



火力发电设备技术手册

第二卷
汽轮机

中国动力工程学会 主编

机械工业出版社

火力发电设备技术手册

第二卷

汽轮机

中国动力工程学会主编

机械工业出版社

火力发电设备技术手册是一套系统概括火力发电设备各专业技术主要内容的技术工具书。全套手册总结了我国 80 年代以来发展火力发电设备的实践经验,内容丰富、实用,技术先进。全套手册共分锅炉、汽轮机、自动控制、火电站系统与辅机等四卷。

本卷是第二卷汽轮机。主要内容包括汽轮机的总体设计、热力循环、热力和气动设计、结构和本体系统、强度和振动、调节保安和控制系统、机组的寿命管理、性能试验、可靠性分析、制造工艺和材料选用等。

本手册主要为从事火力发电行业设计、制造、运行、科研和管理等方面的科技人员查阅使用,也可供有关的高等学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电设备技术手册 第二卷: 汽轮机/中国动力工程学会主编. -北京: 机械工业出版社, 1998. 12
ISBN 7-111-06754-1

I. 火… II. 中… III. ①火电厂-设备-手册②汽轮发电机-手册 N. TM621-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 27377 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 王琳 陈瑞藻 版式设计: 霍永明 责任校对: 张媛
封面设计: 姚毅 责任印制: 路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·53 印张·3 插页·1620 千字
0 001—2 500 册
定价: 98.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

荟萃火电技术精华
促进能源事业发展

祝贺火力发电设备
技术手册出版

陆燕荪

一九九七·十

编 辑 委 员 会

主任委员 陆燕荪
副主任委员 周鹤良 杨锦山 陈尚文 陈宾墨 梁维燕
委 员 (按姓氏笔划为序)
丁 一 史习仁 田雨时 吕兆璧 吴一权
吴晓华 沈天锡 岑可法 李宗文 张攸民
陈之航 陈延豪 陈德昌 陈瑞藻 宗福新
陆忠麟 周锡生 姜承谟 徐大懋 翁史烈
都兴有 高京生 陶鼎文 谢毓麟 赵昌宗
顾 问 姚福生 汪 耕 霍宏先 郭俊贤
编辑部主任 张攸民
副 主 任 宋汉武

第二卷 汽 轮 机

主 编 陶鼎文

副主编 宗福新 朱家驹 胡先约

主 审 张攸民 吴定一

前 言

随着社会主义现代化建设的快速发展,能源在国民经济中的重要作用已越来越为人们所认识。根据我国的资源情况,火力发电在电力工业中始终占着较大的比例。1995年底,全国的发电设备装机容量已达2.14亿kW,其中火电1.61亿kW,占76.8%。在火电设备中,我国制造部门提供的机组占80%左右。

我国火电设备制造行业从无到有,由小到大,经历了一个不断奋进的过程。进入80年代后,短短的十多年,发生了很大的变化:大力发展大容量、高参数火电机组;大型火电设备的生产能力大幅度增长;积极发展优质辅机,提高电站成套水平;进一步提高火电站自动化水平;科技攻关取得显著成就。从1956年研制了我国首台单机容量为6MW中压机组到目前开始批量生产300MW和600MW机组,火电设备的年生产能力已达到15000MW。在这一过程中,科研、设计、制造、工艺、材料等方面都积累了十分丰富的经验。认真总结经验,这既是当前进一步快速发展火电设备制造能力的迫切要求,也是以更高的质量水平、技术水平迎接新世纪的历史使命。要瞄准更高的目标,进一步提高火力发电的安全经济运行,继续发展高参数、大容量、高效率、高可靠性、调峰性能好和低污染的机组,积极开发大容量超临界机组;兴建坑口、路口火电站群,建设大型和超大型火电基地;开发新型清洁煤燃烧发电技术以及大容量空冷机组。

中国动力工程学会早在1985年就着手编辑火力发电设备技术手册,成立了手册编辑委员会,以理论联系实际为指导思想,以实用为编写原则,着重总结我国发展火电设备的实践经验,综合全行业科技人员的经验和智慧,同时有选择地吸取国外的先进科学技术,并力求体现内容的实用性、科学性和先进性。

