

合金钢钢种手册

第四册

耐热钢



HEJINGANG GANGZHONG SHOUC

冶金工业出版社

3-62

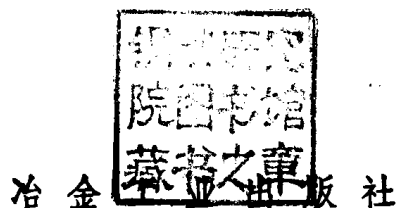
TG 142.33-62
Y 39
c.3

合金钢钢种手册

第四册 耐热钢

冶金工业部《合金钢钢种手册》编写组 编

GT16121



211059

内 容 提 要

本手册是反映我国自己的合金钢体系的工具书。全书共分五册：第一册合金结构钢；第二册弹簧钢、易切削钢、滚动轴承钢；第三册合金工具钢、高速工具钢；第四册耐热钢；第五册不锈钢耐酸钢。

本书是第四册耐热钢，共收入67个钢号，给出了这些钢号的化学成分、物理常数、机械性能、化学性能、工艺性能、交货状态、生产品种规格及主要生产单位等资料，可供各机械制造工业、冶金工业从事产品设计、机械加工、热处理、材料供应工作的工程技术人员、工人和管理人员经济、合理地选用钢种、钢材、工艺参数参考，也是从事金属材料研究、炼钢、压力加工、焊接等工作的科技人员、工人和工科大专院校、中等专业学校师生的重要参考书。

合金钢钢种手册

第四册 耐热钢

冶金工业部《合金钢钢种手册》编写组 编

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

天津新华印刷一厂印刷

787×1092 1/16 印张 11 3/4 字数 274 千字

1983年8月第一版 1983年8月第一次印刷

印数00,001~19,500册

统一书号：15062·3942 定价 1.25 元

前 言

合金钢是含有一定数量合金元素的钢，是最重要的金属材料之一。这类材料钢号繁多、规格复杂，为工农业、国防工业和科学技术部门广泛采用。出版本手册的主要目的就是为用户服务，使他们能够在众多的合金钢材料中根据具体使用条件经济、合理地选择所需要的钢种和工艺。

本手册的内容包括我国合金钢体系的八个钢类，其中合金结构钢87个钢号；弹簧钢10个钢号；易切削钢11个钢号；滚动轴承钢15个钢号；合金工具钢45个钢号；高速工具钢20个钢号；耐热钢67个钢号；不锈钢耐酸钢48个钢号。八个钢类共收入303个钢号，其中标准钢号210个，占八个钢类应有标准钢号数245的86%，这是由于合金结构钢、弹簧钢、滚动轴承钢和其他钢类标准中有少数钢号因故未被收入本手册。手册中收入非标准钢号93个，这些钢号都是经过了一定数量生产和使用考验，积累了一定数量数据，可以向使用单位推荐的钢号。

本手册收入的钢号，基本上反映了建国以来我国有关的科研和生产单位根据国民经济发展的需要，有计划地引用国外钢号和结合我国资源研制新钢号的重大成果。基本上能满足我国各行业目前对合金钢品种的需求，并且形成了我国自己的合金钢体系。

本手册的编辑、出版是结合钢种整顿工作进行的。在冶金部有关部门组织下，由冶金工业部钢铁研究总院和有关钢厂组成编写小组，进行调查研究，收集试验和生产检验数据及生产工艺、使用效果等方面的资料，并对大量数据进行审查、整理和选取。本手册的出版就是进行上述大量工作的成果。

本手册包括八个部分，分五册出版。

第一册 一、合金结构钢

第二册 二、弹簧钢

三、易切削钢

四、滚动轴承钢

第三册 五、合金工具钢

六、高速工具钢

第四册 七、耐热钢

第五册 八、不锈钢耐酸钢

由于基础工作不够，手册中一部分钢号的性能数据还不很完善，因而引用了一定数量的国外数据。另外，因时间关系，未能对体系中现有钢号进行更深入地整顿。这些都有待今后进一步完善。

