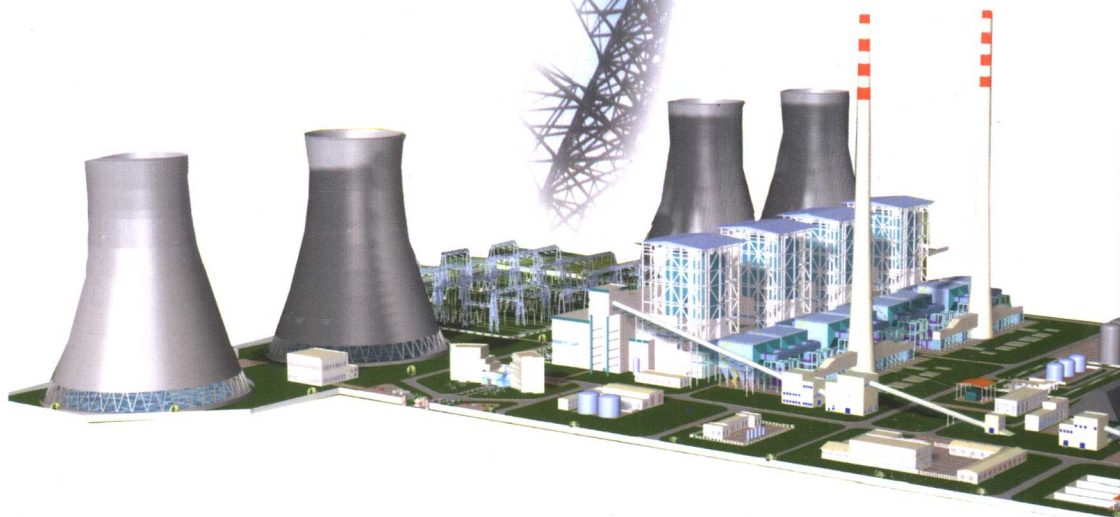


600MW 火力发电机组培训教材(第二版)

600MW HUO LI FA DIAN JI ZU PEI XUN JIAO CAI(DI ER BAN)

电气设备及其系统

华东六省一市电机工程(电力)学会 编



- * 首套 600MW 级火电机组的新投产培训、岗位技能培训和职业技能鉴定的理想培训教材
- * 突出亚临界、超临界、超超临界压力的 600MW 级机组安装调试、运行维护和检修试验
- * 适用于生产人员、工人、技术人员和管理干部等的上岗培训、在岗培训、转岗培训、技能鉴定和继续教育等



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

600MW 火力发电机组培训教材(第二版)

电气设备及其系统

华东六省一市电机工程(电力)学会 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

2000年由华东六省一市电机工程(电力)学会编的《600MW火力发电机组培训教材》(一套5册)出版以来,已深受了600MW级火力发电机组的生产人员、工人、技术人员和管理干部等上岗培训、在岗培训、转岗培训、技能鉴定和继续教育等的欢迎,为此在全国电力系统中600MW发电机组已成为人们认为最佳的主力机组和至今已有100多台投入了电网运行的情况下,决定对本套教材进行全面修订,以适应电力生产人员、工人、技术人员和管理干部认真学习和熟练掌握亚临界、超临界、超超临界压力的600MW级火力发电机组的运行技术和性能特点,更好地满足各类电力生产人员的培训需要。

本书是《600MW火力发电机组培训教材(第二版)》(电气设备及其系统)分册,共分15章,主要介绍电气主接线及大电流母线、厂用电系统、600MW发电机结构及其冷却系统、汽轮发电机正常运行、发电机非正常运行、600MW发电机励磁系统、大机组与大电网协调、变压器、开关电器、配电装置、发电厂防雷与过电压保护、继电保护、直流系统、发电厂电气控制与测量及信号、发电厂远动与调度通信系统等。全书每章后均附上复习思考题。

本书可作为从事亚临界、超临界、超超临界压力的600MW级火力发电机组电气设备及其系统的安装调试、运行维护和检修技术等岗位生产人员、工人、技术人员和管理干部的上岗培训、在岗培训、转岗培训、技能鉴定和继续教育等的理想培训教材,也可作为从事300~900MW火力发电机组工作的电气设备及其系统生产人员、技术人员、管理干部和大专院校有关师生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备及其系统/华东六省一市电机工程(电力)学会
编. —2版. —北京:中国电力出版社,2007
600MW火力发电机组培训教材
ISBN 978-7-5083-4644-1

I. 电… II. 华… III. ①火力发电-汽轮发电机-技术培训-教材②火电厂-发电设备-技术培训-教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第099408号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年3月第一版

2007年1月第二版 2007年1月北京第六次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 21.5印张 569千字

印数14501—17500册 定价50.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《600MW 火力发电机组培训教材》(第二版)

编 委 会

组编单位: 山东省电机工程学会
安徽省电机工程学会
江西省电机工程学会
浙江省电力学会
福建省电机工程学会
上海市电机工程学会
江苏省电机工程学会

联合编委会成员:

主任委员:	叶惟辛	江苏省电机工程学会
副主任委员:	林淦秋	上海市电机工程学会
	严行健	江苏省电机工程学会
委 员:	史向东	山东省电机工程学会
	赵永生	安徽省电机工程学会
	张 虹	浙江电力学会
	贾观宝	江苏省电机工程学会
	吕 云	福建省电机工程学会
	陈家湄	江西省电机工程学会

《电气设备及其系统》

(第二版)