本手册是我国发电设备行业的专业性手册,主要以从事火力发电行业的设计、制造、运行、科研和科技管理等方面的科技人员为主要读者对象。

本手册动员和组织了全行业主要单位的专家及有关高等院校教授进行编写、参与讨论、审稿的共达300多人。做到集思广议,博采众长。编写中还得到有关单位领导的大力支持。

由于手册的《锅炉》、《汽轮机》、《自动控制》和《火电站系统与辅机》四卷是分别编写成的,作者人数多、范围广,在内容和形式上不易做到协调一致,错误与不足之处在所难免,热诚欢迎读者批评指正。

编辑说明

1. 《火力发电设备技术手册》是中国动力工程学会组织编写的。手册以理论联系实际为指导思想，以实用为编写原则，具有指导、启发、参考和备查的作用。

2. 《火力发电设备技术手册》全面总结了我国 40 多年来火电设备制造业的实践经验。参加本手册编写工作的有全国长期从事火电设备科研、设计、制造和教育的 140 余位专家，参加审定稿的人员则更为广泛。

3. 《火力发电设备技术手册》共分四卷。第一卷：锅炉；第二卷：汽轮机；第三卷：自动控制；第四卷：火电站系统与辅机。共计 600 余万字。

4. 本手册中一律采用法定计量单位。所用的名词、术语、符号、代号，凡有标准的一律按标准规定，凡尚未列入标准的，则采用本行业中通用的名称。

5. 本手册中图、表、公式的编号一律采用由短横相连的三个数字表示：第一个数字表示卷号，第二个数字表示章号，第三个数字表示顺序号。例如：图 2-4-26，即第 2 卷第 4 章中的第 26 图。

6. 本手册的编写工作始于 1986 年，历时十余年。作者又来自全国各地。因此，有些名词、术语尚有不尽统一，内容上也有重复遗漏的地方，敬请读者指正。

7. 本手册的署名以单位和个人相结合的方式。编辑委员会全体成员署于各卷前面，各卷的主编、主审署于相应卷前面，各章的编写人和审定人署于相应章前面。另外，参加本手册编写、审查、组织、协调的单位和人员还很多，恕不一一署名。

火力发电设备技术手册
编辑部

目 录

前言

编辑说明

第一章 总体设计	1-1
第一节 概述	1-2
第二节 汽轮机的分类	1-2
第三节 参数、容量与规范	1-3
一、蒸汽初参数的选择	1-3
二、汽轮机参数系列	1-4
三、中间再热参数的选择	1-4
四、背压的选择	1-5
五、转速	1-6
六、汽轮机工况的定义	1-7
七、机电炉参数容量的匹配	1-7
第四节 运行方式和配汽方式	1-8
一、汽轮机运行与设计	1-9
二、汽轮机的配汽方式	1-9
第五节 汽轮机总体结构设计	1-10
一、汽缸数和汽缸结构	1-11
二、转子支承数	1-11
三、低压缸轴承座设置型式	1-12
四、本体汽、水、油管系设计	1-12
五、模块设计	1-13
六、汽轮机与凝汽器的接口	1-13
七、汽轮机与发电机的接口	1-14
八、对汽轮机基础的要求	1-14
九、地震对汽轮机设计的要求	1-14
第六节 机组热膨胀及支承-滑销系统	1-15
一、支承-滑销系统	1-15
二、机组的热膨胀	1-15
三、静子支承方式	1-17
第七节 给水泵驱动方式的选择	1-18
一、概述	1-18
二、给水泵的驱动方式	1-18
三、交流电动机驱动的给水泵组	1-19
四、汽轮机驱动的给水泵组	1-19
第八节 空冷汽轮机	1-19

