

全能值班员技能提升指导丛书

汽轮机分册

大唐国际发电股份有限公司 编

DATANG POWER

注重理论结合实际
强调实际操作技能提升
培养合格的全能值班员



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

全能值班员技能提升指导丛书

汽轮机分册

大唐国际发电股份有限公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要结合大唐国际发电股份有限公司 200~600MW 汽轮机组相关设备,为集控值班人员能够尽快掌握相关设备的理论和生产实际所编写的培训教材。

全书共十一章,包括汽轮机概述、汽轮机本体结构、汽轮机油系统、汽轮机调节及保护系统、热力系统及其辅助设备、凝汽设备及系统、汽动给水泵汽轮机及其系统、机组调试、汽轮机运行、汽轮机组事故分析及处理、汽轮机试验等。全书内容较为全面,涉及汽轮机主辅设备及系统的原理、结构、运行、调整、试验等各个方面,并且结合实际提出了很多具体的正常操作及事故处理建议。

本书作为大型火力发电厂运行人员的培训教材,适合从事火力发电机组检修、调试及管理工作的工程技术人员阅读,也可供其他相关专业人员及高等院校电力工程专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

全能值班员技能提升指导丛书. 汽轮机分册/大唐国际发电股份有限公司编. —北京:中国电力出版社,2008
ISBN 978-7-5083-6554-1

I. 全… II. 大… III. ①发电厂-电工-技术培训-教材②火电厂-蒸汽透平-技术培训-教材 IV. TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002386 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

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 411 千字
印数 0001—8000 册 定价 33.00 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

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

《全能值班员技能提升指导丛书》

编 委 会

主 任 佟义英

副主任 方占岭

委 员 (按姓氏笔画排列)

王俊清 田小鹏 白 岭 伍小林 李玉昆

张 洁 项建伟 赵世杰 赵振宁 高向阳

《汽轮机分册》编审人员 (按姓氏笔画排列)

田小鹏 伍小林 孙海军 李小军

李子明 骆 意

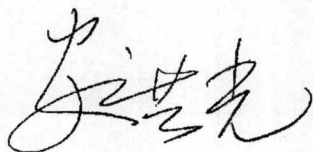
序

伴随着我国国民经济的快速增长,电力工业得到了迅猛发展。为了更好地节约能源,保护生态环境,建设生态文明,电力行业努力降低供电煤耗和减少污染物的排放,不断发展清洁高效发电技术,高参数、高效率、大容量火电机组不断增加。新技术、新设备、新材料大量采用,机组系统大,测点多,自动调节系统多,控制逻辑复杂,保证机组的安全、可靠、经济运行是发电企业面临的重要任务。

单元机组集中控制是当今大型发电机组的主要控制方式,集控全能值班制是各发电企业普遍采用的运行管理体制,这对发电企业运行全能值班员的素质提出了更高的要求。加强集控运行人员的培训工作,尤其是有针对性的现场实际操作技能的培训已成为各发电企业运行管理工作的当务之急。

科学技术是第一生产力,人力资源是第一资源,加强员工的技术培训是实现企业和员工共同愿景的重要途径和方法。作为国有控股大型发电企业,大唐国际发电股份有限公司一直致力于公司的协调发展。在公司业务不断延伸、规模不断扩大的同时,本着提供优质电能、保障电网安全运行的出发点,采取了多种方式狠抓运行管理工作,尤其是运行培训工作,并不断根据实际发展状况,摸索新的更行之有效的培训方法。

本套丛书是大唐国际发电股份有限公司根据集控全能值班制的发展状况,有针对性地组织编写的技能培训丛书,旨在提高全能值班员的理论、实际操作水平,从而提高企业安全经济运行水平。我们希望通过本套丛书的编写、出版,能够与兄弟企业从事发电运行管理工作的人员相互借鉴、交流经验,同时更好地促进行业技术和管理水平的提高。



前言

近几年来,随着电力工业的快速发展,大容量、高参数发电机组迅速增加,600MW超临界机组及300MW循环流化床机组陆续投产。由于新机组投入商业运行的进程不断加快,各发电企业无法抽出专门的时间对运行人员进行有计划、有系统的技术培训,而运行值班人员又需要不断更新、补充上岗,因此对当前集控运行值班人员的在岗培训显得尤为迫切。为适应这一形势,大唐国际发电股份有限公司组织公司的生产技术人员和华北电力科学研究院有限责任公司的有关专家,着手编写了这套《全能值班员技能提升指导丛书》。

本书为丛书的《汽轮机分册》,主要面向发电厂运行值班人员,内容涉及200、300、600MW等各种型号的汽轮机组、系统及其附属设备,有一定的理论深度。其中关于现场设备实际操作的指导原则、要点、注意事项及相关案例的内容对运行值班人员的学习更具有实际意义,这也是本书有别于其他书籍的一大特色。本书对电厂生产管理干部和刚刚走上工作岗位的员工均具有一定的指导意义,有利于将理论知识与工作实践更快地结合起来,特别是对于全能值班员更具有实际参考价值。需要指出的是,本书涉及设备操作的内容仅进行通用描述,所以不能代替各电厂的具体运行规程。

