

1000MW超超临界火电机组技术丛书

DIANQI SHEBEI JI XITONG

电气设备及系统

广东电网公司电力科学研究院 ● 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

1000MW超超临界火电机组技术丛书

DIANQI SHEBEI JI XITONG

电气设备及系统

广东电网公司电力科学研究院 ● 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为促进我国电源建设的快速发展,帮助广大工程技术人员、现场生产人员了解、掌握超超临界发电技术,积累超超临界机组建设、运行、管理经验,满足广大新建电厂、改扩建电厂培训、考核需要,特组织专家编写了本套《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》。

本丛书包括《汽轮机设备及系统》、《锅炉设备及系统》、《电气设备及系统》、《热工自动化》、《电厂化学》与《环境保护》六个分册。全套丛书由广东电网电力科学研究院组织编写。本丛书在编写过程中,内容力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面的内容。

本书为《电气设备及系统》分册,全书共分十六章,主要内容包括电气主接线,厂用电系统,1000MW 发电机结构及其辅助系统,汽轮发电机正常运行,发电机运行的异常状态分析,1000MW 发电机励磁系统,大机组与大电网协调,变压器,高压开关电器,配电装置,发电厂防雷与过电压保护,继电保护,直流系统,发电厂的电气控制、测量与信号系统,发电厂的安全及自动装置,发电厂远方调度自动化。

本书可作为从事 1000MW 等级超超临界机组电气专业安装调试、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

电气设备及系统/广东电网公司电力科学研究院编. —北京:
中国电力出版社, 2014. 5
(1000MW 超超临界火电机组技术丛书)
ISBN 978-7-5123-4509-6

I. ①电… II. ①广… III. ①火电厂—电气设备 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 116795 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28.75 印张 701 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 88.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》

编 审 委 员 会

主任委员 钟 清

副主任委员 马 斌 何宏明 高新华

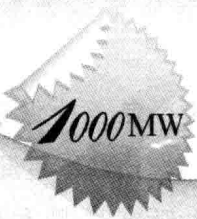
委 员 顾红柏 廖宏楷 阚伟民 陈世和 李 智
陈 迅 杨楚明 林清如

《 电气设备及系统 》

编 写 人 员

主 编 陈 迅

参编人员 王 奕 张征平 盛 超 李 谦 刘 炜
陈晓科 陈杰华 罗 勇 喇 元 胡玉岚
卢启付 孙建伟 吴晓宇 吕 鸿 李 鑫
尹建华 余南华 张俊峰 林永平 赵 兵
吴 娅 邓 志 陈晓国 刘平原 彭发东
黎奕伟



1000MW

超超临界火电机组技术丛书

电气设备及系统

序

电力工业是关系国民经济全局的重要基础产业,电力的发展和国民经济的整体发展息息相关。电力行业贯彻落实科学发展观,就要依靠技术进步和科技创新,满足国民经济发展及人民生活水平提高对电力的需求。

回顾我国火电建设发展历程,我们走过了一条不平凡的道路,在设计、制造、施工、调试、运行和建设管理等方面,都留下了令人难忘的篇章。这些年来,我国火电建设坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染小的可持续发展道路。从我国国情出发,从满足国民生产对电力的需求出发,发展大容量、高参数、高效率的机组,是我国电力工业发展水平跻身世界前列的重要保证,是推动经济社会发展、促进能源优化利用、提高资源利用效率的重要保证。

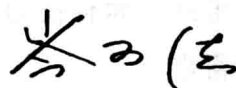
超超临界发电技术在世界上是一项先进、成熟、高效和洁净环保的发电技术,已经在许多国家得到了广泛应用,并取得了显著成效。目前,我国火电机组已进入大容量、高参数、系列化发展阶段,自主研发、开发的超超临界机组取得了可喜成绩并成为主要发展机型。因此,掌握世界一流发电技术,为筹建、在建和投运机组提供建设、管理、优化运行和检修经验,对于实现设计制造国产化、创建高水平节能环保火电厂、保证电力工业可持续健康发展,意义重大。

广东电网公司电力科学研究院是一所综合性的科研机构,一直秉承着“科技兴院”的战略方针,多年来取得了丰硕的科研成果,出版过多部优秀科技著作。这次他们组织专家编写的《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》,能把他们掌握的百万千瓦机组的第一手资料和经验系统总结,有利于提高1000MW超超临界的设备制造、建设与调试、运行与管理水平,有利于促进引进技术的消化与吸收,有利于推进超超临界机组的国产化进程并为更高温度等级的先进超超临界机组研发

