

热电联产机组技术丛书



汽轮机设备与运行

史月涛 丁兴武 盖永光 等编著
孙奉仲 审阅



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

参考文献

参考文献

- [1] 国家电力调度中心. 电力系统安全稳定运行. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [2] 国家电力调度中心. 电力系统安全稳定运行. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [3] 国家电力调度中心. 电力系统安全稳定运行. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [4] 上海新华控制技术有限公司. 电厂汽轮机数字电液控制系统——DEH. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [5] 王爽心. 汽轮机数字电液控制系统. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [6] 孙奉仲. 大型汽轮机运行. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] 曹祖庆. 大型汽轮机典型事故处理. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [8] 曹祖庆. 汽轮机原理. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [9] 吴学三. 300MW火力发电机组运行. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [10] 陈庆. 单元机组运行. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [11] 陈庆. 单元机组运行. 北京: 中国电力出版社, 2004.

汽轮机设备与运行

史月涛 丁兴武 盖永光 等编著

孙奉仲 审阅



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书结合热电联产系统中汽轮机设备的特点及其运行实际,全面系统地探讨了热电联产汽轮机的结构、基本供热原理、供热的调节、部件的强度、电热负荷的调节、供热汽轮机组的启停等。内容反映了我国供热领域供热汽轮机的研究现状以及国内外的新技术、新设备和新成果。

本书可供热电联产从业技术人员和管理人员阅读,也可以作为热能工程、环境设备与工程等专业的师生及相关设计、施工、研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机设备与运行/史月涛等编著. —北京:中国电力出版社, 2008

(热电联产机组技术丛书)

ISBN 978-7-5083-5907-6

I. 汽... II. 史... III. 火电厂-蒸汽透平
IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 103189 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

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 22.5 印张 550 千字
印数 0001—3000 册 定价 38.00 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

热电联产机组技术丛书

编 委 会

主 编 孙奉仲

副主编 黄新元 张洪禹 张居民 马传利 高玉军

江心光 秦箴林 蔡新春 陈美涛 黄胜利

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁兴武 马思乐 王乃华 史月涛 史永春

任子芳 刘伟亮 李光友 李树海 杨祥良

宋 伟 张卫星 张开菊 张 明 陈莲芳

姬广勤 高 明 盖永光 程世庆 潘贞存

提高能源的利用效率,合理利用能源是关系到国民经济发展、建设节约型社会、实施循环经济的重要内容,而且影响到生态环境和人类的生存,也是从事能源研究的学者和工程技术人员重点研究的课题。热电联产和集中供热就是可以达到上述目的的重要技术规划和措施之一。热电联产,已经问世一百多年,我国发展热电联产也走过了半个多世纪的路程。由于热电联产对于节能和环境保护意义重大,尤其是在 21 世纪的今天,世界各国非常重视。1997 年制定的《中国 21 世纪议程》和《中华人民共和国节约能源法》、2000 年制定的《中华人民共和国大气污染防治法》等法规,都明确鼓励发展热电联产。2000 年原国家计划委员会、经济贸易委员会、建设部、环境保护总局联合下发的《关于发展热电联产的规定》,是指导我国热电联产发展的纲领性文件。国家发展和改革委员会 2004 年颁布的《节能中长期专项规划》中,明确把热电联产列入 10 项重点工程。规划指出:在严寒地区、寒冷地区的中小城市和东南沿海工业园区的建筑物密集、有合理热负荷需求的地方将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组;在工业企业(石化、化工、造纸、纺织和印染等用热量大的工业企业)中将分散的小供热锅炉改造为热电联产机组;分布式电热(冷)联产的示范和推广;对设备老化、技术陈旧的热电厂进行技术改造;以秸秆和垃圾等废弃物建设热电联产供热项目的示范;对热电联产项目给予技术、经济政策等配套措施;到 2010 年城市集中供热普及率由 2002 年的 27% 提高到 40%,新增供暖热电联产机组 40GW。形成年节能能力 3500 万 t 标准煤。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中也把能源的综合利用放在了首要位置,在与热电联产技术有关的部分,指出应重点突破基于化石能源的微小型燃气轮机及新型热力循环等终端的能源转换技术、储能技术、热电冷系统综合技术,形成基于可再生能源和化石能源互补、微小型燃气轮机与燃料电池混合的分布式终端能源供给系统。