本书由陡河、潮州、托克托等发电厂与华北电力科学研究院有限责任公司根据大唐国际发电股份有限公司各发电企业的设备具体情况进行编写,包括原理、结构、功能、操作、调整及试验等各个方面,并附有部分事故案例,具有较强的实用性。全书共分十一章,其中,第一章、第二章由陡河发电厂田小鹏、潮州发电厂李子明编写;第四章由华北电力科学研究院有限责任公司骆意、陡河发电厂田小鹏编写;第八章由华北电力科学研究院有限责任公司孙海军编写;其他各章内容主要由陡河发电厂田小鹏编写并对全书内容进行汇总。陡河发电厂田小鹏、托克托发电厂李小军对本书进行了初审,并补充了部分内容;最后由华北电力科学研究院有限责任公司伍小林进行统稿,并对全书内容进行了修改、补充、完善和定稿。

在本书编写过程中,得到了大唐国际发电股份有限公司、各发电厂和华北电力科学研究院有限责任公司各级领导的大力支持,在此表示感谢。由于编者水平有限,难免存在疏误之处,恳请读者提出宝贵意见,以便今后进一步修订。

本书编委会

2007年10月

目 录

序

前言

第一章 汽轮机概述	1
第一节 各种类型汽轮机的特点	1
第二节 汽轮机的技术经济指标	16
第三节 喷嘴调节与节流调节的比较	27
第二章 汽轮机本体结构	31
第一节 汽缸及滑销系统	31
第二节 喷嘴和隔板	38
第三节 转子及动叶	40
第四节 汽封	46
第五节 轴承与轴承座	48
第六节 盘车装置	51
第七节 配汽机构	53
第三章 汽轮机油系统	56
第一节 润滑油系统	56
第二节 顶轴油系统	61
第三节 润滑油净化系统	61
第四节 液压(EH)油系统	63
第五节 发电机密封油系统	72
第四章 汽轮机调节及保护系统	76
第一节 汽轮机调节系统的作用和组成	76
第二节 汽轮机调节系统的特性	78
第三节 DEH系统的液压伺服系统	81
第四节 危急遮断系统和超速保护系统	91
第五节 汽轮机主保护系统	94

第五章 热力系统及其辅助设备	98
第一节 主蒸汽及再热蒸汽系统	98
第二节 旁路系统	99
第三节 轴封系统	102
第四节 抽汽系统和回热设备	106
第五节 给水系统和给水除氧设备	117
第六节 辅助蒸汽系统	128
第七节 发电机定子冷却水系统	129
第八节 阀门和液位计	131
第六章 凝汽设备及系统	134
第一节 凝汽设备	134
第二节 凝汽器的真空及其影响因素	136
第三节 抽气设备及运行	138
第四节 凝结水泵及凝结水系统	141
第五节 循环水泵及循环水系统	142
第六节 凝汽器清洗装置及运行	145
第七节 凝汽设备运行的指标控制	147
第八节 凝汽设备的操作	150
第九节 空冷凝汽器	152
第七章 汽动给水泵汽轮机及其系统	158
第一节 概述	158
第二节 汽动给水泵汽轮机本体结构	159
第三节 汽动给水泵汽轮机油系统	160
第四节 汽动给水泵汽轮机调节系统	161
第五节 汽动给水泵汽轮机保护装置和试验	162
第六节 汽动给水泵汽轮机汽水系统	165
第七节 汽动给水泵汽轮机的运行	165
第八章 机组调试	169
第一节 调试概述	169
第二节 汽轮机分系统的调试	169
第三节 汽轮机整套启动调试	181
第九章 汽轮机运行	186
第一节 限制启停速度的因素	186

第二节	机组的启动·····	189
第三节	正常运行及调整·····	198
第四节	机组停机及维护·····	213
第五节	汽轮机事故停机·····	217
第六节	汽轮机快速冷却·····	218
第十章	汽轮机组事故分析及处理·····	221
第一节	事故处理原则·····	221
第二节	真空下降·····	221
第三节	汽压、汽温异常·····	224
第四节	汽轮机严重超速·····	226
第五节	汽轮机水冲击·····	228
第六节	汽轮机振动·····	231
第七节	大轴弯曲·····	233
第八节	轴向位移增大·····	234
第九节	润滑油系统故障·····	235
第十节	密封油系统故障·····	237
第十一节	内冷水系统故障·····	239
第十二节	凝结水泵故障·····	240
第十三节	给水泵故障·····	240
第十四节	油系统失火·····	242
第十五节	厂用电中断·····	243
第十六节	DEH 系统故障·····	244
第十七节	高压加热器故障·····	246
第十一章	汽轮机试验·····	248
第一节	调节保安系统静态试验·····	248
第二节	阀门在线试验·····	248
第三节	充油试验·····	250
第四节	汽门严密性试验·····	251
第五节	真空严密性试验·····	251
第六节	超速试验·····	252
第七节	OPC、AST 试验·····	253
第八节	甩负荷试验·····	254
第九节	热力性能试验·····	257
第十节	定期试验·····	258
参考文献 ·····		260

