



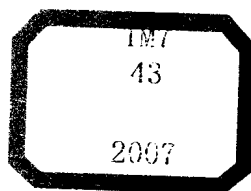
高等学校“十一·五”实践系列规划教材

电力工程类专题 课程设计与毕业设计 指导教程

主 编 王士政
副主编 芮新花



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校“十一五”实践系列规划教材

电力工程类专题 课程设计与毕业设计 指导教程

主 编 王士政
副主编 芮新花



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是“高等学校‘十一五’实践系列规划教材”的一本，是紧密结合电气工程及其自动化专业等电力工程类专题课程设计与毕业设计的实际，从实用性出发，精心编写而成。

本书共分八章：第一章是电力工程专题课程设计与毕业设计概述，第二章是电力系统的负荷统计及无功补偿，第三章是电力变压器选择，第四章是电气主接线及其设计，第五章是载流导体的选择，第六章是电力网潮流计算和调压计算，第七章是短路电流计算及继电保护配置，第八章是电气设备的选择，第九章是课程设计和毕业设计示例。另外，本书在附录中还收录了课程设计与毕业设计中常用的参考资料。本书配备了多道例题，特别是第九章两个课程设计和毕业设计的示例，非常详细，具有较强的指导作用。

本书可供高等学校电气工程及其自动化专业、农业电气自动化专业、电气自动化技术专业、建筑电气自动化专业以及热能与动力工程专业等在校师生学习、参考，也可供刚刚踏上工作岗位、从事电力工程的技术人员查阅、使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力工程类专题课程设计与毕业设计指导教程/王士政主编. —北京：中国水利水电出版社，2007
高等学校“十一五”实践系列规划教材
ISBN 978-7-5084-4553-3

I. 电… II. 王… III. ①电力工程—课程设计—高等学校—教学参考资料②电力工程—毕业设计—高等学校—教学参考资料 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 048625 号

| | |
|-------|---|
| 书 名 | 高等学校“十一五”实践系列规划教材 电力工程类专题课程设计与毕业设计指导教程 |
| 作 者 | 主编 王士政 副主编 芮新花 |
| 出版 发行 | 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) |
| 经 售 | 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排 版 | 中国水利水电出版社微机排版中心 |
| 印 刷 | 北京市地矿印刷厂 |
| 规 格 | 787mm×1092mm 16 开本 14.25 印张 338 千字 |
| 版 次 | 2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷 |
| 印 数 | 0001—4100 册 |
| 定 价 | 24.00 元 |

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

课程设计或毕业设计，是高等工程教育最重要的实践性教学环节。它是由学生独立完成的一项综合性、创造性、设计性的大型作业。学生必须综合运用多门基础理论课和专业课的知识，将所学的理论知识融会贯通地应用于整个设计过程之中。通过课程设计或毕业设计，能使學生真正感受到学以致用快乐，培养学生分析和解决各种实际问题的能力，也进一步巩固、深化和扩展所学的理论知识。课程设计或毕业设计，在提高学生综合实践能力、奠定从事科研的初步基础、增强学生综合素质、实现从学生到工程技术人员的过渡和角色转换等方面，具有无可替代的作用；是培养大学生实践能力和创新能力，培养高级应用型工程技术人才的最重要的教学环节。

电力工程类课程设计或毕业设计，是学生在学完相关的电力工程类课程之后，在教师的组织指导下，选择电力工程范围内某一特定的课题，综合运用所学的知识，独立完成的初步电力工程设计。在设计中，学生要独立地查阅和分析资料，细致地进行设计计算和设备的选择，并编写反映设计过程及成果的说明性文件——设计计算说明书。此外，一般还包含多种方案经济比较、工程绘图以及编程调试等许多环节。

多年来，编者每年都有这方面的教学任务，深感一本好的指导书对学生们顺利完成设计是很重要的。鉴于目前市面上缺乏非常适合的指导书，根据三江大学学生的需要和实际水平，编写了一本给学生试用。从结果看，比没有用本书的上届学生，设计综合评定成绩大体上都提高了一个级次。

本书简洁地介绍了电力工程类专题课程设计或毕业设计的方法步骤，及其必备的最基本知识。本书最大的亮点，是结合实际配备了多道例题，尤其是第九章中两个大型课程设计、毕业设计实例，详细地介绍了如何开头、计算、选择、绘图，如何分段、标题和组织文本的架构，这些切实的指导，相当于学生们身边有了随时能够提供解答的老师。

