

束国刚 刘江南 石崇哲 王正品 赵彦芬 著

CHAOLINJIE GUOLU YONG T/P91 GANG DE
ZUZHIXINGNENG YU GONGCHENGYINGYONG

超临界锅炉用T/P91钢的 组织性能与工程应用

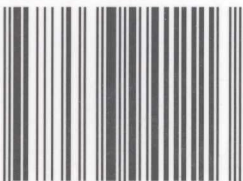
陕西科学技术出版社

CHAOLINJIE GUOLU YONG T/P91 GANG DE
ZUZHIXINGNENG YU GONGCHENGYINGYONG

超临界锅炉用T/P91钢的 组织性能与工程应用

责任编辑 林成岗
封面设计 党 菲

ISBN 7-5369-4111-0



9 787536 941113 >

ISBN 7-5369-4111-0/TF·11

定价：48.00元

内容简介

本书是作者长期从事超临界锅炉用T/P91钢的研究成果，结合工程应用，对超临界锅炉用T/P91钢的组织性能与工程应用进行了系统的阐述。全书共分5章，主要内容包括：超临界锅炉用T/P91钢的组织性能、超临界锅炉用T/P91钢的工程应用、超临界锅炉用T/P91钢的焊接、超临界锅炉用T/P91钢的腐蚀与防护、超临界锅炉用T/P91钢的失效分析等。本书可作为从事超临界锅炉设计、制造、安装、运行、检修、维护、管理等工作的工程技术人员、研究人员、大专院校师生等的参考书。

超临界锅炉用T/P91钢的组织性能与工程应用

超临界锅炉用T/P91钢的组织性能与工程应用

刘江南等主编 西安：陕西科学技术出版社，2006.7

ISBN 7-5389-4111-0

刘江南 刘国刚

著

石崇哲 王正品 赵彦芬

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第07310号

出版者 陕西科学技术出版社

西安北大街131号 邮编710003

电话(029)87311894 传真(029)87318338

<http://www.sstp.com>

发行者 陕西科学技术出版社

电话(029)87312208 87380001

西安白印印务有限公司

787mm×960mm 16开本

16.5

280千字

1-3000

2006年7月第1版

陕西科学技术出版社

2006年7月第1次印刷

48.00元

定价 48.00元

内容提要

本书总结了作者们多年来对超临界电力锅炉用 T/P91 钢的研究成果和工程应用经验,论述了钢的合金化原理、强韧化机理、形变与断裂、组织结构,特别研讨了热强钢的组织结构稳定性问题。展示了 T/P91 钢的基本性能特点、热处理工艺改进研究与应用的成效及其评价,探讨了冶金与焊接性问题,阐述了氧化腐蚀层的组织结构与氧化动力学,并就 T/P91 钢在工程应用中的组织结构、力学性能、表面氧化腐蚀层剥落的服役退化问题以及运行寿命监控问题进行了研讨。本书可供火电厂材料技术人员、耐热钢研究者、钢厂技术人员以及高等院校相关专业的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

超临界锅炉用 T/P91 钢的组织性能与工程应用/束国刚、刘江南等著. —西安:陕西科学技术出版社,2006.7
ISBN 7-5369-4111-0

I. 超... II. 束... III. ①锅炉钢—金相组织②锅炉钢—性能 IV. TG142.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072910 号

出 版 者 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印 刷 西安白云印务有限公司

规 格 787mm×960mm 16 开本

印 张 19.5

字 数 380 千字

印 数 1—3000

版 次 2006 年 7 月第 1 版

2006 年 7 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

版权所有 翻印必究

作者简介

束国刚,男,1964年生,江苏江都人。教授级高工,工学博士。现任中国广东核电集团苏州热工研究院院长。兼职第六届国家环境与保护总局核安全与环境专家委员会委员,电力行业“核电标准化技术委员会”主任委员。

享受国务院政府特殊津贴。

长期从事火电厂和核电站金属材料研究。获国家教委科技进步一等奖,电力科技进步二等奖,陕西省科技进步一等奖,广东省科技进步三等奖,江苏省科技进步二等奖。

著作有《电站金属材料选用手册》、《电站材料失效分析与寿命管理》。在《金属学报》、《中国电力》、《中国电机工程学报》、《钢铁》、《热力发电》等刊物和在英国、美国召开的国际蠕变断裂等会议上发表论文 30 余篇。