汽轮机概述

第一节 各种类型汽轮机的特点

一、国产 200MW 级汽轮机

N200-130 (12.7) /535/535 型 200MW 汽轮机为超高压中间再热凝汽式，由哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂和北京重型机械厂生产。

该汽轮机为三缸三排汽，有高压、中压和低压三个汽缸，三个排汽口。中压缸带有一个排汽口，低压缸带有两个排汽口。也有三缸两排汽的。

蒸汽在高压缸与中压缸内流动的方向是相反的，在低压缸内是从中间进汽向两侧对称流动。

四个喷嘴室的进汽短管是辐射方向布置的，使内缸的受热有很好的轴对称性，在受热膨胀时可始终保持进汽短管中心线在汽缸圆截面的中心线上。

高压缸为双层结构，高压内缸由其下半中分面处四个猫爪搭在外缸下半近中分面的凹槽中，外缸由上缸中分面伸出的前后四个猫爪搭在 1 号轴承座和 2 号轴承座上，为上猫爪支撑结构。高压缸设有法兰、螺栓加热装置。

中压缸为单层缸、隔板套结构，由前、中、后三部分组成。前部由合金钢浇铸成。中部用铸铁浇铸成，上半开有两个整齐分流口，2/3 的蒸汽从此流往低压缸。后部由钢板焊制成，1/3 的蒸汽经此排往凝汽器。前、中、后三部分均带有垂直法兰，装配时用螺栓连成一体。

低压缸为对称分流式，中间进汽，两侧排汽。汽缸由三段组成，即中部和两排汽缸。中部由铸铁浇铸成，两侧由钢板焊制成，在安装时用螺栓通过垂直法兰连成一个整体。中部下半有三个抽汽口。低压导管上装有波纹管和平衡鼓，用于热补偿。低压缸与凝汽器的连接为刚性焊接结构。

汽缸的前后汽封为镶片式汽封，是由耐高温、耐腐蚀的薄带钢制成的，直接滚压并锁紧在转子的汽封槽中。隔板汽封为梳齿式。

该型汽轮机完善化前为 34 型，完善化后为 55 型，其结构特点基本相同。完善化后的改进部分：

(1) 汽缸的前后汽封后改造为梳齿式汽封。

(2) 调整了通流间隙，加大隔板、前汽封、后汽封的动静轴向间隙。

(3) 因高压上缸支撑结构水平中分面出现张口，因此改为下猫爪支撑结构。

改造后，高、中压缸的 2~22 级均采用了新型后加载静叶型，叶栅效率高，叶型刚度大。5~12 级采用弯扭造型，叶身与两端围带铸为一体，以加强隔板刚性。2~4 级静叶采用分流叶栅结构，代替原设计小叶片加强筋结构，降低叶栅流动损失。调节级采用子午面收缩静叶栅，喷嘴组仍为叶片根部与喷嘴组整体铣制、顶部焊接。21 个压力级动叶全部采用自

带冠围带，中压部分围带通道做成斜面；围带顶部为圆柱面，汽封齿数增加；动叶无需拉筋调频，减少绕流损失；动叶顶部取消铆接，减少应力集中；安装更换方便，不必更换相临叶片。13~15级隔板静叶加宽，板体加厚，解决了中压焊接隔板变形问题。

低压部分通流由阶梯形通道改为光滑通道。低压1~4级采用新叶型，取消原叶片的三根拉筋。末级叶片采用三元流可控涡理论设计，叶顶采用自带围带整圈连接结构，围带内斜外平。分流环和三个隔板套重新设计，低压第1级隔板根径抬高。

高压转子少了一个轴承。高、中压两个转子采用三个轴承支撑，称作三支点。

轴承用油通过射油器转换。射油器由两只并联组成，其中1号射油器向主油泵入口供油，2号射油器向机组的润滑系统供油。

润滑油泵配有一台交流电动机和一台直流电动机。可节省一台油泵，但可靠性较差。

主油箱为吊装式，布置在5m平台上，设有高压顶轴油装置。配置了一台油净化装置。

定型后的机组采用了组合式油箱，主油箱布置在0m+1m的平台上。调速油泵及润滑油泵等所有主要设备均固定在油箱盖板上，泵体一直向下延伸浸没在油面以下。

部分机组采用涡轮驱动的升压泵向润滑系统供油。油涡轮是由主油泵出口的压力油经油喷嘴冲动其叶片后，转动并带动离心式升压油泵，升压油泵出口向润滑油系统供油，而油涡轮的排油向主油泵入口供油。

有的电厂考虑到涡轮升压油泵在汽轮机定速后易汽化，造成润滑油系统失压，于是将润滑油泵改为外跨卧式油泵，取消油涡轮和升压泵，恢复了射油器。1号射油器向主油泵入口供油，2号射油器向机组的润滑系统供油。

