

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



FADIANCHANG DIANQI BUFEN
KECHENG SHEJI

发电厂电气部分 课程设计

郭琳 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



FADIANCHANG DIANQI BUFEN
KECHENG SHEJI

发电厂电气部分 课程设计

主 编 郭 琳
副主编 石锋杰
编 写 李 鹏 马 雁
主 审 黄兴泉



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分为七章，主要内容包括绪论、短路电流计算、电气主接线设计、厂（所）用电设计、电气设备选择、配电装置布置和过电压保护。本书主要阐述大、中型发电厂（变电所）电气部分设计的基本原则、要求、步骤和计算方法，并介绍了设计中常用的图表、部分电气设备的技术数据及参考资料。

本书可作为高职高专院校发电厂及电力系统、供用电技术和电气自动化技术等专业的发电厂电气部分课程设计教材，也可作为电力行业技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂电气部分课程设计/郭琳主编. —北京：中国电力出版社，2009

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9045 - 1

I. 发… II. 郭… III. ①发电厂-电气设备-课程设计-高等学校：技术学校-教材②电厂电气系统-课程设计-高等学校：技术学校-教材 IV. TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 106537 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 418 千字

定价 27.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书是为高职高专院校发电厂及电力系统、供用电技术和电气自动化技术等专业而编写的发电厂电气部分课程设计教材。

本书主要阐述大、中型发电厂（变电所）电气部分设计的基本原则、要求、步骤和计算方法，并介绍了设计中常用的图表、部分电气设备的技术数据及参考资料；同时还结合书中各章节介绍了有关的设计技术规程、规定；详细阐述了短路电流实用计算方法、电气主接线设计原则及常用的接线形式、厂（所）用电设计、主要电气一次设备的选择、配电装置布置和过电压保护等。本书可与《发电厂电气设备》教材配套使用。

在短路电流计算中，重点介绍了运算曲线法，有关计算机算法，本书没有涉及。由于篇幅所限，断路器控制、信号、保护等二次回路也未编入，如果读者需要，可查相关教材或资料。

全书共分七章，第一、三章由郑州电力高等专科学校郭琳、马雁共同编写，第二、四章由郭琳编写，第五、六章由郑州电力高等专科学校石锋杰编写，第七章由郑州电力高等专科学校李鹏编写。全书由郭琳任主编、石锋杰任副主编，由河南电力试验研究院黄兴泉博士主审。

由于条件和水平所限，再有编者生产实践经验不足，书中难免存在不当之处，望读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 发电厂、变电所设计的组成和设计阶段.....	1
第二节 课程设计的目的、内容和要求.....	3
第三节 课程设计任务书的一般形式.....	5
第二章 短路电流计算	7
第一节 概述.....	7
第二节 标幺制	10
第三节 电力系统各主要元件的电抗	12
第四节 计算电路图和等值电路的化简	13
第五节 无限大容量电源供电电路内三相短路	18
第六节 有限容量电源供电电路内三相短路	24
第七节 多电源系统用运算曲线计算短路电流	31
第八节 考虑异步电动机和并联电容器组时短路电流的计算	44
第九节 对称分量法在不对称短路计算中的应用	45
第十节 元件的序阻抗和系统序网络图的拟制	50
第十一节 不对称短路时短路点的电流和电压	57
第十二节 不对称短路时短路电流和电压的计算	63
第三章 电气主接线设计	70
第一节 电气主接线设计原则和步骤	70
第二节 常用主接线的接线方式及特点	74
第三节 电气主接线中的设备配置	85
第四节 汽轮发电机和主变压器的选择	88
第五节 发电厂和变电所电气主接线实例.....	114
第四章 厂(所)用电设计	120
第一节 概述.....	120
第二节 厂用电的设计原则和接线形式.....	128
第三节 所用电的设计原则和接线形式.....	134
第四节 厂(所)用变压器的选择.....	136
第五节 厂用电动机的选择.....	143
第六节 不同类型的厂(所)用电接线实例.....	144
第五章 电气设备选择	153
第一节 导体和电器选择的一般条件.....	153
第二节 裸导体.....	159