一、概述	1-19
二、空冷汽轮机的设计条件	1-21
三、空冷汽轮机的设计要点	1-21
第九节 发展趋势	1-24
一、概述	1-24
二、提高机组的经济性	1-24
三、开发末级长叶片	1-26
四、提高自动化水平	1-26
第二章 热力循环	2-1
第一节 概述	2-2
第二节 基本热力循环	2-2
一、理想循环(郎肯循环)	2-2
二、实际循环	2-2
三、影响循环效率的主要因素	2-3
第三节 给水回热循环	2-4
一、工作原理	2-4
二、循环热经济性	2-5
三、给水加热器及其连接方式	2-5
四、给水回热循环主要参数的选择	2-6
第四节 中间再热循环	2-7
一、工作原理	2-7
二、循环热经济性	2-8
三、循环参数对热经济性的影响	2-9
第五节 热力系统及热平衡计算	2-9
一、典型机组的热力系统	2-9
二、热平衡计算	2-9
参考文献	2-20
第三章 通流部分热力设计	3-1
第一节 概述	3-2
第二节 级的热力设计	3-2
一、级的热力计算	3-2
二、级的热力特性参数的选择	3-7
三、级的结构要素	3-8
四、双列级的设计特点和计算示例	3-9
五、级的模型级法的设计和计算	3-11
第三节 多级汽轮机通流部分热力设计	3-14

X 目 录

一、原始数据	3-14	第一节 概述	5-2
二、通流部分内效率估算	3-14	一、通流部分设计概况	5-2
三、调节级选型和焓降确定	3-15	二、提高汽轮机通流部分性能的措施	5-2
四、末级排汽面积选择	3-15	第二节 通流部分的气动计算	5-3
五、中间级组设计	3-15	一、径向平衡方程	5-3
六、焓降分配与级数确定	3-16	二、简单径向平衡的求解	5-3
七、通流部分详算	3-17	三、三元流设计计算	5-5
参考文献	3-17	四、控制涡流设计	5-9
第四章 汽轮机变工况	4-1	第三节 叶型与叶栅	5-12
第一节 概述	4-2	一、叶型	5-12
一、汽轮机变工况的概念	4-2	二、叶栅	5-13
二、变工况计算与设计工况计算的 区别与联系	4-2	三、叶栅的能量损失	5-13
三、变工况计算的目的	4-2	四、叶栅出汽角	5-15
四、计算机在变工况计算中的应用	4-3	五、几何参数对叶栅损失和出汽角的影响	5-15
第二节 喷嘴、级与级组变工况	4-3	六、气动参数对叶栅损失和出汽角的影响	5-16
一、喷嘴变工况	4-3	七、叶栅损失对级效率的影响	5-18
二、级的变工况特性	4-7	第四节 调节级叶片设计	5-19
三、级的变工况计算	4-9	一、概述	5-19
四、级组变工况	4-10	二、端部二次流	5-19
第三节 汽轮机配汽	4-12	三、调节级静叶设计	5-19
一、喷嘴配汽	4-12	四、调节级动叶设计	5-22
二、节流配汽	4-16	第五节 末级叶片设计	5-24
三、滑压配汽	4-18	一、热力-气动参数的合理选择	5-24
第四节 汽轮机装置变动工况及其特性 曲线	4-20	二、叶栅叶型设计特点	5-25
一、汽轮机装置变动工况	4-20	三、湿蒸汽影响	5-27
二、汽轮机装置的变工况特性曲线	4-24	四、低负荷、小容积流量运行对末级 的影响	5-28
第五节 变工况对主要零部件强度的 影响	4-27	第六节 气动试验简介	5-29
一、隔板	4-27	一、平面叶栅试验	5-29
二、动叶片	4-27	二、环形叶栅试验	5-30
三、推力轴承	4-27	三、单级、多级空气透平试验	5-30
第六节 汽轮机的热力修正曲线	4-29	四、蒸汽透平试验	5-32
一、修正曲线的计算与使用方法	4-30	五、流场测量	5-32
二、修正曲线	4-30	第七节 低压排汽缸的型线设计	5-33
第七节 特殊变工况对汽轮机的影响	4-32	一、概述	5-33
一、回热加热器的停运	4-32	二、排气缸的几何参数	5-33
二、通流结垢与缺损	4-33	三、空气动力性能指标	5-34
三、缺级运行	4-34	四、设计的原始数据	5-34
四、小容积流量工况	4-34	五、设计方法	5-34
五、纯凝汽式机组改造为供热机组	4-36	参考文献	5-37
第五章 通流部分气动设计	5-1		