提供经验。而他们丰富的理论和实际经验，是完成这个任务的保证。

《1000MW 超超临界火电机组技术丛书》不仅总结了国外超超临界技术的先进成果和经验，还反映了我国在这方面的研究成果和特点；不仅有理论上的论述，也有实际经验的阐述和总结。我相信，本套丛书的出版，对提高我国电力技术发展水平，积累超超临界机组的发展经验，加速发电设备的国产化，实现电源结构调整，实现能源利用率的持续提高，具有重要意义。祝本套丛书出版成功！

中国工程院院士



2014 年 4 月

1000MW

超超临界火电机组技术丛书

电气设备及系统

前言

超超临界技术的发展至今已有近半个世纪的历史。经过几十年的不断发展和完善,超临界和超超临界发电机组目前已经在许多国家得到了广泛的商业化规模应用,并在高效、节能和环保等方面取得了显著成效。与此同时,在环保及节约能源方面的需要以及在材料技术不断发展的支持下,国际上超超临界发电技术正在向着更高参数的方向进一步发展。

进入 21 世纪以来,随着我国经济的飞速发展,电力需求急速增长,促使电力工业进入了快速发展的新时期。我国电力工业的电源建设和技术装备水平有了较大提高,大型火力发电机组有了较快增长,超临界、超超临界机组未来将成为我国各大电网的主力机组。但是,超超临界发电技术在我国尚处于刚刚起步和迅速发展阶段,在设计、制造、安装、运行维护、检修等方面的经验还不足,国内现在只有少量机组投运,运行时间也较短。根据电力需求和发展的需要,在近几年内,我国还将有许多台大容量、高参数的超超临界机组相继投入生产运行。因此,有关工程技术人员、现场生产人员对技术上的需求都很大,很需要一些有关超超临界发电技术的培训教材作为技术上的支持,并对电力生产和技术发展提供帮助和指导作用,为此,我们组织专家编写了本套《1000MW 超超临界火电机组培训教材》。

本丛书包括《汽轮机设备及系统》、《锅炉设备及系统》、《电气设备及系统》、《热工自动化》、《电厂化学》与《环境保护》六个分册。全套丛书由广东电网电力科学研究院组织编写。本丛书在编写过程中,内容力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、结构、启动、正常运行、异常运行、运行中的监视与调整、机组停运、事故处理等方面内容。

本套丛书的出版,对提高我国电力装备制造水平;积累超超临界机组的建设、运行、管理经验,加速发电设备的国产化,降低机组造价;实现火电结构调整,实现能源效率的持续提高具有重要意义。

本丛书可作为从事 1000MW 等级超超临界火电机组安装调试、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,也可作为大专院校有关师生的参考教材。

本书为《电气设备及系统》,全书由陈迅主编。其中,第一章由罗勇编写;第

二章第一～六节由王奕编写；第二章第七节，第四章第五节，第五章第一节，第七章第一节，第七章第四节由尹建华编写；第三章第一节，第三节由张征平编写；第三章第二节，第四章第二～三节由刘炜编写；第三章第四节，第四章第四节，第四章第七节，第七章第二～三节由李鑫编写；第四章第一节，第四章第六节，第六章由盛超编写；第五章第二～三节由陈迅编写；第五章第四节由张俊峰编写；第七章第五节由邓志编写；第八章第一～二节由彭发东编写；第八章第三～五节由陈杰华编写；第八章第六～八节，第十节由喇元编写；第八章第九节由林永平编写；第九章第一～八节由吕鸿编写；第九章第九节由吴娅编写；第十章第一～三节由陈晓国编写；第十章第四节由刘平原编写；第十章第五～八节由卢启付编写；第十章由李谦编写；第十二章第一～五节由陈晓科编写；第十二章第六节由赵兵编写；第十二章第七节由黎奕伟编写；第十三章由胡玉岚编写；第十四章，第十五章由吴晓宇编写；第十六章由余南华、孙建伟编写。全书由王奕、张征平统稿。本书在编写过程中，得到了很多电厂、科研院所及相关技术人员的支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者的水平和所收集的资料有限，书中的不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 4 月