目 录

前 言

七、耐 热 钢

耐热钢钢类说明.....	3
7-1 16Mo	5
7-2 12CrMo	7
7-3 15CrMo	10
7-4 25Cr2MoV.....	13
7-5 25Cr2Mo1V	17
7-6 12Cr1MoV.....	20
7-7 1Cr6Si2 Mo	23
7-8 12MoVWBSiRE	26
7-9 12Cr2MoWVTiB	29
7-10 12Cr3MoVSiTiB	33
7-11 1Cr11MoV.....	36
7-12 1Cr12WMoV.....	38
7-13 1Cr18Ni9Ti	41
7-14 1Cr18Ni12Ti	45
7-15 4Cr12Ni8Mn8MoVNB	47
7-16 0Cr15Ni25Ti2MoVB	50
7-17 1Cr15Ni36W3Ti	52
7-18 4Cr9Si2	56
7-19 4Cr10Si2Mo	59
7-20 3Cr13Ni7Si2	61
7-21 4Cr14Ni14W2Mo	63
7-22 1Cr5Mo	66
7-23 1Al3MoWTi(15Al3MoWTi)	68
7-24 1Cr13Si3.....	72
7-25 1Cr13SiAl	74
7-26 1Cr18Si2.....	76
7-27 1Cr25Si2.....	78
7-28 1Cr13	80
7-29 2Cr13	83
7-30 1Cr23Ni13	86
7-31 1Cr23Ni18	88
7-32 1Cr20Ni14Si2.....	91
7-33 1Cr25Ni20Si2.....	94
7-34 3Cr18Ni25Si2.....	96
7-35 3Cr18Mn12Si2N.....	99
7-36 2Cr 20Mn9Ni2Si2N.....	101
7-37 10Cr2Mo1.....	104
7-38 ZG20CrMo	107
7-39 ZG20CrMoV	109
7-40 ZG15Cr1Mo1V	111
7-41 20Cr1Mo1VNB B.....	114
7-42 20Cr1Mo1VTiB	117
7-43 1Cr11Ni2W2MoV	119
7-44 2Cr12Ni2WMoVNB	122
7-45 2Cr12WMoVNB B	123
7-46 1Cr14Ni3W2VB	126
7-47 8Cr20Si2Ni	128
7-48 5Mn2Si2Al3WV	130
7-49 6Mn20Al5MoVNB	131
7-50 6Mn19Cr9Al2SiMo V.....	134
7-51 5Cr21Mn9Ni4N	136
7-52 3Cr20Ni10Mn9WMoNBBN	139
7-53 5Cr21Mn9Ni4WN	142
7-54 2Cr18Ni8W2	144
7-55 4Cr18Ni9Si2W	146
7-56 2Cr21Ni12MnSiN	147
7-57 2Mn18Al5SiMoTi	149
7-58 4Mn19Cr5Al6SiMoTi	151
7-59 6Mn18Al5Si2Ti	153
7-60 3Cr19Ni4SiN	156
7-61 4Cr22Ni4N	158
7-62 3Cr24Ni7SiN	160

· 7—63 3Cr24Ni7SiNRE	163	7—66 ZG4Cr25Ni35Si2	172
7—64 1Cr21Ni32	166	7—67 ZG4Cr28Ni48W5Si2	174
7—65 ZG4Cr25Ni20Si2	169		
附录 耐热钢钢号与国外钢号对照表			177

七、耐 热 钢

耐热钢钢类说明

耐热钢是指具有高于450°C的工作温度，并有一定强度和抗氧化、耐腐蚀能力的钢种，广泛用于制造锅炉、汽轮机、内燃机、高温炉和石油化工等设备的构件。

本钢类共收入67个钢号，其中标准钢号36个，约占总数的54%；非标准钢号31个。根据耐热钢的性能和用途大致分成三类：热强钢（26个）、阀门钢（14个）和抗氧化钢（27个）。