刘江南,男,1959年生,江西九江人。教授,工学博士。现任西安工业大学校长。兼职中国兵工学会常务理事,陕西省腐蚀与防护学会理事长,陕西兵工学会副理事长,陕西材料研究会副理事长,陕西省金属学会副理事长。

陕西省有突出贡献的专家,享受国务院政府特殊津贴。

长期从事高温结构材料和金属记忆合金的研究与应用。获兵器工业部科技进步二、三等奖,陕西省国防科技二等奖,陕西省优秀教学成果一等奖、二等奖等共 7 项。

著作有《金属表面工程学》。发表学术论文 40 余篇,其中被 EI 和 SCI 收录 20 余篇。

序

电力是国民经济的动力,它主要由各种一次能源与再生能源(如煤炭、油、气、水力、风力、核能、太阳能等)转换而成。由于世界各国的一次能源资源量情况不同,因而采取的能源政策也就不同。我国是以煤炭为主要一次能源的国家,尽管随着新能源的采用和技术进步,煤炭在电力能源消费总量中的比例将逐年下降,但在未来 30 年甚至更长时间内,煤电在电力中的主导地位不会改变。

当前,我国电力工业要保持可持续发展,必须充分考虑以煤炭为主的发电能源结构特点,加快电力结构的升级步伐,最大限度地降低因煤电引起的环境污染,而最现实、最可行的路径就是加快建设超临界机组,并配备以常规的火电脱硫系统。超临界机组在国际上已经是商业化的成熟的发电技术,其可用率、可靠性、运行灵活性和机组寿命等,已经可以和亚临界机组媲美。发展超临界机组,一方面可以通过节约发电用煤以实现能源保护;另一方面,超临界机组在提高效率的同时,还可以减少 CO_2 和煤渣的排放。

超临界机组在国际上之所以能得以广泛采用,一个重要的原因就是 T/P91 钢的研制成功,其意义与 20 世纪 50 年代苏联和西德分别发明 12Cr1MoV、10CrMo910(即 T/P22)钢一样重要。在 T/P91 钢问世之前,火电厂广泛使用的是铁素体钢(如 T/P22)和奥氏体钢(如 T/P304H)。前者热导率高、线胀系数小、价格低廉,但热强性低、抗蚀性差、淬透性小,受抗氧化温度的影响,通常用于 580℃ 以下;后者热强性高,抗蚀性好,虽然由于具有较高的抗氧化温度,但热导率低,线胀系数大,抗热疲劳能力低,且价格昂贵,通常只用于 650℃ 左右。20 世纪 70 年代末,美国橡树岭国家实验室和燃料工程公司在 9Cr-1Mo(P9)钢的基础上,加入少量 V、Nb,并控制 N 的微合金化,发展成 T/P91 钢。该钢热强性好(达到了奥氏体钢的水平),强韧性高,淬透性好,可焊性良,热导率高,线胀系数小,抗蚀性和价格居于 T/P22 和 T/P304H 之间。该钢填补了 T/P22 和 T/P304H 之间的空白,分别于 1983 年和 1984 年被纳入 ASTM A213 T91、ASME

SA213 T91、ASTM A335 P91 和 ASME SA335 P91 标准。随之,1987 年欧洲认可了 T91 和 P91。数年之内,该钢便在美、欧、日等国的超临界和超超临界发电机组的高温承压部件,如主蒸汽管道、集箱、导汽管以及过热器和再热器上得到广泛应用,以替代奥氏体钢和 T/P22 钢,取得了良好的经济效益。德国 Mannesmann 公司、法国 Vallourec 公司及日本住友公司等都生产制造 T91 和 P91 管,并在该钢管的制造工艺、工程设计及使用规范方面积累了成熟的经验。

1987 年,我国进口了 T91 和 P91 钢管,“八五”期间以国家重点攻关项目“材料和大型锻件国产化关键技术攻关”之一,对其进行国产化研究与试制,取得了初步成绩。1995 年,该钢以“10Cr9Mo1VNb”牌号正式列入国家标准 GB5310。但是,就该钢的冶金热力学、合金化原理、强化机理、组织结构,以及在服役条件下该钢蒸汽侧的抗腐蚀机理,组织结构与性能变化规律等冶金材料的一些理论问题上的认识,尚欠深入和全面,甚至存在不妥与误解。正由于此,十多年来我国生产制造的 T91 和 P91 钢的质量仍不尽如人意,进口服役使用的 T/P91 钢管也没有合理的监督导则。为解决国产 T91 和 P91 钢管所存在的质量问题,国家经贸委于 1999 年下达了国家重大技术装备项目研制计划中的“国产 P91 钢的完善化”子项目。

