

P61

备案号：7775—2000

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 715—2000

火力发电厂金属材料选用导则

**Selection guidelines for the metallic material
of fossil-fired power plants**



2000-11-03 发布

2001-01-01 实施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

前 言

本标准是根据原电力工业部 1996 年电力行业标准计划项目（技综 [1995] 15 号）的安排制订的。

火力发电设备由锅炉、汽轮机、发电机及其辅机配套而成。设备用钢种类繁多，耗钢量大，部件运行条件各异，有些长期在高温、高压条件下运行，有些在高速旋转条件下承受扭矩和冲击载荷的作用，有些则要在烟、汽、水等腐蚀介质条件下工作，因此，对材料性能的要求也各不相同。此外，为节约能源，提高热效率，机组的单机容量和蒸汽参数不断提高，亚临界和超临界参数机组日益增多，从而对火力发电设备用钢提出了更高的要求。另一方面，进口大机组和超期服役机组逐年增加，因此，进口机组材料的国产化和超期服役机组的延寿改造工作也显得十分重要。

为正确选用电机组重要部件金属材料，充分发挥材料的可用潜力，有效地提高机组的运行可靠性，为超期服役机组的延寿改造、部件的修理与更换、进口机组材料的国产化与代用等提供技术依据，为进一步提高金属技术监督管理水平，原电力工业部下发了制订电力行业标准《火力发电厂金属材料选用导则》的任务。

本标准附录 A 为提示的附录。

本标准由中华人民共和国原电力工业部提出。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国家电力公司热工研究院。

本标准主要起草人：王金瑞、姜求志、李益民、顾介平、钱祥鹏、薛一如。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会负责解释。

目 次

前言

1 范围	1
2 引用标准	1
3 选材的基本原则	3
4 金属材料的选用	3
4.1 蒸汽管道、集箱和锅炉受热面管子用金属材料	3
4.2 锅炉锅筒用金属材料	5
4.3 锅炉受热面固定件及吹灰器用金属材料	5
4.4 汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮用金属材料	7
4.5 汽轮发电机转子和无磁性护环用金属材料	8
4.6 汽轮机叶片用金属材料	9
4.7 紧固件用金属材料	9
4.8 汽轮机与锅炉铸钢件用金属材料	10
4.9 凝汽器用管材	11
4.10 压力容器用金属材料	12
附录 A (提示的附录) 电站常用钢钢号、特性及主要应用范围	13

中华人民共和国电力行业标准

火力发电厂金属材料选用导则

Selection guidelines for the metallic material of
fossil-fired power plants

DL/T 715—2000

1 范围

本标准规定了金属材料选用的技术要求，及金属材料的基本检验项目、方法和质量要求。

本标准适用于火力发电厂在役机组部件的维修与更换，新机组重要部件金属材料的选用和替代，以及超期服役机组延寿的技术改造。

国外牌号金属材料的国产化、代用和维修也可参照本标准执行。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB/T 222—1984 钢的化学分析用试样取样法及成品化学成分允许偏差
- GB/T 223—1994 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T 224—1987 钢的脱碳层深度测定法
- GB/T 226—1991 钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验法
- GB/T 228—1987 金属拉伸试验方法
- GB/T 229—1994 金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T 230—1991 金属洛氏硬度试验方法
- GB/T 231—1984 金属布氏硬度试验方法
- GB/T 232—1988 金属弯曲试验方法
- GB/T 233—1982 金属顶锻试验方法
- GB/T 241—1990 金属管 液压试验方法
- GB/T 242—1997 金属管 扩口试验方法
- GB/T 244—1997 金属管 弯曲试验方法
- GB/T 245—1997 金属管 卷边试验方法
- GB/T 246—1997 金属管 压扁试验方法
- GB/T 699—1988 优质碳素结构钢技术条件
- GB 713—1997 锅炉用钢板
- GB/T 1220—1992 不锈钢棒
- GB/T 1221—1992 耐热钢棒
- GB/T 1979—1980 结构钢低倍组织缺陷评级图
- GB/T 2039—1997 金属拉伸蠕变及持久试验方法
- GB/T 2970—1991 中厚钢板超声波探伤方法
- GB/T 2975—1998 钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备
- GB/T 3077—1988 合金结构钢技术条件