主 编: 倪安华
主 审: 陈自年 沈伯康

前言

近 10 多年来,大容量、高参数、高效率的大型发电机组在我国日益普及,由于 600MW 火力发电机组具有容量大、参数高、能耗低、可靠性高、环境污染小等特点,在我国《1994~2000~2010~2020 年电力工业科学技术发展规划》、《电力工业技术政策》及《电力工业装备政策》中都把 600MW 机组的开发研究和推广应用作为一项重要内容。自 1985 年以来,全国已有 100 多台的 600MW 机组陆续地投入了电网运行,它们即将成为我国电力系统的主力机组。为了确保 600MW 机组的安全、稳定、经济运行,600MW 机组岗位运行、技能鉴定和继续教育等培训工作就显着十分重要了。

为适应这一形势发展的需要,使广大生产岗位工人、技术人员和管理干部熟悉、了解和掌握 600MW 火力发电机组的技术性能和特点,经 2004 年 7 月华东地区六省一市电机工程(电力)学会联合编辑工作委员会联席会议认真讨论研究,决定组织修订《600MW 火力发电机组培训教材》(共 5 册),联合编委会根据联席会议精神,在中国电力出版社的积极支持和指导下,启动《600MW 火力发电机组培训教材》(第一版)的修订工作,选择修编专家和审稿专家,着手搜集资料,制订和审查编撰大纲等。2005 年 10 月各分册书稿陆续编写完毕,各负责单位分别对初稿组织专家进行了审查,随即送中国电力出版社编辑加工、出版和整个教材的编审工作,前后共花去了两年多的时间。

本套教材(第二版)共分五个分册,即《锅炉设备及其系统》、《汽轮机设备及其系统》、《电气设备及其系统》、《热工自动化》、《电厂化学与环境保护》,全套教材共约 350 万字。

本套教材(第二版)是以亚临界、超临界压力的 600MW 火力发电机组为介绍对象,并适当增加超超临界压力机组的内容。本套教材(第二版)是在对 600MW 机组各子系统的结构、原理、功能、性能和特点进行详细介绍的基础上,重点突出 600MW 火力发电机组的岗位运行和技能操作特点;在理论阐述和技能深度方面,以岗位运行知识为基础,提高技能操作能力为目的;在语言描述和整体内容方面,力求通俗易懂,深入浅出,并配备操作实例。本套教材(第二版)属于 600MW 火力发电机组岗位运行、技能操作和继续教育的培训教材,适用于对具有大中专及以上文化程度的 600MW 火力发电机组生产岗位和技术管理人员培训之用,也可借用于高等院校热能动力和电力等专业的相关师生参考。

在本套教材的第二版修编过程中,华东地区六省一市电力公司、相关大专院校、发电厂以及有关专家学者和科技人员给予了热情的支持和帮助,我们在此一并表示感谢。我们还要感谢中国电力出版社,在历次联合编委会会议上都派出编辑参加和指导,经常关心编撰工作进度,协助解决疑难问题,对我们的工作给予了全方位的支持和鼓励。

限于编审人员的水平,本套教材第二版的疏漏之处一定不少,恳请广大读者提出宝贵意见,以便今后修订,提高质量,使之能更好地为我国电力工业的建设和发展服务。

华东地区六省一市电机工程(电力)学会

2006 年 5 月

编者的话

按照《华东地区六省一市电机工程(电力)学会联合编辑工作委员会 2004 年工作会议纪要》,根据形势发展的需求,对《600MW 火力发电机组培训教材》(第一版)内容进行调整和完善,增补近 10 多年来该领域的新技术、新材料、新工艺、新要求等内容,在本套教材第一版的内容基础上增加新的技术内容,删除部分过时的内容,形成一套学术水平和出版质量达到国内一流水平的大容量火力发电机组技术培训教材,并予以正式出版发行。我们认为《600MW 火力发电机组培训教材》修订后应成为在岗、在职 600MW 火力发电机组岗位运行、技能操作和继续教育的培训教材。在修改编写的过程中,应将相应的安全问题、超临界与超超临界技术、新的自动化技术等内容补充编入第二版教材之中。

《600MW 火力发电机组培训教材(第二版)》(电气设备及其系统)分册由安徽省电机工程学会负责修订工作,并委托原安徽省电力试验研究所副所长兼总工程师倪安华教授级高级工程师负责修订编写,安徽省电力科学研究院副院长陈自年高级工程师和原安徽省电力试验研究所副所长兼总工程师沈伯康高级工程师负责审稿。本分册第一版由东南大学刘中岳教授主编,李扬、陆于平参编,倪安华主审。

《电气设备及其系统》分册按第一版章节共 17 章 105 节修改为第二版的 15 章 104 节,主要修改内容有以下几点:

1. 由于三峡工程已经建成,以三峡电站为中心,建设东、西、南、北四个方向的联网。本书增补介绍了当前国内外电力网发展的概况、直流输电基本概念、灵活交流输电基本概念和远距离大容量输电方式。

2. 目前我国电力系统已经进入大电网、大电厂、大机组、特高压输电、高度自动控制的新时代。本书增补介绍了大机组与大电网之间的矛盾与相互协调的认识,也随着重大事故的经验总结和电力工业的发展,明确了技术政策、系统安全、可靠与经济的重大课题。

3. 按照“西电东送”策略,我国将通过建设特高压国家电网,实现跨地区、跨流域水火互济。本书增补介绍了特高压 1000kV 级交流和 ± 800 kV 级直流远距离大容量输电方式的应用前景、必要性以及特高压输电需研究的重点技术问题。