第六章 动叶片	6-1	第二节 转子结构	7-2
第一节 动叶片的结构形式	6-2	一、大型机组转子的典型结构	7-2
一、叶片工作部分	6-2	二、转子的结构选择	7-4
二、动叶叶根	6-3	三、转子结构设计特点	7-4
三、动叶顶部	6-4	第三节 叶轮强度和振动	7-7
四、叶片的连接件及连接形式	6-4	一、叶轮强度计算基本公式	7-8
五、调节级叶片结构	6-6	二、等厚度叶轮的强度计算	7-9
六、末级长叶片结构	6-6	三、锥形叶轮的强度计算	7-13
第二节 动叶片的强度计算	6-6	四、双曲线叶轮的强度计算	7-16
一、叶片截面的几何特性计算	6-6	五、等强度叶轮的强度计算	7-17
二、叶片的拉应力计算	6-7	六、任意变厚度叶轮的强度计算	7-18
三、叶片的蒸汽弯应力计算	6-8	七、套装叶轮的应力分析	7-19
四、叶片的偏心弯应力计算	6-10	八、叶轮振动	7-20
五、叶根及轮缘的应力计算	6-15	九、叶轮强度的特殊问题	7-21
六、叶顶及连接件的应力计算	6-26	第四节 转子强度	7-22
第三节 叶片振动	6-28	一、整锻转子的强度计算	7-22
一、激振力及振型分析	6-28	二、焊接转子的强度计算	7-24
二、等截面叶片固有频率	6-31	三、短路应力的计算	7-26
三、变截面叶片的静频率	6-33	第五节 转子的疲劳强度设计	7-26
四、单只长叶片弯扭联合振动	6-35	一、高周疲劳	7-27
五、整圈连接叶片振动	6-37	二、低周疲劳	7-28
六、工作叶片频率修正	6-41	三、裂纹扩展寿命估算	7-29
七、整圈连接叶片的调频	6-43	第六节 转子及轴系的振动	7-29
八、长叶片的模化设计	6-43	一、单转子振动特性分析	7-29
第四节 叶片振动应力的计算	6-44	二、计算模型	7-33
一、单只叶片的振动应力计算	6-44	三、单转子振动特性计算	7-34
二、叶片组的振动应力计算	6-47	四、轴系振动计算的特点	7-38
第五节 末级长叶片的特点	6-48	五、轴系振动计算实例	7-39
一、概述	6-48	六、轴系振动特性的评判	7-44
二、长叶片的开发	6-48	七、影响轴系振动因素的分析	7-46
三、长叶片的特殊问题	6-50	第七节 联轴器	7-47
四、轴系扭振时对长叶片的影响	6-53	一、大型汽轮机联轴器结构	7-47
五、长叶片的类型	6-54	二、刚性联轴器	7-47
第六节 叶片材料及安全系数	6-54	三、半挠性联轴器	7-48
一、叶片材料	6-54	四、齿式联轴器	7-48
二、安全系数	6-55	第八节 转子部件材料和许用应力	7-48
第七节 保证叶片振动安全性的方法及安全准则	6-56	一、转子部件材料选择原则	7-48
一、保证叶片振动安全性的方法	6-56	二、转子常用材料	7-49
二、叶片振动安全准则	6-57	三、许用应力和安全系数	7-49
参考文献	6-60	参考文献	7-49
第七章 转子与轴系	7-1	第八章 轴承、轴承座、盘车装置	8-1
第一节 概述	7-2	第一节 轴承	8-2