到 2003 年底,全国已建成 6MW 及以上供热机组 2121 台,总装机容量达到 43.7GW。预计到 2020 年,中国热电联产机组容量将达到 200GW,年节约 2 亿 t 标准煤,减少 SO_2 排放 400 万 t 以上,减少 NO_x 排放 130 万 t,减少 CO_2 排放 718 亿 t。热电联产将为能源节约、环境保护、经济和社会发展做出重大贡献。

《热电联产机组技术丛书》的出版,是应时之作,是应需之作。该套丛书由七个分册组成,包括《热电联产技术与管理》、《热力网与供热》、《锅炉设备与运行》、《汽轮机设备与运行》、《电气设备与运行》、《化学水处理设备与运行》和《热工过程监控与保护》。内容涉及到热电联产机组的最新技术、管理知识;涉及到热力网的运行与管理维护,国内外的发展与政策,环境保护与节约能源,热电联产生产工艺中具体过程和设备的工作原理、基本结构、

工作过程、运行分析、事故处理、最新进展等；涉及到供热的可靠性分析；涉及到供热的分户计量；涉及到代表最新技术发展趋势的热力设备和热工过程的计算机控制技术。可以说，热电联产的每一个重要环节均涉及到了。其中，不少内容是第一次出现在科技专著上。丛书主要面向热电联产的运行、检修、管理人员，从设备的结构、原理到运行以及事故处理，从系统组成到管理控制，从运行监督到经济性分析、可靠性分析等，既有传统的热力设备理论基础作为铺垫，又有现代科学技术的融入，兼顾到了各个层面，还介绍了具体的运行实例和事故实例。

该套丛书既体现了丛书的系统性、专业性、权威性，又体现了实用性。

随着我国对节约能源和环境保护的重视，热电联产事业将会得到更快的发展，热电联产技术水平也会获得快速提升，一批大容量、高参数的热电联产机组也将逐步建成投产。该套丛书的出版，将对发展热电联产，提高热电联产企业运行、检修技术和管理水平，具有重要意义！

丛书编委会

编者的话

本书是《热电联产机组技术丛书》之一。国家“十一五”发展规划明确提出建设资源节约型、环境友好型社会，节能和环保是“十一五”规划明确提出的约束性指标之一。与传统的热电分产相比，热电联产具有显著的节能环保效益。热电联产机组范围广、品种多，不仅包括非再热的背压机、抽凝机等各种传统机型，而且新上和改造了一大批 300、200MW 等级的再热供热机组，这种大机组供热在节能和环保两个方面效益显著。

与传统的热电联产汽轮机以及纯凝汽轮机相比，大型供热汽轮机不仅在热力系统上具有本质的不同，这导致了运行的本质变化；而且由于这些机组年代新，普遍采用许多新技术，在调节系统和结构上也出现了很多新的变化。目前国内专门针对大型供热汽轮机的著作较少，这是本书写作的初衷。

本书在介绍各种基础知识的基础上，重点突出了结构上采用的新技术、新型数字电液调节系统、机组运行、事故处理以及辅机运行等内容。不仅适用于传统热电联产汽轮机的工作人员，使得这些热电机组在现有的基础上最大限度地扬长避短，避免浪费。而且还适用于大型热电联产汽轮机工作人员，有助于他们尽快掌握汽轮机的结构特点和运行特性。

本书由史月涛、丁兴武、盖永光、王伟、田林、韩秀涛、张付新编著。全书由山东大学孙奉仲教授审阅，在审阅中，孙奉仲教授提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心感谢！感谢蒋顺军、陈自雨、董玉华、张钦家、邹海涛、董信光等为本书做出的贡献。

在资料收集过程中，得到了里彦电厂，滕州武所屯电厂等有关领导和同志的大力支持，在此一并表示感谢！

由于部分设备所搜集厂家资料不全，加之编者水平所限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2007 年 12 月

Contents

目 录

前言	1
第一章 概述	1
第一节 供热汽轮机简述	1
第二节 汽轮机的分类和型号	3
第三节 供热汽轮机的规范及保证值	6
第二章 汽轮机本体	22
第一节 转子	22
第二节 叶片	27
第三节 汽缸和滑销系统	33
第四节 喷嘴、隔板及其附件	41
第五节 汽封	46
第六节 轴承	51
第七节 盘车装置	60
第八节 联轴节	65
第九节 大机组供热及采用新技术带来结构性特点	68
第三章 液压式调节系统	75
第一节 调节系统的作用与分类	75
第二节 机械液压调节系统原理	77
第三节 抽汽式汽轮机的液压调节系统	80
第四节 背压式汽轮机的液压调节系统	89
第五节 调节系统主要部套	93
第六节 保安系统	100
第七节 供油系统	105
第八节 供油系统主要部件	109
第四章 数字电液调节系统 (DEH)	120
第一节 DEH 概述	120
第二节 数字电液调节系统 (DEH) 组成和功能	120

