

鞍山钢铁公司

低合金钢性能手册

冶金工业出版社



鞍山钢铁公司

低合金钢性能手册

周富智 主编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本《手册》是在广泛收集科研、生产、使用单位的研究成果、试制总结和使用报告的基础上编写而成的。

《手册》纳入汽车制造用钢、桥梁建筑用钢、压力容器用钢、石油钻采用钢、化工设备用钢、水轮机蜗壳用钢、耐海水腐蚀用钢、工业民用搪瓷用钢以及铁路用钢轨等30几个钢号。

《手册》简要地叙述了钢的成分设计原理、生产方法、品种规格与供货条件、使用情况以及国外同类钢号的技术条件；着重叙述了钢的实际机械性能、加工工艺性能、焊接、耐蚀、耐磨等特殊性能，以及微观组织分析和物理性能。

本《手册》可供冶金、机械、石油、化工、地质、铁路等部门从事低合金钢研究、生产、设计、制造、使用的科技人员参考。

鞍山钢铁公司

低合金钢性能手册

周富智 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街高碑店北街29号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 28 1/4 字数645千字

1986年2月第一版 1986年2月第一次印刷

印数00,001~7,000册

统一书号: 15062·4388 定价5.20元

前 言

时代的前进，技术的进步，对钢材提出更新换代的要求。普通碳素钢被低合金钢部分或全部代替，并非遥远的事情。

低合金钢生产起来并不困难，而性能显然优于普通碳素钢，之所以没有得到广泛的应用，其主要原因之一是由于冶金工作者宣传的不够，使用部门认识不深等。

鞍钢编写这本《鞍钢低合金钢性能手册》的目的就在于宣传、推广和发展低合金钢，提供更多的有关优质低合金钢的资料为各使用部门服务。

鞍钢低合金钢的研究与生产已有近30年的历史。工人和工程技术人员用她们的智慧和劳动换来了大量的技术数据。应该把这些知识产品转化为物质力量，为设计、制造和使用部门提供技术依据，并通过使用实践来促进低合金钢性能完善与提高。

这本《手册》纳入了比较成熟的已纳入国家标准和部标准的老钢号，近几年鉴定转产的新钢号，以及接近鉴定转产并已批量生产和使用的试制钢号30几个。就用途而言，其中包括汽车车架及零件用钢、桥梁用钢、压力容器用钢、石油钻采用钢、化工设备用钢、供热发电用钢、耐海水腐蚀用钢、铁路钢轨以及工业民用搪瓷用钢等。

《手册》的编写工作是在广泛收集鞍钢各有关生产厂、使用部门和科研单位的生产检验数据、试制总结、使用报告、科研成果等的基础上进行的。编纂方式以钢号为单元，主要内容有，概述、技术条件、品种规格及供货状态、实际机械性能、加工工艺性能、焊接工艺与性能、耐腐蚀性能、微观组织观察、物理性能以及应用举例。

鞍钢在发展低合金钢方面，虽做了一定工作，但在高性能和特殊性能要求的低合金钢的开发，生产工艺的完善、改进和新工艺的探索，热处理工艺的正确选取与设备的完善，质量的稳定与性能的提高，使用范围的扩大和使用经验的积累等方面还有大量工作需要做。因此，《手册》所含内容，如化学成分、各类性能、生产工艺、制造经验、使用范围等，都是基于对现有的工艺装备和检验手段而编纂起来的，还有待于通过今后的研究、生产和使用实践进一步验证、修改和充实。

《手册》是在领导的指导和关怀，同志们的支持和帮助下编写的，在此仅致谢意！

由于编者水平有限，在收集资料、选取素材、整理编纂等方面，虽尽最大努力，其内容仍非齐全，不当乃至错误是会有有的，敬希读者批评指正。

一九八五年五月

序 言

材料工业的发展,是人类跨越时代而前进的物质基础。低合金钢的诞生与应用,可以视为钢铁材料发展的里程碑。

1870年在美国圣路易斯城附近,建起了一座密西西比河桥,这是低合金钢第一次应用于桥梁建造,距今已115年了!然而被人们逐步认识和重视,深入研究和广泛应用,则是近半个世纪的事情。