4. 随着自并励磁方式经验的积累,大机组的励磁系统已经比较广泛地被接受,本书增补介绍了较多的自并励磁方式的篇幅。

5. 微机保护的广泛使用,几乎替代了晶体管保护,同时微机保护还在不断地发展中,因此我国的电力系统微机保护已经进入一个更加辉煌的时代。本书增补介绍了微机保护的基本概念和原理、硬件与软件的发展、主要特点、典型结构、结构框图、管理机和双重化原则。

6. 随着 DCS 技术的发展与提高,电气量纳入 DCS 已经成熟,实现了真正意义上的炉、机、电集中控制,使电气防误操作等功能实现更方便。本书增补介绍了电气量纳入 DCS 的实践经验,包括 DCS 中的监控范围、运行特点、功能要求和 DCS 系统与 ADS 的接口。

7. 调度自动化技术的提高,给发电厂的 RTU 提出了新的要求,特别是 AGC 的广泛使用更要求发电厂提高调节精度。本书增补介绍了 SCADA 系统概述和 RTU 的主要功能与要求。

8. 电力体制改革厂网分开，对发电厂的计量提出了更高的要求，促使竞价上网决策系统的出现。本书增补介绍了发电厂的计量新概念和发电报价决策系统的信息，为参与电力市场运营和“竞价上网”提供了技术条件。

9. 为了更加吻合培训教材的特点，第一版中以“教科书”方式叙述的内容加以修改，删除了公式推导和数学论证。

安徽省电机工程学会

2006年5月

目 录

前言

编者的话

第一章 电气主接线及大电流母线	1
• 第一节 电气主接线概述	1
• 第二节 主接线基本接线形式	1
一、双母线接线 (1) 二、3/2 断路器接线 (2) 三、桥形接线 (3) 四、单元接线 (4)	
• 第三节 大型发电厂主接线	5
• 第四节 大电流导体附近钢构件发热	5
一、母线磁场中简单钢构布置与发热 (6) 二、减少钢构损耗和发热措施 (6)	
• 第五节 分相封闭母线	7
一、封闭母线概述 (7) 二、全连式分相封闭母线 (8) 三、封闭母线应用 (9)	
• 复习思考题	10
第二章 厂用电系统	11
• 第一节 厂用电及厂用负荷分类	11
一、厂用电 (11) 二、厂用电负荷分类 (11)	
• 第二节 厂用电电源及其基本接线形式	12
一、厂用电电压等级 (12) 二、厂用电源及其引接方式 (12) 三、600MW 机组厂用电基本接线形式 (14)	
• 第三节 厂用电系统中性点接地方式	17
一、中压厂用电系统中性点接地方式 (17) 二、低压厂用电系统中性点接地方式 (17)	
• 第四节 厂用变压器选择	18
一、厂用负荷计算原则 (19) 二、厂用负荷计算方法 (21)	
• 第五节 厂用电动机选择	22
一、厂用电动机机械特性 (22) 二、厂用电动机类型及其特点 (23) 三、厂用电动机选择 (25)	
• 第六节 厂用电动机成组启动与惰走	26
一、电动机自启动时厂用母线电压最低限值 (26) 二、电压校验 (27) 三、自启动电动机允许容量 (27)	
• 第七节 厂用电源切换	28
一、厂用电失电影响与切换分析 (28) 二、厂用电源切换方式 (30) 三、微机型厂用电源切换 (31) 四、切换功能 (31) 五、控制流程 (34)	
• 第八节 交流不停电电源系统 (UPS)	34
一、系统接线和运行方式 (34) 二、UPS 主要技术参数 (35) 三、某 600MW 机组用 UPS 系统技术特点 (35) 四、UPS 母线与馈线基本要求 (36)	
• 复习思考题	36
第三章 600MW 发电机结构及其冷却系统	38
• 第一节 600MW 发电机技术参数	38