热强钢中除引用国外同类锅炉用钢外，又收入了我国研制的多元素复合合金化的锅炉过热器用钢12Cr2MoWVTiB、12Cr3MoVSiTiB，它们可以代替在低于620°C条件下工作的国外同样用途的高铬镍奥氏体不锈钢耐热钢；热强钢中有5个含有12%Cr的改型马氏体钢，比国外同类钢种数量稍少；只收入5个铁基固溶强化和碳化物沉淀强化奥氏体热强钢（1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni12Ti、4Cr12Ni8Mn8MoVNB、0Cr15Ni25Ti2MoVB、1Cr15Ni36W3Ti），而含镍量更高的钢种已归入我国高温合金牌号中。

阀门钢中除引用国外Cr-Ni系钢种外，还收入了我国研制的两个Fe-Mn-Al系钢种：6Mn20Al5MoVNB、6Mn19Cr9Al2SiMoV。

抗氧化钢中的Cr-Ni系和Cr-Si系钢种大部分是引用国外钢号；收入我国研制的九个钢种是属于Fe-Al-Mn系、Cr-Mn-N系、Cr-Ni-N系和添加稀土元素的Cr-Ni-N系。

我国耐热钢钢类的特点是除引用国外的Cr-Ni系奥氏体钢、Cr-Mo系和Cr-Si系铁素体钢以外，着重研制了多元素复合合金化的珠光体—贝氏体系和马氏体系热强钢，Fe-Mn-Al系阀门钢和Cr-Ni-N系等抗氧化钢种。本钢类共收入这几类研制钢种20个，约占收入本册的全部耐热钢的30%。

本钢类钢种的性能数据取自各研制单位的实验报告、标准、各种金属材料手册和杂志。有些钢号还需要改工艺、调整性能，以便扩大用途。今后，应当继续发展经济效益高、性能好、适于多种用途的耐热钢钢种。

7—1 16Mo

16Mo是一种成分最简单的低合金热强钢,热强性能显著优于碳素钢,而工艺性能仍与碳素钢大致相同,是世界各国广泛应用的钢种。该钢主要作 $\leq 530^{\circ}\text{C}$ 条件下工作的低、中压锅炉受热器和联箱管道使用,也可用于超高压锅炉水冷壁管。在使用时应注意钼钢在高温下的石墨化倾向,因此,有的国家在高压锅炉管标准中已不列入此类钢。但根据西德报道,只要在生产此钢时注意控制含铝量和执行预先热处理制度,并选择合适的热加工工艺等,石墨化问题还是能够防止的。由于钼钢持久塑性随含钼量增加而降低,因此,近年来使用含0.30%钼的钢(相当于西德的15Mo3)较多。

1. 化学成分, %

C	Si	Mn	Mo	S	P
0.13~0.19	0.20~0.40	0.40~0.70	0.40~0.55	≤ 0.040	≤ 0.040

注 摘自YB6-71。

2. 物理常数

临界点, $^{\circ}\text{C}$

A_{c1}	A_{c3}	A_{r3}	A_{r1}
735	875~900	830	610

比重 7.85

弹性模量

温 度, $^{\circ}\text{C}$	20	400	500
E , kg/mm^2	21000	18900	16800

线膨胀系数

温 度, $^{\circ}\text{C}$	0~100	0~200	0~300	0~400	0~500	0~600
$\alpha \times 10^6$, $\text{mm/mm} \cdot ^{\circ}\text{C}$	12.0	12.6	13.2	13.7	14.2	14.7

导热系数

温 度, $^{\circ}\text{C}$	20	100	300	400	500	600
λ , $\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$	0.119	0.115	0.106	0.098	0.091	0.083

3. 机械性能

室温机械性能

热 处 理 制 度	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_K	d_{HB}
	kG/mm ²		%		kG·m/cm ²	mm
880℃正火, 630℃回火	≥40	≥25	≥25	≥60	≥12	≥4.5