应中国水利水电出版社之约，编者对讲义又进行了较大的补充和完善。现在该书作为中国水利水电出版社《高等学校“十一五”实践系列规划教材》中的一本正式出版发行，是非常令人高兴的。电气工程及其自动化专业是一

个涉及范围很广的专业，全国 200 多所高校都设有这个专业。本书除适用于电气工程及其自动化专业外，也适用于农业电气自动化、建筑电气自动化、电气自动化技术、热能与动力工程等相近专业。希望本书的出版，能对这一数量十分庞大的学生群体有所帮助，特别是对那些培养目标定位于工程应用型人才院校的学生们。

感谢三江大学电气与自动化工程学院多位老师的协助，以及校领导的大力支持。由于时间和水平所限，书中难免有一些不足或疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

编者

2007 年 2 月

目 录

前言

| | |
|------------------------------------|----|
| 第一章 电力工程专题课程设计及毕业设计概述 | 1 |
| 第一节 电力工程专题设计的基本要求和主要内容..... | 1 |
| 第二节 设计计算说明书的编写要求..... | 3 |
| 第二章 电力系统的负荷统计及无功补偿 | 6 |
| 第一节 电力系统的负荷..... | 6 |
| 第二节 电力系统的计算负荷..... | 8 |
| 第三节 无功功率平衡及无功补偿..... | 9 |
| 第三章 电力变压器选择 | 15 |
| 第一节 发电厂和变电所主变压器选择..... | 15 |
| 第二节 常用变压器规格及参数..... | 18 |
| 第三节 变压器的损耗..... | 20 |
| 第四章 电气主接线及其设计 | 22 |
| 第一节 概述..... | 22 |
| 第二节 单母线接线..... | 23 |
| 第三节 双母线接线..... | 26 |
| 第四节 无母线接线..... | 31 |
| 第五节 安排主接线运行方式的原则..... | 34 |
| 第六节 发电厂及变电站电气主接线举例..... | 35 |
| 第七节 发电厂厂用电和变电所所用电..... | 41 |
| 第八节 电力系统中性点运行方式..... | 41 |
| 第九节 工厂电力线路及其接线方式..... | 45 |
| 第十节 电气主接线设计及其技术经济比较..... | 48 |
| 第五章 载流导体的选择 | 55 |
| 第一节 导线选择..... | 55 |
| 第二节 母线的选择..... | 64 |
| 第六章 电力网潮流计算和调压计算 | 66 |
| 第一节 潮流计算..... | 66 |
| 第二节 调压计算..... | 78 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 第七章 短路电流计算及继电保护配置 | 82 |
| 第一节 短路电流计算 | 82 |
| 第二节 继电保护装置的选择与整定 | 103 |
| 第八章 电气设备的选择 | 111 |
| 第一节 发电厂主要电气设备 | 111 |
| 第二节 电气设备选择的一般条件 | 111 |
| 第三节 高压断路器的选择 | 114 |
| 第四节 隔离开关的选择 | 117 |
| 第五节 电流互感器的选择 | 118 |
| 第六节 电压互感器的选择 | 124 |
| 第七节 互感器在主接线中的配置原则 | 127 |
| 第八节 限流电抗器的选择 | 129 |
| 第九节 高压熔断器的选择 | 131 |
| 第九章 课程设计和毕业设计示例 | 132 |
| 第一节 毕业设计示例：某地区电网规划及发电厂电气部分设计 | 132 |
| 第二节 课程设计示例：某化纤厂降压变电所电气设计 | 171 |
| 附录 | 189 |
| 附录一 电力工程设计需参考的主要技术标准 | 189 |
| 附录二 电力工程设计常用的文字符号 | 190 |
| 附录三 电力变压器参数表 | 195 |
| 附录四 部分 10~500kV 断路器的规格和电气参数表 | 206 |
| 附录五 部分发电机技术数据表 | 210 |
| 附录六 输电线路参数表 | 212 |
| 附录七 隔离开关及消弧线圈技术参数 | 217 |
| 附录八 限额设计控制参考指标 | 218 |

第一章 电力工程专题课程设计 及毕业设计概述

第一节 电力工程专题设计的基本要求和主要内容

课程设计或毕业设计，是由学生独立完成的一项综合性、创造性、设计性的大型作业；也是培养大学生实践能力、创新能力，培养应用型工程技术人才的最重要的实践性教学环节。在提高学生综合实践的能力，奠定从事科研的基础，以及增强学生综合素质等方面，具有不可替代的作用。

