

高等院校

电子信息应用型

规划教材

工厂供电学习指导

孟昭军 关大陆 主 编

樊爱龙 姚 颖 副主编

清华大学出版社



高等院校

电子信息应用型

规划教材

工厂供电学习指导

孟昭军 关大陆 主 编

樊爱龙 姚 颖 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是为机械工业出版社出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工厂供电》(第5版,刘介才)编写的学习指导书。为了便于相关专业学生的学习,与《工厂供电》要求的内容相比,本书知识面有所拓宽,并提供了大量的习题,既可以与《工厂供电》配套使用,也可以单独使用。本书内容包括三篇:第1篇为工厂供电基本内容,以及学习要点、重点难点分析与习题练习;第2篇为工厂供电有关的综合练习题;第3篇为工厂供电课程设计举例。

本书主要作为普通高等学校电气工程及其自动化、自动化等相关专业的辅导教材,也可供高职高专电气自动化技术、电力系统自动化技术等专业学生使用。另外,本书涉及的国家标准、规范较多,对报考注册电气工程师(供配电)的工程技术人员也有一定的参考价值。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电学习指导/孟昭军,关大陆主编.--北京:清华大学出版社,2014

(高等院校电子信息应用型规划教材)

ISBN 978-7-302-34013-3

I. ①工… II. ①孟… ②关 III. ①工厂—供电—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 234317 号

责任编辑:王剑乔

封面设计:傅瑞学

责任校对:李 梅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:27

字 数:618千字

版 次:2014年4月第1版

印 次:2014年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:047858-01

为加强教辅材料的建设,便于学生自学,使教师和学生能更好地完成“工厂供电”这门课程的学习,我们特编写了这本工厂供电学习指导书。本书编写的总原则是:打基础、宽视野、来源教材、突破教材、自成体系。

本书是根据机械工业出版社出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工厂供电》(第5版,刘介才)而编写的学习指导书。为避免重复,本指导书将原教材中已有的图、表略去,并在相应位置标有“见教材中图(表) $\times\times\times\times$ ”字样,可依此查阅教材中相应的图或表。

本书共分3篇。第1篇是与教材配套的有关工厂供电的基本内容,各章包括基本内容、学习要点、重点难点分析三个小部分。“基本内容”主要说明本章的所有知识点(结构);“学习要点”分为了解、熟悉、掌握三个层次,对本章的知识点做出要求;“重点难点分析”对本章的重点难点进行详细分析,既有教材中的内容,也有与实际生产相关的问题。第2篇是习题与解答,主要有选择题、问答题、案例题、计算题、分析题等。这一篇主要是为了加深学生对知识点的掌握,便于课后练习和巩固所学知识而设计。第3篇是有关课程设计的例子。这一篇主要是帮助学生从整体上认识和掌握工厂供电所涉及的几大问题。通过课程设计,使学生基本了解“工厂供电”这门课程在工厂和自动化专业中所处的位置,从而更有针对性地进行学习。

本书由辽宁科技学院孟昭军、关大陆担任主编,樊爱龙、姚颖任副主编。其中,孟昭军编写了第1~5章;关大陆编写了第6~8章;樊爱龙编写了第11~13章;姚颖编写了第9、10、14章。全书由成都工业学院(原成都电子机械高等专科学校)张祥军教授主审。

本书的编写与出版,得到了清华大学出版社的指导与支持;书中还借鉴了许多相关的教材和规范、标准,在此一并表示衷心的感谢。

由于技术的进步、制造水平的提高以及实际工程的经验积累等原因,

相应的规范、标准一直在更新、完善之中，使得本书所引用的规范、标准可能不是最新版本。如有新版本发布，烦请读者自行参考、引用最新版本中相应的数据。

由于编者的水平有限，加之书中的大量习题，解答工作量较大，因此难免存在不妥和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2014 年 2 月

第 1 篇 工厂供电基本内容与学习指导	1
第 1 章 概论	3
1.1 基本内容	3
1.2 学习要点	3
1.3 重点难点分析	4
1.3.1 工厂供电系统概况	4
1.3.2 电力系统的电压	4
1.3.3 电力系统的中性点运行方式	6
1.3.4 低压配电系统的接地形式	7
1.3.5 应急电源	9
1.4 习题与答案	12
第 2 章 工厂的负荷分级与负荷计算	16
2.1 基本内容	16
2.2 学习要点	16
2.3 重点难点分析	17
2.3.1 负荷的分级原则和对供电电源的要求	17
2.3.2 不同工作制设备功率(容量)的确定	18
2.3.3 需要系数法求三相设备的计算负荷	19
2.3.4 利用系数法求三相设备的计算负荷	20
2.3.5 单相设备的负荷计算	22
2.3.6 功率因数的人工补偿	23
2.4 习题与答案	27
第 3 章 短路电流计算	37
3.1 基本内容	37

