



特色名校技能型人才培养规划教材

1000MW 超超临界机组 仿真培训教程

主 编 马培峰

副主编 刘 锋 冯 健 叶永强



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

特色名校技能型人才培养规划教材

1000MW 超超临界机组仿真培训教程

主 编 马培峰

副主编 刘 锋 冯 健 叶永强

常州大学图书馆
藏书章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书共六章：第一章简要介绍 1000MW 超超临界机组设备及系统；第二章到第四章全面、系统地介绍我国典型 1000MW 超超临界机组启动、停运和运行控制与调整的具体操作步骤和方法；第五章详细介绍机组主要辅机及辅助系统的操作程序；第六章系统介绍机组常见典型事故的现场应急处置操作等。

本书简洁明了、重点突出、层次分明、针对性和实用性强，可作为 1000MW 超超临界机组运行人员仿真操作培训的教材，也可供该类型机组运行技术管理人员和有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

1000MW超超临界机组仿真培训教程 / 马培峰主编

— 北京：中国水利水电出版社，2018.1

特色名校技能型人才培养规划教材

ISBN 978-7-5170-6202-8

I. ①1… II. ①马… III. ①超临界机组—技术培训—教材 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第326324号

策划编辑：杨庆川 责任编辑：封 裕 加工编辑：王玉梅 封面设计：李 佳

书 名	特色名校技能型人才培养规划教材 1000MW 超超临界机组仿真培训教程 1000MW CHAO CHAO LINJIE JIZU FANGZHEN PEIXUN JIAOCHENG
作 者	主 编 马培峰 副主编 刘 锋 冯 健 叶永强
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.5 印张 400 千字
版 次	2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	68.00 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

丛书编委会

主 任 高武军

副 主 任 金英儒 信 超

编 委 于修林 古 青 孙立强 王传栋 宋慧娟

刘春勇 王友东 杨 光 陶 林 杨启程

总 编 信 超

副 总 编 陶 林 杨启程

编 辑 邵军建 张洪岩 唐朝良 周 慧 刘庆云

封 雷 王其珍 石建明 王志军

本书编写人员

主 编 马培峰

副 主 编 刘 锋 冯 健 叶永强

参加编写 郝允清 王光强 刘文柱 王爱东

主 审 周 慧

审 稿 王志军 辛敬荣

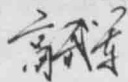
序

徐州电力高级技工学校始建于1975年，原隶属于江苏省电力工业局，2007年12月随同徐州电厂划归神华集团国华电力公司，2017年4月26日，学校升格为国华电力二级单位，更名为“神华国华电力公司职工技能培训学校”（简称“国华电力培训学校”）并保留徐州电力高级技工学校资质。

国华电力培训学校是一所集职业培训、技能鉴定、资格认证、培训策划、岗位能力评估、学历教育和技术服务为一体的综合性教育培训机构。栉风沐雨42年，培训学校以其得天独厚的培训鉴定资质、过硬的师资队伍和配套齐全的实训设施，在广大教职员工辛勤耕耘下，为电力行业培养并输送了18600多名大中专、技校毕业生；近几年，又累计完成神华集团电力板块各类技能培训36000多人次、各类技能鉴定24000多人次，为系统内外发电企业的发展提供了强有力的培训支撑。

国家正在推进的电力体制改革和供给侧改革，必将引起电力生产管理机制的巨变，也必然会给电力相关的技术培训带来新的要求，这对国华电力培训学校来讲，既是难得的机遇，也是巨大的挑战。

国华电力培训学校升格管理后，利用资源优势，承接了上级公司多项培训、鉴定任务，未来学校还将拓宽业务面，开展多层次多类别的培训项目。为此，在提升培训管理标准的同时，还致力于打造特色、提升定位。为加强教材建设，学校组织编写了专业培训系列丛书。在编写过程中，遵循“不忘本来、吸收外来、面向未来”的原则，保留传统，创新思维，注重实用，力求理论与实践紧密结合，又能突出职业技能培训的特点。本套丛书既可作为企业职工集中培训的教材，又可作为在职专业人员继续深造提升的指导书。这套系列教材的出版，必将为国家能源投资有限责任公司的技能培训提供有力支持。