电力工程类课程设计或毕业设计，是学生在学完相关的电力工程类课程之后，在教师的组织指导下，选择电力工程范围内某一特定的课题，综合运用所学的知识，独立完成的初步电力工程设计。在设计中，学生要独立地查阅分析资料，细致地进行设计计算和设备选择，并编写反映设计过程及成果的说明性文件——设计计算说明书，此外还包含工程绘图、编程调试等环节。

一、电力工程专题设计对学生的基本要求

1. 了解电力工业的现状与发展形势

电力工业是国民经济的重要基础工业，其发展速度必须超前于国民经济的发展。现代电力工业的特点是：大容量的发电机组，超高压输电线路，包含水电、火电和核电的巨大联合电网。这些都对发、变电工程的设计提出了更高的要求。学生对这些背景资料，必须有一定的了解。

2. 复习专业基础课和电力工程专业课的理论知识

电力工程专业课，包括电力工程（或供电工程）、电力系统分析、继电保护、电网调度自动化等。毕业设计或课程设计是最重要的实践性教学环节，必须综合运用多门基础理论课和专业课的知识，将所学的理论知识融会贯通于设计过程中。通过课程设计或毕业设计，也帮助学生更好地理解所学的理论，学以致用，培养分析和解决设计中各种实际问题的能力，进一步巩固、扩展和深化所学的理论知识。

3. 学习实际工程设计的基本技能

电力工程设计必须根据国家的有关政策和各专业设计技术标准进行，尽力使工程设计方案满足安全、可靠、经济等多方面的要求。

学生在设计中，要初步掌握电力工程设计的程序和方法，要学会正确使用技术资料、技术标准、技术手册等多种工具书；学会设计计算、工程制图以及技术文件编写格式等各种基本规范。

4. 提高独立分析和解决工程问题的综合素质

学生必须有较全面的分析问题、解决问题的能力。要学会多角度观察问题和抓住技术

关键问题，独立地分析和解决工程问题。注意将学过的各种知识有效地联系起来，融会贯通于设计过程中。要树立正确的安全观点、经济观点和全局观点，要努力实现从学生到工程技术人员过渡和角色转换。

5. 培养严肃认真、勤学好问、刻苦钻研、实事求是的工作作风

毕业设计或课程设计内容多、任务重，计算量大。要养成严肃认真、勤学好问、一丝不苟和实事求是的工作作风，发扬求实创新、团结协作的优良学风。严禁杜撰数据、弄虚作假和抄袭他人成果。要遵守学校纪律和各项管理制度，全身心地投入到设计中，保证按时完成全部设计内容。

二、电力工程专题设计的程序

电力工程设计通常分为初步设计（扩大）、技术设计和施工图设计等三个阶段。

初步设计和技术设计阶段的主要任务，是根据工程项目设计任务书的要求，进行负荷统计和电力电量平衡计算，拟定供电系统组网和接入系统的初步方案，选择主要电气设备，提出主要设备材料清单，并编制工程概算，报上级主管部门审批。若有扩大初步设计，则应提出设计说明书（含电气主接线图和主要设备材料清单），及工程概算两部分。

施工图设计（或称施工设计）是在扩大初步设计方案和概算经主管部门批准后，为满足安装施工而进行的设计，重点是绘制施工图。施工图设计须对初步设计的原则性方案进行全面的经济技术分析，以及必要的计算和修改，以使方案更加完善。

施工图设计应提出一套完整的施工图样和施工说明书，此外需编制较详细准确的工程预算，报上级审批。

作为课程设计和毕业设计的电力工程专题设计，其深度和广度，应视学生的知识水平和设计时间长短而定，大致相当于上述的扩大初步设计。

学生在接到设计任务书后，首先应明确设计的题目、具体任务和要求，清楚已给的原始数据，以及尚缺的需要自己收集和补充的数据和资料。然后应借阅一些有关的图书资料，并拟定一个大致的设计进程安排。

设计往往要经过多次试算，若发现结果不符合要求，就要重新来过。这个过程可能要进行数次，才能得到合适的结果。在设计过程中，既要充分发挥自己的主观能动性，独立思考；又要经常请教指导教师，以免出现原则性错误，造成大的返工。特别是设计方案的确定，一定要征求指导教师的意见。