- GB 3087—1982 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3323—1987 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB/T 3620.1—1994 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB/T 3625—1995 换热器及冷凝器用钛及钛合金管
- GB/T 4160—1984 钢的应变时效敏感性试验方法（夏比冲击法）
- GB/T 4334.1—1984 不锈钢 10%草酸浸蚀试验方法
- GB/T 4334.2—1984 不锈钢 硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法
- GB/T 4334.3—1984 不锈钢 65%硝酸腐蚀试验方法
- GB/T 4334.4—1984 不锈钢 硝酸-氢氟酸腐蚀试验方法
- GB/T 4334.5—1984 不锈钢 硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法
- GB/T 4334.6—1984 不锈钢 5%硫酸腐蚀试验方法
- GB/T 4338—1995 金属高温拉伸试验方法
- GB/T 4340—1984 金属维氏硬度试验方法
- GB/T 4698—1996 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
- GB/T 5121—1996 铜及铜合金化学分析方法
- GB 5248—1998 铜及铜合金无缝管涡流探伤方法
- GB 5310—1995 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 5313—1985 厚度方向性能钢板
- GB/T 5777—1996 无缝钢管超声波探伤方法
- GB/T 6397—1986 金属拉伸试验试样
- GB 6654—1996 压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
- GB/T 7735—1995 钢管涡流探伤方法
- GB 8000—1987 热交换器用黄铜管内应力氨熏检验方法
- GB/T 8732—1988 汽轮机叶片用钢
- GB/T 8890—1998 热交换器用铜合金管
- GB/T 10121—1988 钢材塔形发纹磁粉检验方法
- GB/T 10561—1989 钢中非金属夹杂物显微评定方法
- GB/T 12606—1990 钢管及圆钢棒的漏磁探伤方法
- GB/T 12969.1—1991 钛及钛合金管材超声波检验方法
- GB/T 12969.2—1991 钛及钛合金管材涡流检验方法
- GB 13296—1991 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 13298—1991 金属显微组织检验方法
- DL/T 439—1991 火力发电厂高温紧固件技术导则
- DL/T 712—2000 火力发电厂凝汽器管选材导则
- JB/T 1265—1993 25~200MW 汽轮机转子体和主轴锻件技术条件
- JB/T 1266—1993 25~200MW 汽轮机轮盘及叶轮锻件技术条件
- JB/T 1267—1993 50~200MW 汽轮发电机转子锻件技术条件
- JB/T 1268—1993 50~200MW 汽轮发电机无磁性护环锻件技术条件
- JB/T 1581—1996 汽轮机、汽轮发电机转子和主轴超声波探伤方法
- JB/T 1582—1996 汽轮机叶轮超声波探伤方法
- JB/T 3375—1991 锅炉原材料入厂检验
- JB 4010—1985 汽轮发电机用钢制护环超声波探伤方法
- JB/T 7027—1993 300~600MW 汽轮机转子体锻件技术条件

- JB/T 7030—1993 300~600MW 汽轮发电机无磁性护环锻件技术条件
 JB/T 7178—1993 300~600MW 汽轮发电机转子锻件技术条件
 JB/T 9021—1999 汽轮机主轴和转子锻件的热稳定性试验方法
 JB/T 9625—1999 锅炉管道附件承压铸钢件技术条件
 JB/T 9629—1999 汽轮机承压件水压试验技术条件
 JB/T 9630.1—1999 汽轮机铸钢件的磁粉探伤及质量分级方法
 JB/T 10087—1999 汽轮机铸钢件技术条件
 YB (T) 41—1993 锅炉用碳素钢和低合金钢厚钢板
 YB/T 5148—1993 金属平均晶粒度测定方法
 YS/T 347—1994 单相铜合金晶粒度测定法

3 选材的基本原则

- 3.1 应综合考虑材料的使用性能、工艺性能和经济性。
- 3.1.1 材料的使用性能应根据部件的设计工作温度、受力状况、介质特性及工作的长期性和安全性确定。
- 3.1.2 材料的工艺性能应根据部件的几何形状、尺寸、制造工艺以及部件失效后的修复方法来确定。
- 3.2 根据本标准选用的各种金属材料应符合有关国家标准和行业标准的要求。
- 3.2.1 进口机组用的金属材料，应符合相应的国家技术标准。
- 3.2.2 产品合格证及质量证明书应齐全，包括：材料牌号、化学成分、力学性能、热处理工艺及其必要的性能和检验结果等资料，此材料还要经金属技术监督专职工程师验收合格后才能使用。
- 3.2.3 质量证明书中如有缺项或数据不全的应补检，检验方法、范围及数量应符合相关标准。
- 3.3 选择代用材料时，应该选用化学成分、性能相近或略优者，同时应进行强度校核计算，保证在使用条件下各项性能指标均不低于设计要求。
- 3.4 制造、安装中使用代用材料，应得到设计单位和使用单位的许可，并由设计单位出具修改通知单。检修中使用代用材料应征得上金属技术监督专职工程师的同意，并经总工程师批准。
- 3.5 为防止错用金属材料，代用前和组装后，应对代用材料进行光谱或其他方法复查，确认所用材料无误后，方可投入运行。