第三节	电力电缆·····	172
第四节	高压断路器·····	175
第五节	隔离开关·····	179
第六节	高压负荷开关和高压熔断器·····	182
第七节	互感器·····	185
第八节	支柱绝缘子及穿墙套管·····	196
第九节	限流电抗器的选择·····	199
第十节	六氟化硫全封闭组合电器·····	200
第十一节	中性点设备·····	202
第十二节	无功补偿装置·····	206
第六章	配电装置布置·····	216
第一节	配电装置设计原则与要求·····	216
第二节	屋内配电装置·····	221
第三节	屋外配电装置·····	222
第四节	SF ₆ 全封闭组合电器配电装置·····	230
第七章	过电压保护·····	233
第一节	雷电过电压保护·····	233
第二节	内部过电压保护·····	255
附录	·····	260
附录 A	雷电过电压计算的一些参数和方法·····	260
附录 B	雷击线路杆塔顶部时耐雷水平的确定·····	262
附录 C	电晕对雷电波波形的影响·····	263
附录 D	雷电波在充油电缆中的衰减·····	263
附录 E	避雷器的电气特性·····	264
参考文献	·····	267

第一章 绪 论

电是能量的一种表现形式，电力已成为工农业生产不可缺少的动力，并广泛应用到一切生产部门和日常生活方面。电力工业的发展水平和电气化程度已成为衡量一个国家经济发展水平的一个重要标志。从世界各国经济发展的进程来看，国民经济每增长1%，就要求电力工业增长13%~15%，才能适应生产发展的需要。

目前，我国最大火发电机组容量为100万kW，最大水发电机组容量为70万kW，最大核发电机组容量为100万kW。同时，电力系统建设也取得了显著成就，已形成东北、华北、华东、华中、西北及南方电网等多个跨省区域性电网。

由此可见，我国电力工业已得到迅猛发展，其特点主要表现在采用大容量发电机组、超高压输电线路和水、火、核电相联合。这就对发电厂（变电所）的设计提出了更高的要求，需要我們认真研究对待。

第一节 发电厂、变电所设计的组成和设计阶段

一、发电厂、变电所设计的组成部分

发电厂、变电所的设计是一门综合性的学科，它是在多种专业有机配合、密切协作下完成的一个统一整体。按其各部分职能不同，可分为以下几个主要组成部分：

(1) 厂（所）址选择、总体规划和主厂房布置。

(2) 热机系统，包括运煤系统、锅炉设备及系统、除灰渣系统、汽轮机设备及系统、水处理设备及系统、热工自动化等内容。

(3) 电气系统，包括电气一次回路部分（如电气主接线、厂用电、高压配电装置、防雷保护、接地和照明）及二次回路部分（如控制、测量、继电保护、自动装置和通信）等内容。

(4) 水工设施及系统。

(5) 辅助及附属设施。

(6) 建筑物。

(7) 采暖、通风和空气调节。

(8) 环境保护和综合利用。

(9) 消防。

(10) 总概（预）算。

电气系统设计是其中的一个重要环节。它的主要任务是：完成发、变、配电系统设计，保证电能安全、可靠地供给用户，并力争节约投资、降低能耗。

二、发电厂、变电所的设计阶段

发电厂、变电所的设计，必须按国家规定的基本建设程序进行。对于新建的大型发电厂、变电所，一般的设计程序为初步可行性研究、可行性研究、初步设计和施工图设计。研

究报告和设计文件都要按规定的内容完成报批和批准手续。

在发、变电工程设计的各个阶段中，电气专业自始至终都是主体专业，特别是在变电所的设计工作中，电气专业更是起着主导作用。

本书以大、中型发电厂、变电所为例（小型电厂和变电所可供参考），简单介绍各个阶段的设计任务和主要内容以及电气专业的主要任务。

1. 初步可行性研究阶段

初步可行性研究阶段的任务是进行地区性的规划选厂（所）。在此阶段，设计单位提出的设计成品主要是一份“初步可行性研究报告”，由各个专业共同执笔，设计总工程师统稿。

初步可行性研究报告的内容一般包括概述、电力系统、燃料供应、建厂（所）条件与规模、工程设想、环境保护、厂（所）址方案、技术经济比较、结论及存在的主要问题、附图与附件等。