注 摘自YB6—71。

高温机械性能

热 处 理 制 度	温 度 ℃	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_K
		kG/mm ²		%		kG·m/cm ²
900~950℃正火	20	48~55	28~34	24~28	64.0	9.0
	200	53.0	30.5	15.5	61.8	13.8
	350	56.0	22.5	26.5	68.0	7.6
	450	47.0	22.5	25.0	77.0	4.0
	500	40.0	21.0	23.0	78.0	
	550	33.5	19.0	22.0	78.0	4.0
	600	23.0	18.4	28.0	86.0	
900~950℃正火, 630~700℃回火	20	49.5	22.5	33.7	64.8	8.9
	200	53.0	22.5	21.7	55.4	18.6
	300	50.0	22.0	23.0	45.8	18.8
	400	48.0	15.5	26.3	54.6	11.2
	450	45.5	15.5	32.0	63.9	8.5
	500	36.0	17.5	24.3	66.0	7.3
	550	32.5	17.0	26.3	67.0	7.1
	600	28.0	16.0	31.6	67.9	8.5

持久强度

温 度, ℃		480	490	500	510	520	530
$\sigma_b/10000$	kG/mm ²	23.2	20.6	18.0	15.3	12.9	10.7
$\sigma_b/100000$		14.6	11.9	9.5	7.5	6.0	4.8
$\sigma_b/200000$		12.3	9.8	7.6	5.8	4.6	3.7

蠕变强度

温 度, ℃		480	490	500	510	520	530
$\sigma_r/10000$	kG/mm ²	16.9	15.2	13.5	11.8	10.1	8.6
$\sigma_r/100000$		10.9	9.1	7.5	6.0	4.7	3.7

4. 时效稳定性

16Mo像其它含钼钢一样组织稳定性不够好。在500~550℃下长期使用时有石墨化倾向, 这种石墨化倾向在焊接接头的焊缝及附近最为严重。为防止钢的石墨化倾向, 冶炼过程中用铝脱氧时加铝量必须严加限制。有人认为, 每吨钢的铝用量以不超过200克为宜。为防止焊后的石墨化倾向, 必须对焊缝进行高温回火处理。

对在480℃、60大气压下长期工作的 $\phi 273$ mm主蒸汽管的研究表明, 长时运行后组织

中有石墨均匀弥散析出，钢的强度性能没有明显的下降，但冲击韧性大大降低。

5. 抗氧化性

该钢的抗氧化性能实际上与碳素钢没有差别。

6. 生产工艺

冶炼

可用平炉和电弧炉冶炼。为防止石墨化倾向，应限制脱氧加铝量。

热加工

开始温度 1260°C，终止温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$ 。热加工后堆冷。

焊接

该钢可焊性良好，可进行碰焊、电焊和气焊等。电焊用热107焊条，气焊用H12CrMo等焊丝。在进行电焊时，焊前须预热至150~250°C（小口径薄壁管可不预热），焊后应进行620~700°C高温回火处理。

热处理

900°C退火，900~940°C正火，600~680°C回火

7. 交货状态

钢管应该正火+回火状态交货

8. 生产品种规格

主要生产各种小口径钢管

9. 主要生产厂

鞍山无缝钢管厂和大连钢厂等。

7—2 12CrMo

12CrMo是一种低合金热强钢。由于钢中含有0.5%Cr，能有效地防止石墨化倾向，而对其它工艺性能无不良影响。与16Mo钢相比，12CrMo钢具有较高的耐热性。与含1%Cr的15CrMo钢相比，热强性能基本相同，但成本低、工艺也比较简单。主要用于蒸汽温度为510°C的高、中压蒸汽管，用于管壁温度为520~540°C的高压、超高压锅炉受热面管及其相应的锻件。在450°C时，钢有较高的抗松弛稳定性，所以它适于制作弹性元件。

1. 化学成分，%

C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	S	P
≤ 0.15	0.20~0.40	0.40~0.70	0.40~0.70	0.40~0.55	≤ 0.30	≤ 0.040	≤ 0.040

注 摘自YB6—71。

2. 物理常数

临界点，°C

A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}
720	880	695	790

比重 7.85

弹性模量

温 度, $^{\circ}\text{C}$	20	450
E , kG/mm^2	21050	17370

线膨胀系数

温 度, $^{\circ}\text{C}$	25~100	25~200	25~300	25~400	25~500	25~600	25~700
$\alpha \times 10^6$, $\text{mm/mm} \cdot ^{\circ}\text{C}$	11.2	12.5	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8