1000MW

超超临界火电机组技术丛书

电气设备及系统

目 录

序

前言

第一章 电气主接线	1
第一节 电气主接线的基本要求	1
第二节 3/2 断路器主接线概述	2
第三节 1000MW 发电机组的电气主接线方式	4
第四节 发电机装设出口断路器 (GCB) 的优缺点分析	5
第五节 发电机是否装设出口断路器 (GCB) 的技术性比较	6
第二章 厂用电系统	9
第一节 概述	9
第二节 厂用电电源及其主接线形式	10
第三节 厂用电系统中性点接地方式	16
第四节 厂用电系统短路电流	20
第五节 厂用变压器选择	23
第六节 厂用电源切换	30
第七节 厂用电动机选择	32
第三章 1000MW 发电机结构及其辅助系统	38
第一节 1000MW 发电机技术参数	38
第二节 发电机定子结构	40
第三节 发电机转子结构	45
第四节 发电机冷却与通风系统	49
第四章 汽轮发电机正常运行	53
第一节 大型发电机运行性能和特点	53
第二节 大型发电机出力	54
第三节 大型发电机运行可靠性及影响使用寿命的因素	56
第四节 冷却条件变化对发电机出力的影响	61
第五节 发电机功角特性与稳定	63

第六节	发电机的安全运行极限与 $P-Q$ 曲线	71
第七节	发电机运行监测系统	75
第五章	发电机运行的异常状态分析	79
第一节	汽轮发电机频率异常运行	79
第二节	汽轮发电机失磁运行	87
第三节	发电机失步运行	97
第四节	发电机进相运行	104
第六章	1000MW 发电机励磁系统	109
第一节	励磁系统的作用、要求和性能指标	109
第二节	1000MW 发电机励磁系统的主要类型	114
第三节	灭磁单元	121
第四节	自动励磁调节器	128
第五节	励磁系统的调试与试验	138
第七章	大机组与大电网协调	147
第一节	互联大电网	147
第二节	系统扰动与发电机轴系扭振	158
第三节	重合闸对机组轴系扭振的影响	162
第四节	快关汽门与电网稳定	164
第五节	谐波污染	167
第八章	变压器	169
第一节	变压器的分类与基本概念	169
第二节	变压器主要结构部件	170
第三节	变压器的冷却方式	175
第四节	变压器的技术参数	178
第五节	变压器的允许温升	180
第六节	变压器绝缘老化	181
第七节	变压器防故障能力	183
第八节	变压器本体监测及保护装置	185
第九节	变压器油气相色谱分析	187
第十节	互感器	200
第九章	高压开关电器	201
第一节	高压断路器	201
第二节	油断路器	203

第三节	压缩空气断路器	207
第四节	SF ₆ 断路器	210
第五节	真空断路器	214
第六节	高压熔断器	217
第七节	断路器操动系统	218
第八节	隔离开关	221
第九节	低压电器	224
第十章	配电装置	228
第一节	概述	228
第二节	室内配电装置	231
第三节	室外配电装置	231
第四节	发电厂升压变电站污秽	233
第五节	高压开关设备闭锁装置	236
第六节	成套配电装置	238
第七节	封闭母线	250
第十一章	发电厂防雷与过电压保护	255
第一节	雷电放电、雷电流及雷电过电压	255
第二节	避雷针与避雷线保护范围	263
第三节	避雷器	266
第四节	发电厂接地装置	277
第五节	电厂防雷保护	288
第六节	内部过电压	302
第七节	谐振过电压	317
第十二章	继电保护	325
第一节	发电机和变压器故障及异常运行状态	325
第二节	1000MW 发电机—变压器组继电保护配置原则	328
第三节	发电机保护	331
第四节	主变压器保护	349
第五节	高压厂用变压器与励磁变压器的保护	356
第六节	发电厂的升压站继电保护	357
第七节	1000MW 发电机组厂用电系统保护	369
第十三章	直流系统	372
第一节	直流系统配置	372
第二节	直流系统运行方式	376