4 金属材料的选用

- 4.1 蒸汽管道、集箱和锅炉受热面管子用金属材料
- 4.1.1 蒸汽管道、集箱对金属材料的要求
- 4.1.1.1 应具有足够高的蠕变强度、持久强度、持久塑性和抗氧化性能。蒸汽管道和集箱通常以 1×10^5 h 或 2×10^5 h 的高温持久强度作为强度设计的主要依据，再用蠕变极限进行校核。一般要求钢材在工作温度下的持久强度平均值不低于 50MPa~70MPa；对于低合金耐热钢，在整个运行期内累积的相对蠕变变形量不应超过 2%；持久强度和蠕变极限的分散范围不超过 $\pm 20\%$ ；持久塑性的延伸率不小于 3%~5%。
- 4.1.1.2 在高温下、长期运行过程中，组织性能稳定性好。
- 4.1.1.3 具有良好的工艺性能，特别是焊接性能要好。
- 4.1.1.4 选材时，应根据工作温度，优先考虑钢材的热强性和组织稳定性。对于同一钢号钢材，用于蒸汽管道时所允许的最高使用温度应比用于过热器管的耐热温度低一些。
- 4.1.2 过热器管和再热器管对金属材料的要求
- 4.1.2.1 具有足够高的蠕变强度、持久强度和持久塑性，并在高温、长期运行过程中，具有相对稳定的组织和性能。对于合金钢管，在整个使用期内，外径蠕变变形量不应大于 2.5%；对于碳素钢管，不

应大于3.5%。

4.1.2.2 具有高的抗氧化性能，所用材料应属1级完全抗氧化性材料，工作温度下的氧化速度应小于0.1mm/a。

4.1.2.3 具有良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。

4.1.3 水冷壁管和省煤器管对金属材料的要求

4.1.3.1 应具有一定的室温强度和高温强度，使管壁厚度不致过厚，从而传热效果良好，并有利于加工。

4.1.3.2 具有良好的抗热疲劳性能和供热性能，以防因脉动疲劳或热疲劳损伤而导致过早损坏。

4.1.3.3 具有良好的抗腐蚀性能，并要求耐磨损性能、工艺性能好，尤其是焊接性能良好。

4.1.4 蒸汽管道、集箱和锅炉受热面钢管常用钢号、特性及其主要应用范围

蒸汽管道、集箱和锅炉受热面钢管常用钢号、特性及其主要应用范围见附录A中表A1。

4.1.5 蒸汽管道、集箱和锅炉受热面钢管的材质检验

4.1.5.1 国产低、中压锅炉用无缝钢管的技术要求及质量检验应符合GB 3087的规定。

4.1.5.2 国产高压锅炉用无缝钢管的技术要求及质量检验应符合GB 5310的规定。

4.1.5.3 锅炉用不锈钢无缝钢管的技术要求及质量检验应符合GB 13296的规定。

4.1.5.4 制造锅炉用管材或在役机组更换管材时，必须按JB/T 3375的要求对入厂原材料进行抽检。

4.1.5.5 进口锅炉钢管的技术要求及质量检验应符合供货国家标准或定货合同要求。

GB 5310、GB 3087、JB/T 3375和GB 13296对锅炉钢管材质的检验要求见表1。

表1 锅炉钢管的材质检验

项目名称	试样数量	试验方法	试验项目			
			GB 5310	GB 3087	JB 3375	GB 13296
表面质量及尺寸公差	每批抽查 不少于2根	宏观和量具	逐根进行	逐根进行	√	逐根
化学成分分析	每炉、罐1个试样	GB/T 222 GB/T 223	√	√	√	√
拉伸试验	每批在两根钢管 上各取1个试样	GB/T 228 GB/T 6397	√	√	√	√
冲击试验	每批在两根钢管 上各取3个试样	GB/T 229	√			
水压试验	逐根	GB/T 241	√	√		√
高温力学性能试验	每批在两根钢管 上各取1个试样	GB/T 4338				√
洛氏硬度试验		GB/T 230				√
弯曲试验		GB/T 244		√	√	
压扁试验		GB/T 246	√	√	√	√
扩口试验	每批在两根钢管 上各取1个试样	GB/T 242	√	√	√	√
卷边试验		GB/T 245		√		
晶粒度检验		YB/T 5148	√		√	√
非金属夹杂物检验		GB/T 10561	√			
显微组织检验		GB/T 13298	√		√	
低倍检验		GB/T 226	√			
		GB/T 1979	√			
脱碳层检验		GB/T 224	√		√	

表 1 (续完)