导热系数

温 度, $^{\circ}\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700
λ , $\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$	0.120	0.120	0.120	0.116	0.112	0.110	0.106

3. 机械性能

室温机械性

钢管壁厚 mm	热处理制度	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	σ_K	备 注
		kG/mm^2		%		$\text{kG} \cdot \text{m/cm}^2$	
≤ 80	900 $^{\circ}\text{C}$ 正火, 650 $^{\circ}\text{C}$ 回火	≥ 42	≥ 27	≥ 24	≥ 60	≥ 14	①
	900~930 $^{\circ}\text{C}$ 正火, 680~730 $^{\circ}\text{C}$ 回火	≥ 42	≥ 21	≥ 21		≥ 7	②

① 摘自YB6—71。

② 摘自厂标。

高温机械性能

热处理制度	取样方向	温 度 $^{\circ}\text{C}$	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	σ_K
			kG/mm^2		%		$\text{kG} \cdot \text{m/cm}^2$
920 $^{\circ}\text{C}$ 正火, 680~690 $^{\circ}\text{C}$ 回火 ($\phi 273 \times 28\text{mm}$ 管材)	纵 向	0					17.6
		20	45.5	28.4	31.6	66.5	19.3
		100	41.3	26.8	24.3	62.7	20.1
		200	45.8	26.4	20.3	62.0	18.8
		300	48.3	29.2	20.3	57.4	16.0
		400	45.8	25.7	22.9	62.0	18.2
		450	43.7	25.8	21.0	60.3	9.9
		500	40.5	24.0	22.1	61.8	9.6
		550	36.5	22.5	21.6	63.7	7.9
		600	31.2	22.5	25.8	64.3	14.5
	横 向	0					11.0
		20	29.5	47.2	28.0	64.0	14.4
		100					16.5
		550					7.0

持久强度

温 度, °C		480	510	540
$\sigma_b / 1000$	kG/mm ²	31	23	17
$\sigma_b / 10000$		25	16	11
$\sigma_b / 100000$		20	12	7

注 920°C正火, 680~690°C回火。

蠕变强度

温 度, °C		480	500	540
$\sigma_{0.2/10000}$	kG/mm ²	18		
$\sigma_{0.5/10000}$		20		
$\sigma_{1/10000}$		22		
$\sigma_{0.5/100000}$		14		
$\sigma_{1/100000}$		15	7	3.5

注 920°C正火, 680~690°C回火。

抗松弛性能

初 应 力 kG/mm ²	残余应力, kG/mm ² (在下列时间, h)						
	25	100	500	1000	1700	5000	10000
26	18.3	17.3	16.2	16.0	15.6	(14.5)	(13.0)
23	15.7	14.9	14.2	14.0	13.7	(12.8)	(11.7)
20	14.1	13.4	12.8	12.4	12.3	(11.8)	(11.1)
16	13.0	12.3	11.6	11.4	11.2	(11.0)	(10.4)
13	10.7	10.1	9.7	9.5	9.4	(8.9)	(8.5)
10	8.5	8.1	7.7	7.5	7.3	(7.1)	(6.7)

注 括号内为外推值。

4. 时效稳定性

该钢没有石墨化倾向, 也没有热脆性。长期时效后, 组织有足够的稳定性。

6. 生产工艺

冶炼

可用平炉和电炉冶炼

热加工

热加工开始温度 1200°C, 终止温度 ≥800°C, 锻轧后堆冷。

焊接

可焊性良好, 可进行碰焊、电焊、气焊及自动焊等。手工电焊条用热204和热207等, 气焊用H12CrMo焊丝, 自动焊用H12CrMo焊丝及焊剂250等。焊前预热至100~250°C (手工电焊小口径薄壁管一般可不预热), 焊后须进行650~720°C回火处理。