面对我国 T91 和 P91 钢管生产和使用中所存在的诸多理论问题、工艺问题、应用问题,本书作者们自 20 世纪 90 年代始,便对 T91 和 P91 钢管的上述诸问题进行了理论研究和工艺实践与工程应用的全面工作,本书就是我们十年来这一研究、实践、应用的简要总结。相信这些理论研究、工艺实践与工程应用的成果与经验,将有益于读者。

随着认知的深入和提高,书中的不妥与谬误之处必被显露,为了国家的电力事业,诚盼同仁们多多赐教指正,共同进步。

感谢参考文献的作者们,正是你们的成就和贡献,使本书得以受益,在此深致敬意。

本书得到西安工业大学专著基金资助。

作者谨识

2005 年 9 月于苏州热工研究院和西安工业大学

目 录

第 1 章 锅炉用铁素体类热强钢的发展	(1)
1.1 煤-电转化的关键设备——锅炉	(1)
1.2 对电站锅炉用钢的要求	(3)
1.3 铁素体类热强钢的发展	(3)
1.3.1 0~1%Cr 系热强钢	(3)
1.3.2 2%Cr 系热强钢	(4)
1.3.3 9%Cr 系热强钢的研发与应用	(5)
1.3.4 12%Cr 系热强钢的研发	(6)
1.3.5 超超临界锅炉管道钢管钢的研发趋势	(7)
1.4 我国火电厂用热强钢的引进	(9)
第 2 章 超临界、超超临界锅炉用钢的特点	(12)
2.1 力学性能的特点	(12)
2.1.1 厚截面锅炉部件和蒸汽管用钢	(12)
2.1.2 过热器管用钢	(12)
2.1.3 水冷壁管用钢	(14)
2.1.4 汽轮机用钢	(14)
2.2 物理性能的特点	(15)
2.3 化学稳定(抗氧化腐蚀)性的特点	(17)
2.4 T/P91 钢是超临界锅炉用钢“5E”要素的最佳选择	(18)
第 3 章 马氏体型热强钢的合金化原理	(20)
3.1 热强钢中常用的合金元素	(20)
3.2 热强钢的合金化原理	(21)
3.2.1 热强钢的金属学观点	(22)

3.2.2 热强钢的合金化	(22)
3.3 抗氧化腐蚀的考虑	(23)
3.4 固溶强化的原则	(25)
3.5 马氏体强化的获得	(27)
3.6 沉淀强化和弥散强化	(27)
3.7 关于热稳定性	(28)
3.8 复合合金化的协同效应	(30)
第 4 章 热强钢的组织结构稳定性	(32)
4.1 显微组织结构变化的驱动力	(32)
4.2 显微组织结构变化的机理	(33)
4.3 化学自由能引起的组织结构不稳定性	(33)
4.3.1 非均匀溶质分布引起的溶质迁移	(33)
4.3.2 固溶体的脱溶	(37)
4.3.3 固溶体的调幅分解	(41)
4.3.4 板条马氏体中碳(氮)化物的沉淀、析出与转变	(45)
4.4 应变自由能引起的组织结构不稳定性	(47)
4.4.1 应变弹性储存能及释放谱	(47)
4.4.2 伴随储存能释放时板条马氏体的回复	(48)
4.5 界面自由能引起的组织结构不稳定性	(53)
4.5.1 晶界迁移和晶粒长大	(53)
4.5.2 组织结构不稳定性中的弥散相熟化	(60)
4.5.3 共晶型组织的稳定性	(70)
4.6 梯度场引起的原子输运	(71)
4.6.1 一般输运方程	(71)
4.6.2 电输运	(72)
4.6.3 热输运	(72)
4.7 位错组态与结构不稳定性	(72)
第 5 章 T/P91 钢的组织结构	(74)