3.2	学习要点	37
3.3	重点难点分析	38
3.3.1	无限大电力系统及其三相短路的物理过程	38
3.3.2	短路电流的标么值计算方法	39
3.3.3	短路电流的欧姆法计算	41
3.3.4	设备的动、热稳定度校验	42
3.3.5	低压电网短路电流计算	46
3.3.6	影响短路电流的因素和限制短路电流的措施	48
3.3.7	电力系统网络简化过程中阻抗的等效方法	49
3.3.8	近端短路	50
3.4	习题与答案	52
第4章	工厂电气设备选择	66
4.1	基本内容	66
4.2	学习要点	66
4.3	重点难点分析	67
4.3.1	常用电气设备选择和校验的条件	67
4.3.2	电力变压器的选择和校验	69
4.3.3	互感器的选择和校验	72
4.3.4	高压开关设备的选择和校验	73
4.3.5	低压开关设备的选择和校验	85
4.3.6	低压保护电器的选择和校验	87
4.3.7	限流电抗器的选择和校验	93
4.4	习题与答案	95
第5章	工厂变配电所及一次系统	107
5.1	基本内容	107
5.2	学习要点	107
5.3	重点难点分析	108
5.3.1	变配电所所址选择的一般原则	108
5.3.2	各级变配电所布置设计要求	109
5.3.3	各级变配电装置设计要求	110
5.3.4	各级变配电所配电装置安全净距的确定及校验方法	114
5.3.5	变配电所对防火、蓄油设施、建筑、结构、采暖、通风等的要求	119

5.3.6 高烈度地震区配电装置的设计	123
5.3.7 工厂变配电所电气主接线的基本形式	124
5.4 习题与答案	127
第6章 工厂电力线路	133
6.1 基本内容	133
6.2 学习要点	133
6.3 重点难点分析	134
6.3.1 工厂供电电源、供配电系统及其电压确定原则	134
6.3.2 供配电系统的接线方式及特点	136
6.3.3 架空线路的设计要求	142
6.3.4 导线和电缆截面的选择计算	147
6.3.5 电缆的敷设设计要求	152
6.4 习题与答案	159
第7章 工厂供电系统的继电保护	175
7.1 基本内容	175
7.2 学习要点	175
7.3 重点难点分析	176
7.3.1 电力变压器的保护	176
7.3.2 电力电容器的保护	183
7.3.3 3~10kV 电动机的保护	185
7.3.4 6~35kV 线路继电保护配置、整定计算	188
7.3.5 6~10kV 母线分段断路器继电保护配置、整定计算	190
7.3.6 线路的三段式过电流保护简介	191
7.4 习题与答案	193
第8章 工厂供电系统的二次回路及综合自动化	224
8.1 基本内容	224
8.2 学习要点	224
8.3 重点难点分析	225
8.3.1 变配电所的控制、信号回路的设计原则	225
8.3.2 变配电所电气测量及电能计量仪表设计要求	226
8.3.3 中央信号装置设计	231

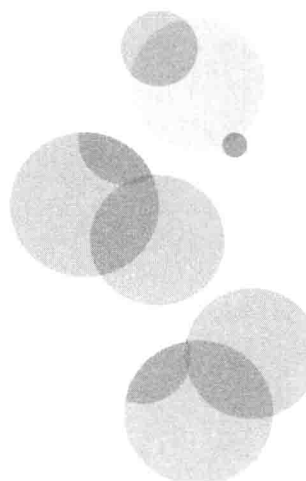
8.3.4	变配电所自动装置及综合自动化的设计要求	232
8.3.5	变配电所控制室的布置要求	233
8.3.6	直流系统负荷分类、事故停电时间	235
8.3.7	直流操作电源设计	237
8.4	习题与答案	240
第9章	防雷、接地及电气安全	246
9.1	基本内容	246
9.2	学习要点	246
9.3	重点难点分析	247
9.3.1	电力系统过电压的种类和过电压水平	247
9.3.2	建筑物防雷的分类和防雷装置的设计要求	248
9.3.3	变配电所过电压保护设计要求	252
9.3.4	接地电阻的计算	256
9.3.5	低压配电系统的接地故障保护、漏电保护与等电位联结	260
9.3.6	变电所电气装置的接地装置	270
9.3.7	电气设备的雷电冲击耐受电压及短时工频耐受电压	272
9.3.8	电流对人体的效应	273
9.4	习题与答案	277
第10章	工厂照明	285
10.1	基本内容	285
10.2	学习要点	285
10.3	重点难点分析	286
10.3.1	照明方式和照明种类	286
10.3.2	照度标准和照明质量	287
10.3.3	电光源的选择	290
10.3.4	灯具的选择	291
10.3.5	照明配电及控制	292
10.3.6	利用系数法计算平均照度	296
10.3.7	绿色照明	298
10.4	习题与答案	298
第11章	电能质量和节能技术	304
11.1	基本内容	304

