | RC |
| re | 返回 | returning | f |
| red | 可靠(性) | reliability | k |
| S | 系统 | system | XT |
| s | 短延时 | short-delay | — |
| saf | 安全 | safety | — |
| sh | 冲击 | shock, impulse | cj, ch |
| st | 起动 | start | q, qd |
| step | 跨步 | step | kp |
| T | 变压器 | transformer | B |
| t | 时间 | time | t |
| TA | 电流互感器 | current transformer | LH |
| tu | 接触 | touch | jc |

| 文字符号 | 中文名称 | 英文名称 | 旧符号 |
|------|---------|----------------------|-------|
| TR | 热脱扣器 | thermal release | R, RT |
| TV | 电压互感器 | voltage transformer | YH |
| u | 电压 | voltage | u |
| w | 接线 | wiring | JX |
| w | 工作 | working | gz |
| w | 墙壁 | wall | — |
| WL | 导线、线路 | wire, line | l |
| x | 某一数值 | a number | n |
| XC | [触头]接触 | contact | jc |
| a | 吸收 | absorption | a |
| p | 反射 | reflection | p |
| θ | 温度 | temperature | θ |
| Σ | 总和 | total, sum | Σ |
| τ | 透射 | transmission | τ |
| φ | 相 | phase | φ |
| 0 | 零, 无, 空 | zero, nothing, empty | 0 |
| 0 | 停止、停歇 | stopping | 0 |
| 0 | 每(单位) | per(unit) | 0 |
| 0 | 中性线 | neutral wire | 0 |
| 0 | 起始的 | initial | 0 |
| 0 | 周围(环境) | ambient | 0 |
| 0 | 瞬时 | instantaneous | 0 |
| 30 | 半小时[最大] | 30min [maximum] | 30 |

目 录

| | |
|--|--------------------------------|
| 第一章 概论..... 1 | 维护* 117 |
| §1-1 工厂供电的意义、要求及课程任务..... 1 | 思考题..... 121 |
| §1-2 工厂供电的有关知识..... 2 | 习题..... 122 |
| §1-3 电力系统的电压..... 6 | 第五章 工厂电力线路 123 |
| §1-4 电力系统的中性点运行方式..... 14 | §5-1 工厂电力线路及其接线方式..... 123 |
| §1-5 工厂供电设计的一般知识..... 18 | §5-2 工厂电力线路的结构和敷设..... 126 |
| 思考题..... 21 | §5-3 导线和电缆截面的选择计算..... 133 |
| 习题..... 21 | §5-4 车间动力电气平面布线图..... 143 |
| 第二章 工厂的电力负荷及其计算 23 | §5-5 工厂电力线路的运行维护* 145 |
| §2-1 工厂的电力负荷和负荷曲线..... 23 | 思考题..... 147 |
| §2-2 三相用电设备组计算负荷的确定..... 27 | 习题..... 148 |
| §2-3 单相用电设备组计算负荷的确定* 34 | 第六章 工厂供电系统的过电流保护 |
| §2-4 工厂供电系统的功率损耗和电能损耗..... 37 | 装置及二次系统 149 |
| §2-5 工厂计算负荷的确定..... 40 | §6-1 过电流保护装置的任务和要求..... 149 |
| §2-6 尖峰电流的计算..... 44 | §6-2 熔断器保护..... 150 |
| 思考题..... 45 | §6-3 低压断路器保护..... 155 |
| 习题..... 45 | §6-4 工厂高压线路的继电保护..... 159 |
| 第三章 短路电流及其计算..... 47 | §6-5 电力变压器的继电保护..... 181 |
| §3-1 短路的原因、后果及其形式..... 47 | §6-6 高压电动机的继电保护* 190 |
| §3-2 无限大容量电力系统发生三相短路时的物理过程和物理量..... 49 | §6-7 断路器控制回路和信号系统..... 191 |
| §3-3 三相短路电流的计算..... 51 | §6-8 绝缘监察装置和测量仪表..... 193 |
| §3-4 两相短路电流的计算..... 58 | §6-9 工厂供电系统二次回路的接线图* 197 |
| §3-5 短路电流的效应..... 58 | 思考题..... 200 |
| 思考题..... 64 | 习题..... 201 |
| 习题..... 64 | 第七章 工厂供电系统的自动装置 203 |
| 第四章 工厂变配电所及其一次系统 66 | §7-1 电力线路的自动重合闸装置..... 203 |
| §4-1 工厂变配电所的任务和类型..... 66 | §7-2 备用电源自动投入装置..... 206 |
| §4-2 电气设备中的电弧问题及对触头的要求..... 67 | §7-3 工厂供电系统的运动装置简介* 208 |
| §4-3 高压一次设备..... 70 | 思考题..... 209 |
| §4-4 低压一次设备..... 81 | 第八章 防雷、接地和电气安全 210 |
| §4-5 电力变压器..... 88 | §8-1 过电压与防雷..... 210 |
| §4-6 电流互感器和电压互感器..... 94 | §8-2 电气设备的接地..... 219 |
| §4-7 工厂变配电所的主电路图..... 100 | §8-3 电气安全..... 231 |
| §4-8 工厂变配电所的所址、布置、结构及安装图..... 109 | 思考题..... 236 |
| §4-9 工厂变配电所及其一次系统的运行 | 习题..... 237 |