三、电力工程专题设计的主要内容

学生做电力工程专题设计，大体上相当于实际发、变电工程项目（电气部分）的初步设计内容。课程设计时间一般仅安排2周，只能完成主要部分，有些就不能很深入；毕业设计时间较长，部分内容可达技术设计所要求的深度。一般来说，电力工程专题设计应当包含以下各项内容：

(1) 对原始资料进行分析和必要的补充。

1) 电源情况：发电厂类型及设计规划容量（近期、远景），单机容量及台数，运行方式，最大负荷利用小时数等。

2) 电力系统情况：电力系统近期及远景发展规划（本期工程建成后5~10年），发电厂在电力系统中的位置和作用，本期与远景和系统的连接方式，各级电压中性点接地方

式等。

3) 负荷情况: 负荷的地理位置及性质, 输电电压等级, 出线回路数及其输送容量, 最大负荷利用小时数等。

4) 环境条件: 当地的气温、湿度、覆冰、污秽、水文、海拔高度及地震等。

(2) 选定发电厂的发电机型号、参数, 确定发电厂及各变电所主变压器的型号、容量及参数(查得的设备参数应列表汇总)。

(3) 负荷统计并制定无功平衡方案, 决定各变电所的电容补偿容量。

(4) 确定发电厂及各变电所电气主接线的方案, 选择接入电网的路径和导线截面, 确定地区电网接线方案(近期及远景)及分期过渡接线等设计方案。至少应有两种可供详细计算比较的备选方案。

(5) 对各方案进行详细的潮流计算, 校核各输电线的导线截面, 并计算导线的功率损耗及总网损, 计算各段线路的电压降落, 各节点电压均应合格。

(6) 计算两种备选方案的总投资及年运行费用。经过技术经济比较, 选出一种指标最优的方案。

(7) 短路电流计算: 对选定的最优方案, 按最大运行方式绘制出等值网络图, 选择合适的短路计算点, 计算三相短路电流及单相短路电流。并将短路电流计算结果列表汇总。

(8) 选择电气主接线中各种主要电气设备, 包括断路器、隔离开关、电抗器、互感器、消弧线圈、避雷器等, 并汇总电气设备表。

(9) 绘制工程设计图纸, 包括电气主接线单线图、厂用电接线图、配电装置布置图和断面图、地区电网潮流分布图等。

(10) 编写设计计算说明书, 反映全部计算过程和计算结果, 并对方案选择论证及最优方案加以简要而全面的说明。

第二节 设计计算说明书的编写要求

一、总体要求

(1) 一套完整的工程设计文件应由以下几部分构成: 封面, 设计任务书, 计算说明书(内含目录、正文、结束语、参考文献及附录)。

(2) 文本力求层次分明, 条理清晰, 简明扼要, 通顺易懂。

(3) 正文部分标题序号, 推荐采用下列层次标号, 但可依内容重要程度, 向下隔层跳越:

一、××××(标题)

(一)××××(标题, 有时可跳过, 以下层次亦可)

1. ××××(标题)

(1)××××(标题, 但也可直接写具体内容)

1)××××(本层次不设标题, 直接写具体内容)

二、对公式的要求

(1) 公式一般应另起一行且居中。很长的公式, 应在等号或数学符号处转行。



- (2) 公式的编号用圆括号括起，放在公式右边行末，公式序号按章连续。
- (3) 公式中分数多用横线，如用除号表示时分子分母要用圆括号括起，以免误解。

三、对表格的要求

- (1) 表格的内容应与正文密切配合。
- (2) 表格应有标题和序号。标题应写在表格上方正中，序号写在其左方。
- (3) 表格应在正文后最近的地方出现，不要过分拖后，且尽量不分页。

四、对图纸的要求

图纸是工程师的语言，是工程设计的主要成果。绘图是一项重要的基本训练，学生必须通过课程设计，使自己的制图能力有所提高，特别是要学会用计算机进行绘图。所有图纸要按工程图标准绘制。

- (1) 图形符号、文字标号应符合国家相关标准。
- (2) 图的布置和疏密应适当，图面清晰匀称，线条粗细适度，整体整洁美观。

五、设计计算说明书正文的编写要求

设计计算说明书应如实记录设计中有关计算的方法和过程，它是对设计进行校核审查的重要依据。要求参数取值合理，公式选用合适，计算方法无误，计算结果准确，严格执行国家和行业技术标准和规范，文本架构清晰、标题合理、书写规范。