热处理

900~930°C正火, 650~720°C回火

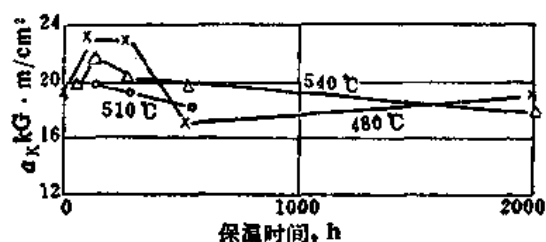


图 7-2-1 长期时效后冲击值的变化

6. 交货状态

钢管应该在正火加回火状态交货；

热轧材应该在退火或高温回火后交货。

7. 生产品种规格

主要生产 $\phi 14\sim 76\times 2.0\sim 8.0\text{mm}$ 的各种小口径的无缝钢管

热轧材 $\phi 8\sim 70\text{mm}$ ；方 $8\sim 55\text{mm}$

8. 主要生产厂

鞍钢无缝钢管厂、北京钢厂、抚顺钢厂、上钢五厂、大冶钢厂、长城钢厂等。

7—3 15CrMo

15CrMo钢与12CrMo钢相比，铬含量约增加了一倍，碳含量也有所提高，因此它的强度提高，而韧性则相应降低，工艺性能也有所下降。该钢在550°C以下有较高的热强性和抗氧化性。由于其良好的综合性能，并且世界各国已积累了丰富的使用经验，15CrMo钢目前是使用最广泛的低合金热强钢之一。主要用于管壁温度550°C的锅炉受热面管，以及蒸汽参数510°C的高、中压蒸汽导管等。

1. 化学成分，%

C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
0.12~0.18	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.40~0.55	≤0.040	≤0.040

注 摘自YB529—70。

2. 物理常数

临界点，°C

A_{c1}	A_{c3}
745	845

比重 7.85

比热 C (0~100°C)，cal/g·°C 0.116

弹性模量

温度，°C	20	300	500	600
E ，kG/mm ²	21000	18500	16500	15500

线膨胀系数

温度，°C	0~100	0~200	0~300	0~400	0~500	0~600
$\alpha \times 10^6$ ，mm/mm·°C	11.9	12.6	13.2	13.7	14.0	14.3

导热系数

温 度, $^{\circ}\text{C}$	100	300	500	600
λ , cal/cm·s· $^{\circ}\text{C}$	0.106	0.099	0.086	0.080

3. 机械性能

室温机械性能

热 处 理 制 度	截面厚度 mm	取样方向	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_K	备 注
			kG/mm ²		%		kG·m/cm ²	
930~960℃正火, 680~730℃回火	25	纵 向	≥45①	≥24	≥21		≥6	②
	25	横 向	≥45	≥23	≥20		≥5	②
900℃正火, 650℃回火	≤80	纵 向	≥45	≥30	≥22	≥60	≥12	③

① 对外径 $\phi > 168\text{mm}$ 、壁厚 $> 25\text{mm}$ 管材, 允许 σ_b 降低4kg/mm²;

② 摘自YB529—70;

③ 摘自YB6—71。

高温机械性能

热 处 理 制 度	温 度 ℃	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_K
		kG/mm ²		%		kG·m/cm ²
900~920℃正火, 630~650℃回火	20	54.0	35.0	25.5	67.0	27.0
	350	51.0	25.5	22.0	67.0	25.0
	400	50.5	25.0	23.5	69.5	16.5
	450	49.0	25.0	21.5	74.0	17.0
	500	45.0	27.0	20.0	76.5	
	520	42.0	27.0	20.0	62.8	
	550	42.0	25.0	21.0	78.5	
	600	31.0	24.5	22.0	51.8	

持久强度

热 处 理 制 度	温 度, $^{\circ}\text{C}$		450	475	500	550
900~920 $^{\circ}\text{C}$ 正火, 630~650 $^{\circ}\text{C}$ 回火	$\sigma_b / 10000$	kg/mm ²			18~20	8~10
	$\sigma_b / 100000$		24	18	11~14	5~7

蠕变强度

热 处 理 制 度	温 度, $^{\circ}\text{C}$		425	475	500	520	550	560
900~920 $^{\circ}\text{C}$ 正火, 630~650 $^{\circ}\text{C}$ 回火	$\sigma_1 / 10000$	kg/mm ²	20	17		13.5		
	$\sigma_1 / 100000$		15	10	8	5.5	4.5	3.5