| | | | |
|---|------------|--|-----|
| §9-3 照度标准及照度计算····· | 248 | 附录表10 RT0型低压熔断器的主要技术数据及其保护特性曲线····· | 276 |
| §9-4 照明供电系统及其选择····· | 252 | 附录表11 DW10型低压断路器的主要技术数据····· | 276 |
| 思考题····· | 257 | 附录表12 LQJ-10型电流互感器的主要技术数据····· | 277 |
| 习题····· | 257 | 附录表13 架空裸导线的最小截面····· | 277 |
| 第十章 工厂的电能节约 ····· | 259 | 附录表14 绝缘导线线芯的最小截面····· | 277 |
| §10-1 电能节约的意义····· | 259 | 附录表15 绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑料管时的允许载流量····· | 278 |
| §10-2 工厂电能节约的一般措施····· | 259 | 附录表16 室内明敷及穿钢管的铝、铜芯绝缘导线的电阻和电抗····· | 280 |
| §10-3 电力变压器的经济运行····· | 262 | 附录表17 GL— $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 型电流继电器的主要技术数据及其动作特性曲线····· | 281 |
| §10-4 电力电容器的接线、装设、控制、保护及其运行维护····· | 264 | 附录表18 部分电力装置要求的工作接地电阻值····· | 282 |
| 思考题····· | 270 | 附录表19 土壤电阻率参考值····· | 282 |
| 习题····· | 270 | 附录表20 钢接地体和接地线的最小尺寸规格····· | 282 |
| 附录 ····· | 271 | 附录表21 垂直管形接地体的利用系数值····· | 283 |
| 附录表1 用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数数值····· | 271 | 附录表22 普通白炽灯泡的主要技术数据····· | 283 |
| 附录表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····· | 272 | 附录表23 生产车间及工作和生活场所的平均照度值····· | 284 |
| 附录表3 LJ型铝绞线的主要技术数据····· | 272 | 附录表24 GC1— $\frac{1}{3}$ —1型配照灯的主要技术数据和计算图表····· | 285 |
| 附录表4 SL ₇ 系列低损耗电力变压器的主要技术数据····· | 272 | 附录表25 配照灯的比功率参考值····· | 286 |
| 附录表5 并联电容器的无功补偿率····· | 273 | 习题参考答案····· | 287 |
| 附录表6 BW型并联电容器的主要技术数据····· | 273 | 参考书目····· | 289 |
| 附录表7 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数····· | 274 | • 凡标题后注此符号,表示为选读,自学内容 | |
| 附录表8 SN10-10型高压少油断路器的主要技术数据····· | 274 | | |
| 附录表9 RM10型低压熔断器的主要技术数据及其保护特性曲线····· | 275 | | |

第一章 概 论

本章概述工厂供电的一些基本知识和基本问题。首先简要说明工厂供电在工业生产中的作用、对工厂供电工作的基本要求以及本课程的任务，其次简介典型的各类工厂供电系统及发电厂、电力系统的基本知识，然后重点论述关系供电系统全局的两个基本问题，即电力系统的电压和电力系统的中性点运行方式，最后概述工厂供电设计的一般知识。

§1-1 工厂供电的意义、要求及课程任务

工厂供电 (electric power supply for industrial plants), 就是指工厂所需电能的供应和分配问题。众所周知, 电能是现代工业生产的主要能源和动力。电能既易于由其它形式的能量转换而来, 又易于转换为其它形式的能量以供应用; 它的输送和分配既简单经济, 又便于控制、调节和测量, 有利于实现生产过程自动化。因此, 电能在现代工业生产及整个国民经济生活中应用极为广泛。