六、参考文献的书写格式

- (1) 源于期刊：
[序号] 作者姓名. 文题. 刊名（或缩写），出版年，卷（期）：起止页码。
- (2) 源于图书：
[序号] 作者姓名. 书名. 出版地：出版社，出版年，起止页码。
- (3) 源于会议论文：
[序号] 作者姓名. 题目名//文集名. 出版地：出版社，出版年，起止页码。
- (4) 源于学位论文：
[序号] 作者姓名. 论文题目. 地点：单位，年，起止页码。

七、资料查阅

1. 技术手册和产品样本

技术手册是为特定领域而编撰的大型综合性专业工具书；设备手册或产品样本汇总介绍了各厂家产品的分类和性能；设计手册和标准图集综合汇总了设计单位多年的设计经验和成熟的典型设计。这些都是十分实用的。

2. 互联网检索

随着互联网的飞速发展及电子版资料的增多，在 www.google.cn 和 www.baidu.com 搜索网站上键入关键词检索，是查找资料时一种省时省力的捷径。使用互联网检索信息，可以使用搜索引擎进行关键词搜索和主题搜索，也可以去一些高校网站和专业网站、报刊及杂志社网站获取信息，一些图书馆的馆藏书目查询还提供电子文献供读者下载。

关键词搜索：以选定检索主题中的关键词为出发点的计算机文献搜索，当关键词多于一个时，应按重要次序输入，这样引擎会以第一个词作为查找信息的依据，然后将符合条件的内容再作为第二个关键词的搜索范围。

主题搜索：该引擎把所有信息分为各种类别，查阅者根据自己的设计课题逐步深入查找。当查阅者查找某一信息但又找不到合适的关键词时，可以使用这种方法。

推荐查阅网站：中国电力网，中国自动化网，中国机电网，中国电力培训网，电力系统自动化网，中国中控网，北极星电技术网，中国期刊网，中国数字图书馆，万方数据资源系统，中国期刊全文数据库等。

附录一和附录二列出了电力工程设计需要参考的主要技术标准，以及常用的电气图形符号和文字符号。

第二章 电力系统的负荷统计及无功补偿

第一节 电力系统的负荷

一、负荷的概念

负荷在电力系统中有以下几种含义：

(1) 电力负荷是指电力系统中一切用电设备所消耗的总功率，这称为电力系统的用电负荷。用电负荷加上电网的损耗功率，称为电力系统的供电负荷。供电负荷加上发电厂的厂用电，就是各发电厂应发的总功率，称为电力系统的发电负荷。

(2) 电力负荷有时又指用电设备，包括异步电动机、同步电动机、整流设备、电热炉和照明设备等。如分为动力负荷、照明负荷、三相负荷、单相负荷等。

电力负荷有时又指用电用户，如分为重要负荷、不重要负荷等。

(3) 电力负荷有时也指用电设备或用电单位所耗用的电流大小。如轻负荷、重负荷、空负荷、满负荷等。

二、电力负荷的分级

根据对供电可靠性要求及中断供电造成的损失或影响程度，电力负荷分为三级。

1. 一级负荷

一级负荷指一旦中断供电，将造成人身伤亡、政治或经济重大损失、重大设备损坏、重大产品报废、国民经济中重点企业生产过程被打乱等。

一级负荷应由两个电源供电，当其中一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏。同时还应增设专供一级负荷的应急电源。常用的应急电源有：独立于正常电源的发电机组，供电网络中独立于正常电源的专门馈电线路，蓄电池或干电池组等。

2. 二级负荷

二级负荷若中断供电会造成较大的经济损失，如主要设备损坏、大量产品报废、重点企业大量减产等。二级负荷也应由两回路供电，也不应中断供电，或中断后能迅速恢复。当负荷较小或当地供电条件困难时，二级负荷可由一回路 6kV 及以上的专用架空线供电；若采用电缆时，必须采用双电缆并列供电，每根电缆应能承受全部二级负荷，这是因为发生故障时，电缆比架空线难于检查和修复。

3. 三级负荷

三级负荷为一般电力负荷，对供电回路无特殊要求。

三、电力负荷曲线

(一) 电力负荷曲线

表征电力负荷随时间变动情况的一种图形。其中横坐标表示时间 [以小时 (h) 为单

位], 纵坐标表示负荷值 (有功功率或无功功率)。

(二) 日负荷曲线

电力系统中, 各用户的用电规律千差万别, 例如, 三班制的工厂, 全天 24h 内用电变化不大; 常白班的工厂则在晚上用电量很小; 照明用户则在 19~23 时用电量较大; 而农业用户夏季大于冬季。一年四季, 一天 24h, 用电负荷都在随时变化。