2017年11月

前 言

自我国第一台 1000MW 超超临界机组 2006 年投产以来,截至目前,已有 100 余台投入运营,该类型机组设备昂贵、技术先进、操作和控制复杂。据统计近年来该类型机组多次出现因运行人员操作、分析、判断和处理能力不足导致机组非停和设备损坏的情况。为提高运行人员的实际操作及事故处理能力,促进运行人员操作技能的整体提升,确保机组安全、环保、稳定、高效运行,利用仿真机资源不断强化运行人员培训已成为当前仿真培训的主要工作。然而,目前适合该类型机组仿真培训的书籍很少,而且不能满足实际仿真培训工作的要求。针对这一现状,徐州电力高级技工学校组织专家、教师和工程技术人员编写了这本书。

本书以上海锅炉厂有限公司引进阿尔斯通电力(Alstom Power)公司技术生产的 SG3099/27.46-M545 塔式锅炉、上海汽轮机厂有限公司制造的 N1000-26.25/600/600(TC4F)汽轮机、上海电气集团制造的 THDF-125-67 发电机为例,系统介绍机组启动、停运的操作步骤及操作要求,机组运行调整的方式和方法,机组事故和故障发生时的现象、主要原因和处理步骤等。这些内容对该类型机组运行人员仿真操作培训具有很强的针对性和实用性。

全书简洁明了、重点突出、层次分明、针对性和实用性强,可作为 1000MW 超超临界机组运行人员仿真操作培训的教材,也可供该类型机组运行技术管理人员和有关工程技术人员参考,对 600MW、300MW 超临界机组仿真培训也具有一定的指导意义。

在本书编写过程中,国华电力培训学校常务副校长信超、教务长陶林、总务长杨启程倾注了大量心血,给予了大力支持与指导。参加编写和审定的人员是 1000MW 超超临界机组资深的工程技术人员和仿真培训教学人员,他们长期从事 1000MW 超超临界机组运行技术管理和仿真培训教学工作,具有深厚的专业理论基础和丰富扎实的机组运行工作经验。

本书在编写过程中,得到了国华徐州发电有限公司副总经理于修林、总工程师王传栋,国华太仓发电有限公司、国华盘山发电有限责任公司和多家电厂领导与专业技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限及时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 11 月

目 录

序

前言

第一章 机组设备及系统概述	1
第一节 锅炉设备及系统	1
一、锅炉整体概述	1
二、设备与系统概述	1
第二节 汽轮机设备及系统	4
一、汽轮机设备概述	4
二、汽水系统	5
三、抽汽系统	5
四、汽动给水泵	5
五、旁路系统	5
六、凝汽器及真空系统	5
七、DEH 系统	5
八、运行方式	6
第三节 电气设备及其系统	6
一、发变组系统	6
二、主接线系统	9
三、厂用电源系统	10
四、保安电源系统	12
五、直流系统	12
六、UPS 电源系统	13
七、继电保护装置和自动装置	13
第二章 机组启动	27
第一节 机组启动前的准备	27
一、机组启动前的检查	27
二、机组启动前的操作	29
三、机组启动	33
第二节 冷态启动	36
一、锅炉点火前的操作	37
二、锅炉点火、清洗	38
三、锅炉升温升压	40
第三节 热态启动	41
第四节 机组启动过程中的注意事项	42

一、锅炉启动过程中的注意事项	42
二、汽轮机启动过程中的注意事项	43
三、发电机启动过程中的注意事项	44
第三章 机组停运	45
第一节 机组停运前的准备	45
第二节 正常停机	45
一、机组负荷由 1000MW 降至 500MW	45
二、机组负荷由 500MW 降至 300MW	46
三、机组负荷由 300MW 降至 200MW	47
四、机组负荷由 200MW 降至 50MW	48
五、发电机的解列操作	49
六、锅炉停运操作	50
七、汽轮机相关系统的停运	50
八、发电机停运后的操作	51
第三节 滑参数停机	51
一、滑参数停机步骤	52
二、汽轮机停运程序	53
三、机组停运后的操作	54
第四节 滑参数停机过程中的注意事项	55
第四章 机组正常运行的控制与调整	57
第一节 锅炉正常运行的控制与调整	57
一、锅炉主要运行参数及限额	58
二、锅炉燃烧的调整	61
三、主蒸汽压力的调整	62
四、过热蒸汽和再热蒸汽温度的调整	63
五、锅炉吹灰	64
第二节 汽轮机正常运行的控制与调整	65
一、汽轮机主要运行参数及限额	65
二、汽轮机正常运行的监视与调整	76
三、机组低负荷运行的控制与调整	77
第三节 电气正常运行的监视与控制	78
一、发电机运行的监视与控制	78