在工厂里, 电能虽然是工业生产的主要能源和动力, 但是它在产品成本中所占的比重 (除电化工业外) 一般很小。例如在机械工业中, 电费开支仅占产品成本的5%左右。从投资额来看, 有些机械工厂在供电设备上的投资, 也仅占总投资的5%左右。所以电能工业生产中的重要性, 并不在于它在产品成本中或投资总额中所占的比重多少, 而在于工业生产实现电气化以后, 可以大大增加产量, 提高产品质量, 提高劳动生产率, 降低生产成本, 减轻工人的劳动强度, 改善工人的劳动条件, 有利于实现生产过程自动化。从另一方面来说, 如果工厂的电能供应突然中断, 则对工业生产可能造成严重的后果。例如某些对供电可靠性要求很高的工厂, 即使是极短时间的停电, 也会引起重大的设备损坏, 或引起大量产品报废, 甚至可能发生重大的人身事故, 给国家和人民带来经济上甚至政治上的重大损失。

因此, 搞好工厂供电工作对于发展工业生产, 实现工业现代化, 具有十分重要的意义。而能源节约对于国家经济建设是一项具有战略意义的工作, 也是工厂供电工作的一项重要任务。因此, 搞好工厂供电工作, 对于节约能源、支援国家经济建设, 也具有重大的作用。

工厂供电工作要很好地为工业生产服务, 切实保证工厂生产和生活用电的需要, 并搞好能源节约, 就必须达到以下基本要求:

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——供电系统的投资要少, 运行费用要低, 并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。

此外, 在供电工作中, 应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系, 既要照顾局部和当前的利益, 又要有全局观点, 能顾全大局, 适应发展。例如计划供用电的问题, 就不能只考虑一个单位的局部利益, 更要有全局观点。

本课程的任务，主要是讲述中小型机械类工厂[⊖]内部的电能供应和分配问题，使学生初步掌握中小型工厂供电系统运行维护和设计计算所必需的基本理论和基本知识，为今后从事工厂供电技术工作奠定一定的基础。

§1-2 工厂供电的有关知识

一、工厂供电系统的概况

一般中型工厂的电源进线电压是6~10kV，电能先经过高压配电所集中，再由高压配电路将电能分送给各车间变电所。车间变电所内装设有电力变压器，将6~10kV的高压降低成一般用电设备所需的电压（如220/380V[⊗]），然后由低压配电路将电能分送给各用电设备使用；而某些高压用电设备，则由高压配电所直接配电。

图1-1是一个比较典型的中型工厂供电系统的系统图[⊙]。图1-2是上述工厂供电系统的平面布线示意图。为了使图形简单清晰，供电系统的系统图、平面布线图以及后面将大量涉及的主电路图，一般都只用一根线来表示三相线路，即绘成单线图(single-line diagram)的形式。还必须说明，这里绘出的系统图未绘出各种开关电器(除母线和低压联络线上装设的开关外)。