新技术革命的兴起,向钢铁工业提出了更高更新的需求和挑战。据有关专家估计,1985年世界钢消耗量约为7.19亿吨,国际钢协会秘书处预测十年后世界钢消耗量将是7.45亿吨。近年来,发达国家人均钢消耗量为500~700公斤,而我国的人均钢产量仅为40公斤,即使到本世纪末我国钢产量翻一翻以后,人均钢产量也只有75~80公斤。从而可见,国家决定大力发展低合金钢,以优质、高效钢材弥补数量不足的决策是非常正确的。我国目前低合金钢的研究与应用实践表明,不需增加较多的附属设施,而应用现有的技术装备即可生产出优质钢材;还可以因地制宜地充分利用我国富产资源按照我国的经济技术水平和发展的需求,开发和建立我国独特的低合金钢体系。

发展和推广低合金钢是提高钢材质量,节约钢材的重要途径之一。它具有生产可行、产量较大、性能较好、用途较广、价格适宜等特点。就性能而言,低合金钢具有强度高、韧性好、易成型、易焊接、耐磨耐腐蚀等优点。就生产工艺而言,它是在碳素钢的基础上,通过适当的冶金过程,即合金化、控轧、控冷、热处理,以控制钢的组织与性能从而获得优质高效钢材。就使用而言使用低合金钢可以收到节省金属,降低造价,满足特殊性能要求和提高使用寿命的技术经济效益。

鞍钢从1957年开始研制我国第一个低合金钢16Mn以来,为经济建设提供了大批低合金钢钢材。1984年我公司生产低合金钢材150多万吨,占全国低合金钢材总产量的26.5%。经常生产的钢号有60多个,约占全国生产的低合金钢品种的一半。这些钢材已广泛应用于汽车制造、桥梁建筑、地质钻采、石油化工、压力容器、供热发电、建筑工程、铁路铺设以及轻工民用等国民经济各个领域。

随着资源的开发、技术的进步和社会需要的不断增长,低合金钢必将进一步发展。鞍钢拟积极发展低合金钢,为我国的四化建设做贡献。为此,将采取如下措施:

1. 生产的产品结构要为社会消费结构服务,使产品对路;
2. 既要研制,也要仿制,加速科研与用户信息反馈,以缩短科研周期;
3. 不断改造和更新现有工艺装备,充分挖掘合金元素的内在潜力,使其物尽其力,发挥最大效用;
4. 加强工艺研究与机理研究,稳定工艺、完善性能、提高质量,从而提高钢材的使用寿命和可靠性;
5. 开发一批急需的、性能较高的、国内空白的新钢号,逐步建立和完善新的钢号系列。

鞍钢低合金钢研究与生产简介

鞍钢已有69年历史了！

建国35年来，国家为鞍钢的恢复和发展投入了大量的人力和物力。目前，鞍钢的铁、钢、钢材的产量都居全国首位，已成为我国重要钢铁基地之一。

鞍山地区拥有丰富的铁矿资源，为鞍钢提供了原料保证。炼铁厂冶炼的低硅铁水，为平炉和转炉提供了优质原料。初轧厂和半成品厂为成品厂提供了合格的钢坯。大型轧钢厂、中型轧钢厂、小型轧钢厂、中板厂、半连轧厂、冷轧厂、无缝钢管厂、焊管厂、钢绳厂和异型钢管厂等生产的板、带、型、管、丝等各类钢材的产品规格达8万多种。累计产量为几千万吨。每年上缴利税十几亿元。

鞍钢从1957年开始试制我国第一个低合金钢——16Mn以来，低合金钢累计产量已近2000万吨。1965年以来低合金钢比波动在12%~28%之间。1983年和1984年低合金钢产量分别为115和150万吨。通过生产试制的钢号有300多个，筛选后已被采用的钢号150多个，目前经常生产的钢号60多个，正在试制的钢号30多个。品种结构主要是铁路钢轨，建筑钢筋，厚、中、薄板，无缝钢管，型钢与异型断面型钢。消费结构主要是能源开发、交通运输、工程机械、石油化工、地质钻采、压力容器、工民建筑、轻工民用等17个使用领域。品种系列主要有单元素的锰系钢、钛系钢，双元素的锰—硅系、锰—钒系、锰—钛系，三元素的锰—钼—铌系、锰—钒—氮系，多元素的锰—钼—钒—氮系、硅—钼—钒—铌系，以及含稀土钢等。强度级别主要有：屈服强度30、35、40、45公斤级的，生产较正常，一般热轧状态供货；45公斤级的，可批量生产，一般为正火状态供货；50、60公斤级的可由供需双方签订协议试生产，一般为正火或正火加回火状态供货；70、80、90公斤级的目前正在研制中。品种主要有深冲钢、冷成型钢、焊接结构钢、中温中压钢、低温钢、耐大气腐蚀钢、耐海水腐蚀钢、耐高温硫腐蚀钢，耐氢、氮、氨腐蚀钢、耐硫化氢应力腐蚀钢，以及耐磨钢等。