5.1 回火板条马氏体组织结构	(74)
5.2 正(淬)火马氏体板条高温回火时的回复	(75)
5.3 马氏体板条内精细亚晶的形成	(78)
5.4 亚稳态位错网的形成	(81)
5.5 碳化物与碳氮化物的形成	(84)
第6章 T/P91 钢的强韧化机理	(87)
6.1 α -Fe 基体的固溶强化	(87)
6.2 板条马氏体的强韧化效应	(89)
6.3 亚晶块的界面强韧化效应	(90)
6.4 亚稳态位错网的钉扎作用	(91)
6.5 碳(氮)化物的沉淀强化和弥散强化	(91)
6.6 净化韧化	(92)
6.7 复合强韧化的协同效应	(92)
第7章 P91 钢的形变与断裂	(94)
7.1 均匀塑性变形时的形变强化	(94)
7.2 局集塑性变形时的形变强化	(96)
7.3 塑性变形时的组织结构	(98)
7.4 断口	(101)
7.5 冲击破断过程——裂纹的萌芽、生长与扩展	(103)
7.6 裂纹生长与扩展速率	(107)
7.7 裂纹萌芽、生长与扩展机理	(108)
7.7.1 裂纹的萌芽	(108)
7.7.2 裂纹的生长	(109)
7.7.3 裂纹的扩展	(111)
7.8 对示波冲击参量采集的建议	(113)
第8章 T/P91 钢的热强性	(115)
8.1 室温的强度和塑性	(115)
8.2 高温强塑性	(116)

8.3	室温的动力强韧性	(119)
8.4	566℃时的动力强韧性	(119)
8.5	P91 钢的断裂韧度	(121)
8.6	持久强度与蠕变	(123)
第 9 章	T/P91 钢国产化中的冶金问题	(128)
9.1	钢的化学成分与有害杂质	(128)
9.2	氮的控制与钛的慎用	(130)
9.3	可采用的熔炼操作	(131)
9.4	组织遗传性与轧制时的温度控制	(131)
第 10 章	T/P91 钢国产化中的热处理问题	(133)
10.1	组织结构不当	(133)
10.2	力学性能与断口的差距	(136)
10.2.1	静力强塑性的差距	(136)
10.2.2	拉伸断口的差距	(143)
10.2.3	动力强韧性的差距	(144)
10.2.4	冲击断口的差距	(152)
10.3	热处理不当	(153)
第 11 章	P91 钢热处理工艺的优化	(155)
11.1	实验室的热处理工艺优化研究	(155)
11.1.1	工艺优化的试验设计	(155)
11.1.2	冷却速率的控制	(156)
11.1.3	静力强塑性与动力强韧性	(158)
11.1.4	力学性能的综合评价	(158)
11.1.5	综合评价之校核	(161)
11.1.6	组织结构	(164)
11.2	优化的热处理工艺参数	(168)
11.2.1	温度与速率	(168)
11.2.2	时间	(169)

11.3 实验室的优化工艺验证	(170)
11.3.1 力学性能	(170)
11.3.2 组织结构	(171)
11.4 回火的控制	(173)
11.5 优化热处理工艺的 engineering 实践	(174)
第 12 章 对优化工艺生产的 P91 钢组织性能的评价	(175)
12.1 静力强塑性评价	(175)
12.1.1 取样位置对强塑性的影响	(177)
12.1.2 取样方向对强塑性的影响	(179)
12.1.3 各钢管强塑性的比较	(181)
12.2 动力强韧性评价	(183)
12.2.1 取样位置对强韧性的影响	(185)
12.2.2 取样方向对强韧性的影响	(185)
12.2.3 各钢管强韧性的比较	(190)
12.3 力学性能的综合评价	(191)
12.3.1 多指标力学性能、标准偏差比值的量化综合评价法	(191)
12.3.2 力学性能与标准偏差一体化的综合评价	(194)
12.3.3 力学性能与标准偏差分立化的综合评价	(194)
12.3.4 对综合评价结果的讨论	(195)
12.4 566℃ 高温对强塑性和强韧性的影响评价	(195)
12.4.1 566℃ 高温对静力强塑性的影响	(195)
12.4.2 566℃ 高温对动力强韧性的影响	(196)
12.4.3 高温对钢力学性能影响的综合评价	(197)
12.5 塑性变形时形变强化能力评价	(198)
12.5.1 均匀塑性变形的形变强化参量及其变化规律	(198)
12.5.2 形变强化水平的综合评价	(199)
12.6 静力断裂韧度评价	(200)
12.6.1 J 积分方程参量	(200)