图 2-1 为电力系统典型日有功负荷曲线的一个例子。可以看出, 晚上 24 时到次日凌晨 6 时负荷较低, 称为低谷负荷; 而 8~12 时、17~22 时用电较多, 称为尖峰负荷 (简称为峰荷); 曲线的最高处称为最大负荷 P_{\max} (也可用 P_{30} 表示), 最低处称为最小负荷 P_{\min} , 最小负荷以下部分称为基本负荷 (简称为基荷)。显然, 基本负荷是不随时间而变化的。

不同类型的用户其负荷曲线是很不相同的。一般来说, 负荷曲线的变化规律取决于负荷的性质、地理位置、气候、企业的生产情况、生产班次等许多因素。

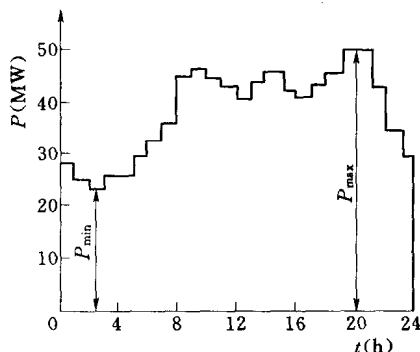


图 2-1 电力系统的典型日有功负荷曲线

(三) 负荷曲线的作用

1. 对电力工程设计的作用

从各种负荷曲线上, 可以直观地了解电力负荷的变动情况, 从中获得一些对设计十分有用的资料, 这对从事电力工程设计的人员很重要。

2. 对电力系统运行的作用

电力系统的生产计划, 必须建立在预测的负荷曲线的基础之上。为了预先安排系统中各个电厂的生产 (即要求各个电厂在某个时刻应开几台机组, 发多少功率等), 电力系统调度必须事前预测出系统未来 24h 的负荷曲线, 并根据这种阶梯形负荷曲线, 以及各个发电厂的特点, 分配它们未来 24h 的具体发电任务。一般来说, 总是希望热效率高的高温高压火电厂和核电厂, 担任基本负荷, 因为这类发电厂如果担任变动较大的负荷, 不仅热效率大为降低, 而且对安全还有不利影响。对于热电厂, 由于其发电出力的大小受热力负荷所决定, 所以它在负荷曲线上所占据的位置是相对固定的。至于峰荷部分, 一般都是由水力发电厂来担任, 这是由于水力机组开停方便, 且负荷波动时机组效率降低不大。另外,

水不用时储存在上游水库中, 更有利于航运和灌溉。对于负荷曲线最顶上的小尖峰, 可利用热效率低的小厂每天短时发电来承担。但应指出, 洪水季节应充分利用水电厂多发电, 以尽量节约火电厂的燃料, 这时水电厂应承担基本负荷, 而改由中温中压火电厂担负峰荷, 这样电力系统总的经济效益会达到最大。

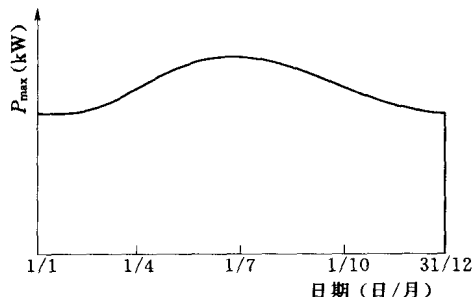


图 2-2 年每日最大负荷曲线

(四) 年负荷曲线

在电力系统的运行和设计中, 不仅要知道一

昼夜负荷的变化规律，还要知道一年之内负荷的变化规律。最常见的是年每日最大负荷曲线，如图 2-2 所示，横坐标为全年 12 个月份的日期，纵坐标为每日最大负荷。

这种年最大负荷曲线，可以用来安排电力设备检修计划和规划电力建设进度。

(五) 年最大负荷利用小时数

年最大负荷利用小时数 T_{\max} ，是反映电力负荷特征的一个重要参数。如果用户始终以最大负荷值 P_{\max} 运行，经过 T_{\max} 小时后，所消耗的电能恰好等于全年的实际耗电量。