第三节	阀控式密封铅酸蓄电池构造与特性·····	377
第四节	直流充电机的组成和原理·····	383
第五节	直流系统的运行和维护·····	388
第十四章	发电厂的电气控制、测量与信号系统·····	393
第一节	发电厂的控制方式·····	393
第二节	发电厂的分散控制系统在电气系统中的应用·····	394
第三节	测量与信号系统·····	396
第十五章	发电厂的安全及自动装置·····	398
第一节	同期装置·····	398
第二节	厂用电微机快切装置·····	400
第三节	故障录波装置·····	404
第十六章	发电厂远方调度自动化·····	408
第一节	发电厂远动系统·····	408
第二节	DCS 系统在电厂中的应用 ·····	412
第三节	AGC 在电厂中的应用 ·····	415
第四节	智能电网下的发电调度·····	418
附录 A	上电发电机技术数据表 ·····	421
附录 B	东电发电机技术数据表·····	427
附录 C	哈电发电机技术数据表·····	434
附录 D	3/2 断路器接线继电保护用电流互感器二次绕组正确配置示意图 ·····	441
参考文献	·····	445

电气主接线

发电厂电气主接线既是电厂电气一次主设备连接的体现,也是电力系统网络的重要组成部分。它表明了发电厂的发电机、主变压器、高压厂用变压器、启动备用变压器、母线、断路器、出线线路等设备之间,是如何通过一定的规律,按一定的要求和顺序连接的电路,它反映了各设备的作用、连接方式和相互之间的依赖关系。

在设计 1000MW 大容量发电机组的电厂时,根据机组的特点、电厂及投资规模、在电网中的地位 and 供电距离、经济可靠性、运行检修灵活性、发展和扩建的可能性等因素,经过综合比较,选择接入系统的电压等级、升压站和发电机—变压器组的主接线方式等。目前已运行和正在建设的 1000MW 电厂,由于考虑到当期的规模多是 $2 \times 1000\text{MW}$ 机组,容量大,对本地区电力系统的稳定、安全运行有着举足轻重的作用,因此,升压站采取的电压绝大部分地区为 500kV 电压等级和 3/2 接线方式。但在发电机出口是否装设断路器,各厂从实际出发,略有不同,后文有详细的论述比较。另外,电气主接线的确定还与电气设备的选择、配电装置的布置、继电保护和自动装置等二次设备的配置和接线方式有着密切的关系。因此,1000MW 大容量发电机组对主接线的接线方式提出了更高的要求。

第一节 电气主接线的基本要求

由各类发电厂、变电站及输电线路组成的电力系统,担负着发电、变电和配电的任务,目前,各电力系统的装机容量越来越大,有些统调的装机容量达 52GW,跨省的 500kV 交直流输电也星罗棋布,大型发电机的升压站和出线线路大部分也采用 500kV 系统,因此,主接线的选择是否合理、可靠、灵活,直接影响整个电力系统的安全、工农业生产和居民的日常生活等,所以主接线的设计必须综合考虑系统特点、厂(站)规模、负荷性质及可靠、经济、灵活、方便等要求。

1. 应满足供电的可靠性要求

供电的可靠性包括合格的电能质量和供电的连续性,合格的电能质量包括电压、频率等指标以及在国家标准范围内所含的各次谐波。下面对供电可靠性的分析是在假定电能质量合格的前提下,主要分析供电的连续性。

发、供电的安全可靠是电力生产的首要要求。因为电能的生产、输送、分配和使用必须在同一时刻进行,所以电力系统中任何一个环节出现故障,都将对全局造成不利的影响。事故停电不仅是电力部门的损失,更严重的是会造成国民经济各部门的巨大损失。此外对于一

些特殊部门,如矿山、化工、医院等,停电不但会造成设备损坏,还可能带来人身伤亡。重要发电厂发生事故时,可能会导致系统瓦解。所以,电气主接线的可靠性是保证电力系统安全可靠运行的前提。

主接线的可靠性并不是绝对的。同样的主接线对某些系统和用户来说可靠,而对另外一些系统和用户来说可能就不够可靠,因此分析和评价主接线的可靠性时,不能脱离系统和用户的具体条件。

一般,衡量电气主接线的可靠性可从以下三个方面分析:

(1) 断路器检修时是否影响供电。

(2) 设备和线路故障或检修时,停电范围的大小和停电时间的长短,以及能否保证对重要用户的供电。

(3) 有没有使发电厂、变电站全部停止工作的可能性等。

目前对主接线可靠性的衡量不仅可以进行定性分析,而且可以进行定量的可靠性计算。这里主要进行定性分析。

2. 应具有一定的灵活性

正常情况下,应根据调度要求方便、灵活地调整运行方式,能采用较少的操作步骤,在较短的时间内完成母线运行方式的变化和设备状态的转移,满足系统运行的需要。而且在设备故障、检修和其他异常的情况下能尽快退出设备、布置检修措施或快速切除故障,在保证人员安全的前提下,缩短停电时间,减小影响范围。