12.6.2 断裂韧度的综合评价	(202)
12.7 韧-脆转折特性评价	(203)
12.8 组织结构和断口评价	(206)
12.9 钢管生产中标准偏差的控制	(211)
第 13 章 T/P91 钢的焊接问题	(212)
13.1 T/P91 钢的焊接性	(212)
13.1.1 焊接裂纹敏感性	(212)
13.1.2 焊缝韧性	(213)
13.1.3 焊缝的时效脆性	(213)
13.1.4 焊缝热影响区软化带及其蠕变与持久强度的弱化	(213)
13.2 同种钢接头的焊接原则	(214)
13.2.1 防止焊接冷裂纹	(214)
13.2.2 提高焊缝韧性	(214)
13.2.3 降低焊缝热影响区的软化程度	(216)
13.2.4 防止 N 型裂纹	(216)
13.3 异种钢接头的焊接原则	(216)
13.4 T91 钢管焊接接头的性能及组织结构	(217)
13.4.1 T91-T91 焊接接头	(217)
13.4.2 T91-T22(910)焊接接头	(220)
第 14 章 T91 钢氧化腐蚀层的组织结构	(230)
14.1 T91 钢管内表面氧化腐蚀层的组织结构和物相组成	(230)
14.1.1 氧化层的金相组织	(230)
14.1.2 氧化层结构	(231)
14.1.3 氧化层组成的物相分析	(236)
14.1.4 氧化层成分的 X-Ray 能谱分析	(237)
14.2 高温高压水蒸气氧化腐蚀层的组织结构和物相组成	(240)
14.3 高温常压水蒸气氧化腐蚀层的组织结构	(245)
14.4 空气氧化腐蚀层的组织结构和物相组成	(249)

14.4.1 氧化层结构·····	(250)
14.4.2 氧化层组成的物相分析·····	(252)
14.5 氧化腐蚀层的形成机理·····	(252)
14.5.1 α -Fe 表面氧化物形成的热力学·····	(252)
14.5.2 570~910℃时 α -Fe 表面氧化层的形成过程和产物·····	(254)
14.5.3 570℃以下 α -Fe 表面氧化层的形成过程和产物·····	(255)
14.5.4 合金元素 Cr 对 T91 钢抗氧化腐蚀性的影响·····	(256)
14.5.5 T91 钢管在高温高压水蒸气环境中氧化层的形成机理·····	(256)
第 15 章 T91 钢的氧化腐蚀动力学 ·····	(259)
15.1 水蒸气氧化曲线·····	(259)
15.2 水蒸气氧化动力学方程·····	(261)
15.3 温度对水蒸气氧化的影响·····	(262)
15.3.1 温度对初始快速氧化阶段的影响·····	(262)
15.3.2 温度对慢速第 1 氧化阶段的影响·····	(263)
15.3.3 温度对慢速第 2 氧化阶段的影响·····	(264)
15.4 水蒸气流量对水蒸气氧化的影响·····	(265)
15.4.1 水蒸气流量对初始快速氧化阶段的影响·····	(265)
15.4.2 水蒸气流量对慢速第 1 氧化阶段的影响·····	(265)
15.4.3 水蒸气流量对慢速第 2 氧化阶段的影响·····	(266)
15.5 水蒸气氧化速率·····	(267)
15.5.1 初始快速氧化阶段的水蒸气氧化速率·····	(267)
15.5.2 慢速第 1 氧化阶段的水蒸气氧化速率·····	(267)
15.5.3 慢速第 2 氧化阶段的水蒸气氧化速率·····	(267)
15.6 水蒸气氧化激活能·····	(268)
15.6.1 初始快速氧化阶段的水蒸气氧化激活能·····	(269)
15.6.2 慢速第 1 氧化阶段的水蒸气氧化激活能·····	(269)
15.6.3 慢速第 2 氧化阶段的水蒸气氧化激活能·····	(270)
15.7 空气氧化动力学·····	(271)