国产200MW汽轮机改进型有三缸双排汽和双缸双排汽，容量分别为210MW和220MW。

近年来，国产200MW汽轮机多进行了通流部分改造，提高了经济性，并增容。

目前，200MW及以上容量等级的机组已经基本上完成调节系统改造，由以前的机械液压调节方式改为数字电液调节（DEH），液压油采用高压抗燃油。

二、300MW级汽轮机

国产300MW级汽轮机分为三个系列。上海汽轮机厂和哈尔滨汽轮机厂生产的300MW机组是引进西屋公司的技术生产的。东方汽轮机厂有限公司在国产技术的基础上，通过吸收GE公司、日立公司和西屋公司等国外公司先进技术，开发了新型300MW机组。北京重型机械厂330MW汽轮机是引进法国阿尔斯通公司技术合作生产的。

（一）东方汽轮机厂N300-16.7/537/537-4型汽轮机

该汽轮机为亚临界、一次中间再热、单轴双缸双排汽、冲动式、凝汽式汽轮机，是东方汽轮机厂在国产技术的基础上引进和吸收国内外技术设计制造的300MW机型，其中调节级吸取了美国西屋公司的技术，低压部分吸取了GE公司和日立公司的技术。

额定功率（经济功率）为300MW，最大功率为330MW。设计背压为5.2kPa。保证净热耗8005kJ/(kW·h)。

该机组为两缸两排汽形式，高、中压部分采用合缸结构。因为进汽参数较高，采用合缸是为了减小汽缸热应力，增加机组启停及变负荷的灵活性。高压部分设计为双层缸；低压缸为对称分流式，也采用双层缸结构。

通流级数是 28 级, 其中, 高压缸 1 个单列调节级+9 个冲动压力级, 中压缸 6 个冲动压力级, 低压缸 2×6 个冲动压力级。末级动叶片高度为 851mm。

高压通流部分设计为反向流动, 高压和中压进汽口都布置在高、中压缸中部。新蒸汽通过主蒸汽管进入高压主汽调节阀, 再经 4 根高压主汽管和装在高、中压外缸中部的 4 个高压进汽管分别从上下方向进入高压内缸中的喷嘴室, 然后进入高压通流部分。蒸汽在高压缸做功后, 由高中压缸前端下部的两个高压排汽口的排汽止回阀排出, 经两根冷段再热汽管去锅炉再热器。再热蒸汽通过两根热段再热管进入中压联合汽门, 再经两根中压主汽管从高、中压外缸中部下半两侧进入中压通流部分, 经中压缸做功后, 由高、中压外缸后端上的中压排汽口进入连通管通向低压缸。蒸汽由低压缸中部进入通流部分, 分别向前后两个方向流动, 做功后向下排入凝汽器。

高、中、低压转子均为整锻结构, 转子间采用刚性连接。该机共有 4 个支持轴承和 1 个自位式轴向推力轴承, 推力轴承置于 2 号支持轴承后。

全机共有 8 段回热抽汽, 分别在第 7、10、13、16、17~20 级后抽出, 供给 3 个高压加热器、1 个除氧器和 4 个低压加热器。

给水泵配置为 $1 \times 100\%$ 汽动给水泵+ $1 \times 50\%$ 电动调速水泵或 $2 \times 50\%$ 汽动给水泵+ $1 \times 50\%$ 电动调速给水泵。驱动给水泵汽轮机汽源为 4 段抽汽, 机组低负荷运行时, 自动切换为主机新蒸汽。给水泵汽轮机的排汽进入主凝汽器。

该机采用高压抗燃油数字电液控制系统 (DEH)。

(二) 哈尔滨汽轮机厂 N300-16.7/538/538 型汽轮机

该汽轮机为亚临界、一次中间再热、单轴双缸双排汽、反动式、凝汽式汽轮机, 是哈尔滨汽轮机厂按照引进的美国西屋公司技术制造的。

额定功率 (经济功率) 为 300MW, 最大功率为 326MW。保证净热耗 $7921 \text{ kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

该机通流部分由高、中、低压三部分组成, 共 35 级, 除高压调节级为冲动级外, 其余 34 级均为反动级。其中, 高压缸 1 个单列调节级+11 个反动压力级, 中压缸 9 个反动压力级, 低压缸 2×7 个反动压力级。末级动叶片长度为 900mm。由一个高、中压合缸和一个分流低压缸组成, 高、中压缸均为双层缸结构, 低压缸为三层缸结构。

高压通流部分设计为反向流动, 高压和中压进汽口都布置在高、中压缸中部。新蒸汽经两个自动主汽阀后, 再经 6 个调节阀后进入高压缸。蒸汽在高压缸做功后, 由高、中压缸前端下半部的两个高压排汽口排出, 经锅炉再热器后, 再经两个中压联合汽门进入中压缸。做功后经高、中压缸后端的一个排汽口导入低压缸中部的进汽口, 分别向前后两个方向流动, 做功后向下排入凝汽器。