二、变压器运行的监视与控制	83	一、锅炉事故的种类	204
三、厂用电系统运行的监视与控制	89	二、锅炉事故的处理原则	204
四、直流系统运行的监视与控制	91	三、锅炉常见故障及处理	205
五、1000MW 机组典型电气运行监视参数	93	第三节 汽轮机事故处理	214
第五章 机组主要辅助设备及系统启停	95	一、汽轮发电机组破坏真空紧急停机	214
第一节 锅炉辅助设备及系统启停	95	二、汽轮发电机组不破坏真空紧急停机	215
一、制粉系统的运行	95	三、故障停机	216
二、风烟系统的运行	100	四、仪用气中断	217
第二节 汽轮机辅助设备及系统启停	115	五、蒸汽参数异常	218
一、循环水系统	116	六、机组负荷摆动	220
二、闭式冷却水系统	119	七、机组火灾	220
三、润滑油系统	121	八、汽管道水击	221
四、EH 油系统	129	九、凝汽器真空降低	222
五、发电机定子冷却水系统	132	十、汽轮机油系统工作失常	224
六、发电机密封油系统	136	十一、汽轮机水冲击	225
七、辅助蒸汽系统	139	十二、汽轮机叶片损坏	226
八、主机轴封系统	141	十三、汽轮机轴向位移增大	226
九、真空系统	143	十四、汽轮机大轴弯曲	227
十、旁路系统	146	十五、汽轮机强烈振动	228
十一、凝输水和凝结水系统	151	十六、汽轮机油系统着火	229
十二、高压加热器	157	十七、机组甩负荷	229
十三、低压加热器	161	十八、汽轮机严重超速	230
十四、除氧器	163	十九、汽轮机轴承损坏	231
十五、汽动给水泵	164	二十、高压加热器异常工况处理	231
第三节 电气辅助设备及系统操作	174	二十一、汽动给水泵汽化	233
一、厂用电系统的运行	174	二十二、除氧器的故障处理	234
二、电动机的运行	183	二十三、凝结水系统异常工况处理	235
三、直流系统的操作	191	二十四、凝汽器单侧泄漏	238
四、UPS 系统的运行	193	第四节 电气事故处理	239
五、发电机氢气系统的运行	196	一、发电机的异常运行及事故处理	239
六、柴油发电机系统的运行	200	二、励磁系统的异常运行及事故处理	245
第六章 机组事故处理	203	三、变压器的异常运行及事故处理	247
第一节 机组事故处理原则	203	四、厂用电系统故障	250
一、机组事故处理的总原则	203	五、直流系统异常及事故处理	252
二、机组事故处理的组织原则	203	六、柴油发电机组故障处理	253
第二节 锅炉事故处理	204	参考文献	255

第一章 机组设备及系统概述

目前 1000MW 超超临界直流机组已成为我国的主力发电机组，该级别机组的仿真培训已经成为火力发电仿真培训的主要任务。其仿真机组设备的主要类型有：锅炉主要有上海锅炉厂有限公司引进 Alstom Power 公司技术生产的 II 型锅炉及塔式锅炉，哈尔滨锅炉厂有限责任公司引进日本三菱公司技术生产的单炉膛、双火球、双切圆 II 型锅炉，东方锅炉股份有限公司引进日本日立公司技术生产的单炉膛、对冲燃烧 II 型锅炉；汽轮机主要有上海汽轮机厂有限公司生产的 SIEMENS 机型、东方汽轮机有限公司生产的日立机型和哈尔滨汽轮机厂有限责任公司生产的东芝机型；发电机主要有上海电气集团生产的 THDF-125-67、东方电机有限公司生产的 GFSN-1000-2-27、哈尔滨电机有限责任公司生产的 GFSN-1045-2。本章以上海电气集团生产的设备为例进行介绍。

第一节 锅炉设备及系统

锅炉是指利用燃料的燃烧热能或其他热能加热给水或其他工质，以生产规定参数和品质的蒸汽、热水或其他工质的机械设备。用以发电的锅炉称电站锅炉或电厂锅炉。

电站锅炉中的“锅”指的是工质流经的各个受热面，一般包括省煤器、水冷壁、过热器及再热器等，以及通流分离器件如联箱、汽包（汽水分离器）等；“炉”一般指的是燃料的燃烧场所以及烟气通道，如炉膛、水平烟道及尾部烟道等。

1000MW 机组锅炉仿真设备主要包括锅炉本体及锅炉辅机，仿真系统主要包括风烟系统、汽水系统及燃烧系统等。

一、锅炉整体概述

锅炉为超超临界参数变压运行螺旋管圈直流炉，采用一次再热、单炉膛单切圆燃烧、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构塔式布置。