第三节	数字电液调节系统 (DEH) 的系统结构	129
第四节	DEH 工作原理	135
第五节	低压汽轮机油系统	139
第六节	危急遮断系统 (ETS)	150
第五章	汽轮机的运行	158
第一节	汽轮机部件的热应力、热变形与热膨胀	158
第二节	汽轮机启动的分类	164
第三节	冷态滑参数启动	166
第四节	额定参数启动	174
第五节	热态启动和温态启动	175
第六节	中压缸启动	179
第七节	停机	181
第八节	正常运行中的维护与检查	188
第九节	调峰运行	196
第十节	汽轮机的异常运行	204
第十一节	运行可靠性	206
第六章	汽轮机的几种典型事故处理	209
第一节	汽轮机重大事故的处理原则	209
第二节	汽轮机动静部分摩擦及大轴弯曲	211
第三节	汽轮机进水	215
第四节	汽轮机叶片损坏	217
第五节	汽轮机超速	221
第六节	轴承烧损事故	223
第七节	汽轮机真空恶化	226
第八节	油系统故障	229
第九节	汽轮发电机甩负荷	235
第七章	凝汽设备及其运行	239
第一节	凝汽设备概述	239
第二节	凝汽器	241
第三节	抽气设备	252
第四节	胶球清洗系统及其运行	263
第五节	冷却塔	270
第六节	凝汽设备的运行	273
第七节	低真空供热	281
第八章	加热器及其运行	284
第一节	加热器的分类	284
第二节	高压加热器及其运行	285

第三节 低压加热器及其运行	293
第四节 除氧器及其运行	296
第九章 水泵及其运行	313
第一节 给水泵及其运行	313
第二节 液力耦合器	326
第三节 凝结水泵	335
第四节 循环水泵	345
参考文献	349
171	章四第
172	章五第
173	章六第
181	章七第
188	章八第
191	章九第
198	章十第
208	章十一第
209	章六第
209	章一第
212	章二第
213	章三第
217	章四第
223	章五第
223	章六第
226	章七第
233	章八第
233	章九第
233	章十第
233	章十一第
233	章一第
241	章二第
252	章三第
263	章四第
270	章五第
272	章六第
281	章七第
284	章八第
285	章一第
285	章二第

概 述

第一章



第一节 供热汽轮机简述

一、汽轮机在国民经济中的地位

汽轮机是一种以蒸汽为工质，并将蒸汽的热能转化为机械能的旋转机械，是现代火力发电厂中应用最广泛的原动机。它具有单机功率大、效率高、运转平稳和使用寿命长等优点。无论是在常规的火电厂还是在核电站中，都采用以汽轮机为原动机的汽轮发电机组。全世界由汽轮发电机组发出的电量约占各种形式发电总量的 80%。汽轮机是火力发电厂中三大主要设备之一，汽轮机设备及系统包括汽轮机本体、调节保护系统、辅助设备及热力系统等。

在热力发电厂中，可以利用汽轮机的排汽和中间抽汽来满足生产和生活上供热的需要，这种既供电也供热的汽轮机称为供热式汽轮机，在能源的综合利用方面具有较高的经济性，对合理利用能源资源也具有十分重要的意义。到目前为止，无论是在生产电能还是供应热能方面，汽轮机都发挥着极其重要的作用。

二、汽轮机的发展方向

自 1883 年瑞典工程师拉瓦尔和 1884 年英国工程师帕森斯分别创制了第一台实用的单级冲动式汽轮机和多级反动式汽轮机以来，汽轮机已有一百余年的历史。

近几十年来，汽轮机发展尤为迅速，其发展的主要特点是：

(1) 增大单机功率。世界工业发达国家的汽轮机生产在 20 世纪 60 年代已达到 500~600MW 机组等级水平。1972 年，瑞士 BBC 公司制造的 1300MW 双轴全速汽轮机 (24MPa/538℃/538℃、 $n=3600\text{r/min}$) 在美国投入运行；1976 年，联邦德国 KWU 公司制造的单轴半速 ($n=1500\text{r/min}$) 1300MW 饱和蒸汽参数汽轮机投入运行；1982 年，世界上最大的 1200MW 单轴全速汽轮机 (24MPa/540℃/540℃) 在苏联投入运行；苏联 全力推进 2000MW 的高参数全速汽轮机的开发工作。增大单机功率不仅能迅速发展电力生产，而且具有下列优点：