XII 目 录

一、概述	8-2	一、概述	9-28
二、动压滑动轴承的基本特性	8-2	二、汽缸稳定性分析	9-28
三、汽轮机径向轴承	8-13	第四节 隔板、持环和喷嘴组	9-30
四、汽轮机径向轴承设计计算	8-21	一、概述	9-30
五、汽轮机推力轴承	8-33	二、隔板的结构和强度	9-30
六、汽轮机推力轴承设计计算	8-36	三、持环的结构和计算	9-38
七、汽轮机轴承润滑油	8-46	四、喷嘴组	9-40
八、轴承材料	8-46	五、材料和许用应力	9-41
九、滑动轴承的损坏型式和处理 建议	8-47	第五节 汽封	9-41
第二节 轴承座	8-54	一、概述	9-41
一、概述	8-54	二、端汽封(轴封)、隔板汽封和 叶片汽封	9-42
二、轴承座的典型结构	8-54	三、设计要求和间隙选择	9-42
三、轴承座的刚度	8-56	四、材料	9-42
四、轴承座的刚度测量	8-57	参考文献	9-43
第三节 盘车装置	8-58	第十章 本体阀门及管道	10-1
一、概述	8-58	第一节 概述	10-2
二、典型结构	8-58	一、本体阀门的类型和功能	10-2
三、盘车电动机容量的确定	8-62	二、本体阀门的设计要求	10-2
第四节 液压顶轴装置	8-63	三、常见故障与原因	10-2
一、概述	8-63	第二节 本体阀门结构	10-3
二、液压顶轴装置供油系统	8-63	一、主汽阀	10-3
三、油囊型式、顶起高度和顶起 压力	8-63	二、调节汽阀	10-5
四、液压顶轴装置的性能计算	8-65	三、再热主汽阀与调节阀	10-7
附录 A 汽轮发电机组常用滑动轴承的 几何关系	8-66	四、高压排汽与抽汽逆止阀	10-8
附录 B 汽轮发电机组常用滑动轴承性 能计算数据表	8-69	五、阀门的布置	10-9
参考文献	8-76	第三节 阀门的热力设计	10-11
第九章 汽缸、隔板、持环	9-1	一、蒸汽流速	10-11
第一节 汽缸	9-2	二、主汽阀与调节阀口径及压损 计算	10-11
一、概述	9-2	三、再热主汽阀与调节阀压损 计算	10-12
二、汽缸结构	9-2	四、阀杆漏汽量计算	10-12
三、进汽接管和抽汽、排汽流道	9-10	第四节 阀门的强度	10-14
四、汽缸支承和固定	9-16	一、阀壳强度	10-14
第二节 汽缸强度计算	9-19	二、法兰、螺栓强度	10-16
一、概述	9-19	三、阀杆强度	10-18
二、汽缸法兰和连接螺栓	9-21	第五节 主蒸汽管	10-19
三、低压汽缸强度和刚度	9-23	一、概述	10-19
四、疲劳分析	9-24	二、热膨胀对主蒸汽管的影响	10-19
五、材料和许用应力	9-27	三、管道应力的限制	10-20
第三节 汽缸安装位置的稳定性	9-28	四、主蒸汽管对机组推力和力矩的 限制	10-21