3. 应力求操作简单,巡视、检修方便

在保证可靠、灵活的前提下,主接线应力求简单清晰,操作、巡视、检修方便。过于复杂的主接线形式不仅不利于安全、快捷的倒闸操作,而且往往会造成误操作而发生事故,使主接线的投资增加。但接线形式也不能过于追求简单,否则会使可靠性降低,不利于安全运行。因此主接线的形式必须综合考虑电网特点、电气设备的具体情况和用户的要求等多种因素。

4. 经济上应合理

在安全可靠、操作方便的基础上,还应尽量降低建设投资和运行维护的费用,降低损耗,减少占地面积,使发电厂、变电站尽快地产生经济效益。

5. 应考虑发展和扩建的可能

由于我国工农业的高速发展,电力负荷的增长速度很快,因此,为适应电力工业的不断发展,主接线应考虑发展和扩建的可能性,预留一定的间隔位置和空间延伸。

第二节 3/2 断路器主接线概述

国内外 1000MW 机组的主接线,升压站均采用 500kV 电压等级和 3/2 断路器主接线方式,这种主接线方式比传统的其他主接线方式,优越性是显而易见的,典型 3/2 主接线图如图 1-1 所示。

该接线有两组母线,每一支路经一台断路器接至一组母线,两个支路间有一台断路器联络,两个支路和三台断路器共同组成一个“串”电路,所以称为一个半断路器(或 3/2 断路器)的双母线接线或称 3/2 接线。正常运行时两组母线和所有断路器及所有隔离开关全部投