年最大负荷利用小时数的大小，反应了实际负荷在一年内的变化程度。如果负荷曲线较为平坦，则 T_{\max} 值较大；反之，则 T_{\max} 值较小。

根据对电力系统长期实测的资料积累，各类负荷的 T_{\max} 大体在一定的范围内，它与工厂的生产班制有明显的关系，如表 2-1 所示。

表 2-1 各类用户的年最大负荷利用小时数

| 负荷类型 | 年最大负荷利用小时数 T_{\max} (h) |
|-----------|---------------------------|
| 屋内照明及生活用电 | 2000~3000 |
| 单班制工业企业 | 1500~2500 |
| 两班制工业企业 | 3000~4500 |
| 三班制工业企业 | 6000~7000 |
| 农业排灌用电 | 1000~1500 |

第二节 电力系统的计算负荷

一、计算负荷的概念

(1) 在选择电力系统中各个电气元件（如变压器、导线、开关设备等）时，最重要的就是要满足负荷电流的要求。因此有必要对电力系统各个回路中的电力负荷（功率和电流）进行科学的统计计算。

(2) 计算负荷是通过负荷统计计算求出的，用来按发热条件选择电力系统中各元件额定电流、额定功率的负荷值。有功计算负荷常用 P_{30} 表示， Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 分别表示无功计算负荷、视在计算负荷和计算电流。这是因为计算负荷基本上与从实际负荷曲线上查得的半小时（即 30min）最大负荷 P_{30} 相当。

(3) 正确确定计算负荷意义重大。计算负荷的大小直接影响电器和导线选择得是否经济合理。若计算负荷偏大，将使电器和导线选得偏大，造成投资和有色金属的浪费；若计算负荷偏小，又可能使电器和导线在过负荷下运行，增加电能损耗，产生过热，导致绝缘过早老化甚至烧毁。

二、计算负荷的科学计算方法

目前普遍采用需要系数法确定计算负荷。需要系数法是世界各国均普遍采用的确定计算负荷的基本方法，简单方便。此外还有二项式法，二项式法的应用局限性较大，但在确定设备台数较少而容量差别悬殊的分支干线的计算负荷时，较之需要系数法要合理，其计算也比较简单。下面主要简介需要系数法。

1. 需要系数法基本公式

下面列出需要系数法确定计算负荷的基本公式：

$$\text{有功计算负荷：} \quad P_{30} = K_d P_e \quad (2-1)$$

$$\text{无功计算负荷：} \quad Q_{30} = P_{30} \tan \varphi \quad (2-2)$$

视在计算负荷：
$$S_{30} = P_{30} / \cos\varphi \quad (2-3)$$

计算电流：
$$I_{30} = S_{30} / \sqrt{3}U_N \quad (2-4)$$

式中 K_d ——需要系数，与用电设备组的工作性质、设备台数、设备效率和线路损耗等有关的统计系数，最好通过实测分析确定，设计时可查有关表；

U_N ——负荷的额定电压；

P_e ——用电设备的设备容量，一般为用电设备组所有设备额定功率之和。

2. 同时系数

各组用电设备的最大负荷不会同时出现，在确定拥有多组用电设备的干线上计算负荷，或车间变电所低压母线上的计算负荷时，应考虑这一因素。即对其总有功负荷和总无功负荷，分别乘以一个小于1的同时系数 $K_{\Sigma P}$ 和 $K_{\Sigma Q}$ ：