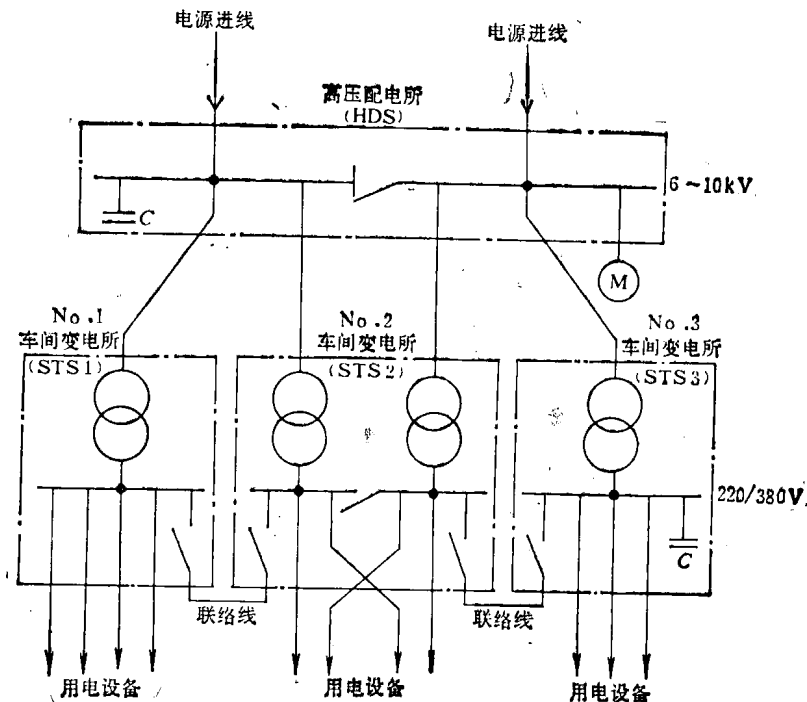
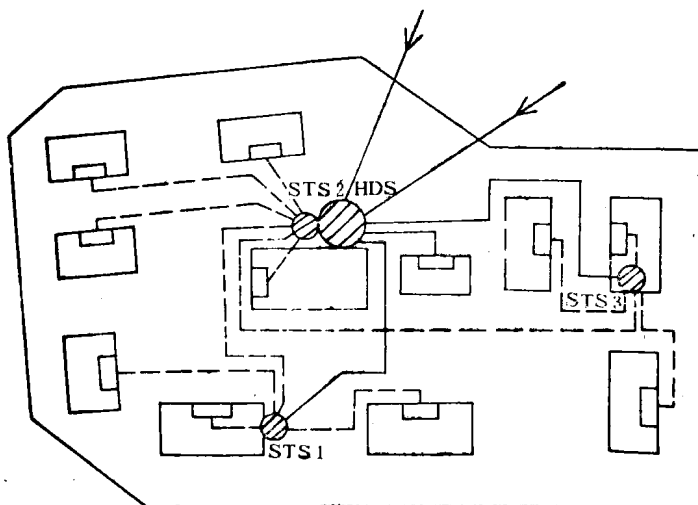


图1-1 中型工厂供电系统的系统图

- ⊖ 从供电的角度来说，凡总供电容量不超过1000kVA的工厂，可视为小型工厂；超过1000kVA而小于10000kVA的工厂，可视为中型工厂。本书研究的对象，主要是工厂进线电压不超过10kV的中小型工厂供电系统。
- ⊗ 按GB156—80《额定电压》规定，“220/380V”的斜线“/”左边(220V)为三相线路的相电压，右边(380V)为线电压，与以往习惯用法相反。
- ⊙ 按GB6988《电气制图》定义：“系统图”(system diagram)或“框图”(block diagram)是用符号或带注释的框概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。而“电路图”(circuit diagram)是用图形符号并按工作顺序排列，详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系，而不考虑其实际位置的一种简图。

绘制各种电气图，应遵循国家标准GB4728《电气图用图形符号》和GB6988《电气制图》等的有关规定。要注意所有电气元件均按无电压、无外力作用的正常状态绘出。

从图1-1可以看出，这个厂的高压配电所有两条6~10kV的电源进线，分别接在高压配电所的两段母线上。这两段母线间装有一个分段隔离开关，形成所谓“单母线分段制”。在任一条电源进线发生故障或进行检修而被切除后，可以利用分段隔离开关来恢复对整个配电所（特别是其重要负荷）的供电，即分段隔离开关闭合后由另一条电源进线供电给整个配电所。但最常见的运行方式是：分段隔离开关通常闭合，整个配电所由一条电源进线供电（正常情况下由公共电网来电），而另一条电源进线备用（通常由邻近单位取得备用电源）。



图例说明

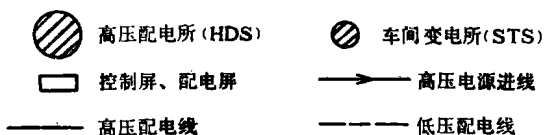


图1-2 中型工厂供电系统的平面布线示意图

这个高压配电所有四条高压配电线，供电给三个车间变电所，其中No.1车间变电所和No.3车间变电所都只装有一台电力变压器，而No.2车间变电所装有两台，并分别由两段母线供电，其低压侧又采用单母线分段制，因此对重要的用电设备可由两段母线交叉供电。车间变电所的低压侧，设有低压联络线相互连接，以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外，该配电所有一条高压线，直接供电给一组高压电动机；另有一条高压线，直接与一组并联电容器相连。No.3车间变电所低压母线上也连接有并联电容器。这些并联电容器都是用来补偿无功功率，提高功率因数用的。