为保证和提高低合金钢质量，鞍钢不断改进和完善冶炼、浇注、加热、轧制、冷却、热处理和精整等一整套生产工艺。采用了精选原料、净化钢质、提高性能的新工艺、新技术和新装备，如新的脱氧剂、挡渣出钢、整体捣结碱性钢包、钢包吹氩、钢包吹氩搅拌合成渣、钢包喷粉、保护浇注、钢包加稀土合金、钢包沉箱法加铝、控制轧制、湍流冷却、层流冷却、水幕冷却等。

为开发和完善低合金钢，鞍钢钢铁研究所设有钢材研究室、金属材料检验室、金属物理室、金相热处理室、化学室、防腐室、焊接室、试验厂等，有各类炼钢炉、轧机、热处理炉、扫描电镜、X射线衍射仪、电子探针、色谱仪、以及各类物理化学检验、测定设备和仪器，进行钢材各种性能的化验、检验、测定，以及从事机理研究。从冶炼到各成品厂也都配备有专职技术人员负责低合金钢的开发、试制、生产和管理工作。

鞍钢生产的低合金钢已广泛地应用于国民经济各个部门。16Mn钢用于建造南京长江大桥，较用碳素钢建造的武汉长江大桥节约钢材15%。采用鞍钢生产的15MnVN钢建造的我国第一座栓焊结构的白河大桥节约钢材20%。鞍钢1966~1984年为国家提供中锰钢轨600多

万吨代替碳素钢钢轨，提高大弯道耐磨寿命一倍多。高硅钢轨可一根顶三根用。鞍钢供给各汽车制造厂的09MnRE、16MnRE、06Ti、10Ti、15Ti冷轧或热轧钢板已应用于冲制各类汽车零件，收到了改进工艺、提高成品率、降低汽车自重等技术经济效益。12SiMoVNb A1钢管用于炼油厂抗高温硫使用部位，可提高使用寿命5倍以上，12SiMoVNb钢用于化肥厂中置式锅炉每年可节约煤炭3.6万吨。采用08PVRE钢制造的耐海水腐蚀设备较用A3提高使用寿命2~3倍。采用14MnMoV钢制作尿素合成塔，壁厚可从199mm减薄到105mm。用18MnMoNb钢已制造尿素合成塔8台、氨合成塔10台、球罐40个，用40MnMoNb钢制造抗硫化氢应力腐蚀用气田油管减少了国外进口。14MnMoVN钢已用于制造大型机组水轮机涡壳。低温钢06MnVTi已用于煤气化工程。低合金螺纹钢筋也得到了广泛应用。为适应国民经济各领域发展的需要，鞍钢正在研制海上采油平台用Z向钢、汽车制造用高成型性双相钢、高强度精轧螺纹钢筋、可焊高强度输油输气管线用钢、高强度特级耐磨钢轨、以及可焊高强度工程机械用钢等新的钢号。

大力发展低合金钢是我国一项重要的技术决策。鞍钢生产低合金钢的历史较久，产量较大、品种较全、工艺较稳定、经验较成熟，发展低合金钢具备一定的条件和基础，应该为发展低合金钢做出较大贡献。为此，鞍钢正采取措施：扩大氧气顶吹转炉冶炼的低合金钢品种、转炉实现计算机控制以提高冶炼水平；增设连铸机生产型、管、板坯以提高钢材收得率，降低低合金钢成本；逐步实现轧机微调控制，推广控轧控冷新工艺以提高钢材性能改善板形；增加探伤与定尺交货比例，以满足用户的要求。今后，鞍钢将进一步密切与用户的联系，加强机理研究，提高钢材性能水平；根据客观需要和鞍钢改造后的主观可能开发新钢号，使老钢号更加完善和系列化；加快按国际先进标准生产的步伐，创造一批优质名牌低合金钢；把鞍钢发展成为产量高、性能好、品种全的低合金钢生产基地，为实现四个现代化服务。