2. 可行性研究阶段

在工程项目的建设得到批准后，工程设计进入“可行性研究阶段”，进行工程定点选厂（所）。在此阶段，除完成可行性研究报告的编写工作之外，还需进行必要的论证计算，提出主要的设计图纸和取得必要的外部协议。

可行性研究报告由工程组各专业共同编写，其内容一般包括概述、电力系统、燃料供应、厂（所）址条件、工程设想、环境保护、能源节约、厂（所）组织与定员、工程项目实施的条件和轮廓、关键进度、经济效益分析、结论等。

3. 初步设计阶段

在厂（所）址确定之后，便可根据上级下达的设计任务书，正式进行工程的初步设计，并按设计任务书给出的条件，分专业提出符合设计深度要求的设计文件。初步设计是工程建设中非常重要的设计阶段，各种设计方案应经过充分的论证和选择。

在这一阶段，电气专业的主要任务是：通过技术、经济论证，确定发电厂、变电所电气主接线的最优方案，提出主要电气设备的清单，确定有关的技术问题，对主要设备提出技术规范，根据选出的设备修改配电装置的布置，最终完成设计文件。设计文件由说明书、计算书、图纸及预算组成。

(1) 说明书内容：

1) 设计依据及原始资料的收集和分析。主要包括电力系统分析、发电厂（变电所）总体分析、负荷分析、环境条件等。

2) 电气主接线设计。主要包括主接线方案比较与确定、各级电压母线接线方式（本期、远景）、分期建设与过渡方案；主变压器选择，各级电压中性点接地方式、6~35kV 单相接地电容电流补偿设备的选择，补偿装置的设置等。

3) 厂（所）用电接线及布置。主要包括厂（所）用电接线方案比较，负荷计算及变压器选择，中性点接地方式选择；高低压厂用电工作、起动/备用、保安电源连接方式、设备容量、分接头及阻抗的选择；厂用配电装置及设备选型等。

4) 短路电流计算。主要包括短路电流计算结果及有关计算的依据、接线、运行方式及系统容量等的说明。

5) 电气设备选择。主要包括主变压器、厂用变压器、断路器、隔离开关、熔断器、电抗器、互感器、消弧线圈、避雷器、绝缘子、导线和电缆等选择。

6) 电气总平面布置。主要包括屋内配电装置、屋外配电装置、主变压器、主控室及辅助房间、道路的布置与路面设计等。

7) 屋内、外配电装置设计。在此基础上,还要考虑通道和围栏的布置、构架的选择等。

8) 过电压保护与接地。主要包括电气设备防止过电压的保护措施、主辅建筑物的防雷保护装置、土壤电阻率及接地装置要求等。

(2) 计算书内容:

1) 短路电流计算。

2) 全厂电气设备选择。

3) 厂(所)用负荷统计及厂(所)用变压器容量选择。

4) 接线方式的技术经济比较、无功补偿。

5) 照明计算。

6) 防雷保护及接地计算。

7) 拉力弛度计算。

8) 高压配电装置电气绝缘校验及配合。

9) 大电流母线(各种结构)计算。

(3) 设计图纸:

1) 电气主接线图。

2) 电气总平面布置图。

3) 厂(所)用电接线图(包括柜、盘、箱订货图)。

4) 发电机电压配电装置平、剖面图。

5) 变压器布置平、剖面图。

6) 高压配电装置平、剖面图。

7) 电缆层、井、道敷设规划图。

8) 直击雷保护范围图。

9) 接地透视图。

10) 照明系统接线图。

11) 电气设备清单。

4. 施工图设计阶段

初步设计经过审查批准,便可根据审查结论和主要设备落实情况,开展施工图设计。在这一阶段中,应准确无误地表达设计意图,按期提出符合质量和深度要求的设计图纸和说明书,以满足设备订货所需,并保证施工的顺利进行。

第二节 课程设计的目的、内容和要求

一、课程设计的目的

课程设计是在完成本专业全部基础课程及专业课程的基础上进行的。通过课程设计应达到以下目的:

(1) 巩固和提高已学过的专业知识,并通过课程设计进一步学习新知识和新技能。

(2) 使学生掌握发电厂、变电所电气部分工程设计的基本程序和思想方法,使学生获得

查阅文献、收集资料、计算比较、综合分析、设计图纸等方面的训练和基本技能。

(3) 通过查阅有关技术文献资料,培养学生独立分析和解决实际问题的能力。

(4) 培养工程意识,掌握计算机绘图的方法,力争在课程设计以及未来学习工作中有所创新,为将来的实际工作奠定基础。

二、课程设计的内容与要求

1. 对课程设计的要求

课程设计应根据设计任务书以及国家的有关政策和各专业的设计技术规程、规定进行。

2. 课程设计的内容

课程设计大体相当于实际工程设计电气一次部分初步设计的内容,其中一部分可达技术设计的要求深度。具体内容如下:

(1) 对原始资料的分析:

1) 本工程情况:发电厂、变电所类型及设计规划容量(本期、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:电力系统本期及远景发展规划(本期工程建成后5~10年),发电厂、变电所在电力系统中的位置和作用,本期和远景与系统连接方式,各级电压中性点接地方式等。

3) 负荷分析:负荷的性质及其地理位置,输电电压等级、出线回路及输送容量等。

4) 环境条件:地理位置,当地的气温、湿度、覆冰、污秽、地质、水文、海拔高度及地震等。

5) 设备制造情况:各种电器的性能、制造能力和供应情况。

(2) 电气主接线设计:

1) 主变压器选择:容量、台数、相数、绕组数量和连接方式、阻抗、调压方式、电压等级、全绝缘或半绝缘问题、自耦变压器问题、冷却方式等。

2) 各级电压母线接线方式(本期、远景)以及分期过渡接线等。

3) 绘制电气主接线图。

(3) 厂(所)用电及供电方式选择设计:

1) 厂(所)用电接线方案比较,负荷计算及变压器选择,中性点接地方式选择。

2) 高低压厂用电工作电源、起动/备用电源、事故保安电源连接方式、设备容量、分接头及阻抗的选择。

3) 厂(所)用配电装置及设备选型等。

4) 绘制厂(所)用电接线图。

(4) 短路电流计算:

1) 确定主接线的运行方式。

2) 绘制等值网络图。

3) 计算各短路计算点的三相短路电流及不对称短路电流。

(5) 电气设备选择:

对主变压器、厂(所)用变压器、断路器、隔离开关、熔断器、电抗器、互感器、消弧线圈、避雷器、绝缘子、导线和电缆等进行选择,并汇总电气设备表。

(6) 屋内外配电装置设计:

根据发电厂、变电所类型和地理位置，初步拟定变压器、开关站及厂（所）内电气设备的布置方案。

(7) 电气总平面设计：

对屋内外配电装置、主变压器、主控室及辅助房间、道路的布置与路面等进行设计，并绘制电气总平面布置图。

(8) 过电压保护：

1) 电气设备防止过电压的保护措施。

2) 主辅建筑物的防雷保护装置。

3) 完成防雷保护设计计算。

4) 绘制直击雷保护范围图。

(9) 绘制工程设计的其他相关图纸，编制电气一次设备概算表，并编写说明书。说明书部分包括设计任务书、所采用的基本资料和原始数据、方案选择论证、主要计算方法和结果。其计算过程可作为附件，列在说明书后面。