对于小型工厂，一般只设一个简单的降压变电所，其容量只相当于图1-1中的一个车间变电所。用电设备容量在250kW及以下的小型工厂^①，通常采用低压进线，因此只需设置一个低压配电室就行了，其系统图如图1-3所示。

对于大型工厂及某些电源进线电压为35kV及以上的中型工厂，一般经过两次降压，也就是电源进厂以后，先经总降压变电所，其中装设有较大容量的电力变压器，将35kV及以上电源电压降为6~10kV的配电电压，然后

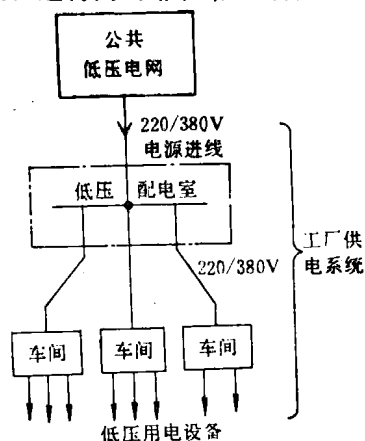


图1-3 低压进线的小型工厂供电系统图

^① 按《全国供用电规则》（水利电力出版社，1983）规定：用户用电设备容量在250kW或需用变压器容量在160kVA及以下者，应以低压方式供电，特殊情况也可以高压方式供电。

通过高压配电线将电能送到各个车间变电所,也有的经高压配电所再送到某些车间变电所,最后降到一般低压用电设备所需的电压,其系统图如图1-4所示。但有的35kV进线的工厂,只经一次降压,直接降为低压,供用电设备使用。这种供电方式,叫做高压深入负荷中心的直降配电方式。

由以上分析可知,配电所的任务是接受电能和分配电能,变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能,而工厂供电系统实际上就是工厂的变配电系统,包括从电源进厂起到用电设备入端止的整个电路。

二、发电厂和电力系统简介

由于电能的生产、输送、分配和使用的全过程,实际上是在同一瞬间实现的。这个全过程中的各个环节是一个紧密联系的整体。所以这里除了要简述工厂供电系统的概况外,还要简介发电厂和电力系统的基本知识,使大家了解工厂供电系统电源方面的情况,有利于更好地作好工厂供电工作。

(一) 发电厂

发电厂(power plant)又称发电站,是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。

发电厂按它所利用的能源不同,可分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等类型。

水力发电厂,简称水电厂或水电站。它利用水流的位能来生产电能。当控制水流的闸门打开时,水流沿进水管进入水轮机蜗壳室,冲动水轮机,带动发电机发电。其能量转换过程是:水流位能→机械能→电能。由于水电站的发电容量与水电站所在地点上下游的水位差(即落差,也称水头)和流过水电站水轮机的水量(即流量)的乘积成正比,所以建设水电站,必须用人工的办法来提高水位。最常用的办法,就是在河流上建筑一个很高的拦河坝,形成水库,提高上游水位,使坝的上下游形成尽可能大的落差。电站就建在坝的后面。这种水电站,叫做坝后式水电站。我国一些大型水电站大都属于这种类型。另一种提高水位的办法,是在具有相当坡度的弯曲河段上游,筑一低坝,拦住河水,然后利用沟渠或隧道,将水直接引至建在河段末端的水电站。这种水电站,叫做引水式水电站。还有一种水电站,是上述两种方式的综合,由高坝和引水渠道分别提高一部分水位。这种水电站,叫做混合式水电站。