高、中、低压转子均为整锻结构, 转子间采用刚性连接。该机共有 4 个支持轴承和 1 个轴向推力轴承, 其中, 1 号、2 号支持轴承 (即高中压部分两端轴承) 为 4 片可倾瓦结构, 3、4 号支持轴承 (即低压部分两端轴承) 为球面支撑的圆筒形轴承。推力轴承设置在前轴承箱中, 在 1 号支持轴承前, 为自位式推力轴承。

全机共有 8 段回热抽汽, 分别在压力级第 8、11、16、20、22、24~26 级后抽出至相应的 3 个高压加热器、1 个除氧器和 4 个低压加热器。

给水泵配置 $2 \times 50\%$ 汽动给水泵+ $1 \times 50\%$ 电动调速泵。驱动给水泵汽轮机的汽源为中压缸排汽, 在机组低负荷运行时, 自动切换为主机新蒸汽, 其排汽进入主机凝汽器。

机组的第 4、5 段抽汽有一部分蒸汽可供厂用汽。

机组配有 30% 额定容量的两级串联旁路系统。

该机调节系统为 DEH-Ⅱ 型数字电液调节系统。

(三) 上海汽轮机厂 N300-16.7/537/537 型汽轮机

该汽轮机为亚临界、一次中间再热、单轴双缸双排汽、反动式、凝汽式汽轮机，是上海汽轮机厂引进美国西屋公司技术优化改进后制造的。

该机总体结构及蒸汽参数与哈尔滨汽轮机厂引进型 N300-16.7/538/538 汽轮机基本相同，不同之处是该机末级叶片长度为 869mm。

(四) 北京重型电机厂 N330-17.75/540/540 型汽轮机

北京重型电机厂生产的 330MW 汽轮机是根据北京重型电机厂与法国阿尔斯通公司 (ALSTOM) 签订的 300MW 级汽轮发电机组长期合作协议生产的。

该汽轮机为亚临界、一次再热、三缸两排汽、凝汽式汽轮机，额定功率为 330.416MW，最大功率为 344.595MW。包括高压、中压和低压三个汽缸。高压通流部分 11 级，中压 12 级，低压 2×5 级，末级叶片长度为 1055mm。

汽轮机采用三缸结构。高、中、低压缸的设计采用双层缸、薄壁、大圆弧过渡高窄法兰结构。上猫爪结构，无法兰加热装置，使得汽轮机在启动、带负荷、连续稳定运行及冷却过程中，温度梯度造成的变形量很小，始终保持正确的同心度。

330MW 汽轮机采用三缸结构，比其他厂生产的汽轮机长 11.5m，并增加了两个轴承。高、中压分缸有利于减小转子热应力，便于采用中压缸启动，机组启动快、调峰灵活。

330MW 汽轮机中压级数比高、中压合缸的汽轮机多，从而降低了低压缸的进汽压力，增大了低压缸的容积流量。这样可以提高低压缸的叶片高度，减小二次流损失和漏汽损失。因此，汽轮机内效率较高。

除低压缸末级、次末级外，所有叶片均为非调频叶片，采用叉型叶根和整圈围带，叶片在允许的频率变化范围内不产生共振。末级和次末级叶片均采用圆弧枞树型叶根。末级叶片采用准三维/全三维计算设计，叶片长为 1055mm，采用整体鳍片式拉筋，无围带。末级叶片采用中频淬火硬化，无司太立合金焊层。机组低压部分设有足够的去湿疏水口。

高、中压模块整装出厂，不用现场装配。

汽轮机的 6 个轴承均采用椭圆轴承。

绝对死点设置在中压缸后部靠近轴承中心线处高、中压缸之间，高压缸和推力轴承之间采用了推拉装置。

盘车装置为自动啮合型，能够实现程序控制。盘车转速为 54r/min。

回热系统共设计有 7 段抽汽，分别供给两台高压加热器、1 台除氧器和 4 台低压加热器。高压加热器设置有内置疏水冷却器和 1 台外置式过热蒸汽冷却器，各级加热器疏水逐级自流。

该机可配置电液控制的 70%BMCR 和 40%BMCR 的高、低压旁路系统。高压旁路的容量取决于冷态启动。低压旁路的容量取决于极热态启动。

该机采用 DEH-ⅢA 调节系统。

(五) 300MW 级汽轮机的特点

1. 通流部分

通流部分的设计有冲动式和反动式两种基本形式, 它们各有特点。无论是冲动式还是反动式机组, 其调节级均为单列冲动式。

上海汽轮机厂和哈尔滨汽轮机厂都针对所生产的机组通流部分做了多次的改进, 使热耗有了大幅度地下降。主要的改进有: 高压缸增设一级抽汽, 增加 1~2 级叶栅, 应用可控温方法设计通流部分, 采用叶片自带围带取代铆接围带及加长末级叶片等。