1) 单位功率投资成本低。如苏联 800MW 机组的单位功率成本比 500MW 机组的低 17%，而 1200MW 机组的单位功率成本又比 800MW 机组的低 15%~20%。

2) 单机功率越大，机组的热经济性越好。如法国 600MW 机组的热耗率比 125MW 机组的热耗率降低了 276.3kJ/(kW·h)，即每年可节约标准煤 4 万 t。

3) 加快电站建设速度，降低电站建设投资和运行费用。

(2) 提高蒸汽参数。增大单机功率后适宜采用较高的蒸汽参数。现代大功率机组采用的新蒸汽参数越来越高，从高温高压机组发展到超高压、亚临界、超临界机组。当今世界上 300MW 及以上容量的机组均采用亚临界 (16~18MPa) 或超临界压力 (23~26MPa) 机组，甚至采用超超临界压力的机组 ($p_0=32\text{MPa}$, $t_0=600^\circ\text{C}$)；到 2000 年，最高进汽参数达到 $p_0=35\text{MPa}$, $t_0=650^\circ\text{C}$ 。蒸汽初温度多采用 535~565℃，即尽量控制在珠光体钢允许的 565℃以下，力求不用或少用奥氏体钢。

(3) 普遍采用中间再热。采用中间再热后可降低低压缸末级排汽湿度,减轻末级叶片水蚀程度,为提高蒸汽初压创造了条件,从而提高机组内效率、热效率和运行可靠性。有些机组甚至采用了二次再热。

(4) 采用燃气—蒸汽联合循环,以提高电厂效率。目前,以天然气和油为燃料的燃气蒸汽联合循环发电效率已达 50% 以上,技术已经成熟;以煤为燃料的联合循环,例如整体煤气化联合循环(IGCC),在我国也在筹划建设中。

(5) 提高机组的自动化水平。大功率机组的控制极其复杂,计算机技术的发展使得机组的自动化控制水平逐渐提高。利用计算机可以进行运行的实时监控,性能、效率的在线计算,启动、停机、增减负荷的自动控制等。目前,国外已经有了以计算机为主体的全自动化火力发电厂,同时还有效利用彩色电视显像、音响通报装置、辅机听声装置等视听机能综合的人机对话系统。可以说,国外某些电厂已进入了利用设备诊断技术,以系统运行管理为目标超自动运行火力发电时代。

(6) 提高机组的可靠性。机组容量大、系统结构复杂,相应地发生事故的因素也增多,因此提高其安全可靠性非常重要。现代大机组在结构设计上采取了大量提高可靠性的措施,例如单独阀体结构、多层汽缸、转子冷却、取消转子中心孔等。为了提高机组运行、维护和检修水平,增设和改善了保护、报警和状态监测系统,有的还配置了智能化故障诊断系统。

(7) 提高机组的运行水平。基于寿命管理的变负荷控制方式,机炉电的协调控制等都是运行水平提高的标志。随着电网容量的不断增大,调峰任务也势必落到大机组上,因此大机组在结构、系统方面应能适应变工况运行的性能要求。经常保持主辅设备和系统的优化运行,以提高机组运行经济性,并保证规定的设备使用寿命,这是评价大容量机组技术水平的重要标尺。

三、热电联产汽轮机目前的地位和作用

《中华人民共和国节约能源法》第三十九条中明确指出:“国家鼓励发展下列通用节能技术:推广热电联产、集中供热,提高热电机组的利用率,发展热能梯级利用技术,热、电、冷三联产技术和热、电、煤气三联供技术,提高热能综合利用率。”例如,按照等量法计算,1kg 煤发电、1kg 煤供热与 2kg 煤热电联产,热电分产即便采用 600MW 超临界发电机组和较高效率的燃煤供热锅炉也只能发出 3.11kW·h 电力和供应 4.88kW·h 热能;热电联产即便采用 12MW 的普通热电机组,也能发电 3.62kW·h 和供应热量 6.15kW·h。由此看来,国家所肯定的仍然是城市集中供热,这也是我国国情所必需的。