一、国内外 600MW 级汽轮发电机技术数据 (38)	二、国产 600MW 汽轮发电机优化设计 (39)	
• 第二节 发电机定子结构		41
一、机座与端盖 (41)	二、机座隔振——定子弹性支撑 (42)	三、定子铁芯 (43)
四、水内冷定子绕组 (46)	五、定子绕组水路连接与水电接头 (48)	六、定子绕组端部固定 (50)
七、定子出线和发电机出线盒 (52)	八、总进出水汇流母管 (52)	九、氢冷却器 (52)
• 第三节 发电机转子结构		53
一、转子本体 (转轴) (53)	二、氢内冷转子 (54)	
• 第四节 发电机冷却与通风系统		59
一、发电机冷却 (59)	二、半轴向通风冷却系统 (59)	三、定子铁芯轴向通风和转子绕组半轴向通风的冷却系统 (60)
四、定子铁芯径向通风和转子绕组气隙取气斜流通风的冷却系统 (60)		
• 第五节 发电机密封油系统		61
一、单流环式油密封 (62)	二、双流环式油密封 (63)	三、三流环式油密封 (64)
• 第六节 发电机氢气系统		65
一、氢气系统特性 (65)	二、氢气纯度要求 (66)	三、氢气湿度要求 (67)
四、氢气干燥 (69)		
• 第七节 发电机定子水冷却系统		70
一、定子绕组水冷却系统实例 (70)	二、几座电厂定子绕组冷却水系统特点 (71)	
• 第八节 发电机测温		73
一、发电机测温元件配置 (73)	二、发电机绝缘工况监视仪 (74)	三、无线电频率监视仪 (74)
• 复习思考题		75
第四章 汽轮发电机正常运行		76
• 第一节 大型发电机运行性能和特点		76
一、功率因数和短路比 (76)	二、进相运行能力 (76)	三、失磁问题 (76)
四、负序电流能力 (77)	五、快速励磁 (77)	六、轴系扭振 (77)
• 第二节 大型发电机出力		78
一、铭牌工况 (78)	二、最大保证出力 (T-MCR) 工况 (78)	三、调节阀全开 (VWO) 工况 (78)
• 第三节 大型发电机额定值		79
• 第四节 大型发电机运行可靠性及影响使用寿命因素		79
一、设备运行可靠性 (79)	二、汽轮发电机绝缘寿命 (79)	三、汽轮发电机带电缆组运行中的机械及环境因素对寿命的影响 (80)
四、结论 (81)		
• 第五节 冷却条件变化时对发电机出力的影响		81
一、氢气温度变化的影响 (81)	二、氢气压力变化的影响 (81)	三、氢气纯度变化的影响 (81)
四、定子绕组进水量和进水温度变化的影响 (82)	五、600MW 汽轮发电机冷却装置运行状态不正常的影响 (82)	
• 第六节 电压、频率变化时对发电机出力的影响		83
一、电压不同于额定值时的运行 (83)	二、频率不同于额定值时的运行 (83)	
• 第七节 发电机功角特性与稳定概念		84
一、汽轮发电机功率和功角关系 (84)	二、静态稳定概念 (85)	三、暂态稳定概念 (86)
• 第八节 发电机 $P-Q$ 曲线		88
一、发电机安全运行极限 (88)	二、发电机 $P-Q$ 曲线 (88)	
• 第九节 发电机监测系统		91
一、监测点设置 (91)	二、发电机监测项目 (92)	
• 复习思考题		95
第五章 发电机非正常运行		96

• 第一节 汽轮发电机频率异常运行	96
一、防止频率变化损坏发电设备 (96) 二、防止频率变化引起连锁反应而导致电网瓦解 (96)	
• 第二节 汽轮发电机不对称运行	97
一、负序电流对发电机的危害 (97) 二、汽轮发电机不对称负荷的容许范围 (98) 三、600MW 级汽轮发电机负序能力 (99)	
• 第三节 汽轮发电机失磁运行	99
一、国内大机组失磁运行经验 (100) 二、国外对大机组失磁运行的研究 (100) 三、建议 (101)	
• 第四节 发电机进相运行	101
一、静稳定极限角限制 (101) 二、定子端部发热对进相运行的限制 (102) 三、发电机机端电压下降限制 (103)	
• 第五节 发电机失步运行	103
一、发电机失步影响 (103) 二、国外研究与经验 (103)	
• 复习思考题	104
第六章 600MW 发电机励磁系统	105
• 第一节 励磁系统作用和要求	105
一、励磁系统主要作用 (105) 二、励磁系统暂态性能指标 (105) 三、对 600MW 机组励磁系统的性能要求 (106)	
• 第二节 发电机调压特性与机组间无功功率分配	107
一、发电机调压特性 (107) 二、发电机经升压变压器后并联工作时的无功功率分配 (108)	
• 第三节 600MW 发电机励磁系统	108
一、旋转整流励磁系统 (110) 二、同轴交流励磁机静止晶闸管整流励磁系统 (111) 三、自并励励磁系统 (112) 四、GENERREX-PPS 励磁系统 (114)	
• 第四节 灭磁系统	115
一、灭磁作用和要求 (115) 二、600MW 汽轮发电机灭磁方式 (115)	
• 第五节 引进型汽轮发电机无刷励磁系统	116
一、无刷励磁机 (117) 二、引进机励磁系统技术特点 (120)	
• 第六节 自动励磁调节装置原理	121
一、自动励磁调节装置作用 (121) 二、对自动励磁调节器的一般要求 (121) 三、半导体励磁调节器原理 (122) 四、安全稳定运行限制器 (128)	
• 复习思考题	129
第七章 大机组与大电网协调	130
• 第一节 电力网	131
一、电力系统 (131) 二、直流输电 (132) 三、特高压输电网 (135) 四、灵活交流输电 (136) 五、远距离大容量输电方式的应用前景 (138)	
• 第二节 系统扰动与发电机轴系扭振	140
一、轴系扭振物理概念 (140) 二、汽轮发电机轴系扭振特点 (141) 三、系统扰动对轴系扭振的影响 (141) 四、电气扰动对轴系扭振的机理分析 (142) 五、各种电气扰动对轴系疲劳的影响 (144) 六、轴系动平衡的影响 (144) 七、国内外对轴系扭振研究现状 (145)	
• 第三节 重合闸对机组轴系扭振的影响	145
一、单一故障冲击 (145) 二、两次故障冲击 (145) 三、不同故障类型两次冲击时的扭矩与疲劳损耗 (146)	
• 第四节 快关汽门与电网稳定	147
一、快关时对电厂热力系统的影响 (148) 二、快关时对电气设备和厂用电系统的影响 (148) 三、快关逻辑框图设计和整定 (149)	