五、主蒸汽管的振动	10-24	六、滤油器	12-7
第六节 中低压联通管	10-24	七、冷油器	12-8
一、概述	10-24	八、油净化装置	12-10
二、辐板-挠性链板式联通管	10-24	九、油管道及油质	12-11
三、波形膨胀节式联通管	10-29	十、系统的冲洗和清洁度	12-13
第七节 材料和许用应力	10-31	第二节 汽封系统	12-14
一、材料选用	10-31	一、概述	12-14
二、许用应力	10-32	二、典型的汽封系统	12-14
参考文献	10-34	三、自密封汽封系统的起动运行和 要求	12-15
第十一章 调节、保安和控制		四、汽封系统控制站	12-16
系统	11-1	五、汽封管道管径的选择和 布置	12-17
第一节 概述	11-2	六、汽封冷却器	12-17
一、静态特性	11-2	七、汽封抽气设备	12-19
二、动态特性	11-4	八、汽封系统的控制和调节	12-20
三、保安控制系统	11-4	第三节 疏水系统	12-22
四、供油系统	11-5	一、概述	12-22
第二节 调节系统与运行方式的关系	11-6	二、典型的疏水系统	12-23
一、起动方式与阀门开启顺序	11-7	三、疏水系统的设计导则	12-23
二、运行方式与阀门管理	11-7	四、疏水管道连接和布置的要求	12-24
三、转子热应力与汽轮机自动控制 (ATC)	11-9	参考文献	12-25
四、FCB 功能与机组低载运行稳 定性	11-10	第十三章 性能试验	13-1
第三节 调节系统分类及典型系统	11-11	第一节 概述	13-2
一、凝汽式汽轮机调节	11-11	一、试验项目	13-2
二、背压式汽轮机调节	11-12	二、振动测量	13-2
三、抽汽式汽轮机调节	11-12	三、噪声测量	13-3
四、中间再热式汽轮机调节	11-14	第二节 汽轮机热力性能试验规程及其 适用性	13-4
五、变速汽轮机调节	11-16	一、试验规程	13-4
第四节 调节保安系统主要元件	11-17	二、典型测点布置图及热耗率	13-4
一、机械离心式调速器	11-17	第三节 测点布置的注意事项	13-7
二、超速保安器	11-19	一、主要原则	13-7
第五节 液压调节系统的常见故障及 处理	11-21	二、压力测点	13-7
附录 A 抗燃油理化特性	11-24	三、温度测点	13-7
附录 B 抗燃油清洁度要求	11-24	第四节 测量误差和仪表精度	13-8
第十二章 本体辅助系统	12-1	一、主要参数测量和对仪表精度的 要求	13-8
第一节 润滑油系统及装置	12-2	二、参数测量误差对试验结果的 影响	13-9
一、概述	12-2	三、系统隔离不严的影响	13-9
二、典型的供油系统	12-2	四、试验结果的综合不确定度	13-10
三、供油系统油量和油泵	12-3	第五节 试验结果的修正及比较	
四、射油器和油涡轮泵	12-4		
五、润滑油箱	12-7		

XIV 目 录

方法	13-10	分析	15-14
一、两类修正	13-10	一、转子温度场与应力场的有限元	
二、机组的老化	13-10	计算法	15-14
三、试验结果与保证值	13-11	二、转子温度场与热应力的一维	
参考文献	13-11	计算法	15-24
第十四章 热电联供汽轮机	14-1	三、通流部分蒸汽参数与放热	
第一节 概述	14-2	系数	15-26
一、经济意义和发展概况	14-2	四、热应力集中系数	15-29
二、热电联供汽轮机的分类与选型	14-2	五、汽缸、阀壳的温度场及热	
第二节 热电联供汽轮机的设计	14-4	应力	15-31
一、热电联供汽轮机参数容量系列	14-4	第四节 寿命消耗与起动曲线方案	15-36
二、热力系统	14-4	一、寿命消耗概述	15-36
三、通流部分	14-5	二、应力应变回路及寿命消耗详细	
四、不同工况对汽轮机强度的影响	14-7	算例 [⊙]	15-38
五、运行和安全保护	14-8	三、起动曲线	15-41
第三节 调整抽汽式供热汽轮机的		第五节 寿命管理	15-46
结构	14-9	一、概述	15-46
一、概述	14-9	二、转子寿命管理	15-48
二、供暖抽汽凝汽式汽轮机	14-9	第六节 滑参数起停及运行指标	15-52
三、工业抽汽凝汽式汽轮机	14-11	一、滑参数起停	15-52
四、核电站汽轮机的供热	14-11	二、运行指标	15-53
五、调整抽汽式汽轮机的抽汽		参考文献	15-57
调节阀	14-11	第十六章 强度设计基础	16-1
第四节 工况图	14-15	第一节 基于弹性应力分析的强度	16-2
一、单抽汽式汽轮机的工况图	14-15	一、强度计算中常用的弹性关系式	16-2
二、双抽汽式汽轮机的工况图	14-15	二、强度计算中的强度准则	16-4
第十五章 调峰及寿命	15-1	三、应力分类与安全性	16-6
常用符号表	15-2	第二节 基于弹塑性应力分析的强度	16-7
第一节 概述	15-4	一、概述	16-7
一、电网对机组调峰的要求	15-4	二、硬化曲线及其数学模型	16-7
二、火电调峰机组的性能要求	15-4	三、弹塑性计算中的应力应变关系	16-8
三、调峰机组的运行方式	15-4	四、用弹性计算求塑性应变量的	
四、调峰汽轮机的热力系统和型式		近似值	16-10
选择	15-6	五、厚壁圆筒与球形壳的弹塑性	
五、调峰机组的变压(滑压)运行	15-7	计算	16-12
六、调峰运行的经济性	15-9	六、极限载荷	16-14
第二节 提高汽轮机组负荷适应性的		第三节 高温蠕变计算	16-17
措施	15-10	一、概述	16-17
一、汽轮机结构设计措施	15-10	二、蠕变强度表达式及试验数据外	
二、给水系统及辅机	15-12	推法	16-17
三、汽轮机旁路系统	15-13	三、蠕变过程的数学表达式	16-18
四、疏水系统	15-14	四、几个实用的蠕变计算问题	16-18
第三节 温度场、热应力的计算		五、蠕变参考应力的应用	16-20