中国电力企业联合会发布的统计数据表明,传统火力发电的燃煤能源利用率在 35% 左右;而热电联产的燃煤能源利用率在 45% 左右;同样,传统分散供热效率很低,而热电厂集中供热效率可达到 90%。与传统的热电分产比较,热电联产将有可能将过去白白浪费排放到空气中的蒸汽加以充分利用,具有显著的节能环保效应;加之热电厂采用分布式能源模式,能有效地避免大面积停电事故的发生,发达国家普遍把发展热电联产等分布式能源作为节能环保和保证供电安全的重要举措之一。也正因如此,国家发展和改革委员会在 2004 年 11 月发布的《节能中长期专项规划》中,将发展热电联产作为我国“十一五”期间组织实施的十项节能重点工程之一。

热电厂普遍采用循环流化床燃烧技术,二氧化硫和固体废弃物排放几乎为零,碳氧化物排放也减少 50% 以上,这还不算热电厂集中供热取代烟囱林立的小锅炉分散式供热的环

保效应。某省 6MW 以上热电总装机容量为 3640MW, 仅 2005 年一年, 依靠热电联产便节省能源约 203 万 t 标准煤, 减少排放二氧化碳 140 万 t、二氧化硫 6.2 万 t、烟尘 17 万 t。

热电联产汽轮机范围广、品种多。不仅包括 100MW 以下的非再热式汽轮发电机组, 还包括一些 300MW 左右的再热式汽轮发电机组。如何使得这些热电机组在现有的基础上最大限度地扬长避短, 避免浪费, 成为这些企业的首要任务, 这也是本书的初衷。

第二节 汽轮机的分类和型号

一、汽轮机的分类

(一) 按汽轮机热力系统特征分类

1. 凝汽式汽轮机

蒸汽在汽轮机内做功后, 除有一部分轴封漏汽外, 全部排入凝汽器。在热力系统中, 没有回热抽汽及回热加热器的汽轮机称为纯凝汽式汽轮机。为提高热力循环效率, 将经过汽轮机某几级做功后的蒸汽抽出来, 用以加热凝结水和给水, 具有不调整抽汽的汽轮机叫做凝汽式汽轮机。

2. 调整抽汽式汽轮机

调整抽汽式汽轮机与凝汽式汽轮机的区别在于: 其抽汽压力可以在某一范围内加以调整, 可以有一级调整抽汽, 也可以有两级调整抽汽。抽汽的绝对压力为 0.12~0.25MPa 及 0.8~1.3MPa, 前者可供采暖, 后者可供工业用汽。当然, 供工业用的调整抽汽也有高于 1.3MPa 的其他压力等级。

3. 背压式汽轮机

蒸汽在汽轮机内做完功后, 以高于大气压的压力被排入排汽室, 用以供热用户采暖或工业用汽。这种汽轮机在热力系统中只有给水加热器, 没有凝汽器, 因而不存在冷源损失, 热能利用率高。背压式汽轮机排汽压力较高, 而热用户的用汽量又很小, 其排汽可以供中低压汽轮机使用。这时, 该背压式汽轮机被称为前置机, 而被供汽的汽轮机叫做后置机。

背压式汽轮机和调整抽汽式汽轮机都是既发电又供热的汽轮机, 因此它们又统称为供热式汽轮机。

由于背压式汽轮机没有凝汽器, 其排汽直接供给用户, 不能少供也不能储存。当热负荷大时, 发电出力可以达到额定负荷; 当供热量少时, 电负荷也被限制。因而背压式汽轮机的运行方式是以热定电, 它不能单独运行, 而是与电力系统并列运行, 以系统内的电力去调节背压式汽轮机供电的余缺。

另外, 还有一种汽轮机兼有抽汽式汽轮机和背压式汽轮机两种性能, 叫做抽汽背压式汽轮机。它既有调整抽汽, 又有高于大气压力的定压排汽供给热用户。

4. 中间再热式汽轮机

为了提高发电厂的热经济性并适应大机组发展的需要, 蒸汽初参数在不断提高, 但主蒸汽温度的升高受到金属材料及制造成本的限制, 不能无限制地提高。随着主蒸汽压力的提高, 蒸汽在汽轮机中膨胀至终了的湿度增大。为了使排汽湿度不超过允许限度, 采用了蒸汽中间再热, 称为中间再热式汽轮机。这种汽轮机是将在汽轮机高压缸做完功的蒸汽, 再送回锅炉再热器中加热到接近于新蒸汽温度, 然后回至汽轮机的中低压缸继续做功。