目 录

前言	1
序言	2
鞍钢低合金钢研究与生产简介	29
1. 汽车车架与零件用钢热轧06Ti	1
1-1 概述	1
1-2 技术条件	1
1-2-1 化学成分	1
1-2-2 机械性能	1
1-3 品种规格	2
1-4 钢的实际化学成分	2
1-5 钢的实际机械性能	2
1-5-1 热轧状态不同板厚实际机械性能	2
1-5-2 同卷性能差异	2
1-5-3 不同Ti/C值对06钛热轧板卷纵向强度与延伸率的影响	3
1-5-4 冲击韧性	3
1-5-5 冲击韧性对比试验	4
1-5-6 时效冲击试验	4
1-5-7 钢板缺口拉伸试验	4
1-5-8 不同板厚机械性能统计数据	5
1-5-9 冷弯试验	6
1-5-10 不同宽度的冷弯试验	6
1-5-11 预拉伸冷弯试验	6
1-5-12 试冲试验	6
1-6 金相组织	7
1-7 非金属夹杂物	8
1-8 物理性能	8
1-8-1 临界温度	8
1-8-2 钢的奥氏体连续冷却转变曲线	9
1-9 应用举例	11
2. 汽车车架及构件用钢热轧 10 Ti	12
2-1 概述	12
2-2 技术条件	12
2-2-1 化学成分	12
2-2-2 机械性能	13
2-3 品种规格及供货状态	13
2-4 钢的实际化学成分	13

2-5 钢的实际机械性能	13
2-5-1 不同板厚实际机械性能	13
2-5-2 低温冲击试验	14
2-5-3 冷弯试验	15
2-5-4 钢板预变形冷弯试验	16
2-5-5 钢板变形后的硬度	16
2-5-6 冲压性能	17
2-5-7 缺口拉力试验	19
2-5-8 缺口试样弯曲试验	19
2-5-9 缺口敏感性试验	19
2-5-10 机械性能波动范围	20
2-5-11 碳化物析出状态	20
2-5-12 疲劳性能测定	20
2-6 焊接试验	22
2-7 非金属夹杂物	23
2-8 金相组织与晶粒度	24
2-8-1 金相组织	24
2-8-2 晶粒度	24
2-9 物理性能	25
2-9-1 临界温度	25
2-10 应用举例	25
3. 汽车车架及零件用钢 冷轧10Ti	26
3-1 概述	26
3-2 技术条件	26
3-2-1 化学成分	26
3-2-2 机械性能	26
3-3 品种规格及供货状态	27
3-4 钢的实际化学成分	28
3-5 钢的实际机械性能	28
3-5-1 不同板厚实际机械性能	28
3-5-2 冷弯性能	28
3-5-3 冲压性能	28
3-5-4 退火工艺对机械性能的影响	28
3-6 金相组织与晶粒度	29
3-7 非金属夹杂物	29
3-8 临界温度	32
3-9 应用举例	32
4. 汽车车架及零件用钢冷轧15Ti	33
4-1 概述	33
4-2 技术条件	33
4-2-1 化学成分	33

4-2-2 机械性能	33
4-3 品种规格及供货状态	33
4-4 钢的实际化学成分	34
4-5 钢的实际机械性能	34
4-5-1 钢板实际机械性能	34
4-5-2 同卷不同部位实际机械性能	35
4-5-3 冷弯性能	35
4-5-4 预变形后的冷弯性能	35
4-5-5 缺口敏感性	35
4-5-6 冲压性能	36
4-5-7 钢板形变后的硬度	36
4-5-8 延伸率对冲压成型的影响	37
4-5-9 低温韧性	37
4-5-10 机械性能统计分析	37
4-6 焊接试验	38
4-7 非金属夹杂物	38
4-8 金相组织与晶粒度	41
4-9 物理性能	41
4-9-1 临界温度	41
4-9-2 拉伸弹性模量	41
4-10 应用举例	42
5. 汽车车架及零件用钢 13MnTiL	44
5-1 概述	44
5-2 技术条件	44
5-2-1 化学成分	44
5-2-2 机械性能	44
5-3 品种规格及供货状态	44
5-4 钢的实际机械性能	45
5-4-1 不同板厚钢的实际机械性能	45
5-4-2 同卷沿长度方向不同位置实际机械性能	45
5-4-3 冲击韧性试验	46
5-4-4 冷弯试验	46
5-4-5 钢板预拉伸冷弯试验	47
5-4-6 缺口敏感性试验	47
5-4-7 冲压性能	48
5-4-8 疲劳强度	49
5-4-9 钢板板卷高温回火热处理	50
5-4-10 钢中钛含量与冷弯性能的关系	50
5-4-11 Ti/S值对冷弯性能的影响	51
5-5 金相组织	51
5-6 非金属夹杂物	51