六、蠕变的寿命消耗	16-23	五、失稳断裂与 K_{Ic} 的使用	16-56
第四节 应力集中系数	16-24	六、最小应变能密度判据的使用	16-56
一、概述	16-24	七、裂纹的疲劳扩展	16-57
二、理论应力集中系数 K_t	16-24	八、算例	16-59
三、缺口敏感系数	16-25	第九节 弹塑性及塑性断裂力学的	
四、屈服后的应力应变集中系数	16-25	应用	16-60
五、缓和应力集中效应的措施	16-26	一、断裂力学区域划分	16-60
第五节 常温下的疲劳	16-26	二、弹塑性断裂力学的小塑性区修	
一、概述	16-26	正法	16-60
二、疲劳曲线及影响因素	16-27	三、 J 积分与裂纹顶端张口位移	
三、高周疲劳	16-27	(COD)	16-61
四、低周疲劳	16-29	四、 J 积分的工程应用	16-62
五、弯扭复合疲劳	16-32	五、开裂的 J 积分临界值 J_c	16-64
六、疲劳寿命消耗的累积	16-33	六、 J 积分作为驱动力的求法	16-65
七、疲劳计算的一些材料数据	16-34	七、 R 曲线及失稳准则	16-65
八、汽轮发电机扭振疲劳算例	16-34	八、稳定性评定方法	16-66
第六节 汽轮机的高温低周疲劳	16-35	九、高温下裂纹的扩展	16-69
一、概述	16-35	第十节 计算例题	16-72
二、高温低周疲劳曲线	16-36	一、转子裂纹(缺陷)扩展计算	16-72
三、疲劳、蠕变(或松弛)的综合		二、弹塑性条件下裂纹评定算例	16-74
寿命消耗	16-37	第十一节 工业应用中的几个问题	16-76
四、高温低周疲劳曲线的修正	16-39	一、概述	16-76
五、设计用与事故分析用疲劳		二、内部裂纹(缺陷)计算处理	
曲线	16-39	规定	16-76
第七节 断裂力学的基础概念	16-40	三、关于密集离散性缺陷的影响	16-77
一、概述	16-40	参考文献	16-78
二、裂纹前沿的应力场与应力强度		第十七章 汽轮机用钢	17-1
因子	16-40	第一节 概述	17-2
三、裂纹失稳扩展的机理与判据	16-42	一、钢的性能和应用	17-2
四、裂纹扩展阻力曲线	16-43	二、钢的合金化	17-2
五、裂纹长度的限制性影响	16-43	三、钢的组织结构变化	17-3
六、影响断裂韧性的物理因素	16-44	第二节 主要零部件选材与等同使用	17-3
七、平面应变与三维应力状态的		一、合理选材	17-3
影响	16-45	二、系列化和材料等同使用	17-4
八、解理断裂与纤维性断裂	16-45	第三节 主要零部件用钢	17-4
九、断裂力学处理的区域划分	16-46	一、转子、主轴和叶轮	17-4
十、表面裂纹扩展过程	16-46	二、叶片	17-18
第八节 线弹性断裂力学的应用	16-46	三、汽缸、阀壳和蒸汽室	17-26
一、概述	16-46	四、高温紧固件	17-29
二、影响应力强度因子的因素	16-47	五、主蒸汽管和中、低压联通管	17-37
三、构件裂纹应力强度因子的		第四节 各国汽轮机用钢对照	17-38
求法	16-48	参考文献	17-40
四、断裂韧性 K_{Ic} 的测定	16-55	第十八章 制造工艺	18-1