东方汽轮机厂生产的机组对通流部分进行了多次改进, 取得了较好的效果。其热耗保证值要低于引进型机组。

北京重型机械厂生产的机组, 其通流部分的主要特点是: 高、中压缸分缸布置, 高压缸抽汽和末级采用了超过 1000mm 的长叶片。

2. 汽缸

300MW 汽轮机的高、中压缸有合缸和分缸两种形式, 低压缸则都采用分流双排汽结构。随着机组容量的增大, 高、中压分缸将是必然的发展趋势。

3. 转子

冲动式和反动式两种不同形式的机组, 转子结构也大不相同。冲动式转子为轮盘结构, 而反动式转子为轮鼓结构。

反动式机组的鼓形转子没有叶轮, 高、中压各级动叶片直接装在转子上开出的叶片槽中。当蒸汽在通流部分膨胀做功时, 会对转子产生很大的轴向推力。为了平衡轴向推力, 一般都将高压级组反向布置。此外, 在引进型的反动式机组上, 还设置了三个平衡活塞, 分别平衡高压和中压部分的轴向推力。低压转子一般都是对分式结构, 通流部分两端对称, 尺寸相同, 其轴向推力基本上能自相平衡。

低压末几级叶片在湿蒸汽区工作, 为了防止水滴冲刷, 一般都采用下列几种防水蚀措施: 加大末几级之间的轴向间隙, 采用较薄的出汽边, 在末级动叶进汽边上部镶焊成型的硬质合金片或采用高(或中)频淬火等。

在转子两个端面的轮盘上一般都设置有平衡螺塞孔或槽, 以便进行不开缸的轴系动平衡加重。

4. 轴承

(1) 径向轴承。合缸机组有 4 个轴承, 分缸机组有 6 个径向轴承。轴承的支撑结构: 1 号轴承均座落在前轴承箱内, 低压转子的两个轴承均座落在低压缸上(直接空冷机组的低压轴承为落地式), 而中间轴承全部为落地式支撑。

轴瓦的结构形式, 除北京重型机械厂生产的机组 1~6 号瓦均为上瓦不开径向沟槽的椭圆瓦外, 其余三个厂家的机组均同时采用可倾瓦、椭圆瓦和圆筒瓦。

(2) 推力轴承。推力轴承大机组上则采用金斯伯里均压式, 它一般都单独安装。引进型机组装在前箱内, 东方汽轮机厂和北京重型机械厂生产的机组则装在 2 号、3 号瓦之间。

5. 调节保安系统

(1) DEH 控制系统。多数大机组上采用 DEH 控制系统。接受来自机组的三个模拟量信号: 转速、发电机输出功率及汽轮机的调节级后压力。在计算机中进行数据处理和运算, 其输出变换通过电液伺服阀把电信号转换成液压力, 最后去控制主汽门和调节汽门的油动机

开度。

(2) 液压伺服系统。汽轮机的每一个主汽门和调节汽门都有一套独立的液压伺服系统，是一种控制型的阀门机构，可以根据外界负荷的变化将汽门控制在任意位置上。

(3) 危急遮断系统。当机组故障需要停机时，危急遮断系统动作使安全油失压，油动机活塞下的高压油通过卸荷阀快速泄油，从而关闭汽门。汽轮机的危急遮断系统一般都设有下列几种保护：超速保护、轴向位移保护、润滑油和 EH 油压保护，以及低真空保护等。

危急遮断系统包括三个部分：自动停机脱扣系统、OPC 超速保护和电气超速保护系统。

由两只超速控制电磁阀和四只自动停机电磁阀之间相互串联和并联，形成双通道。在 OPC 和 AST 油路之间装有两个并联单向阀，在四个 AST 电磁阀同时动作时，安全油快速泄压，关闭主汽门和调速汽门停机。当机组转速升高到 103% 额定转速时，两只并联的 OPC 电磁阀只要有一只动作，就可使调速汽门关闭，但不会停机。

6. 供油系统

供油系统是由润滑油系统和 EH 油系统两个相互独立的系统所组成的。

(1) 润滑油系统。润滑油系统向机组提供润滑油、顶轴油及发电机密封油。

润滑油系统由主油泵，交、直流辅助油泵，注油器，冷油器，润滑油箱，顶轴装置及净油系统等组成。北京重型机械厂生产的机组在每个轴承的进油口前加装有过滤器，并在油系统的分油路中还加接有离心式油处理机。正常运行时，润滑油系统的全部需油量由主油泵和注油器提供。

除北京重型机械厂生产的机组外，其他几种机型的润滑油系统中都采用了套装油管，即压力油套装在回油管中。这种结构有利于消除火灾隐患。但发电机部分一般不用套装结构，其轴承回油专门排入氢密封油箱。

(2) EH 油系统。EH 油系统的功能是提供高压抗燃油，以驱动汽轮机进汽阀的伺服执行机构。供油系统由油箱、冷油器滤油器、高低压蓄能器、油泵等组成。EH 油泵设有两套，容量相同，互为备用。