锅炉型号：SG3099/27.46-M545。蒸汽参数：27.46MPa（a）、605℃/603℃。

锅炉分为炉膛部分和尾部烟道部分：炉膛内部布置了所有的过热器、再热器和省煤器的受热面；尾部烟道仅仅起到了连接炉膛和空预器（简称“空预器”）的作用，并没有布置任何的受热面。其特点之一是没有汽包，工质一次通过蒸发部分，即循环倍率为 1。另一特点是在省煤器、蒸发部分和过热器之间没有固定不变的分界点，水在受热蒸发面中全部转变为蒸汽，沿工质整个行程的流动阻力均由给水泵来克服。如果在直流锅炉的启动回路中加入循环泵，则可以形成复合循环锅炉。

二、设备与系统概述

锅炉设备主要包括过热器、再热器、省煤器、水冷壁及各辅助设备，主要系统有汽水系统、风烟系统及燃烧系统等。

（一）汽水系统

汽水系统主要包括过热器、再热器、省煤器、水冷壁及启动旁路等。

1. 过热器

炉膛上部沿烟气流动方向依次布置有一级过热器、三级过热器、二级再热器、二级过热器、一级再热器、省煤器。过热器系统的汽温调节采用燃料/给水比和两级八点喷水减温，在一级过热器和二级过热器、二级过热器和第三级过热器之间设置二级喷水减温并通过两级受热面之间的连接管道进行交叉。过热器喷水取自省煤器进口给水管道。

2. 再热器

再热器受热面分为两级，即一级再热器（低温再热器）和二级再热器（高温再热器）。二级再热器布置在二级过热器和第三级过热器之间，一级再热器布置在省煤器和二级过热器之间。二级再热器顺流布置，受热面特性表现为半辐射式；一级再热器逆流布置，受热面特性表现为纯对流式。再热器汽温采用燃烧器摆动调节，一级再热器进口连接管道上设置事故喷水，一级再热器和二级再热器之间的连接管道上设置有微量喷水并采用交叉连接。再热器喷水取自给水泵中间抽头。

3. 水冷壁

水冷壁是敷设在炉膛四周由多根并联管组成的蒸发受热面。其主要作用是：吸收炉膛中高温火焰及炉烟的辐射热量，使水冷壁内的水汽化，产生饱和蒸汽；减少高温对炉墙的破坏，保护炉墙；强化传热，减少锅炉受热面面积，节省金属耗量；有效防止炉壁结渣。直流锅炉水冷壁中工质的流动为强制流动，管屏的布置较为自由，最基本的有螺旋管屏、垂直上升管屏和回带管屏三种。

大型超超临界锅炉的水冷壁分为螺旋水冷壁和螺旋垂直水冷壁两种，随着锅炉高度和容积的增加，采用内螺纹的完全垂直水冷壁的安全运行越来越困难，其要求的设计水平和制造精度也越来越高，所以炉型较高的塔式锅炉下部炉膛采用螺旋水冷壁的结构、上部炉膛采用垂直水冷壁的结构。

4. 省煤器

省煤器是利用锅炉的烟气热量来加热给水的一种热交换装置，一般布置在空预器之前，由于进入该部分受热面的烟气温度不高，通常将该部分受热面和空预器叫做尾部受热面。省煤器在锅炉中的作用如下：

（1）吸收低温烟气的热量，降低排烟温度，提高锅炉效率，节省燃料。

（2）由于给水在进入蒸发受热面之前，先在省煤器内加热，这样就减少了水在蒸发受热面内的吸热量，因此采用省煤器可以替代部分蒸发受热面，也就是以管径较小、管壁较薄、传热温差较大、价格较低的省煤器替代部分造价较高的蒸发受热面。

5. 启动旁路

直流锅炉与汽包锅炉不同，在锅炉点火之前，为减少流动的不稳定和保证水冷壁管壁温度低于允许值，需要建立一个不低于水冷壁最小流量的给水流量，但由于在启动阶段给水吸收热量较少，水无法完全蒸发生成汽，且这部分水不能进入过热器系统，这样就需要在过热器之前建立一个启动旁路系统将多余的水排放出去。本仿真机锅炉启动系统采用内置式汽水分离器带再循环泵的启动旁路系统，再循环泵和给水泵呈并联布置。