3. 课程设计文件

课程设计文件由说明书、计算书及设计图纸组成。要求文字说明简明扼要，计算准确，有分析论证，并能正确地反映情况、说明问题。设计图纸应做到内容完整、清晰整齐。

第三节 课程设计任务书的一般形式

由于实际情况不同，任务书的形式也有所差异，这里给出的是一般形式的任务书，仅供参考。

“发电厂、变电所电气部分”课程设计任务书

姓名 _____ 学号 _____ 专业 _____ 班级 _____ 指导教师 _____

题目 _____

进行日期 _____

一、设计的原始资料

1. 发电厂、变电所的性质及基本数据

(1) 设计依据。

(2) 建厂（所）的必要性。

(3) 类型。

(4) 电压等级。

(5) 出线回路数（近期、远景）。

(6) 最大负荷数（近期、远景）。

2. 电力系统与本厂连接情况

(1) 发电厂、变电所在电力系统中的地位和作用。

(2) 电力系统总装机容量、短路容量或归算后的标么电抗。

- (3) 电力系统接线简图。
- (4) 发电厂、变电所在系统中所处地理位置。

3. 负荷分析

- (1) 出线回路数。
- (2) 负荷名称。
- (3) 最大负荷（近期、远景）。
- (4) 功率因数 $\cos\varphi$ 。
- (5) 重要负荷所占比例（%）。
- (6) 线路长度（km）。
- (7) 最大负荷利用小时数 T_{\max} （h）。

4. 环境条件

- (1) 所处地区地势。
- (2) 海拔高度（m）。
- (3) 交通状况。
- (4) 污染情况。
- (5) 当地年最高气温（℃）、年最低气温（℃）和年平均温度（℃）。
- (6) 最热月平均最高温度（℃）和最热月平均地下温度（℃）。
- (7) 最大风速（m/s）。
- (8) 最大覆冰厚度（mm）。
- (9) 土壤热阻系数（℃·cm/W），土壤温度（℃）。
- (10) 当地雷暴日数（日/年）。

二、设计任务

- (1) 电气主接线的设计。
- (2) 厂（所）用电设计。
- (3) 短路电流计算。
- (4) 电气设备选择。
- (5) 配电装置设计规划及选择。
- (6) 发电厂、变电所总平面布置。
- (7) 防雷保护设计。
- (8) 绘制有关图纸，并撰写课程设计文件（计算书、说明书）。

三、设计成品要求

- (1) 设计说明书、计算书一份。
- (2) 图纸若干张。

第二章 短路电流计算

短路是电力系统中常见的、十分严重的故障。短路结果将使系统电压降低、短路回路电流增大,可能破坏电力系统的稳定运行和损坏电气设备。所以,电气设计和运行中都需要对短路电流进行计算。本章主要介绍高压电路中三相短路和常见的不对称短路电流的实际计算方法。

第一节 概 述

一、短路的概念和类型

电力系统的不正常工作,大多是由于短路故障造成的。所谓“短路”,是指三相系统中相与相导体之间的非正常连接,如通过电弧和其他小电阻形成的相间连接;此外,在中性点直接接地系统或三相四线制系统中,还指单相或多相接地或接中性线。

在中性点非直接接地系统中,短路故障主要是指各种相间短路,包括不同相的多点接地。单相接地不会造成短路,仅有不大的接地电流流过接地处,系统仍可继续运行,故不称其为短路故障。

三相系统中短路的基本类型及代表符号为:三相短路 $k^{(3)}$ 、两相短路 $k^{(2)}$ 、单相短路 $k^{(1)}$ 、两相接地短路 $k^{(1,1)}$ 。图2-1所示为短路的基本类型,图中 X 表示电路的电抗, R 表示电阻。为区别各种短路的电流、电压、功率等,图中在表示这些量的文字符号右上角也注明相应的短路代表符号。