15.7.1	温度对空气氧化曲线的影响·····	(271)
15.7.2	空气氧化速率·····	(272)
15.7.3	空气氧化慢速第 1 氧化阶段的氧化激活能·····	(272)
15.8	氧化动力学的阶段性与氧化层结构·····	(272)
第 16 章	T/P91 钢的工程服役退化及运行寿命监控 ·····	(274)
16.1	T/P91 钢的大规模工程应用 ·····	(274)
16.2	力学性能的服役退化·····	(274)
16.2.1	运行前 T91 钢管的力学性能 ·····	(275)
16.2.2	运行一年后 T91 钢管的力学性能退化(脆化) ·····	(276)
16.3	组织结构的服役退化·····	(277)
16.3.1	运行前 T91 钢管的组织结构 ·····	(277)
16.3.2	运行一年后 T91 钢管的组织结构退化 ·····	(279)
16.4	服役退化的溶质迁移机理·····	(282)
16.5	氧化腐蚀层的剥落对工程服役的危害·····	(282)
16.6	氧化腐蚀层的剥落机理·····	(284)
16.6.1	“纵向裂纹不穿透破裂剥落”机理 ·····	(284)
16.6.2	“界面裂纹穿透破裂剥落”机理·····	(285)
16.7	氧化腐蚀层剥落的控制·····	(285)
16.8	T/P91 钢的运行寿命监控 ·····	(286)
16.9	T/P91 钢的工程应用前景 ·····	(287)
参考文献	·····	(289)

第1章 锅炉用铁素体类热强钢的发展

1.1 煤-电转化的关键设备——锅炉

锅炉是一类特殊的工程设备,它是利用煤、燃气、核裂变等的热能,将水加热成蒸汽(或热水)的设备。锅炉含锅和炉两大部分。锅者,水与蒸汽之盛器,主要包括锅筒、集箱、锅筒管束、过热器、再热器以及外围的蒸汽输送管道、阀门等;炉乃燃料燃烧之场所。本书限于研讨锅及外围管道的用钢问题,但仍使用锅炉这个复合词。锅炉中产生的蒸汽(或热水),可直接为生活提供所需要的热能(生活锅炉),或可通过蒸汽动力装置转换为机械能用于工业生产(工业锅炉),或再通过发电机将机械能转换为电能(电厂锅炉)。本书涉及的是电厂锅炉。

现今电能的获得主要是通过火电厂的煤炭转化而来。图 1.1 为火电厂将煤炭的化学能转化为电能的过程示意图。如图所示,水在冷壁中被煤炭的化学能经燃烧转化的热能加热沸腾后汽化成水蒸气,蒸汽由汽包上部流出,进入过热器中继续吸热,成为过热蒸汽,过热蒸汽经导管引入汽轮机,以高速流动的蒸汽推动汽轮机转子转动,便将过热蒸汽的热势能转变成汽轮机转子的动能,汽轮机转子带动发电机发出电能,从而实现了煤炭至电能的转化。这个转化效率取决于蒸汽参数。蒸汽参数为 16.7MPa/538℃/538℃的亚临界(水-汽系的相状态临界点为 22.115MPa/374.15℃)机组的厂效率为 41.8%;蒸汽参数为 25MPa/540℃/560℃的超临界机组的厂效率为 43.3%;蒸汽参数为 27MPa/585℃/600℃的超临界机组的厂效率为 44.4%;蒸汽参数为 30MPa/600℃/620℃的超超临界机组的厂效率为 45.1%;蒸汽参数为 31.5MPa/620℃/620℃超超临界机组的厂效率为 45.5%;蒸汽参数为 35MPa/700℃/720℃超超临界机组的厂效率为 47.6%。随着超超临界机组的应用,煤-电转化的煤耗量从亚临界机组的平均 $345\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 减少到超超临界机组的 $261\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。而提高煤-电转化效率,降低转化成本,减少对环境的污染,正是人们的追求目标。

目前的蒸汽循环发电系统有两个明显的趋势:其一是提高现有发电机组的灵活性和适应负荷能力,要求所用的先进热强钢具有足够的裕度;其二是为了保护环境和节约能源,需要发展高经济性、高效率化的高参数与大容量发电机组。人们已经清楚地认识到,提高蒸汽参数(压力、温度)是提高发电机组效率的重要和有效途径。1985~1990年,美、法、德、日等国着手研制开发了实际运行的超临界机组(USC),并制定了超临界机组的发展计划,其中第