11.2 学习要点	304
11.3 重点难点分析	305
11.3.1 电能质量的标准	305
11.3.2 提高电能质量的措施	306
11.3.3 照明工程节能标准与措施	310
11.3.4 供配电系统的节能措施	312
11.4 习题与答案	319
第 2 篇 《工厂供电》习题与解答	331
第 12 章 综合案例题	333
第 3 篇 《工厂供电》课程设计	375
第 13 章 机械厂降压变电所的电气设计	377
13.1 设计任务书	377
13.2 设计说明书	379
13.3 设计图样	397
第 14 章 化工厂降压变电所及高压配电系统设计	401
14.1 设计任务书	401
14.2 设计说明书	402
参考文献	420



第1篇

工厂供电基本内容与学习指导



概 论

1.1 基本内容

本章重点讲述了与工厂供电有关的基本知识和基本问题,为学习本课程奠定基础。本章主要介绍工厂供电的意义、要求及本课程的任务,典型的各类工厂供电系统及发电厂、电力系统和工厂自备电源的基本知识,电力系统的电压,电力系统的中性点运行方式,以及低压配电系统的接地形式。

1.2 学习要点

1. 工厂供电的意义、要求及课程任务

了解工厂供电的定义;了解工厂供电的意义;熟悉工厂供电课程的任务;掌握工厂供电的基本要求。

2. 工厂供电系统及发电厂、电力系统与工厂的应急电源

了解变配电所的类型;了解大、中、小、微型工厂的供电系统结构;了解各种发电厂的优缺点;了解各发电方式的能量转换过程;了解各种新能源发电方式;熟悉变电所、配电所的任务;熟悉工厂供电系统的组成;了解高压深入负荷中心的直配方式;掌握电力系统组成以及工厂供电系统与电力系统的关系;熟悉建立大型电力系统或联合电网的优点;了解工厂应急电源类型与使用场合。

3. 电力系统的电压

掌握电网(电力线路)额定电压的确定;掌握用电设备额定电压的确定;掌握发电机额定电压的确定;掌握电力变压器额定电压的确定;了解高、低压的划分;熟悉工厂供电电压的选择;掌握工厂高压配电电压的选择;掌握工厂低压配电电压的选择;熟悉不同工厂与电压等级选择的关系。

4. 电力系统中性点运行方式及低压配电系统接地形式

掌握电力系统中性点运行方式的类型;掌握电力系统中性点运行方式的适用范围;掌握中性点不接地电力系统的特点;熟悉中性点不接地电力系统的优缺点;了解中性点经消弧线圈接地电力系统减小电弧的原理;掌握中性点经消弧线圈接地电力系统的特点;熟悉

中性点经消弧线圈接地电力系统的优缺点;掌握中性点经消弧线圈接地电力系统的补偿容量计算和补偿方式。熟悉中性点直接接地或经低电阻接地电力系统的优缺点;了解中性点直接接地或经低电阻接地电力系统对继电保护的要求;了解低压配电系统的接地形式;了解 N 线、PE 线和 PEN 线的功能;了解各种符号的含义;熟悉 TN-C 系统的适用场合和优缺点;熟悉 TN-S 系统的适用场合和优缺点;熟悉 TN-C-S 系统的适用场合;熟悉 TT 系统的适用场合和优缺点;熟悉 IT 系统的适用场合和优缺点。

1.3 重点难点分析

1.3.1 工厂供电系统概况

对于小型工厂,由于其容量一般不大于 $1000\text{kV}\cdot\text{A}$ 或稍多,因此通常只设置一个降压变电所,将 $6\sim 10\text{kV}$ 降为低压用电设备所需的电压,如教材图 1-5 所示。如果工厂所需容量不大于 $160\text{kV}\cdot\text{A}$,一般采用低压电源进线,直接由公共低压电网供电。因此,工厂只需设一个低压配电间,如教材图 1-6 所示。