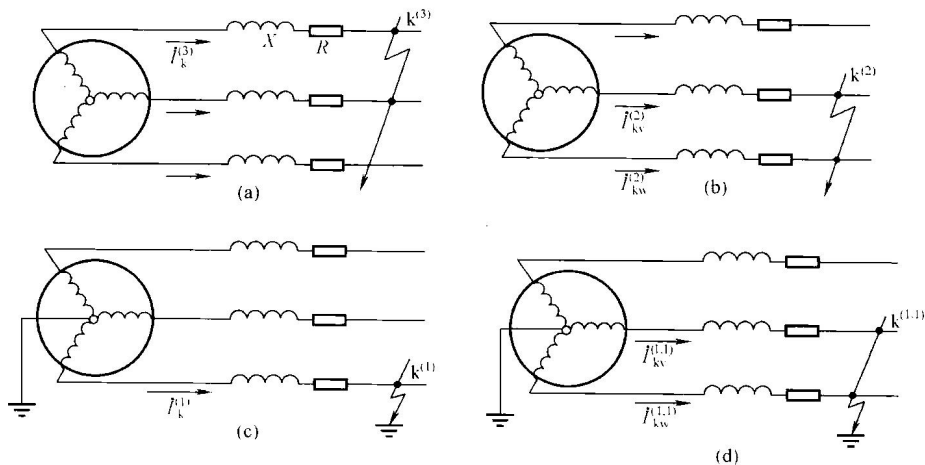


图 2-1 短路的基本类型

(a) 三相短路; (b) 两相短路; (c) 单相短路; (d) 两相接地短路

三相短路时,因为短路回路各相的阻抗相等,三相的电流仅较正常时增大,电压较正常时降低,但三相仍然是对称的,故称为对称短路。除三相短路外,其他几种短路在短路时各

相电流、电压数值不等，其相角也不相同，则这些短路称为不对称短路。

二、短路的原因和后果

造成短路的主要原因是电气设备载流部分的绝缘损坏。引起绝缘损坏的原因有：各种形式的过电压，如直接遭受雷击等；绝缘材料的自然老化和污秽、运行人员维护不周及直接的机械损伤等；电力系统其他一些故障也可能直接导致短路，如输电线路断线和倒杆事故、运行人员不遵守操作技术规程和安全规程而造成错误操作，鸟和小动物等跨接裸导体等。

电力系统发生短路时所产生的基本现象，是短路回路的电流剧烈增大，此电流称为短路电流。短路电流可能达到正常工作电流的几倍甚至几十倍，绝对值可达到几万安甚至几十万安。短路电流基本上是感性电流，它将产生去磁性的电枢反应，使发电机的端电压下降，同时短路电流通过线路等设备时还增大了电压损失，因而在电流增大的同时，系统电压将大幅度下降。

短路时的上述基本现象，将引起下列严重后果：

(1) 短路时往往会有电弧产生，它不仅能烧坏故障元件本身，也可能烧坏周围设备和人员。

(2) 巨大的短路电流通过导体时，一方面会使导体大量发热，造成导体过热甚至熔化，使绝缘损坏；另一方面，巨大的短路电流还将产生很大的电动力作用于导体，使导体变形或损坏。

(3) 短路时系统电压将大幅度下降，特别是靠近短路点处电压降低很多，对用户工作影响很大，可能破坏部分或全部用户的供电。

(4) 电力系统中短路时，系统功率分布的突然变化和电压严重下降，可能破坏各发电厂并联工作的稳定性，使整个系统解列为几个异步运行的部分。这时某些发电机可能过负荷，因此必须切除部分用户。短路时电压下降越大，持续时间越长，破坏整个系统稳定运行的可能性越大。

为保证系统安全可靠地运行，减轻短路的影响，除在运行维护中应努力设法消除可能引起短路的一切原因外，还应尽快地切除短路故障部分，使系统电压在较短时间内恢复到正常值。为此，可采用快速动作的继电保护和断路器，以及发电机装设自动调节励磁装置等；此外，还应考虑采用限制短路电流的措施，如在电路中加装电抗器等。

三、短路电流计算的目的是和基本假设条件

1. 短路电流计算目的

- (1) 电气主接线方案的比较和选择；
- (2) 电器设备和载流导体的选择；
- (3) 继电保护装置的选择和整定计算；
- (4) 验算接地装置的接触电压和跨步电压；
- (5) 系统运行和故障情况的分析等。

2. 短路电流实用计算的基本假设条件

选择电气设备时，只需近似计算出通过所选设备的最大三相短路电流值；设计继电保护和系统故障分析时，要对各种短路情况下，各支路中的电流和各节点电压进行计算。在现代电力系统的实际情况下，要进行极准确的短路计算是相当复杂的，同时对解决大部分实

际工程问题，并不要求极准确的计算结果。为了简化和便于计算，实用中多采用近似计算方法。本章主要介绍这种短路电流实用算法，这种方法是建立在一系列基本假设条件基础上的，计算结果有些误差，但不超过实际工程的允许范围。这里基本假设条件是：