XVI 目 录

第一节 大型铸件	18-2	三、隔板的机械加工	18-73
一、概述	18-2	第七节 汽缸和转子加工	18-73
二、低合金铸钢的工艺性能	18-2	一、概述	18-73
三、大型铸件的铸造工艺	18-3	二、汽缸加工	18-74
四、铸造用砂	18-8	三、汽缸的加工工艺过程	18-74
五、铸件的清理和热处理	18-9	四、转子(主轴、套装叶轮) 加工	18-76
六、铸件无损探伤和缺陷的焊补 工艺	18-10	五、转子(主轴、套装叶轮)的加工 工艺过程	18-76
第二节 大型锻件	18-11	六、转子装配	18-77
一、概述	18-11	七、转子动平衡	18-78
二、高、中压整锻转子制造工艺	18-11	八、数控机床在静子部件加工中的 应用	18-81
三、低压整锻转子和主轴制造 工艺	18-15	第八节 厂内总装配	18-82
四、焊接转子制造工艺	18-18	一、概述	18-82
五、叶轮制造工艺	18-20	二、总装配工艺过程	18-82
六、转子、叶轮锻件的生产流程和无损 探伤	18-21	三、总装配的工艺要点	18-82
七、转子、叶轮的试验	18-25	第十九章 可靠性	19-1
第三节 叶片制坯	18-27	第一节 概述	19-2
一、概述	18-27	第二节 可靠性统计评价指标	19-2
二、动叶片毛坯制造工艺	18-29	一、国内发电设备可靠性的评价 指标	19-2
三、静叶片毛坯制造工艺	18-38	二、国外发电设备可靠性水平	19-4
四、叶片毛坯的检验	18-40	三、发电设备可靠性对经济的 影响	19-5
五、叶片毛坯的清理	18-41	第三节 可靠性技术	19-6
第四节 特殊热加工	18-42	一、可靠性数据的分布检验	19-6
一、概述	18-42	二、零部件可靠性的指标及分析	19-12
二、轴承合金浇注工艺	18-42	三、可靠性设计	19-15
三、汽轮机叶片防水蚀措施的 工艺	18-45	四、汽轮机零部件可靠性设计 概述	19-17
第五节 叶片精加工	18-46	五、失效模式、效应及危害度 分析	19-19
一、概述	18-46	六、故障树分析	19-21
二、不同毛坯的叶片加工典型 工艺	18-47	七、可靠性设计评审	19-25
三、动叶片的型面加工	18-55	参考文献	19-26
四、叶根的加工	18-60	第二十章 计算机辅助设计	20-1
五、铆钉头、拉筋和防水蚀结构的 加工	18-63	第一节 概述	20-2
六、静叶片的加工	18-64	一、CAD的概念和组成	20-2
七、叶片的检验	18-69	二、设计过程与CAD	20-2
八、叶片加工技术的发展	18-69	三、CAD应用现状及前景	20-4
第六节 隔板制造	18-70	第二节 CAD系统配置、性能和 特点	20-5
一、概述	18-70		
二、焊接隔板的制造工艺	18-70		

一、CAD 系统的类型	20-5	三、应用软件的管理	20-16
二、CAD 硬件系统	20-5	四、应用软件的使用	20-16
三、CAD 软件系统	20-7	五、汽轮机主要设计程序	20-16
四、CAD 系统的选择	20-7	第五节 有限元分析	20-17
第三节 汽轮机及其零部件 CAD		一、有限元法的基本概念	20-18
系统	20-8	二、单元类型和形函数	20-21
一、概述	20-8	三、有限元控制方程的求解和	
二、系统建立的方法和特点	20-8	存储	20-34
三、典型的汽轮机及其部件 CAD		四、有限元通用软件	20-38
系统	20-8	五、有限元前后处理技术	20-45
第四节 汽轮机设计计算程序	20-14	六、有限元法在汽轮机结构分析中	
一、用户对应用软件的要求	20-14	的应用	20-47
二、软件的研制和运行	20-15	参考文献	20-54