锅炉炉前沿宽度方向垂直布置汽水分离器，其进出口分别与水冷壁和一级过热器连接。

当机组启动, 锅炉负荷低于最低直流负荷 30% BMCR (锅炉最大连续蒸发量) 时, 蒸发受热面出口的介质流经分离器前的分配器后进入分离器进行汽水分离, 蒸汽通过分离器进入一级过热器, 而饱和水则通过分离器筒身下方进入储水箱中。储水箱之后分成两路: 一路至再循环泵的再循环系统, 通过再循环泵提升压头后引至给水管道中, 与锅炉给水汇合后进入省煤器; 另一路接至大气扩容器。

(二) 风烟系统

风烟系统包括二次风系统、一次风系统和烟气系统。

1. 二次风系统

二次风系统只作为燃烧用。每台锅炉设两套二次风系统, 送风机采用室外吸风, 二次冷风进入空预器加热, 空预器出口热风进入锅炉两侧墙的二次风箱。在送风机后、空预器前的冷风管上装有联络风道, 空预器出口也设有平衡入炉二次风压的联络风道, 此连接可保证当一台送风机发生故障时, 两侧空预器仍可以向炉膛均匀送风, 从而保证燃烧的稳定性和沿炉膛温度的分布均匀, 减少热偏差。为了防止空预器冷端腐蚀, 从二次热风出口管道引出热风再循环管至送风机进口, 加热二次冷风至 20.4°C 。

2. 一次风系统

一次风系统的主要作用为输送煤粉。一次风机向磨煤机提供一次风 (热风), 同时向磨煤机、给煤机提供密封风 (冷风)。

3. 烟气系统

本系统由两台联合风机来排除燃烧气体。

(三) 锅炉制粉系统

锅炉制粉系统主要包括磨煤机、给煤机及相应的风门和挡板。

锅炉燃烧系统按照中速磨正压直吹系统设计, 配备 6 台磨煤机, 正常运行中运行 5 台磨煤机可以带到 BMCR, 每台磨煤机对应锅炉的两层燃烧器, 每台磨煤机引出 4 根煤粉管道到炉膛四角, 炉外安装煤粉分配装置, 每根管道分配成两根管道分别与两个一次风喷嘴相连, 共计 48 个直流式燃烧器分 12 层布置于炉膛下部四角, 在炉膛中呈四角切圆方式燃烧。

在每台磨煤机所对应的两层燃烧器喷嘴之间设置有油枪, 设计容量为 20% BMCR, 在启动阶段和低负荷稳燃时使用。

一次风取自大气, 经一次风机加压后分为两路, 一路直接进入冷一次风道, 另一路经过空预器加热后进入热一次风道, 冷、热一次风通过每台磨煤机的冷、热风调节挡板进入磨煤机入口混合风道, 通过调节冷、热风挡板开度控制磨煤机入口热风风量和出口煤粉气流的温度。为防止磨煤机发生爆炸和燃烧, 各磨煤机入口的混合风道上均设置有防爆和防着火蒸汽惰性处理系统, 当发生爆炸和着火时, 蒸汽门会开启向磨煤机内部填入惰性气体或将着火的煤粉送入炉膛内。

为防止正压直吹制粉系统中煤粉漏出磨煤机外部和进入磨煤机内部的转动轴承中, 制粉系统设置有两台密封风机, 密封风从冷一次风联络母管上引出经密封风机增压后进入磨煤机, 正常运行时一台风机运行, 一台备用。

(四) 锅炉微油点火系统

2 号磨煤机对应的燃烧器被改造成微油点火燃烧器, 在启动阶段和低负荷稳燃时, 可以投入微油点火燃烧器, 减少柴油的耗量。

锅炉微油点火系统分微油点火与正常运行两种运行模式, 这两种模式可相互切换。当机

组负荷升至 350MW 时,其自动切换至正常运行模式;当锅炉在正常运行时(包含微油点火低负荷稳燃),其禁止手动切换至微油点火模式,微油点火模式只在锅炉冷态启动时使用。

(五) 空压机系统

锅炉设有 4 台仪表用空压机,供全部仪控用压缩空气,采用单元制供气系统,公用系统部分用气取自供气母管。2 台运行,2 台备用。

(六) 锅炉工质循环流程

锅炉工质循环流程主要是汽水系统和烟气流程。

1. 汽水系统

(1) 给水系统流程。

给水→省煤器进口联箱→省煤器→省煤器出口联箱→下降管→水冷壁前后进口联箱→冷灰斗→螺旋管水冷壁→水冷壁中间联箱→垂直管水冷壁→水冷壁出口联箱→分配联箱→汽水分离器→汽水分离器疏水箱→锅炉疏水扩容器→集水箱→凝汽器→混合器→启动循环泵→省煤器进口给水管道。