中型工厂的电源进线电压是 $6\sim 10\text{kV}$ 。电能先经高压配电所(HDS)集中,再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所(STS),或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有配电变压器,将 $6\sim 10\text{kV}$ 的高压降为一般低压用电设备所需的电压,如 $220/380\text{V}$ (220V 为相电压, 380V 为线电压),然后由低压配电线路将电能分送给低压用电设备使用,如教材图 1-1 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,一般经两次降压,也就是电源进厂以后,先经总降压变电所,其中装有较大容量的电力变压器,将 35kV 及以上的电源电压降为 $6\sim 10\text{kV}$ 的配电电压;然后,通过高压配电线将电能送到各个车间变电所,也有的中间经高压配电所再送到车间变电所;最后,车间变电所经配电变压器降为一般低压用电设备所需的电压,如教材图 1-3 所示。

有的 35kV 进线的工厂只经一次降压,即 35kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所,经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需的电压。这种供电方式称为高压深入负荷中心的直配方式。这种方式省去一级中间变压,简化了供电系统接线,节约了投资和有色金属,降低了电能损耗和电压损耗,提高了供电质量。但是为确保供电安全,厂区的环境条件必须满足 35kV 架空线路深入负荷中心的“安全走廊”要求,否则不能采用,如教材图 1-4 所示。

1.3.2 电力系统的电压

1. 电网和用电设备额定电压的选择

1) 电网(电力线路)的额定电压

电网(电力线路)的额定电压(标称电压)等级,是国家根据国民经济发展的需要和电力工业发展的水平,经全面的技术经济分析后确定的。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

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。但是在此必须指出,按 GB/T 11022—1999《高压开关设备和控制设备标准的共同技术要求》规定,高压开关设备和控制设备的额定电压按其允许的最高工作电压来标注,即其额定电压不得小于它所在系统可能出现的最高电压。

3) 发电机的额定电压

发电机额定电压按规定应高于同级电网(线路)额定电压 5%,用于补偿线路上的电压损失。教材图 1-12 为供电线路上的电压变化示意图。

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

电力变压器一次绕组的额定电压分两种情况:①当变压器直接与发电机相连时,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%;②当变压器不与发电机相连,而是连接在线路上时,其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压

电力变压器二次绕组的额定电压分两种情况:①变压器二次侧供电线路较长,如为较大的高压电网时,其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10%,其中,5%用于补偿变压器满载供电时一、二次绕组上的电压损失;另外 5%用于补偿线路上的电压损耗;②变压器二次侧供电线路不长,如为低压电网或直接供电给高低压用电设备时,其二次绕组额定电压只需高于电网额定电压 5%,仅考虑补偿变压器满负荷时绕组内部 5%的电压降。

5) 电压高低的划分

我国现在统一以 1000V 为界限来划分电压的高低。低压指额定电压在 1000V 及以下者;高压指额定电压在 1000V 以上者。

此外,可细分为低压、中压、高压、超高压和特高压:1000V 及以下为低压;1000V 至 10kV 或 35kV 为中压;35kV 或以上至 110kV 或 220kV 为高压;220kV 或 330kV 及以上为超高压;800kV 及以上为特高压。

2. 工厂供电电压的选择

1) 工厂供电电压的选择

工厂供电的电压主要取决于当地电网的供电电压等级,也要考虑工厂用电设备的电压、容量和供电距离等因素。在同一输送功率和输送距离条件下,供电电压越高,则线路电流越小,从而使线路导线或电缆截面越小,可减少线路的投资和有色金属消耗量。各级电压电力线路合理的输送功率和输送距离如表 1-1 所示。

2) 工厂高压配电电压的选择

工厂供电系统的高压配电电压主要取决于工厂高压用电设备的电压和容量、数量等因素,经技术经济比较确定。一般常用的供电电源电压为:对于用电负荷很大的企业,用 220kV 或 110kV;对于用电负荷较大的企业,用 110kV 或 35kV;负荷不大时,用 10kV;负荷很小时,可接入地区低压电网。

工厂采用的高压配电电压通常为 10kV。

表 1-1 各级电压电力线路合理的输送功率和输送距离

线路电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
0.38	架空线	≤ 100	≤ 0.25
0.38	电缆	≤ 175	≤ 0.35
6	架空线	≤ 1000	≤ 10
6	电缆	≤ 3000	≤ 8
10	架空线	≤ 2000	6~20
10	电缆	≤ 5000	≤ 10
35	架空线	2000~10 000	20~50
66	架空线	3500~30 000	30~100
110	架空线	10 000~50 000	50~150
220	架空线	100 000~500 000	200~300

3) 工厂低压配电电压的选择

工厂的低压配电电压一般采用 220/380V, 其中线电压 380V 接三相动力设备及额定电压为 380V 的单相用电设备, 相电压 220V 接额定电压为 220V 的照明灯具和其他单相用电设备。但某些场合宜采用 660V 或 1140V 作为低压配电电压。