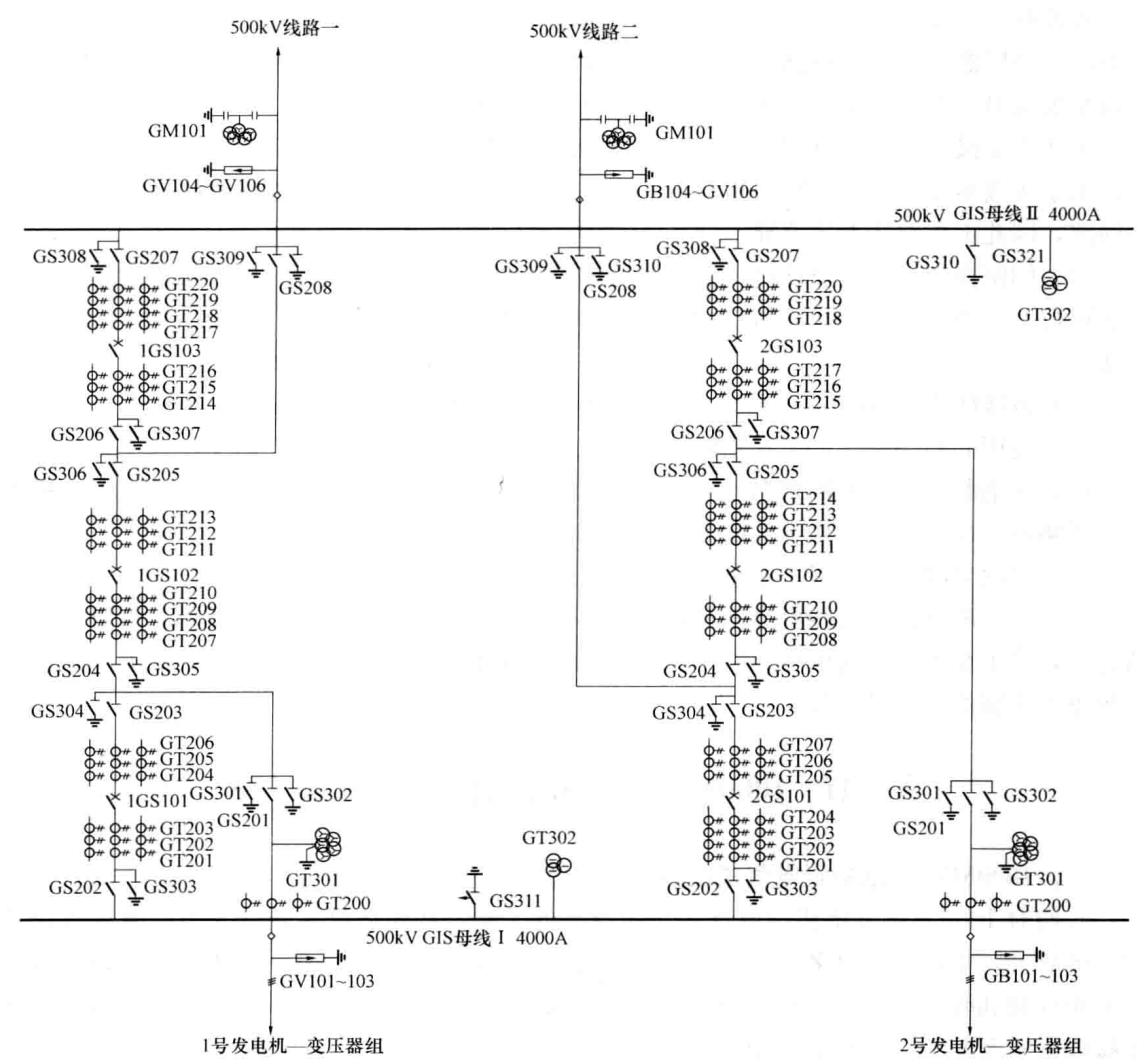


图 1-1 典型 3/2 主接线图

入工作，形成多环形供电，3/2 断路器的双母线接线有以下特点：

(1) 供电可靠性高，正常运行时形成环形供电，任一组母线故障或检修时，任何回路都不会停电；任一断路器检修也不会引起停电；甚至在两组母线故障（或在一组母线检修，另一组母线故障）的极端情况下，功率仍能继续输送，不影响任一回路的工作。母线故障时某母线侧断路器拒动，只影响一个回路工作，只有联络断路器拒动才会造成两个回路停电。这种接线不存在整个装置停电的危险，工作可靠性高。

从图 1-1 中可以看到，为避免联络断路器故障或拒动，造成功率缺额和功率送不出去，应将同名回路接到不同的串上，且采用交叉布置，即同名回路接入不同的母线侧。但这种交叉接线配电装置的布置比较复杂，需要增加一个间隔。例如：线路一中的联络断路器 1GS102 在检修或停用，当另一串的联络断路器 2GS102 发生异常跳闸或事故跳闸（线路二故障或进线电源 2 号发电机—变压器组回路故障）时，至少还有一个电源可向系统供电，线

路二故障时 2 号发电机—变压器组向线路一送电, 2 号发电机—变压器组回路故障时, 1 号发电机—变压器组回路向线路二送电, 即使联络断路器 2GS102 异常跳开, 也不会破坏两电源向系统送电。但对非交叉接线而言, 将造成两个电源切除。

上述交叉接线情况是针对配电装置建设初期仅两串而言的, 当该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, 仍有闭环回路, 因此不再叙述上述差异。

(2) 倒闸操作方便。当任何一组母线检修或任何一台断路器检修时, 各回路仍按原接线方式运行, 不需要切换任何回路, 避免了利用隔离开关进行大量倒闸操作的情况, 十分方便。

(3) 该接线中的隔离开关不参与倒闸操作, 仅作隔离电源用, 减少了误操作。

(4) 使用的断路器、电流互感器数目多, 造价高。

(5) 联络断路器的开断次数是其两侧断路器的两倍, 且一个回路故障时要跳两台断路器, 断路器动作频繁, 检修次数增多。

(6) 二次接线和继电保护复杂。

由于 3/2 断路器的接线可靠性和灵活性都非常高, 具有双母线接线和环形(角形)接线的优点, 故十余年来, 我国在 330~500kV 发电厂和变电站的配电装置中广泛采用, 并且已经积累了丰富的运行维护经验。

第三节 1000MW 发电机组的电气主接线方式

一、1000MW 发电机组电气主接线的设计原则

我们对 1000MW 发电机组电气主接线方式的了解, 必须从设计开始入手, 通过对设计理念的研究, 学习怎样对多种主接线方案进行分析比较, 如何在一张白纸上科学地找到各种约束条件和利弊的平衡点, 画出符合实际的主接线方式, 从而对 1000MW 发电机组的电气主接线方式及其特点, 有着深刻的印象, 达到学习的目的。