(2) 主蒸汽系统流程。

汽水分离器→一级过热器进口联箱→一级过热器→一级过热器出口联箱→一级过热器减温器→二级过热器进口联箱→二级过热器→二级过热器出口联箱→二级过热器减温器→三级过热器进口联箱→三级过热器→三级过热器出口联箱→主蒸汽管→汽机高压缸。

(3) 再热蒸汽系统流程。

高压缸排汽→冷再管道→事故喷水减温器→一级再热器进口联箱→一级再热器→一级再热器出口联箱→再热器微量喷水减温器→二级再热器进口联箱→二级再热器→二级再热器出口联箱→热再管道→汽机中压缸。

2. 烟气流程

烟气流向顺次为一级过热器(屏管)、三级过热器、二级再热器、二级过热器、一级再热器、省煤器、一级过热器(悬吊管)、脱硝装置、空预器、电除尘器、脱硫装置、排烟冷却塔。在各受热面中,除三级过热器、二级再热器和省煤器为顺流布置外,其他都是逆流布置。

围绕炉膛四周的炉管组成蒸发受热面(水冷壁)并兼具炉墙作用。

第二节 汽轮机设备及系统

汽轮机是以蒸汽为工质的旋转式热动力机械,它接收锅炉送来的蒸汽,将蒸汽的热能转换为机械能,驱动发电机发电。汽轮机设备是火力发电厂的三大主要设备之一,其仿真范围主要包括汽轮机本体、调节保安及供油系统和辅助设备等,其仿真系统主要包括汽水系统、抽汽系统、旁路系统、真空系统及汽轮机数字电液控制系统(DEH)等。

一、汽轮机设备概述

汽轮机是由上海汽轮机厂有限公司引进德国西门子公司技术制造的,类型为超超临界、一次中间再热、四缸四排汽、单轴、双背压凝汽式,型号为 N1000-26.25/600/600(TC4F)。DEH(汽轮机数字电液控制系统)使用德国西门子公司 T3000 操作系统,英文界面;DCS(分布式控制系统)使用国电智深的 EDPF-NT Plus 操作系统,中文界面。

二、汽水系统

从锅炉来的新蒸汽进入高压缸，在高压缸中做功后到锅炉再热器进行“中间再热”，再热后的蒸汽送入中压缸做功，中压缸排汽经连通管送往两个低压缸继续做功。低压缸排汽排到凝汽器，排汽在凝汽器中经循环水冷却后凝结成水（凝结水），随后由凝结水泵对凝结水进行升压，升压过的凝结水历经化学精除盐装置后送到轴封冷却器，随后依次流过 4 台低压加热器（包含 1 台疏水冷却器）、1 台除氧器。除氧器下来的给水经给水泵升压后依次经过 3 台高压加热器（双列），最后进入锅炉加热，产生的新蒸汽投入下一轮循环。

三、抽汽系统

机组采用八级非调整抽汽（包括高压缸排汽）。一级、二级、三级抽汽分别供给 2×3 台高压加热器用汽；四级抽汽供汽至除氧器、锅炉给水泵汽轮机和辅助蒸汽系统等；五级、六级、七级、八级抽汽分别供给 4 台低压加热器用汽。

四、汽动给水泵

机组配置两台 50% 容量的汽动给水泵，汽动给水泵的给水前置泵与主泵不同轴。在正常运行工况下，给水泵汽轮机的汽源来自第四级抽汽；在低负荷和启动工况下，汽源来自再热冷段蒸汽或辅助蒸汽。给水泵汽轮机的排汽经排汽管道和排汽蝶阀排到主机凝汽器。给水泵汽轮机为单缸、单流、冲动式、纯凝汽、高压缸排汽内切换、向下排汽。

五、旁路系统

机组设有两级串联的高低压旁路系统。该旁路系统具有 100% BMCR 的高压旁路容量和 65% BMCR（相对主蒸汽流量）的低压旁路容量。高压旁路每台机组安装 4 套，从锅炉过热器进口联箱接口前的主蒸汽管接出，经减压、减温后接至再热冷段蒸汽管道，减温水取自省煤器入口前的主给水系统；低压旁路每台机组安装两套，从汽机中压缸入口前再热段蒸汽的两根支管分别接出，经减压、减温后接入凝汽器，减温水取自凝结水精处理装置入口前的凝结水系统。高低压旁路包括蒸汽控制阀、减温水控制阀、关断阀和控制装置。系统中设置预热管，保证高低压旁路蒸汽管道在机组运行时始终处于热备用状态。