1.3.3 电力系统的中性点运行方式

1. 中性点不接地的电力系统

(1) 特点: ①中性点不接地系统发生单相接地故障时, 线电压不变, 而非故障相对地电压升高到原来相电压的 $\sqrt{3}$ 倍; ②单相接地电流等于正常时单相对地电容电流的 3 倍。

单相接地电流(电容电流)的经验公式为

$$I_c = \frac{(l_{oh} + 35l_{cab})U_N}{350} \quad (1-1)$$

式中: l_{oh} 、 l_{cab} 分别为同一电压 U_N 的具有电气联系的架空线路和电缆线路的总长度, km。

(2) 优点: 运行可靠性高。发生单相故障时, 电力网的线电压仍然对称, 用户的三相用电设备仍能照常运行一段时间。但运行时间不能太长, 以免另一相又发生接地故障时形成两相接地短路。

(3) 缺点: 绝缘投资大。单相故障时, 非故障相对地电压升为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 为确保设备的绝缘安全, 系统相对地绝缘按线电压设计, 中性点绝缘按相电压设计。

(4) 适用范围: ①单相接地电流小于 30A 的 3~10kV 电力网; ②单相接地电流小于 10A 的 35kV 电力网。

2. 中性点经消弧线圈接地的电力系统

上述中性点不接地的电力系统有一种故障情况比较危险, 即在发生单相接地故障时, 如果接地电流较大, 将在接地故障点出现断续电弧。由于电力线路既有电阻 R 、电感 L ,

又有电容 C , 因此在发生单相弧光接地时, 可形成一个 RLC 串联谐振电路, 使线路上出现危险的过电压(可达相电压的 2.5~3 倍), 导致线路上绝缘薄弱地点的绝缘击穿。为了防止单相接地时接地点出现断续电弧, 引起谐振过电压, 因此在单相接地电容电流大于一定值时, 电力系统中性点必须采取经消弧线圈接地的运行方式。

(1) 特点: ①运行可靠性高, 但绝缘投资大; ②对于中性点经消弧线圈接地的电力系统, 在单相接地时, 其他两相对地电压也要升高到线电压, 即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍; ③在系统发生单相接地故障时, 允许短时间(一般规定为 2h)继续运行, 但应有保护装置在接地故障时及时发出报警信号。

(2) 补偿度与脱谐度: 补偿度(调谐度)为 $k = I_L / I_C$; 脱谐度为 $v = 1 - k$ 。

(3) 消弧线圈的补偿容量为

$$S_{ar} = 1.35 I_C \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (1-2)$$

(4) 消弧线圈的补偿方式: 全补偿 $I_C = I_L$; 欠补偿 $I_C > I_L$; 过补偿 $I_C < I_L$ 。

根据 DL/T 620—1997 中 3.1.6 条 b) 款的规定, 在电力系统中宜采用过补偿运行方式。

(5) 适用范围: ①单相接地电流大于 30A 的 3~10kV 电力网; ②单相接地电流大于 10A 的 35kV 电力网。

3. 中性点直接接地或经低电阻接地的电力系统

这种系统的单相接地即通过接地中性点形成单相短路。单相短路电流比线路的正常负荷电流大得多, 因此在系统发生单相短路时, 保护装置应动作于跳闸, 切除短路故障, 使系统的其他部分恢复正常运行。

(1) 特点: 中性点始终保持零电位。

(2) 优点: 节约绝缘投资。发生单相短路时, 非故障相对地电压不变, 电气设备绝缘水平可按相电压考虑。因此, 我国 110kV 及以上的电力系统基本上都采用中性点直接接地的方式。

(3) 缺点: 供电可靠性不高。单相短路时, 接地相短路电流很大, 保护装置迅速跳闸, 因此系统不能继续运行。

(4) 针对缺点应采取的措施: 加装自动重合闸装置, 以提高供电可靠性。

(5) 适用范围: 110kV 及以上电网和 380/220V 电力网(110kV 及以上电网采用中性点直接接地方式是为了降低工程造价; 而在 380/220V 低压电网中, 是为了保证人身安全)。

1.3.4 低压配电系统的接地形式

低压配电系统包括 TN-C 系统、TN-S 系统、TN-C-S 系统、TT 系统和 IT 系统。

其中, 第一个字母表示低压系统的对地关系, 即①T: 一点直接接地; ②I: 所有带电部分与地绝缘或一点经阻抗接地。第二个字母表示电气装置的外露导电部分的对地关系, 即①T: 外露导电部分对地直接电气连接, 与低压系统的任何接地点无关; ②N: 外露