5-7 临界温度	52
5-8 应用举例	52
5-9 国外同类钢号	52
6. 汽车车架用钢热轧09MnRE	53
6-1 概述	53
6-2 技术条件	53
6-2-1 化学成分	53
6-2-2 机械性能	53
6-3 品种规格及供货状态	54
6-4 钢的实际化学成分	54
6-5 钢的实际机械性能	54
6-5-1 钢板实际机械性能	54
6-5-2 冲击韧性试验	54
6-5-3 冷弯试验	55
6-5-4 冲压性能	55
6-5-5 缺口拉伸试验	56
6-5-6 缺口静弯曲试验	56
6-6 非金属夹杂物	57
6-7 金相组织与晶粒度	57
6-8 应用举例	58
7. 汽车用钢冷轧09MnRE	59
7-1 概述	59
7-2 技术条件	59
7-2-1 化学成分	59
7-2-2 机械性能	59
7-3 品种规格及供货状态	59
7-4 钢的实际化学成分	60
7-5 钢的实际机械性能	61
7-5-1 钢的实际机械性能	61
7-5-2 退火工艺对钢板性能的影响	61
7-5-3 冷弯性能	62
7-5-4 冲压性能	63
7-5-5 顶压深度	63
7-5-6 塑性应变比 R 与加工硬化指数 n	64
7-5-7 板卷不同部位机械性能	66
7-5-8 机械性能统计分析	66
7-6 焊接性能	66
7-7 非金属夹杂物	67
7-8 金相组织与晶粒度	67
7-9 临界温度	68
7-10 应用举例	68

8. 汽车车架及零件用钢热轧16MnRE	69
8-1 概述	69
8-2 技术条件	69
8-2-1 化学成分	69
8-2-2 机械性能	69
8-3 品种规格及供货状态	70
8-4 钢的实际化学成分	70
8-5 钢的实际机械性能	71
8-5-1 不同板厚实际机械性能	71
8-5-2 板卷不同位置不同取向实际机械性能	71
8-5-3 钢板不同取向冲击值	71
8-5-4 冲击韧性	72
8-5-5 板卷不同位置横、纵向实际冲击韧性	72
8-5-6 时效冲击性能	72
8-5-7 冷弯试验	72
8-5-8 冲压性能	72
8-5-9 疲劳强度的测定	73
8-5-10 RE/S值对机械性能的影响	74
8-5-11 RE/S值对冲压性能的影响	74
8-6 非金属夹杂物	74
8-6-1 金相鉴定	75
8-6-2 电子探针分析	75
8-6-3 断口分析	76
8-6-4 定量金相检验	76
8-7 金相组织与晶粒度	76
8-8 物理性能	77
8-8-1 线膨胀系数	77
8-8-2 拉伸弹性模量	78
8-9 应用举例	78
8-10 国外同类钢号	79
8-10-1 化学成分	79
8-10-2 机械性能	79
9. 汽车车箱用钢冷轧16MnRE	80
9-1 概述	80
9-2 技术条件	80
9-2-1 化学成分	80
9-2-2 机械性能	80
9-3 品种规格及供货状态	81
9-4 钢的实际化学成分	81
9-5 钢的实际机械性能	81
9-5-1 热轧板卷实际机械性能	81