火力发电厂,简称火电厂或火电站。它利用燃料的化学能来生产电能。我国的火电厂以燃煤为主。为了提高燃料效率,现代火电厂都把煤块粉碎成煤粉燃烧。煤粉在锅炉的炉膛内

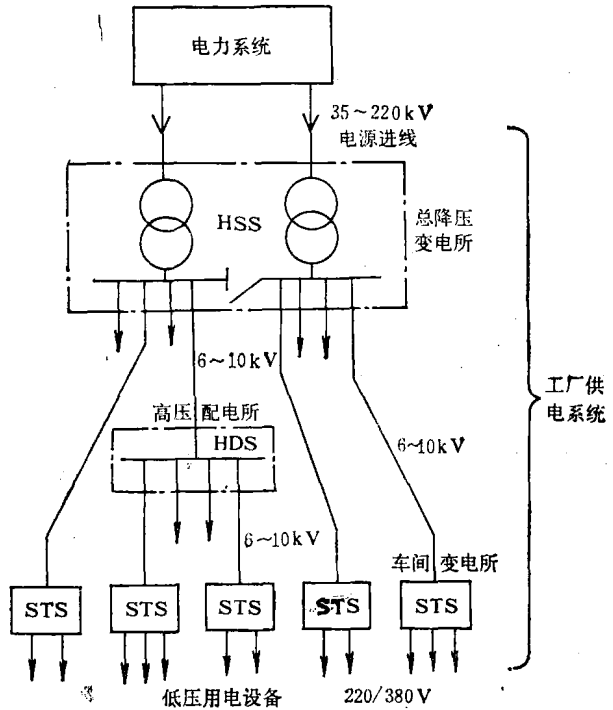


图1-4 具有总降压变电所的工厂供电系统的系统图

充分燃烧，将锅炉内的水烧成高温高压的蒸汽，推动汽轮机转动，使与它联轴的发电机旋转发电。其能量转换过程是：燃料的化学能→热能→机械能→电能。现代火电厂一般都考虑了“三废”（废渣、废水、废汽）的综合利用，并且不仅发电，而且供热。这种兼供热能的火电厂，称为热电厂或热电站。

核能发电厂又称为原子能发电厂，简称为核电厂或核电站。它主要是利用原子核的裂变能 \ominus 来生产电能。它的生产过程与火电厂基本相同，只是以核反应堆（俗称原子锅炉）代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了大量的煤炭。其能量转换过程是：核裂变能→热能→机械能→电能。由于核能是极其巨大的能源，而且核电站的建设具有重要的经济和科研价值，所以世界上很多国家都很重视核电站的建设，核电发电量的比重正在逐年增长。我国也确定要适当发展核电，并已开始兴建一批大中型核电站。

（二）电力系统

为了充分利用动力资源，减少燃料运输，降低发电成本，因此有必要在有水力资源的地方建造水电站，而在有燃料资源的地方建造火电厂。但是这些有动力资源的地方，往往离用电中心较远，所以必须用高压输电线路进行远距离输电，如图1-5所示。

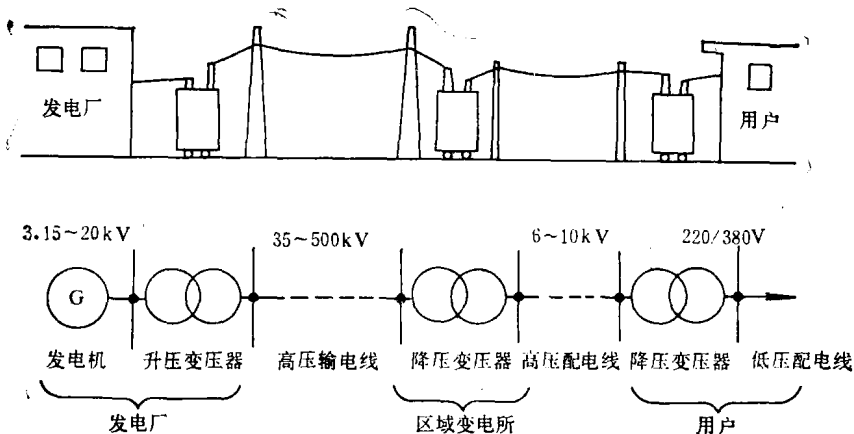


图1-5 从发电厂到用户的送电过程示意图

由各种电压的电力线路将一些发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体，叫做电力系统（power system）。图1-6是一个大型电力系统的系统图。

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所，叫做电力网，简称电网（power network）。但习惯上，电网或系统往往按电压等级来区分，如说10kV电网或10kV系统。这里所说的电网或系统，实际指的是某一电压的相互连接的整个电力线路。

电网可按电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的范围大，电压一般在220kV及以上。地方电网的范围小，电压一般为35~110kV。工厂供电系统就属于地方电网的一种。