• 第五节 电网谐波污染	150
一、谐波对电网中各种电气设备的影响 (150) 二、电气化铁道是主要的谐波源 (152)	
• 复习思考题	152
第八章 变压器	154
• 第一节 变压器分类与基本概念	154
• 第二节 变压器主要结构部件	154
一、铁芯 (154) 二、绕组 (155) 三、变压器油 (156) 四、油箱及附件 (156) 五、绝缘套管 (159)	
• 第三节 变压器冷却方式	159
一、油浸自冷式 (159) 二、油浸风冷式 (160) 三、强迫油循环风冷式 (160) 四、强迫油循环水冷式 (160) 五、干式变压器 (161)	
• 第四节 变压器技术参数	162
一、额定容量 S_N (162) 二、额定电压 U_N (162) 三、额定电流 I_N (162) 四、额定频率 f_N (163) 五、额定温升 τ_N 及额定冷却介质温度 (163) 六、阻抗电压百分数 $U_d\%$ (163)	
• 第五节 变压器允许温升	163
一、变压器温度分布 (163) 二、变压器各部分允许温升 (164)	
• 第六节 变压器绝缘老化	165
一、绝缘老化与温度的关系 (165) 二、等值老化原则 (165)	
• 第七节 变压器过负荷能力	166
一、变压器正常过负荷能力 (166) 二、变压器事故过负荷 (166) 三、发电厂主变压器过负荷能力 (167)	
• 第八节 变压器本体监测和保护装置	167
一、温度测量装置 (167) 二、变压器内油中含气量的监测 (169) 三、气体继电器 (169) 四、气体继电器整定流速与压力释放阀整定值的匹配问题 (170)	
• 第九节 变压器油气相色谱分析	171
一、油中气体成分与故障的关系 (172) 二、油中气体含量正常值和注意值 (172) 三、判断故障性质的特征气体法 (173) 四、判断故障性质的三比值法 (173) 五、判断故障步骤 (174)	
• 第十节 高压并联电抗器	175
• 第十一节 互感器	176
一、电流互感器 (176) 二、电压互感器 (179) 三、直流电流互感器 (182)	
• 复习思考题	183
第九章 开关电器	184
• 第一节 高压断路器分类和性能	184
一、高压断路器分类 (184) 二、高压断路器性能 (185)	
• 第二节 油断路器	187
一、纵吹灭弧室 (187) 二、横吹灭弧室 (188)	
• 第三节 压缩空气断路器	189
• 第四节 SF_6 断路器	190
一、 SF_6 气体性能 (191) 二、 SF_6 断路器灭弧室结构 (191) 三、 SF_6 断路器特点 (193)	
• 第五节 真空断路器	193
• 第六节 熔断器	195
一、高压熔断器 (195) 二、低压熔断器 (195)	
• 第七节 断路器操动机构	195
一、操动机构性能要求 (196) 二、操动机构种类及其特点 (196)	

• 第八节 隔离开关	198
一、隔离开关功用 (198) 二、对隔离开关的要求及其结构特点 (198) 三、户内式隔离开关 (199) 四、户外式隔离开关 (199)	
• 第九节 低压开关	200
一、接触器 (200) 二、真空接触器 (201) 三、磁力启动器 (201) 四、低压自动空气开关 (201) 五、磁吹断路器 (202)	
• 复习思考题	202
第十章 配电装置	203
• 第一节 概述	203
一、配电装置分类及其要求 (203) 二、屋内外配电装置最小安全净距 (203)	
• 第二节 屋内配电装置	204
一、屋内配电装置特点 (204) 二、屋内配电装置布置 (204)	
• 第三节 屋外配电装置	205
一、屋外配电装置特点 (205) 二、屋外配电装置类型 (205) 三、超高压配电装置特殊问题 (205) 四、屋外配电装置布置实例 (206)	
• 第四节 发电厂升压变电所污秽	206
一、污秽测定 (208) 二、污秽分级 (209) 三、污秽闪络及其防治 (209)	
• 第五节 高压开关设备闭锁装置	210
一、安全闭锁装置 (210) 二、开关柜“五防”功能 (210)	
• 第六节 成套配电装置	211
一、成套配电装置特点 (211) 二、低压配电屏 (柜) (211) 三、高压开关柜 (212) 四、熔断器+接触器柜 (213) 五、箱式变电站 (214) 六、厂用配电室 (214)	
• 第七节 SF ₆ 全封闭组合电器 (GIS)	214
一、结构 (215) 二、SF ₆ 全封闭组合电器特点 (218) 三、可靠性与安全运行 (218)	
• 复习思考题	220
第十一章 发电厂防雷与过电压保护	221
• 第一节 雷电放电、雷电流及雷过电压	221
一、雷电放电 (221) 二、雷电流波形与雷电流幅值 (221) 三、雷电过电压 (222)	
• 第二节 避雷针与避雷线保护范围	222
一、避雷针保护范围 (223) 二、避雷线保护范围 (223)	
• 第三节 避雷器	224
一、保护间隙 (224) 二、阀型避雷器 (224) 三、氧化锌避雷器 (227)	
• 第四节 发电厂接地装置	230
一、接地电阻基本概念 (230) 二、接地电阻允许值 (231) 三、接触电压和跨步电压 (232) 四、发电厂接地装置 (232) 五、仪控系统接地特殊要求和接地方式 (233) 六、阴极保护 (234)	
• 第五节 电厂防雷保护	235
一、发电厂直击雷保护 (235) 二、发电厂入侵波与避雷器保护作用 (236)	
• 第六节 操作过电压	237
一、工频电压升高 (237) 二、切除空载长线路时的过电压 (238) 三、空载线路合闸过电压 (239) 四、切除空载变压器引起的过电压 (240) 五、间歇电弧过电压 (241)	
• 第七节 谐振过电压	241
• 复习思考题	244
第十二章 继电保护	245
• 第一节 微机保护	245