(1) 系统在正常工作时三相是对称的。

(2) 电力系统各元件的磁路不饱和，即各元件的电抗值与电流大小无关，所以在计算中可以应用叠加原理。

(3) 除计算短路电流的衰减时间常数和低压网络的短路电流外，元件的电阻均略去不计。

(4) 输电线路的电容忽略不计。

(5) 变压器的励磁电流略去不计，相当于励磁阻抗回路断开，这样可以简化变压器的等值电路。

(6) 电力系统中所有发电机电动势的相位在短路过程中都相同，频率与正常工作时相等，不考虑短路过程中发电机转子之间的摇摆现象对短路电流的影响。

(7) 不考虑短路点的电弧阻抗。

(8) 短路发生在短路电流为最大值的瞬间。

(9) 元件的参数均取其额定值，不考虑参数的误差和调整范围。

(10) 系统中的电动机均为理想电动机。

(11) 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行，其中 50% 负荷接在高压母线上。

(12) 用概率统计法制定短路电流运算曲线。

四、一般规定和计算步骤

1. 一般规定

(1) 验算导体和电气设备动稳定、热稳定以及电气设备开断电流所用的短路电流，应按本工程规划容量计算，并考虑电力系统的远景发展规划（一般为本期工程建成后 5~10 年）。确定短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常接线方式，而不应按仅在切换过程中可能并列运行的接线方式。

(2) 选择导体和电气设备用的短路电流，在电气连接的网络中，应考虑具有反馈作用的异步电动机的影响和电容补偿装置放电电流的影响。

(3) 选择导体和电气设备时，对不带电抗器回路的计算短路点，应选择 in 正常接线方式时短路电流为最大的地点。对带电抗器的 6~10kV 出线与厂用分支回路，除其母线与母线隔离开关之间隔离板前的引线和套管的计算短路点应选择 in 电抗器前外，其余导体和电气设备的计算短路点一般选在电抗器后。

(4) 导体和电气设备的动稳定、热稳定以及电气设备的开断电流，一般按三相短路验算。若发电机出口的两相短路，或中性点直接接地系统及自耦变压器等回路中的单相、两相接地短路较三相短路严重时，则应按严重情况计算。

2. 计算步骤

目前，电力设计部门对复杂电力系统及发电厂、变电所短路电流的计算几乎都在计算机上进行。作为单体的发电厂、供电企业，对设计验算、设备改造等需进行短路电流计算时，进行手算会更方便，概念会更清晰。本章只介绍短路电流计算的基本数据准备、短路电流计算阻抗图绘制和手工计算步骤，不涉及具体的计算程序和上机操作。设计步骤为：

- (1) 绘制相应的电力系统接线图。
- (2) 确定与短路电流有关的运行方式。
- (3) 计算各元件的序阻抗。
- (4) 绘制相应的短路电流计算等值电路图。
- (5) 根据需要取不同的短路点进行短路电流计算。

第二节 标 幺 制

标幺制是一种相对单位制。短路电流实用计算中常用到的物理量，如电流、电压、电抗和功率等，都是用无单位的相对数值即标幺值表示大小并进行计算的。

一、标幺值

标幺值是一个物理量的实际有名值与一个预先选定的具有相同量纲的基准值的比值，一般表达式为

$$\text{标幺值} = \frac{\text{实际有名值}}{\text{基准值(与实际有名值同量纲)}}$$

例如，发电机电压 $U_G = 13.8\text{kV}$ ，选取基准值 $U_j = 10.5\text{kV}$ ，发电机电压的标幺值为

$$U_{G^*j} = \frac{13.8}{10.5} = 1.31$$

其中，符号“*”表示该量为标幺值，以便与有名值区别；下标 j 表示该标幺值是以任意选取的数值 U_j 为基准值。若选取基准值 $U_j = 13.8\text{kV}$ ，则发电机电压的标幺值 $U_{G^*j} = 1$ 。

可见，标幺值是无单位的数，实际上标幺值就是某物理量的有名值对基准值的倍数。由于选取的基准值不同，同一有名值的标幺值却不相等。一般来说，基准值可以任意选取，所以讲到一个量的标幺值时，必须首先说明它的基准值，否则没有意义。