9-5-2	冷轧钢板不同厚度实际机械性能	82
9-5-3	冷轧钢板纵、横向机械性能试验	82
9-5-4	冷轧钢板同板机械性能试验	82
9-5-5	冷轧钢板同卷机械性能试验	82
9-5-6	退火工艺对冷轧钢板性能的影响	82
9-5-7	冷弯试验	82
9-5-8	塑性应变比 R 与加工硬化指数 n	82
9-5-9	机械性能数据统计分析	83
9-6	冷轧钢板点焊性能试验	85
9-7	耐大气腐蚀性能试验	85
9-8	非金属夹杂物	89
9-9	金相组织与晶粒度	90
9-10	临界温度	90
9-11	应用举例	91
10	桥梁用钢15MnVNq	92
10-1	概述	92
10-2	技术条件	92
10-2-1	化学成分	92
10-2-2	机械性能	93
10-3	品种规格及供货状态	93
10-4	钢的实际化学成分	93
10-5	钢的实际机械性能	93
10-5-1	正火状态实际机械性能	93
10-5-2	不同板厚机械性能	93
10-5-3	不同正火温度对机械性能的影响	95
10-5-4	二次热处理对机械性能的影响	96
10-5-5	同一化学成分不同板厚的机械性能	97
10-5-6	调质性能试验	97
10-5-7	低温拉力试验	97
10-5-8	中温性能	97
10-5-9	硬度测定	100
10-5-10	冲击韧性	101
10-5-11	钢板表面与钢板中心部位在不同温度下的冲击值	101
10-5-12	低温韧性及脆性转变温度试验	101
10-5-13	落锤试验	102
10-5-14	抗时效性能	102
10-5-15	抗层状撕裂试验	103
10-5-16	疲劳试验	103
10-6	焊接试验	105
10-6-1	可焊性	105
10-6-2	对接焊试验	105

10-6-3 焊接规范	105
10-6-4 H型杆件焊接试验	106
10-6-5 箱型杆件焊接试验	107
10-7 非金属夹杂物	107
10-8 金相组织及晶粒度	108
10-9 物理性能	109
10-9-1 临界温度	109
10-9-2 奥氏体连续冷却曲线	109
10-9-3 弹性模量	109
10-9-4 泊桑比	109
10-9-5 线胀系数	109
10-9-6 比热	109
10-9-7 导热系数	110
10-10 应用举例	111
10-11 国外同类钢号	111
10-11-1 化学成分	111
10-11-2 机械性能	111
11. 锅炉与压力容器用钢14MnMoV	112
11-1 概述	112
11-2 技术条件	112
11-2-1 化学成分	112
11-2-2 机械性能	113
11-3 品种规格及供货状态	113
11-4 钢的实际化学成分	113
11-5 钢的实际机械性能	114
11-5-1 热轧钢板实际机械性能	114
11-5-2 正火状态机械性能	114
11-5-3 正火加回火状态机械性能	114
11-5-4 正火温度对机械性能的影响	116
11-5-5 回火温度对机械性能的影响	117
11-5-6 正火保温时间对机械性能的影响	117
11-5-7 冷却速度对机械性能的影响	117
11-5-8 二次正火+回火处理机械性能试验	118
11-5-9 一次常化+两相区处理试验	120
11-5-10 调质试验	121
11-5-11 调质性能均匀性试验	121
11-5-12 常温冲击试验	121
11-5-13 低温冲击试验	121
11-5-14 室温缺口敏感性试验	122
11-5-15 无塑性转变温度试验	123
11-5-16 持久强度试验	125

11-5-17 高温短时拉力试验	126
11-5-18 高温冲击试验	126
11-5-19 组织稳定性试验	126
11-5-20 疲劳试验	126
11-5-21 同一产品不同热处理状态机械性能对比	127
11-5-22 机械性能数据统计分析	127
11-6 工艺性能	128
11-6-1 气割性能	128
11-6-2 热卷性能	129
11-6-3 热冲压性能	129
11-6-4 末端淬透性试验	129
11-7 焊接性能	129
11-7-1 环形镶块抗裂试验	129
11-7-2 可焊刚性Y型坡口抗裂试验	130
11-7-3 焊接材料	130
11-7-4 焊接规范	130
11-7-5 焊接接头和焊缝金属机械性能	131
11-7-6 过热区的硬度和冲击值	131
11-8 金相组织	132
11-9 物理性能	132
11-9-1 临界温度	132
11-9-2 线膨胀系数	133
11-9-3 拉伸弹性模量	134
11-9-4 奥氏体等温转变曲线	134
11-10 应用举例	134
11-11 国外同类钢号	136
11-11-1 化学成分	136
11-11-2 机械性能	136
12. 水轮机涡壳用钢14MnMoVN	137
12-1 概述	137
12-2 技术条件	137
12-2-1 化学成分	137
12-2-2 机械性能	138
12-3 品种规格及供货状态	138
12-4 钢的实际化学成分	138
12-5 钢的实际机械性能	138
12-5-1 热轧状态机械性能	138
12-5-2 正火状态机械性能	138
12-5-3 正火加回火状态实际机械性能	139
12-5-4 不同正火和回火状态机械性能	139
12-5-5 调质状态实际机械性能	140
12-5-6 调质钢板同板性能试验	141
12-5-7 回火温度对调质钢性能的影响	141