一、微机保护硬件与软件发展 (245)	二、微机保护主要特点 (246)	三、微机保护装置典型结构 (247)	四、微机保护结构框图 (248)	五、微机保护管理机屏 (251)	六、继电保护双重化原则 (252)
• 第二节 发电机和变压器故障	252				
一、发电机故障和不正常状态及其保护方式 (252)	二、变压器故障和不正常状态及其保护方式 (254)				
• 第三节 发电机和变压器差动保护	256				
一、发电机纵差动保护 (256)	二、变压器差动保护 (257)				
• 第四节 发电机和变压器其他保护	257				
一、发电机单相接地保护 (257)	二、发电机负序过电流保护 (258)	三、发电机失磁保护 (259)	四、发电机匝间短路保护 (261)	五、发电机—变压器组其他保护 (261)	
• 第五节 母线保护和断路器失灵保护	264				
一、母线保护 (264)	二、断路器失灵保护 (264)				
• 第六节 高压输电线路保护	264				
一、零序电流保护和方向性零序电流保护 (264)	二、线路距离保护 (265)	三、高频保护 (267)	四、自动重合闸 (269)		
• 第七节 600MW 发电机组厂用电系统保护	271				
一、厂用变压器保护 (271)	二、厂用馈线保护 (271)	三、高压电动机保护 (271)	四、柴油发电机保护 (271)	五、直流系统接地寻找 (272)	
• 第八节 600MW 发电机—变压器组保护配置实例	272				
一、按双重化配置 (272)	二、发电机保护 (272)	三、主变压器保护 (274)	四、励磁变压器保护 (275)	五、高压厂用变压器保护 (275)	六、启动备用变压器 220kV 侧保护 (276)
七、保护装置配置 (276)					
• 复习思考题	280				
第十三章 直流系统	281				
• 第一节 直流电源设置	281				
一、单元控制室直流系统 (281)	二、网络控制室直流系统 (282)	三、动力直流系统 (282)	四、输煤直流系统 (283)		
• 第二节 蓄电池组运行方式	283				
一、充放电方式运行特点 (283)	二、浮充电方式运行特点 (283)	三、蓄电池均衡充电 (284)			
• 第三节 铅酸蓄电池构造与特性	284				
一、铅酸蓄电池基本构造 (285)	二、蓄电池电动势 (286)	三、蓄电池放电特性与蓄电池容量 (286)	四、蓄电池充电与充电特性 (288)	五、蓄电池自放电 (292)	六、密封铅酸蓄电池 (292)
• 第四节 镉镍蓄电池构造与特性	293				
一、镉镍蓄电池基本构造 (293)	二、镉镍蓄电池工作原理 (294)	三、镉镍蓄电池特性 (294)	四、镉镍蓄电池运行方式 (296)		
• 复习思考题	297				
第十四章 发电厂电气控制、测量与信号	298				
• 第一节 发电厂控制方式	298				
一、单元控制室和网络控制室的控制方式 (298)	二、单元控制室布置 (299)	三、网控屏屏面布置 (299)			
• 第二节 断路器控制	300				
一、断路器控制方式 (300)	二、对 500kV 断路器控制回路的要求 (300)				
• 第三节 信号系统与测量系统	301				
一、信号系统 (301)	二、测量系统 (302)				

• 第四节 电能计量系统	303
一、电能计量系统设计原则 (303) 二、接入方案 (304) 三、主要特点和功能实施 (304)	
四、发电厂报价辅助决策系统 (305)	
• 第五节 同期与同期装置	306
一、概述 (306) 二、自动准同期装置 (306)	
• 第六节 发电厂微机监控系统概述	307
一、发电厂微机监控系统组成 (307) 二、发电厂微机监控系统功能 (307)	
• 第七节 电气系统在 DCS 中的监控	307
一、电气系统控制特点 (308) 二、在 DCS 中的监控范围 (308) 三、运行特点 (308)	
• 第八节 工程设计实例	309
一、技术要求 (309) 二、功能要求 (310) 三、设计原则 (310) 四、DCS 系统与 ADS (包括 AGC) 接口 (311) 五、电气纳入 DCS 后保留硬手操的技术要求 (311)	
• 复习思考题	313
第十五章 发电厂远动与调度通信系统	314
• 第一节 发电厂运行与系统调度中心的关系	314
一、电力系统调度管理 (314) 二、电网调度自动化 (315)	
• 第二节 电力系统远动通信	316
一、传输信道 (316) 二、远动数据传输方式 (317) 三、远动通道连接方式 (318) 四、远动通道工作模式 (318)	
• 第三节 远动装置	319
一、SCADA 系统概述 (319) 二、RTU 主要功能与要求 (320) 三、远动信息 (322)	
• 第四节 厂内生产调度通信系统	324
一、厂内通信分类 (324) 二、厂内通信系统结构 (325)	
• 复习思考题	327

电气主接线及大电流母线

第一节 电气主接线概述

将高压电气设备（包括发电机、变压器、母线、断路器、隔离开关、线路等）的图形用单线绘制成的接线图，称为电气主接线。电气主接线方式的选择，是为满足功率传送要求，对安全性、经济性、可靠性、灵活性的输送电能起着决定性作用。

对一个装有 600MW 机组的电厂而言，电气主接线在电厂设计时就已根据机组容量、电厂规模及电厂在电力系统中的地位、供电负荷的距离等，以及保证输、供电可靠性、运行灵活性、经济性、发展和扩建的可能性等方面，并经综合比较后确定。