只要基准值选取得恰当，采用标幺制可使一个复杂的数变成一个很简单的数。如上例中，当取 $U_j = 13.8\text{kV}$ 时， $U_{G^*j} = 1$ ，可使复杂的运算公式简化，使运算工作量大为减少。

标幺值与百分值之间的关系是，标幺值乘以 100 即得到相同基准值时的百分值，即

$$\text{百分值} = \text{标幺值} \times 100$$

标幺值和百分值一样，都是相对值，但在短路电流计算中，如遇到百分值，必须先把百分值除以 100 化为标幺值。

二、基准值的选择

在三相系统的短路电流计算中，常用的电气量有线电压 U 、相电流 I 、一相电抗 X 、三相功率 S 。这四个电气量之间，应满足下列两个基本关系式，即

$$\text{欧姆定律} \quad U = \sqrt{3}IX \quad (2-1)$$

$$\text{功率方程式} \quad S = \sqrt{3}IU \quad (2-2)$$

这四个电气量对于选定的基准值的标幺值为

$$U^*_{j} = \frac{U}{U_j}; I^*_{j} = \frac{I}{I_j}; X^*_{j} = \frac{X}{X_j}; S^*_{j} = \frac{S}{S_j}$$

用标幺值计算时,必须首先选取四个电气量的基准值。一般来说,四个电气量可以任意选取。四个电气量的基准值分别称为基准电压 U_j 、基准电流 I_j 、基准电抗 X_j 和基准功率(基准容量) S_j 。选取 U_j 、 I_j 、 X_j 和 S_j 时,也应满足欧姆定律和功率方程式,即

$$U_j = \sqrt{3} I_j X_j \quad (2-3)$$

$$S_j = \sqrt{3} U_j I_j \quad (2-4)$$

按上述原则选取基准值时,式(2-3)和式(2-4)中的四个基准值,只可以任意选取其中的两个,另外两个必须由式(2-3)和式(2-4)确定。通常系统的电压和功率(容量)多是已知的,所以一般是任意选取基准功率 S_j 和基准电压 U_j ,基准电流 I_j 和基准电抗 X_j 由式(2-3)和式(2-4)求得,则

$$I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3} U_j} \quad (2-5)$$

$$X_j = \frac{U_j}{\sqrt{3} I_j} \quad (2-6)$$

以上各式中电气量的单位:电压为 kV (千伏)、电流为 kA (千安)、电抗为 Ω (欧姆)、功率为 MVA (兆伏安)。

三、不同基准值的标幺值间的换算

由标幺值的定义可知,基准值不同时,同一有名值的标幺值的大小也不相等。在短路电流计算中,发电机、变压器和电抗器等元件的电抗,生产厂家给出的都是以额定参数为基准值的标幺值(或百分值),但在计算中整个电路必须选取统一的基准值,因此,必须把以额定参数为基准值的标幺值换算成为统一选取的基准值的标幺值。

不同基准值的标幺值的换算原则,是不论基准值如何改变,标幺值如何不同,电气量的有名值总是一定的。

如以额定电压 U_N 和额定功率 S_N 为基准时,某元件的电抗标幺值为

$$X_{\cdot N} = X \frac{S_N}{U_N^2}$$

$$\text{则} \quad X = X_{\cdot N} \frac{U_N^2}{S_N} \quad (2-7)$$

现将 $X_{\cdot N}$ 换算成以基准电压 U_j 和基准功率 S_j 为基准值的标幺值 $X_{\cdot j}$ 时,则

$$X_{\cdot j} = X \frac{S_j}{U_j^2} = X_{\cdot N} \frac{I_j U_N}{I_N U_j} \quad (2-8)$$

四、标幺值换算为有名值

标幺值在短路电流计算中仅作为一种工具,作为一个中间桥梁,它没有单位。不论是选择电气设备,还是其他某些计算,需要得到的结果都必须是有名值。所以,最后必须把标幺值换算成有名值。这种换算很简单,根据标幺值的定义便可得到

$$I = I_{\cdot j} I_j = I_{\cdot j} \frac{S_j}{\sqrt{3} U_j} \quad (\text{kA})$$

$$U = U_{\cdot j} U_j \quad (\text{kV})$$