对车间干线取：
$$K_{\Sigma P} = 0.85 \sim 0.95$$

$$K_{\Sigma Q} = 0.90 \sim 0.97$$

对车间低压母线取：
$$K_{\Sigma P} = 0.90 \sim 0.95$$

$$K_{\Sigma Q} = 0.93 \sim 0.97$$

这样，车间总的有功计算负荷和总的无功计算负荷分别为：

$$P_{30} = K_{\Sigma P} \sum p_{30} \quad (2-5)$$

$$Q_{30} = K_{\Sigma Q} \sum Q_{30} \quad (2-6)$$

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \quad (2-7)$$

$$I_{30} = S_{30} / \sqrt{3}U_N \quad (2-8)$$

3. 车间（或工厂）总的计算负荷

在确定车间或工厂总的计算负荷时，还需要逐级地加入有关线路和变压器的功率损耗。如图 2-3 所示，要从底层 6 点向上层 5、4、3、2、1 各点逐级推算。

例如要确定低压配电线 WL_2 首端 4 点的计算负荷：

有功计算负荷：
$$P_{30.4} = P_{30.5} + \Delta P_{WL_2} \quad (2-9)$$

无功计算负荷：
$$Q_{30.4} = Q_{30.5} + \Delta Q_{WL_2} \quad (2-10)$$

再由 $P_{30.4}$ 、 $Q_{30.4}$ 算出 $P_{30.3}$ ，并据此选择相应的变压器和导线。

然后确定高压配电线 WL_1 首端 2 点的计算负荷：

有功计算负荷：
$$P_{30.2} = P_{30.3} + \Delta P_T + \Delta P_{WL_1} \quad (2-11)$$

无功计算负荷：
$$Q_{30.2} = Q_{30.3} + \Delta Q_T + \Delta Q_{WL_1} \quad (2-12)$$

最后再由 $P_{30.2}$ 、 $Q_{30.2}$ 求 $P_{30.1}$ ……再向上层推求。具体见本书第九章的示例。

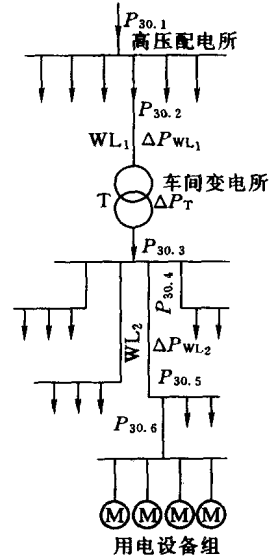


图 2-3 工厂总计算负荷示意图

第三节 无功功率平衡及无功补偿

无功平衡是保证电力系统电压质量的基础。合理的无功补偿和有效的电压控制，不仅可保证电压质量，而且能提高电力系统运行的经济性、安全性和稳定性。

无功负荷包括：电力用户的无功负荷（主要是大量的感应电动机），送电线路及各级变压器的无功损耗，以及发电厂自用无功负荷等。

无功电源包括：发电机实际可调无功容量，线路充电功率，以及无功补偿设备中的容性无功容量等。

无功补偿设备包括：并联电容器，串联电容器，并联电抗器，同步调相机以及静止无功补偿装置等。

一、无功补偿的基本要求

电力系统的无功电源与无功负荷，在各种正常运行以及事故运行时，都应实行分层分区、就地平衡的原则，并且无功电源应具有灵活的调节能力，和一定的检修备用及事故备用容量。

在正常运行方式时，突然失去一台最大的无功电源设备，系统应能迅速调出无功事故备用容量，保持系统电压稳定和正常供电，避免出现电压崩溃；而在正常检修运行方式下，若发生上述事故，应采取切除部分负荷或切除并联电抗器等必要措施，以维持电压稳定。

对于 220kV 及以上系统的无功补偿，还应考虑其提高电力系统稳定性的作用。

无功补偿设备的配置与设备类型的选择，应进行技术经济比较。可分组投切的并联电容器及可调节的并联电抗器，通常为主要无功补偿设备。

二、无功功率平衡与补偿

对于不同电压等级的电网，无功功率平衡与补偿形式有所不同。

1. 330kV 及以上电网的无功平衡与补偿

此类电网应配置高压与低压并联电抗器，以吸收 330kV、500kV 等超高压线路过多的充电功率。在一般情况下，高压与低压并联电抗器的总容量，应不低于线路充电功率的 90%。至于高压与低压电抗器的容量比例，应根据具体情况经技术经济比较确定。

对于 330kV 及以上的受端系统，容性无功补偿的安装总容量，应为输入有功总容量的 40%~50%，并分别安装在本网 220kV 及以下变电所中。

2. 220kV 及以下电网的无功平衡与补偿

此类电网无功电源的安装总容量 $Q_{C\Sigma}$ ，应当大于电网最大自然无功负荷 Q_L ，一般可取 1.15 倍 Q_L ；而最大自然无功负荷 Q_L 与电网最大有功负荷 P_L 之间，又存在一定的比例，故它们可写成如下关系式：

$$Q_{C\Sigma} = 1.15Q_L = 1.15kP_L \quad (2-13)$$

式中 Q_L ——电网最大自然无功负荷（感性），kvar；

$Q_{C\Sigma}$ ——电网无功电源（容性）的安装总容量，kvar；

P_L ——电网最大有功负荷，为输入本网有功功率之总和，kW；

k ——电网自然无功负荷系数，kvar/kW，与电网结构、电压层次、负荷特性等因素有关。系数 k 应经实测确定，在估算时也可取表 2-2 中数值。

3. 220kV 及以下电网无功补偿装置的配置

(1) 此类变电所配置的无功补偿容量，通常为主变压器容量的 10%~30%。在最大负荷时，35~220kV 变电所二次侧功率因数应达到表 2-3 所列的规定值。