第二节 主接线基本接线形式

本节主要介绍装有大容量（600MW 及以上）汽轮发电机组的发电厂有关的基本接线形式。

一、双母线接线

1. 双母线接线

如图 1-1 所示，它具有母线 I 和母线 II 两组母线。每回线路都经一台断路器 QF1~QF4 和两组隔离开关分别接至两组母线，母线之间通过母线联络断路器（简称母联）QF00 连接，称为双母线接线。有两组母线后，使运行的可靠性和灵活性大为提高，其特点如下：

（1）检修任一组母线时，可把全部电源和负荷线路切换到另一母线。

（2）运行调度灵活，通过倒换操作可以形成不同的运行方式。当母联断路器闭合，进出线适当分配接到两组母线上，形成双母线并列运行的状态。有时为了系统的需要，亦可将母联断路器断开（处于热备用状态），两组母线各自运行。

（3）在特殊需要时，可以用母联与系统进行同期或解列操作。

（4）当个别回路需要独立工作或进行试验时，可将该回路单独接到一组母线上进行。

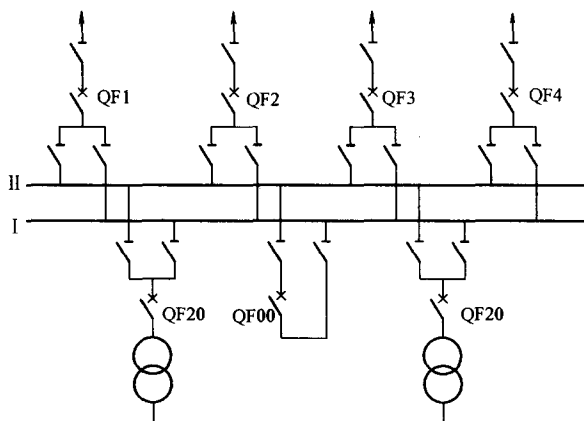
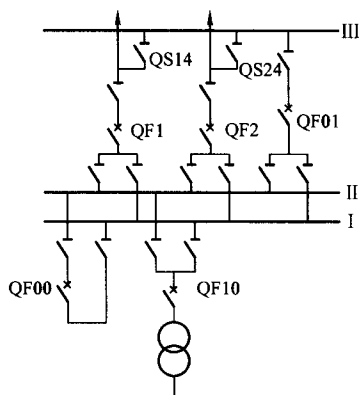


图 1-1 双母线接线图

2. 带有旁路母线的双母线接线

带旁路母线的双母线接线，如图 1-2 所示。在每一回路的线路侧装一组隔离开关（旁路隔离



开关) QS14、QS24, 接至旁路母线 III 上, 而旁路母线再经旁路断路器 QF01 及隔离开关接至两组母线上。要检修某一线路断路器时, 基本操作步骤是: 先合旁路断路器两侧的隔离开关 (母线侧合上一个), 再合上旁路断路器 QF01 对旁路母线进行充电与检查; 若旁路母线正常, 则待修断路器回路上的旁路隔离开关两侧已为等电位, 可合上该旁路隔离开关; 此后可断开待修断路器及其两侧隔离开关, 对断路器进行检修。此时该回路已通过旁路断路器、旁路母线及有关旁路隔离开关向其送电。

3. 双母线分段接线

图 1-3 为双母线分段接线。用分段断路器 QF000 把工作母线 I 分成 I A、I B 两段, 每段分别用母联断路器 QF001 和 QF002 与母线 II 相连。这种接线比一般双母线接线具有更高的供电可靠性和灵活性。但由于断路器较多, 投资大, 一般在进出线路数较多 (如多于 8 回线路) 时可能用这种接线。

以上三种双母线接线方式具有供电可靠、检修方便、调度灵活及便于扩建等优点, 在我国大中型电厂和变电所中广泛采用。但这种接线所用设备多, 在运行中隔离开关作为操作电器, 较易发生误操作。特别是当母线系统发生故障时, 需短时切除较多电源和线路, 这对特别重要的大型发电厂和变电所是不允许的, 一般只适用于 300MW 以下的机组, 而 600MW 及以上的机组一般选用 500kV 出线, 其主接线一般采用以下各种方式。

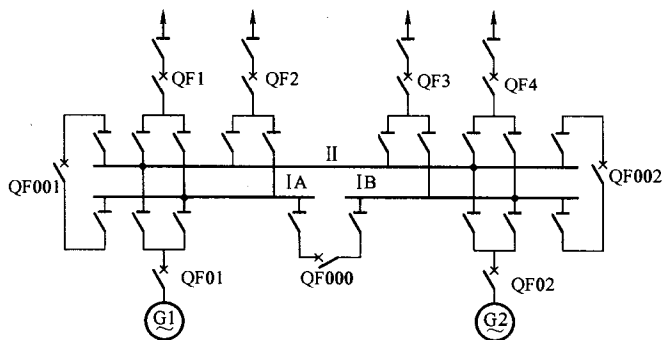


图 1-3 双母线分段接线图

二、3/2 断路器接线

如图 1-4 所示, 在上 I 和下 II 两组母线之间有 3 个断路器构成一串, 给 2 个元件 (出线或电源) 使用, 每个元件占有 3/2 断路器。称为 3/2 断路器接线, 又称 3/2 接线。在一串中, 每个元件 (进线或出线) 各自经 2 台断路器接至不同母线。图 1-4 表示有 3 个串, 6 个元件。