12-5-8 冲击试验	141
12-5-9 缺口敏感性试验	141
12-5-10 应变时效敏感性	143
12-5-11 高温抗拉试验	144
12-5-12 钢板实际机械性能数据统计分析	144
12-6 加工工艺性能	144
12-6-1 气割淬硬性试验	145
12-6-2 落锤试验	146
12-7 断裂韧性	147
12-8 焊接性能	147
12-8-1 可焊性试验	147
12-8-2 焊条	147
12-8-3 焊接方法与焊接规范	147
12-8-4 焊接接头机械性能	148
12-9 回火脆性试验	148
12-10 模拟涡壳圆筒结构试验	148
12-11 球型容器爆破试验	150
12-12 断口分析	150
12-13 金相组织	151
12-14 物理性能	154
12-14-1 临界温度	154
12-14-2 奥氏体连续冷却转变曲线	156
12-14-3 线胀系数	156
12-14-4 导热系数	156
12-14-5 热扩散系数	156
12-14-6 比热	156
12-14-7 比重	156
12-14-8 拉伸弹性模量	157
12-15 应用举例	157
12-16 国外同类钢号	157
12-16-1 国外同类钢号的化学成分	157
12-16-2 国外同类钢号的机械性能	157
13. 压力容器用钢16MnRER	159
13-1 概述	159
13-2 技术条件	159
13-2-1 化学成分	159
13-2-2 机械性能	159
13-3 品种规格及供货状态	160
13-4 钢的实际化学成分	160
13-5 钢的实际机械性能	160
13-5-1 正火状态实际机械性能	160
13-5-2 钢板纵横向机械性能	161

13-5-3	不同板厚L、C、Z三个方向的机械性能	161
13-5-4	冲击值	162
13-5-5	无塑性转变温度试验	162
13-5-6	机械性能波动情况	162
13-6	断裂韧性试验	163
13-7	焊接性能	164
13-7-1	焊接规范	165
13-7-2	焊缝金属化学成分	165
13-7-3	焊接接头机械性能	165
13-8	回火脆性试验	165
13-9	金相组织和晶粒度	167
13-10	非金属夹杂	167
13-11	物理性能	168
13-11-1	临界温度	168
13-12	应用举例	168
13-13	国外同类钢号	168
13-13-1	日本压力容器用钢板的化学成分	168
13-13-2	日本压力容器用钢板的机械性能	169
14.	-60℃ 低温用钢 06MnVAl	170
14-1	概述	170
14-2	技术条件	170
14-2-1	化学成分	170
14-2-2	机械性能	170
14-3	品种规格及供货状态	171
14-4	钢的实际化学成分	171
14-5	钢的实际机械性能	171
14-5-1	钢板热轧状态机械性能	171
14-5-2	钢管热轧状态机械性能	172
14-5-3	钢板正火状态实际机械性能	172
14-5-4	冷拨管实际机械性能	172
14-5-5	正火状态钢管实际机械性能	172
14-5-6	低温机械性能	172
14-5-7	冲击试验	173
14-5-8	化学成分对冲击韧性的影响	174
14-5-9	冷脆转变温度试验	178
14-5-10	缺口敏感性试验	178
14-5-11	钢板硬度	178
14-5-12	热处理工艺的确定	179
14-6	锻压工艺试验	180
14-6-1	锻件机械性能	180
14-6-2	锻件冲击韧性	180