建立大型电力系统，可以更经济合理地利用动力资源（首先是充分利用水力资源），减

\ominus 利用原子核的聚变能发电的问题，由于核聚变的受控难度很大，目前尚处在研究试验阶段。

少电能损耗，降低发电成本，保证供电质量（即电压和频率合乎规范要求），并大大提高供电的可靠性，有利于整个国民经济的发展。

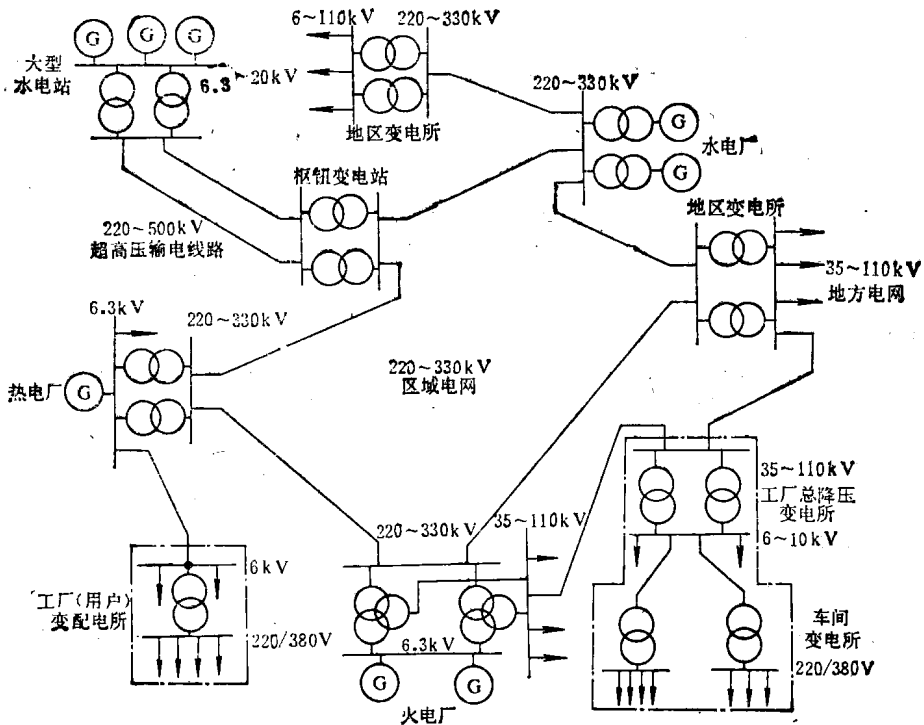


图1-6 大型电力系统的系统图

§1-3 电力系统的电压

一、概述

电力系统中的所有电气设备，都是在一定的电压和频率下工作的。电力系统的电压和频率，直接影响电气设备的运行。可以说，电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。《全国供用电规则》（1983）规定，一般交流电力设备的额定频率（rated frequency）为50Hz，此频率一般称为“工频”，频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，如电力系统容量达3000MW或以上时，频率偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。但是频率的调整主要依靠发电厂。对于工厂供电系统来说，提高电能质量主要是提高电压质量的问题，因此这里主要讨论电力系统的电压。

电气设备都是设计在额定电压（rated voltage）下工作的。电气设备的额定电压就是保证设备正常运行且能获得最佳经济效果的电压。如果设备的端电压与其额定电压有偏差（即电压偏移，其定义式见后面式(1-1)）时，则设备的工作性能和使用寿命将受到影响，总的经济效果将会下降。

(1) 对感应电动机的影响 当感应电动机的端电压比其额定电压低10%时，由于转矩与端电压平方成正比，因此其实际转矩将只有额定转矩的81%，而负荷电流将增大5~10%

以上,温升将提高10~15%以上,绝缘老化程度将比规定增加一倍以上,从而明显地缩短电机的使用寿命。而且由于转矩减小,转速下降,不仅会降低生产效率,减少产量,而且还会影响产品质量,增加废次品。当其端电压偏高时,负荷电流和温升一般也要增加,绝缘也要受损,对电机也是不利的,但不像电压偏低时那么严重。

(2) 对同步电动机的影响 当同步电动机的端电压偏高或偏低时,转矩也要按电压平方成正比变化。因此同步电动机的端电压偏移,除了不会影响其转速外,其它如对转矩、电流和温升等的影响,是与感应电动机时相同的。