首先, 在 1000MW 发电机组的设计阶段, 电气主接线应充分体现“高速度、高质量、低造价”的基建方针, 电气部分应满足对模块化设计的要求, 充分借鉴国内外的先进设计思想, 采用先进的设计手段和方法, 按照建设节约型社会要求, 以经济适用、系统简单、备用减少、安全可靠、高效环保、以人为本为原则, 按照示范性电厂的思路, 进行模块化设计, 使总平面的布置占地最小、主厂房体积最小、施工周期最短、工程造价最低, 在保证质量的同时, 以优化创新的设计来最大限度地降低工程造价。

在主接线设计中应遵循可靠性、灵活性和经济性三个基本要求, 具体如下:

(1) 任何断路器检修, 不影响对系统的连续供电; 断路器或母线故障以及母线检修时, 尽量减少停运的回路数和停运时间; 任一进出线断路器故障或拒动以及母线故障, 不应切除一台以上机组和相应的线路; 任一断路器检修和另一断路器故障或拒动相重合, 不应切除两台以上机组和相应的线路。

(2) 主接线设计满足调度、检修及扩建时的灵活性。

(3) 主接线在满足可靠性、灵活性要求的前提下, 力求经济合理, 满足投资少、占地面积小和电能损失少的要求。

二、500kV 配电装置接线的选择

3/2 断路器和双母线双分段接线是超高压配电装置可靠性较高的两种接线形式，都可满足 500kV 系统对可靠性的要求。目前国内已投运、在建和设计中的 500kV 变电站采用的也是这两种接线，但 1000MW 机组均采用 3/2 断路器接线。3/2 断路器接线具有显著的优点：

(1) 从减少停电范围、停电概率来看，可靠性高于双母线双分段的电气接线。

(2) 运行调度灵活，正常时两条母线和全部断路器都投入运行。必要时，串内两元件可单独直接接通。

(3) 操作方便，隔离开关仅作检修操作作用，避免了运行方式改变时用隔离开关进行大量倒闸操作。

三、发电机—变压器—3/2 断路器接线

这种接线方式就是发电机与主变压器的低压侧直接连接，发电机出口电压为 27kV，发电机定子电流为 23 759A。其中，4A 高压厂用变压器的容量是 45/25-25MVA，无载调压；4B 高压厂用变压器的容量是 50/31.5-31.5MVA，无载调压；启动备用变压器的容量是 45/25-25MVA、50/31.5-31.5MVA，有载调压。发电机—变压器—3/2 断路器接线如图 1-2 所示（见文后插页）。

四、发电机—断路器（GCB）—变压器—3/2 断路器接线

这种接线方式就是在发电机出口与主变压器低压侧安装一台断路器，其额定电压为 27kV，额定电流为 28kA，额定开断电流为 160kA。目前，为了提高一、二次的安全可靠性，节约成本，该断路器均制造成组合式，集出口断路器（generator circuit breaker, GCB）、隔离开关、接地开关、避雷器、电流互感器为一体，其中，4A 高压厂用变压器的容量是 45/25-25MVA，有载调压；4B 高压厂用变压器的容量是 31.5MVA，有载调压；启动备用变压器的容量是 1×50/32.5-32.5MVA，有载调压。发电机—断路器—变压器—3/2 断路器接线如图 1-3（见文后插页）所示。

五、发电机中性点接地方式的选择

我国发电机中性点主要有以下三种接地方式：

(1) 不接地或经单相电压互感器接地方式。

(2) 经消弧线圈欠补偿接地方式。补偿后的残余电流（容性）小于允许电流值。

(3) 经专用配电变压器高阻接地方式。单相接地电流大于 $\sqrt{2} (3I_c)$ ，一般情况下均大于允许值，此时发电机定子单相接地保护应带延时作用于跳闸，如图 1-2 和图 1-3 所示。

大型发电机组的中性点接地方式为后两种接地方式，第一种接地方式仅用于中小型发电机组。

第四节 发电机装设出口断路器（GCB）的优缺点分析

一、发电机装设出口断路器（GCB）的优越性

从技术角度来看，装设 GCB 有明显的技术优势。GCB 具有使机组调试和维护阶段更加方便；大大改善同期条件；避免或减少厂用电切换带来的风险，提高厂用电可靠性；简化继电保护接线，缩短故障恢复时间，提高机组可用率等技术优点。GCB 不仅能在事故发生时避免或减少对设备的损害程度，还能有效地防止或减少事故的发生。技术先进、可靠性高、