六、凝汽器及真空系统

凝汽器采用双背压、双壳体、单流程、表面冷却式凝汽器。

凝结水系统设有 3 台 50% 容量的变频凝结水泵，正常运行 2 台，1 台备用。

循环水系统设有 3 台 33% 容量的立轴、固定转速、固定叶片式湿坑单级斜流电动泵，正常运行 2 台，1 台备用。

抽真空系统设有 3 台水环式真空泵，正常运行 2 台，1 台备用。

七、DEH 系统

机组采用数字电液调节系统，使用德国西门子公司的 T3000 操作系统，调节系统转速的可调范围为 $(0 \sim 110) \% \times 3000 \text{r/min}$ 。

EH 油系统由 2 台 EH 油泵、循环油泵、再生油泵及附属设备组成，正常运行时 EH 油泵 1 台运行，1 台备用，正常工作压力为 16MPa~18MPa。

八、运行方式

机组采用“定一滑一定”的运行方式（由补汽阀调频）。西门子公司在本机组上取消调节级是一种合理的先进设计方法。这种机组在稳态工况时，其调节阀保持 5%主蒸汽压力的节流压降，当需变动负荷时，先由调节阀通过改变节流压降进行调节，以满足快速响应的要求，然后再由机组的协调控制系统调节锅炉的热负荷及汽压，直至调节阀压降恢复正常值。

对于锅炉侧产生的热负荷扰动亦可采用上述同样的调节过程予以消除。至于遇到快速降负荷的情况，当调节阀快速关小而出现主蒸汽压力骤然升高时，由于旁路系统实行全程跟踪，会立即开启进行溢流泄压，以使调节阀不承担过大的压降。虽然在多数工况下都存在一定的节流损失，但由于取消了调节级，不但提高了高压缸总体内效率，完全补偿了调节阀的节流损失，而且消除了调节级所带来的其他相关问题。同时，这种机组在调节阀全开方式下，其效率最高。同理，如果全程采用纯滑压方式运行，调节阀全开，由锅炉进行负荷调节，其热耗水平将优于设计值，但负荷响应速度会因此大大降低。另外，滑压运行时，因为主蒸汽温度不随负荷变化，采用纯压力级的高压缸内的温度场在变负荷时仍能保持相对稳定，显著改善了变负荷时高压转子的应力状况，使得该类型汽轮机能适应很高的负荷变化速率。

第三节 电气设备及系统

1000MW 机组电气部分的仿真范围主要包括发变组系统、主接线系统、厂用电源系统、保安电源系统、直流系统、不间断电源（UPS）系统及继电保护装置和自动装置等。仿真侧重点也大同小异：有的略去主接线系统，只仿真到发变组出口；厂用电源系统大多只做与主机运行安全密切相关的主干部分，除灰除渣、检修照明等外围部分均不作为仿真重点；直流系统、UPS 电源系统的仿真也做得比较简略等。

一、发变组系统

多数 1000MW 火电机组均以发电机—主变压器组接线方式接入厂内升压站，各发电机分别经过 3 台强油循环风冷无载调压的单相变压器接入主接线系统。发电机引出线至主变压器低压侧通过离相封闭母线连接，封闭母线为自冷微正压系统。发电机采用自并励静止励磁系统，由发电机机端通过励磁变压器取得励磁电源，送至可控硅整流桥。

（一）发电机典型参数

发电机典型参数如表 1-1 所示。

表 1-1 发电机典型参数

名称	单位	规范
额定容量 S_n	MVA	1112
额定功率 P_n	MW	1000
额定功率因数 $\cos\varphi_n$		0.9

续表

名称	单位	规范
定子额定电压 U_n	kV	27
定子额定电流 I_n	A	23778
额定频率 f_n	Hz	50
额定转速 N_n	r/min	3000
额定励磁电压 U_{fn} (80℃)	V	437
额定励磁电流 I_{fn}	A	5887
定子绕组接线方式		YY
冷却方式		水氢氢
励磁方式		自并励静止励磁
定子铁芯绝缘等级	级	F
额定氢压	MPa	0.5