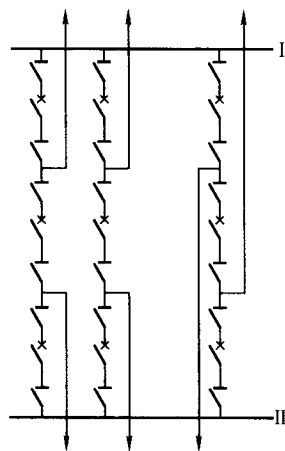


图 1-4 3/2 断路器接线图

正常运行时, 两组母线和同一串的三个断路器都投入运行, 称为完整串运行, 形成多环路状供电, 具有很高的可靠性。其主要特点是, 任一母线故障或检修, 均不致停电, 任一断路器检修也不引起停电, 甚至于两组母线同时故障 (或一组母线检修另一组母线故障) 的极端情况下, 功率仍能继续输送。一串中任何一台断路器退出或检修时, 这种运行方式称为不完整串运行, 此时仍不影响任何一个元件的运行。这种接线运行方便、操作简单, 隔离开关只在检修时作为隔离电器用。

在装设 600MW 机组的大容量电厂中, 广泛采用 3/2 接线。在电厂第一期工程中, 一般是机组和出线较少。例如, 只有两台发电机

和两回出线，只构成只有两串的3/2接线。在此情况下，电源（进线）和出线的接入点可采用两种方式：一种是交叉接线，如图 1-5（a）所示，将两个同名元件（电源或出线）分别布置在不同串上，并且分别靠近不同母线接入，即电源（变压器）和出线相互交叉配置；另一种是非交叉接线，如图 1-5（b）所示，它也将同名元件分别布置在不同串上，但所有同名元件都靠近某一母线一侧（进线都靠近一组母线，出线都靠近另一组母线）。

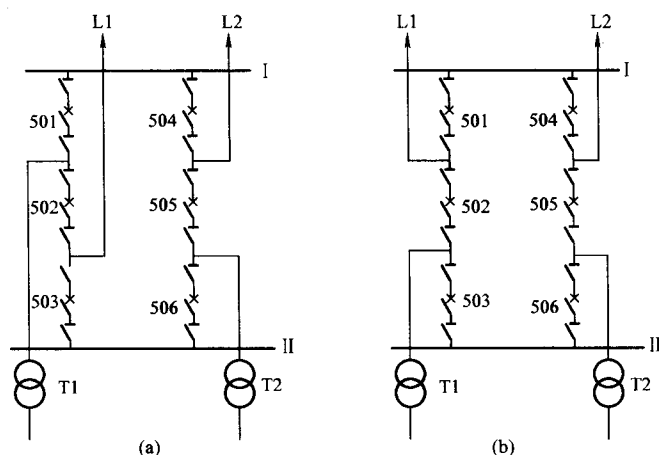


图 1-5 3/2 接线配置方式
(a) 交叉接线；(b) 非交叉接线

通过分析可知，3/2 交叉接线比 3/2 非交叉接线具有更高的运行

可靠性，可减少特殊运行方式下事故扩大。例如，一串中的联络断路器（设 502）在检修或停用，当另一串的联络断路器发生异常跳闸或事故跳闸（出线 L2 故障或进线 T2 回路故障）时，对非交叉接线将造成切除两个电源，相应的两台发电机甩负荷至零，电厂与系统完全解列；而对交叉接线而言，至少还有一个电源（发电机—变压器组）可向系统送电，L2 故障时 T2 向 L1 送电，T2 故障时 T1 向 L2 送电，仅是联络断路器 505 异常跳开时也不破坏两台发电机向系统送电。但交叉接线的配电装置的布置比较复杂，需增加一个间隔。

应当指出，当 3/2 接线的串数多于两串时，由于接线本身构成的闭环回路不止一个，一个串中的联络断路器检修或停用时，仍然还有闭环回路，因此不存在交叉接线所具备的优点。3/2 接线方式每个元件在正常运行时，有 2 个断路器同时与系统连接，因此保护与测量所用的电流必须是 2 个断路器所属的 TA 二次电流之和。保护装置的跳闸出口必须同时切断 2 个断路器。可是正常停机操作则是先断开其中 1 个断路器（解环），然后断开另一断路器（停机）；在投入运行时，先用其中 1 个断路器完成同期并列，然后用另一断路器（合环）。

三、桥形接线

当只有两台变压器和两条输电线路时，采用桥式接线的断路器最少，如图 1-6 所示。依照连接桥对于变压器的位置可分为内桥和外桥。运行时，桥臂上的联络断路器 QF01 或 QF02 处于闭合状态。当输电线路较长、故障几率较多、两台变压器又都经常运行时，采用内桥接线较适宜；而在输电线路（以下简称线路）较短、且变压器随经济运行要求需经常切换或系统有穿越功率流经本厂（如两回线路均接入环形电网）时，则采用外桥接线更为适宜。

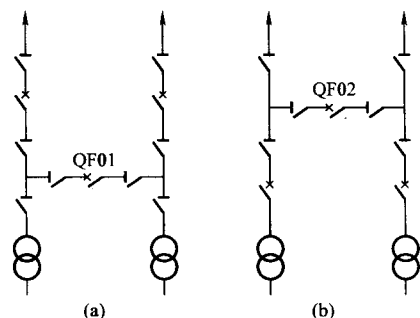


图 1-6 桥式接线图
(a) 内桥；(b) 外桥

在内桥接线中，当变压器故障时，需停相应线路；在外桥接线中，当线路故障时，需停相应的变压器，而且在桥式接线中，隔离开关又作为操作电器，所以桥式接线可靠性较差。但由于这种接线使用的断路器少、布置简单、造价低，往往在 35~220kV 配电装置中得到采用。