蒸汽采用中间再热,不仅减少了汽轮机排汽湿度,还改善了汽轮机末几级叶片的工作条件,提高了汽轮机的相对内效率。

(二) 按工作原理分

按工作原理分,汽轮机可分为冲动式和反动式两种。蒸汽的热能转变为动能的过程仅在喷嘴中发生,而工作叶片只是把蒸汽的动能转变成机械能的汽轮机叫做冲动式汽轮机,即蒸汽仅在喷嘴中产生压力降,而在叶片中不产生压力降。蒸汽的热能转变为动能的过程不仅在喷嘴中发生,而且在叶片中也同样发生的汽轮机叫做反动式汽轮机,即蒸汽不仅在喷嘴中进行膨胀,产生压力降,而且在叶片中也进行膨胀,产生压力降。小型非再热式汽轮机大部分为冲动式汽轮机。

冲动式汽轮机和反动式汽轮机的叶片和整机结构如图 1-1~图 1-3 所示。

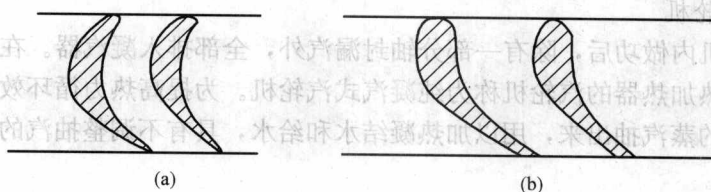


图 1-1 叶片形式

(a) 冲动式叶片; (b) 反动式叶片

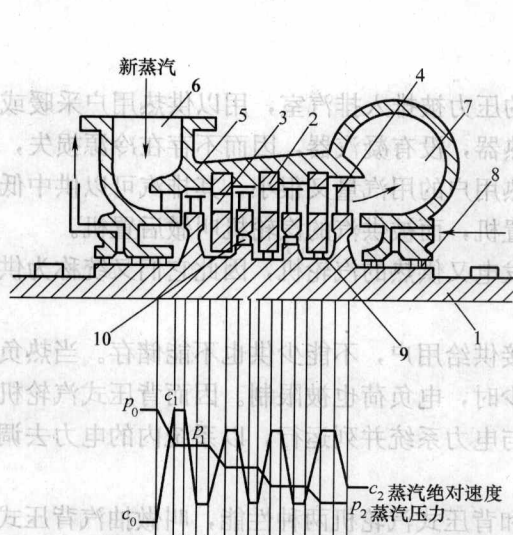


图 1-2 冲动式多级汽轮机结构示意图

1—转子; 2—隔板; 3—喷嘴; 4—动叶片;
5—汽缸; 6—蒸汽室; 7—排汽室; 8—轴封;
9—隔板汽封; 10—平衡孔

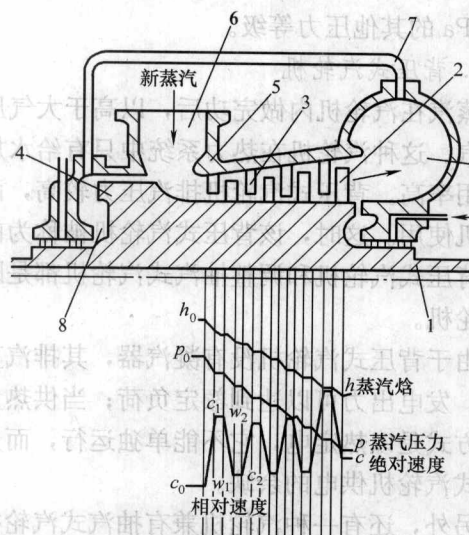


图 1-3 反动式多级汽轮机结构示意图

1—鼓形转子; 2—动叶片; 3—喷嘴; 4—平衡活塞;
5—汽缸; 6—新蒸汽室; 7—平衡管;
8—平衡室; 9—排汽室

(三) 按汽轮机进汽压力分类

按汽轮机进汽压力分,汽轮机可分以下七种:

低压汽轮机: 新汽压力为 1.2~1.5MPa。

中压汽轮机：新汽压力为 2~4MPa。

次高压汽轮机：新汽压力为 5~6MPa。

高压汽轮机：新汽压力为 6~10MPa。

超高压汽轮机：新汽压力为 12~14MPa。

亚临界汽轮机：新汽压力为 16~18MPa。

超临界汽轮机：新汽压力为 22.2MPa。

(四) 按汽缸的数目分类

1. 单缸汽轮机

只有一个汽缸的汽轮机叫做单缸汽轮机。

2. 双缸汽轮机

汽轮机的转子分别装在高、低压两个汽缸内，蒸汽从高压缸流出后进入低压缸。高低压缸转子以联轴节连接。

3. 多缸汽轮机

由于功率的增大，汽轮机单采用一两个汽缸已不能满足功率的要求，所以出现了高、中、低压三缸及多缸的汽轮机。新蒸汽从高压缸排出后经导汽管进入中压缸，从中压缸排出后再经过导汽管进入低压缸。根据结构的需要，中、低压缸也可以分别制成多个。

二、汽轮机的型号

我国目前都采用汉语拼音和数字来表示汽轮机的型号。型号中第一组符号的汉语拼音表示汽轮机的热力特性或用途，见表 1-1；汉语拼音后的数字表示汽轮机的额定功率（MW）。第二组符号由数字组成，表示汽轮机主蒸汽参数，对于不同的汽轮机有不同的意义，见表 1-2。

表 1-1 汉字拼音符号在汽轮机型号中的意义

热力特性	代号	用途	代号
凝汽式	N	工业用	G
背压式	B	船用	H
抽背式	CB	移动式	Y
一次调整抽汽式	C		
二次调整抽汽式	CC		

表 1-2 第二组数字代表的意义

汽轮机类别	第二组数字意义
凝汽式	初 压
抽汽式	初压/高压抽汽压/低压抽汽压
背压式	初压/背压
抽背式	初压/抽汽压/背压

举例如下：

N3-2.35：凝汽式，额定功率为 3MW，初压为 2.35MPa（绝对大气压）。

C12-4.9/0.98：一次调整抽汽式，额定功率为 12MW，初压为 4.9MPa，调整抽汽压力为 0.98MPa（绝对大气压）。

CC12-3.43/0.98/0.49：二次调整抽汽式，额定功率为 12MW，初压为 3.43MPa，一级调整抽汽为 0.98MPa，二级调整抽汽为 0.49MPa。

B3-3.43/0.49：背压式，额定功率为 3MW，初压为 3.43MPa，背压为 0.49MPa。

CB12-4.9/1.18/0.17：抽背式，额定功率为 12MW，初压为 4.9MPa，抽汽压力为 1.18MPa，背压为 0.17MPa。

第三节 供热汽轮机的规范及保证值

一、汽轮发电机组的规范简介

汽轮机规范是指由国际电工委员会 (IEC) 制定的标准。

(一) 功率

国际电工委员会 1985 年版标准对汽轮发电机组功率 (或出力) 等术语的一般定义:

(1) 发电机功率: 发电机接线端 (输出端) 处的功率。若采用非同轴励磁, 还需扣掉外部励磁的功率。

(2) 净电功率: 发电机功率减去厂用电功率。

(3) 经济功率 (ECR): 机组在此功率下, 汽轮机热耗率或汽耗率为最小值。

(4) 保证最大连续功率 (T-MCR): 在规定的端部条件 (合同中规定的各端部条件, 典型的包括有主蒸汽和再热蒸汽参数、冷再热蒸汽压力、最终给水温度、排汽压力、转速、抽汽要求等) 及运行寿命期内, 机组在发电机输出端连续输出的功率。通常在该功率下考核机组所保证的热耗率。在此功率下, 调节汽阀不一定要全开。

(5) 调节汽阀全开 (VWO) 工况的功率: 在规定的主蒸汽参数条件下, 汽轮机调节汽阀全开, 机组所能输出的功率。

(6) 最大过负荷能力: 在规定的过负荷条件下, 如末级给水加热器停运或提高主蒸汽的压力, 汽轮机调节汽阀全开下, 机组所能输出的最大功率。

(二) 热耗率或汽耗率的保证值

按照 IEC 规定, 保证的热耗率和汽耗率应规定一个或几个负荷, 而当保证值是用一系列负荷下的加权平均值来表示时, 应明确一个适当的计算公式。为了校验保证值, 实验所测得的热耗率和汽耗率应考虑试验工况与规定工况的所有差别。