(3) 对电光源的影响 电压偏移对白炽灯的影响最为显著。当白炽灯的端电压降低10%时,灯泡的使用寿命将延长2~3倍,但发光效率将下降30%以上,灯光明显变暗,照度降低,严重影响人的视力健康,降低工作效率,还可能增加事故发生率。当其端电压升高10%时,发光效率将提高1/3,但其使用寿命将大大缩短,只有原来的1/3。电压偏移对荧光灯等气体放电灯的影响不像对白炽灯那么明显,但也有一定的影响。当其端电压偏低时,灯管不易起燃。如果多次反复起燃,则灯管寿命将大受影响。而且电压降低时,照度下降,影响视力工作。当其电压偏高时,灯管寿命又要缩短。

由此可见,电力系统的电压偏移对电气设备的影响很大,因此有必要研究电压调整问题,以使电气设备端电压的偏移在允许范围以内。但是电压质量,又不单指电压偏移,而且包括电压波动以及电压波形是否畸变,即是否含有高次谐波成分,因此也需予以讨论。

下面先介绍我国三相交流电网和电力设备额定电压的国家标准及电压调整问题,然后讲述工厂供电系统高低压配电电压的选择,最后分别讨论电力系统中的电压波动和高次谐波问题。

二、额定电压和电压调整

(一) 额定电压的国家标准

我国标准规定的三相交流电网和电力设备常用的额定电压,如表1-1所示[⊖]。下面结合此表分别对电网和各类电力设备的额定电压作一些说明。

表1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

| 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 |
| | — | 13.8,15,75,18,20 | 13.8,15,75,18,20 | — |
| | 35 | — | 35 | 38.5 |

⊖ 我国的国标GB156—80《额定电压》规定的额定电压分受电设备的和供电设备两大类,而系统的额定电压规定与受电设备的相同。表1-1中的用电设备及变压器一次绕组相当于GB156—80所称受电设备,而发电机及变压器二次绕组相当于GB156—80所称供电设备。但表1-1中的变压器一、二次绕组额定电压,主要依据我国生产的电力变压器标准产品规格。

(续)

| 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 |
| 高 压 | 63 | — | 63 | 69 |
| | 110 | — | 110 | 121 |
| | 220 | — | 220 | 242 |
| | 330 | — | 330 | 363 |
| | 500 | — | 500 | 550 |

1. 电网（电力线路）的额定电压

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，经全面的技术经济分析研究后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

由于用电设备运行时线路上要产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同，如图1-7中虚线所示。但是成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。所以用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

3. 发电机的额定电压

由于同一电压的线路一般允许的电压偏移是 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有10%的电压损耗值，因此为了维持线路的平均电压在额定值，线路首端（即电源端）的电压应较电网额定电压高5%，而线路末端则可较电网额定电压低5%，如图1-7所示。所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压5%。

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压 分两种情况：当变压器直接与发电机相连时，如图1-8中的变压器T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压5%。当变压器不与发电机相连，而是连接在线路上时，如图1-8中的变压器T2，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

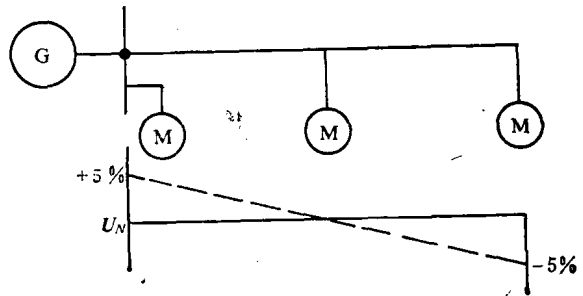


图1-7 用电设备和发电机的额定电压

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压 也分两种情况；但首先要明确，变压器二次绕组的额定电压，是指变压器一次绕组加上额定电压而二次绕组开路的电压，即为空载电压；而在满载时，二次绕组内约有5%的阻抗电压降。因此，如果变压器二次侧供电线路较长（如为较大的高压电网）时，则变压器二次侧额定电压；一方面要考虑补偿变压器满载时内部5%的电压降，另一方面要考虑变压器满载时输出的二次电压还要高于电网额定电压5%，以补偿线路上的电压降，所以它要比电网额定电压高10%，如图1-8中变压器T1。如果变压器二次

⊖ “额定”的汉语拼音为eding，英文为rated或nominal。“额定”作为物理量符号的下角标，过去我国普遍采用汉语拼音缩写e；但现在《电气技术中的文字符号制订通则》(GB7159—87)规定，应按其“英文术语缩写”，因此本书采用英文缩写N。本书所用文字符号均列于书前，因此后边的下角标文字符号不再一一注明。