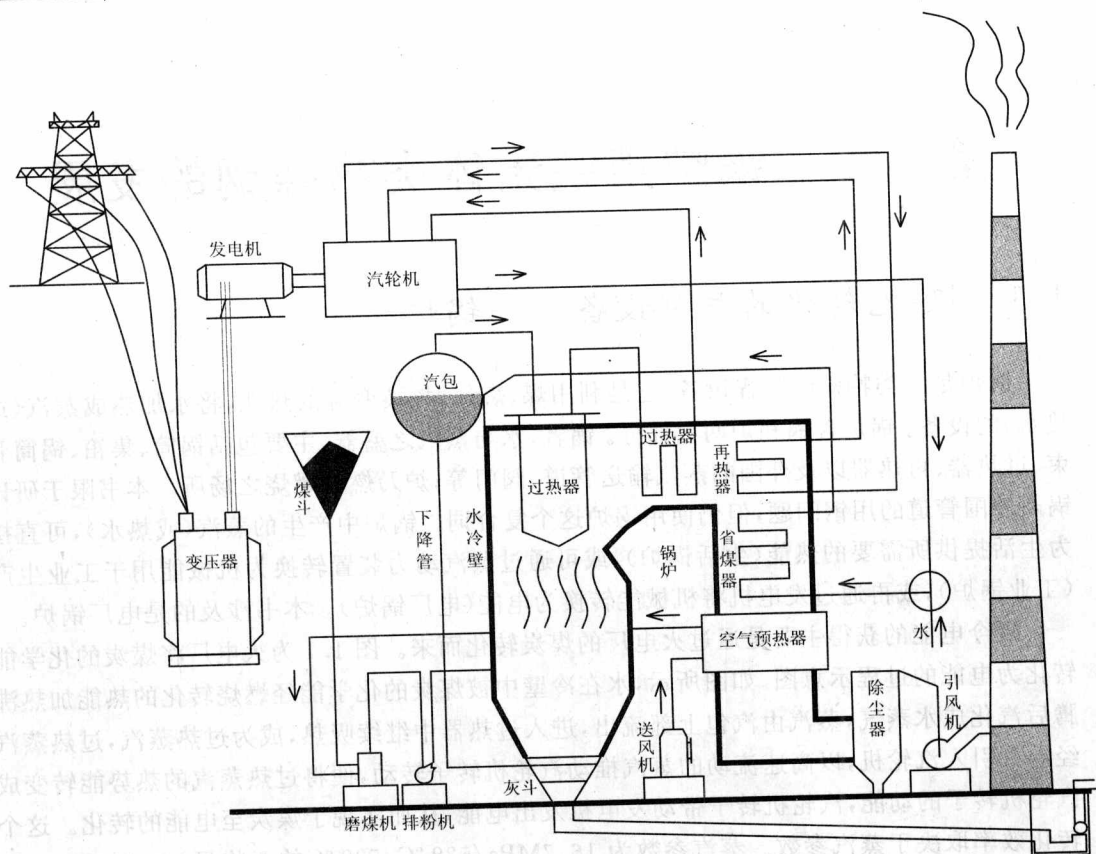


图 1.1 火电厂煤-电转化过程示意图

一步目标的主蒸汽参数为 $30\text{MPa}/593^\circ\text{C}/693^\circ\text{C}/593^\circ\text{C}$ (USC-1), 第二步目标的主蒸汽参数为 $34.5\text{MPa}/649^\circ\text{C}/649^\circ\text{C}/649^\circ\text{C}$ (USC-2)。未来发电技术的发展方向是超临界、超超临界发电系统和联合燃气蒸汽循环发电系统。由于 USC 系统的技术仍是基于常规发电系统的渐进, 所以发展 USC 技术是最具有现实意义的, 而且和其他技术相比极具竞争力, 因此一些经济发达国家都开始采用 USC 发电机组。

高蒸汽参数将带来高的厂效率, 但蒸汽参数的提高在一定程度上除受到单位造价、优选参数、优化设计的制约外, 还受到所使用的热强钢发展的限制。随着参数的提高, 高温承压部件 (如蒸汽管道、阀门、锅炉和汽轮机) 的材料性能也必须相应提高, 它们能否安全工作对整个机组的安全运行有着十分重要的意义。要实现更高蒸汽参数下机组的可靠运行, 研究适应于高蒸汽参数的强度更高、性能更可靠的热强钢势在必行。