EH 油从油泵打出，经过滤油器、卸荷阀、止回阀和过压阀进入高压油总管和蓄能器，建立起系统油压。当高压油泵在泄荷阀和蓄能器作用下，承载与卸载工况下交替运行时，使能量的消耗和油温的升高减少，提高油泵的工作效率和延长油泵的使用寿命。回油经过滤油器和冷油器后流回油箱。回油管内因有压力回油，管中的压力靠低压蓄能器维持。

三、国产 600MW 级汽轮机

国产 600MW 级汽轮机有亚临界和超临界两种。

N600-16.7/538/538 型 600MW 汽轮机为哈尔滨汽轮机厂和上海汽轮机厂引进西屋公司技术，经国产化和优化设计，为亚临界、单轴、四缸四排汽、反动式、再热、凝汽式。

CLN600-24.2/566/566 型 600MW 汽轮机为超临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽、反动式、双背压凝汽式。

DT600-40T 型 600MW 汽轮机为东方汽轮机厂引进日立公司技术，联合设计生产的亚临界、单轴、三缸四排汽、冲动式、中间再热、凝汽式汽轮机。

(一) 哈尔滨汽轮机厂 N600-16.7/538/538 型汽轮机

该机为亚临界、一次中间再热、单轴、四缸四排汽、反动式、凝汽式汽轮机。额定功率（经济功率）为 600MW，最大功率为 657MW。保证净热耗率 7896kJ/(kW·h)。

该机由 1 个高压缸、1 个分流中压缸和两个分流低压缸组成。高压缸为双层缸结构, 共有 11 级, 除冲动式的调节级外, 其余 10 个压力级均为反动级; 中压缸采用分流结构, 每一流向由 9 个压力反动级组成; 两个低压缸都是双流程的, 每一个流程由 7 个压力反动级组成, 故低压缸共有 28 级, 整台汽轮机由 57 级组成。末级叶片长度为 900mm。新蒸汽经两个自动主汽门和 4 个调节汽门后进入高压缸, 蒸汽在高压缸做功后, 通过高压外缸下部的两个排汽口排出, 去锅炉再热器。再热后的蒸汽经过两组由 1 个再热主汽阀和两个调节汽阀组成的组合再热汽门送至汽轮机中压缸, 通过中压缸上、下两个进汽口进入中压缸内做功, 然后经中压缸两端上缸的各两个排汽口分别排出。蒸汽由两个导汽管进入低压缸做功, 最后经排汽缸进入凝汽器。

机组的中压缸为双层结构, 低压缸为三层缸结构。哈尔滨汽轮机厂的 600MW 汽轮机的低压缸结构与 300MW 汽轮机的低压缸结构完全相同。

该机共有八段抽汽, 供 3 台高压加热器、1 台除氧器、4 台低压加热器。

(二) 哈尔滨汽轮机厂 N600-16.7/538/538-1 型汽轮机

该汽轮机为亚临界、一次中间再热、三缸四排汽、单轴、凝汽式汽轮机。机组采用合作制造方式, 高、中压积木块为日本东芝公司制造, 低压积木块为哈尔滨汽轮机厂制造。

汽轮机通流部分采用冲动式与反动式组合设计。新蒸汽从位于汽轮机前部悬吊的两个自动主汽门和 4 个调速汽门, 由上、下半各两根导汽管进入汽轮机高压缸的上下半缸。高压通流部分由 1 个冲动式调节级和 8 个冲动式压力级组成, 做功后由两个高压排汽口汇入一个高压排汽止回阀排入再热器。再热蒸汽从高、中压缸两侧的两个再热主汽调节联合阀进入中压缸。中压通流部分由 6 个冲动式压力级构成, 蒸汽做功后, 从中压缸上部唯一的排汽口排出, 经中、低压连通管, 分别进入 1 号、2 号低压缸中部。两个低压缸均为双分流结构, 蒸汽从通流部分的中部流入, 经过正反向 7 级反动级后, 流向每端的排汽口, 然后蒸汽导入安装在每一个低压缸下部的凝汽器。汽缸下部留有抽汽口, 抽汽用于给水加热。回热系统采用 3 个高压加热器、4 个低压加热器、1 个除氧器的方式布置。

高、中压缸合缸是双层缸结构, 高、中压外缸和内缸通过水平中分面形成了上下两半。低压外缸全部由钢板焊接而成, 为了减少温度梯度, 设计成 3 层缸, 由外缸、1 号内缸和 2 号内缸组成, 减少了整个缸的绝对膨胀量。汽缸上下半各由 3 部分组成: 调节汽门端排汽部分、发电机端排汽部分和中间部分。各部分之间通过垂直法兰面由螺栓连成一体。