(二) 主变压器典型参数

主变压器典型参数如表 1-2 所示。

表 1-2 主变压器典型参数

序号	项目	参数
1	额定值	
	额定频率/Hz	50
	额定电压/kV	$530/\sqrt{3} \pm 2 \times 2.5\% / 27$
	冷却方式	ODAF
	额定容量/MVA	380
	额定电流/A	1242/14074
	连接组标号	YNd11 (单相连接成三相)
2	温升限值/K	
	顶层油	50
	高压绕组	60
	低压绕组	60
3	额定频率额定电压时空载损耗/kW	≤ 118
4	负载损耗 (kW, 75℃)	≤ 748
	其中杂散损耗	约 220
5	效率	$\geq 99.77\%$
6	空载电流/%	0.2%
7	全部冷却器退出运行后, 主变压器满载运行所允许的时间	变压器满载运行: 当全部冷却器退出运行时, 变压器允许继续运行 20min; 当油面温度不超过 75℃时, 变压器允许继续运行不超过 1h
	一组冷却器退出运行后, 变压器允许长期运行的负载	75%
	两组冷却器退出运行后, 变压器允许长期运行的负载	55%
	三组冷却器退出运行后, 变压器允许长期运行的负载	30%

（三）励磁系统

大容量的火电机组多采用自并励励磁系统。自并励系统在发电机无电压输出或电压低于10%空载额定电压时，可控硅整流桥一般无法工作即无整流输出。初励电源一般取自本台机组的220V直流系统或利用厂用400V交流电源，由励磁变压器、二极管模块、接触器及限流电阻、电容组成的启励装置在发电机额定转速时，短时而向发电机转子绕组提供励磁，使之建立空载电压。启励以后，当自动励磁调节器检测到10%空载额定电压时，即刻自动切换到自动励磁调节器输出，由自动励磁调节器控制可控硅整流桥输出和保持发电机额定电压。发电机出口电压达到设定的空载额定电压时，启励装置自动退出。

1. 自并励励磁系统原理框图（如图1-1所示）

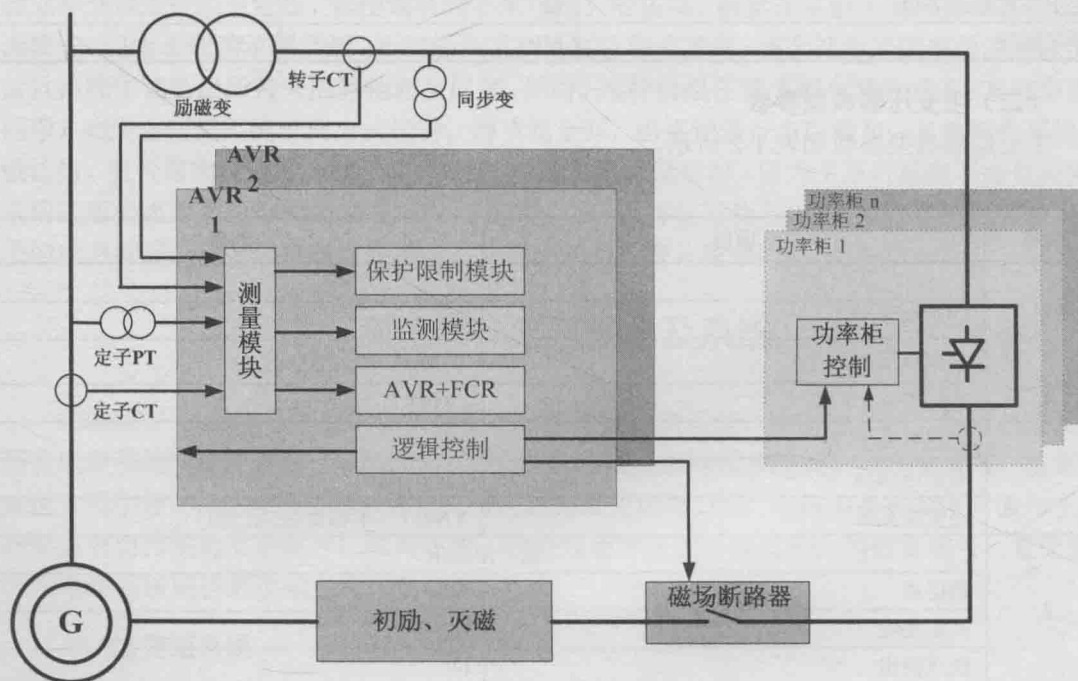


图 1-1 自并励励磁系统原理框图

2. 主要组成部分

电源部分：励磁变压器、初励电源等。

整流部分：整流柜（功率柜）等。

灭磁部分：励磁开关、灭磁过电压保护柜等。

数据采集部分：电压互感器（PT）、CT、分流器等。

控制部分：自动励磁调节器。

3. 各部分的主要作用

（1）励磁变压器。

励磁变压器为励磁系统提供励磁能源。对于自并励励磁系统的励磁变压器通常不设自动开关。高压侧可加装高压熔断器，也可不加。