(三) 调节特性

汽轮机在额定蒸汽参数和额定转速下运行, 当最高负荷甩掉时, 调速器的运行应能防止转速升到超速脱扣转速值。

调速器的速度变化率应在额定转速的 3%~5% 之间。由于负荷变化而引起的最小速度变化率应不小于从满负荷到空负荷的平均变化率的 0.4 倍, 在 0~10% 负荷范围内, 对于因负荷变化而引起的最大速度变动率无限制, 而在由最末一个调节阀以外的任何一个喷嘴组调节阀所控制的 90%~100% 功率范围内, 其平均变化率不应超过从满负荷到空负荷平均变化率的 3 倍。调节系统的动态稳定性应予以保证。

汽轮机的调节特性应能使该机组与任何现存机组并列运行, 并且不产生单机的或整体的不正常现象。

汽轮机的空负荷转速在额定转速的 $\pm 0.6\%$ 范围内应是可调的。

为了试验超速脱扣机构, 汽轮机在空负荷时的转速应能控制升高, 并能保证不影响调速器的正常动作。空负荷升速机构应有防止达到危险转速的措施。

在低于额定转速的 98% 或高于额定转速的 101% 的情况下, 不应要求汽轮发电机连续运行。

在应急情况下, 汽轮机可在低于额定转速的 98% 以下运行, 在这种转速下允许运行多

长时间则应由制造厂与用户商定。

除调速器外,汽轮机和发电机还应有一个单独作用的超速保护装置来操纵脱扣系统,以防止过分超速。当突然甩负荷时,如调速器未能动作,超速脱扣装置应能在将最大超速限制在安全值(即防止汽轮机和被驱动机械的任何零部件有任何损伤的安全值)的足够低的转速下动作。对于超速脱扣的整定值,制造厂应在运行说明书中说明。当汽轮机转速降低到安全转速范围内(大于额定转速)时,超速脱扣机构应能立即复位。

汽轮机应设有脱扣系统,不论高压缸和中压缸的调节阀关闭与否,都能完全和迅速地关闭主汽阀,以达到有效地防止蒸汽进入汽轮机的目的。

为了防止汽轮机突然再进汽,脱扣系统应有连锁装置,使得在汽轮机启动时正常采用的控制进汽方法完成以前,脱扣不会复位。

(四) 最高转速

每台汽轮机转子均需作超速试验,最好在制造厂进行。超速试验的试验转速应为:当调速器失灵而且最高转速只由超速脱扣装置的动作来限制时,所能出现的最大转速再加2%。

超速试验的延续时间不得超过2min。超速试验只能进行一次。在任何情况下,超速试验不得超过额定转速的20%。

(五) 振动

汽轮机振动可在轴承座上或轴上测出。直接在轴上测出的振动往往要比在轴承座上测出的值大得多,这取决于轴的节点、拾振器的轴向位置以及轴承设计等因素。处于良好平衡的汽轮机在某一额定转速和稳定工况下运行时所能得到的振动值见表1-3。

表 1-3 汽轮机在某一工况下的振动值

汽轮机额定转速 (r/min)	1000	1500	1800	3000
在轴承座上测量的峰—峰振动值 (μm)	75	50	42	25
在接近轴承的轴上测量的峰—峰振动值 (μm)	150	100	84	50

汽轮机及其被驱动机械的轴系临界转速应避开额定转速足够远,以避免机组在频率变化、超速脱扣和超速试验的转速范围内运行时产生任何有害作用。

(六) 零部件强度

为了校核加工质量和材料强度,所有在工作时承受蒸汽压力的部件,当其工作压力超过大气压力时,应作水压试验。试验时的水压至少应超过该部件规定蒸汽参数工作时所能出现的最高压力50%。虽然部件所用的材料对工作条件设计得合适,却不能承受提高50%的试验压力,其试验压力可由制造厂与订户协议。

如部件过大,不可能进行水压试验,应按协议的方法作泄漏和机械强度的试验。

对于承受高温的部件,如在运行条件下该部件不承受较大的应力,其材料的选择应着眼于避免由于内部结构或组织的变化,或由于材料和周围环境间的作用而形成材料性质的损坏。如为受力部件,则应在试验所得数据的基础上,保证部件在所使用的应力、温度和寿命等条件下不得有断裂或大于许可的变形。

(七) 额定汽压、汽温的变化限制

汽轮机应能适应额定工况在下述限制内变化。

1. 压力