汽轮机整个轴系由 3 根转子加 1 个中间轴组成, 高、中压转子跨距 6100mm, 低压转子跨距 5740mm; 高、中压转子和 1 号低压转子采用刚性联轴器连接, 低压转子之间通过中间轴连接; 2 号低压转子和发电机转子采用刚性联轴器连接。机组共有 6 个支持轴承和 1 个推力轴承, 其中, 支持轴承全部采用四瓦块可倾瓦轴承。推力轴承位于高、中压缸发电机端的中轴承箱内, 采用自位式推力轴承, 推力盘两侧的支承环内各安装 10 块可摆动的推力瓦块。盘车装置采用链条、蜗轮蜗杆、复合减速齿轮、啮合摆轮的低速盘车装置。

(三) 东方汽轮机厂 DT600-40-T 型 600MW 汽轮机

东方汽轮机厂生产的 600MW 汽轮机是与日本日立公司联合设计生产的, 为亚临界、一次中间再热、单轴、三缸四排汽、冲动式汽轮机。

主蒸汽从高、中压外缸中部上下对称布置的 4 根导汽管进入汽轮机, 在高压缸做功后排出, 进入锅炉再热器。再热蒸汽同样由高、中压缸中部进入汽轮机的中压部分, 做功后经一

根异径连通管分别进入两个双流低压缸做功，最后排入双背压凝汽器。

高、中压部分采用合缸结构。汽缸的高温部分上半和下半接近于对称设计，尽可能保证在温度变化时汽缸均匀地膨胀和收缩。

低压缸有 A、B 两个，为分流式双层缸焊接结构，具有良好的空气动力性能。整个汽缸的上下部分分别分为三块，可以整体装运，分块运输。

汽轮机通流部分共 40 个级。高压通流部分包括 1 个单列调节级和 6 个压力级，中压通流部分包括 5 个压力级，高压通流部分和中压通流部分采用合缸反流布置。低压部分为两个双流低压缸，包括 $2 \times 2 \times 7$ 压力级。通流部分各级均为冲动级。采用改进型层流喷嘴静叶片和动叶片、三元高效弯扭静叶片、平衡动叶片，末级叶片采用 1016mm (40in) 长叶片；高压缸叶片采用外包菌型叶根，中压缸各级采用轴向装入式枞树型叶根，低压缸 15 级为外包菌型叶根，次末级和本级采用叉型叶根。

隔板汽封采用迷宫式高、低齿结构的椭圆汽封，叶顶部采用多层汽封，以减少隔板汽封和动叶叶顶部位的漏汽量；轴端汽封采用椭圆汽封，以减少轴端的漏汽量。

机组有两只高压主汽阀。有四只主蒸汽调节阀用来调节进入汽轮机的蒸汽量。四个调节阀成一字形安装在一个公用的阀壳内，调节阀壳与汽轮机本体分离。中压主汽阀和中压调节阀为联合阀，两者共用一个阀座。中压主汽阀为套阀，中压调节阀为球阀，两者可各自独立，互不干扰地进行全行程移动。

高、中压转子采用两只可倾瓦轴承支撑，两根低压转子各用两只椭圆轴承支撑。各轴承均为水平中分式、球面支座，具有自动对中和调整能力。推力轴承位于高、中压缸与 A 低压缸之间，为斜面式双推力盘结构。

盘车装置安装在汽轮机和发电机之间，由电动机和齿轮系组成。盘车转速约为 1.5r/min。

为了防止甩负荷时，蒸汽通过中间汽封进入中、低压缸做功，造成机组转速过度飞升，在高、中压中间轴封处有一个紧急排放阀，当中压调节阀关闭时，紧急排放阀自动打开，将大部分的泄漏蒸汽排入凝汽器。

在高压缸排汽管道上安装了一个通风阀，该阀与凝汽器连通。在机组采用中压缸启动或使用高、低压旁路带低负荷运行时，该通风阀有助于防止由于高压缸排汽，部分转子鼓风损失而过热。

回热系统有 8 级非调整抽汽，分别供给 3 台高压加热器，1 台除氧器和 4 台低压加热器。各级加热器的疏水逐级自流，系统不设低压疏水泵。

正常运行时，给水泵汽轮机的汽源来自中压缸排汽，给水泵汽轮机的排汽进入主凝汽器。

润滑油系统为汽轮机主轴驱动的主油泵、油涡轮系统。主油泵的压力油驱动装在油箱上的油涡轮，油涡轮驱动同轴的离心式升压泵，升压泵的排油供主油泵的吸油，主油泵的压力油经过油涡轮后压力下降，排出后经过冷油器冷却后向汽轮发电机的所有轴承提供润滑油，同时向发电机氢气密封系统、盘车齿轮润滑装置供油。油管路采用套装油管。

顶轴油系统共设有 4 台顶轴油泵。其中，发电机前后轴承各设一台顶轴油泵，两台泵既可以单独供油，也可以并列供油。汽轮机 1~6 号轴承设有两台并列运行的顶轴油泵。

(四) 哈尔滨汽轮机厂 CLN600-24.2/566/566 型 600MW 汽轮机

该汽轮机为超临界、一次中间再热、单轴三缸四排汽、双背压、反动式、凝汽汽轮机，