项目名称	试样数量	试验方法	试验项目			
			GB 5310	GB 3087	JB 3375	GB 13296
超声波探伤	逐根	GB/T 5777	✓	按协议	✓	✓
涡流检验		GB/T 7735	✓			✓
漏磁检验		GB/T 12606	✓			
光谱检验	合金钢管外径≤159mm时, 每批抽检不少于5%, 且不少于4根; 外径>159mm时, 逐根检验	用光谱仪		当炉(罐、批)号混淆不清时进行		
晶间腐蚀试验	每批在两根钢管上各取1个试样	GB/T 4334.1~5				✓

4.2 锅炉锅筒用金属材料

4.2.1 锅炉锅筒对金属材料的要求

4.2.1.1 钢材的屈服强度、抗拉强度是决定钢材许用应力的依据。对于低、中压锅炉锅筒, 通常采用屈服强度等级为 250MPa~350MPa 的钢种; 而对于高压、超高压及亚临界锅炉锅筒, 通常采用屈服强度为 400MPa 或更高强度级别钢种。

4.2.1.2 对于启停频繁、特别是承担调峰任务的锅炉, 为防止产生低循环疲劳损伤, 应选用屈强比不是太高 (σ_s/σ_b 约为 0.7)、缺口敏感性低、抗疲劳性能良好的钢种。

4.2.1.3 为防止发生低应力脆性破坏, 要求钢材应具有良好的冲击韧性、高的断裂韧性和较低的时效敏感性, 且脆性转变温度较低。一般要求钢材经 250℃、1h 人工时效后的冲击韧性下降率不大于 50%, 室温最低冲击韧性值不低于 30J/cm²~35J/cm²。

4.2.1.4 应具有一定的抗汽水腐蚀破坏的能力。

4.2.1.5 钢板应具有良好的塑性、冷变形性能及焊接性能, 对于碳钢和碳锰钢, 其延伸率应不低于 18%, 对于低合金钢应不低于 14%。

4.2.1.6 钢板应具有良好的冶金质量, 钢中不允许有白点及裂纹。钢中的分层、非金属夹杂、气孔等缺陷应符合有关标准的规定。

4.2.2 锅炉锅筒钢板常用钢号、特性及其主要应用范围

锅炉锅筒钢板常用钢号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A2。

4.2.3 锅炉锅筒钢板的材质检验

4.2.3.1 锅炉锅筒用碳素钢和低合金钢钢板的技术要求和质量检验应符合 GB 713 和 YB (T) 41 的规定。

4.2.3.2 制造锅筒时, 应按 JB 3375 的要求对入厂原材料进行抽验。

4.2.3.3 进口锅炉锅筒钢板的技术要求及质量检验应符合供货国家标准或订货合同要求。

4.2.3.4 GB 713、YB (T) 41 及 JB 3375 对锅炉锅筒钢板材质的检验要求见表 2。

4.3 锅炉受热面固定件及吹灰器用金属材料

4.3.1 锅炉受热面固定件及吹灰器对金属材料的要求

4.3.1.1 锅炉受热面固定件用金属材料, 应具有较高的抗氧化性, 并具有一定的热强性能和较好的耐蚀性、工艺性能。

4.3.1.2 吹灰器用金属材料, 应具有高的抗氧化性能、良好的抗腐蚀性能和较高的高温强度。

表2 锅炉锅筒钢板的材质检验

项目名称	试样数量	取样方法	试验方法	试验项目		
				GB 713	YB (T) 41	JB 3375
表面质量与尺寸偏差	2张(按批)		宏观和量具			√
化学成分分析	1(按炉、罐号)	GB/T 222	GB/T 223	√	√	√
室温拉伸试验	1	GB/T 2975	GB/T 228 GB/T 6397	√	√	√
冷弯	1		GB/T 232	√	√	√
室温冲击(U形缺口试样)	3		GB/T 229	√		
室温冲击(V形缺口试样)	3		GB/T 229		√	√
时效冲击	2		GB/T 4160	√	√	√
高温拉伸试验	1(按炉、罐号)		GB/T 4338	√	按协议	√
超声波探伤	逐张			GB/T 2970		√
厚度方向性能试验	3		GB 5313	√		

4.3.2 锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢钢号、特性及其主要应用范围

锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢钢号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A3。

4.3.3 锅炉受热面固定件和吹灰器材质的检验

锅炉受热面固定件和吹灰器用不锈钢棒和耐热钢棒材质的技术要求和检验应符合 GB/T 1220 和 GB/T 1221 的规定，其检验项目、取样数量及试验方法见表 3。

表3 固定件和吹灰器用不锈钢和耐热钢棒的材质检验

项目名称	试样数量	取样部位	试验方法	试验项目	
				GB/T 1220	GB/T 1221
化学成分分析	1	GB/T 222	GB/T 223	√	√
拉伸试验	2	不同根钢棒 GB/T 2975	GB/T 228 GB/T 6397	√	√
冲击试验	2		GB/T 229	√	√
硬度试验	2		GB/T 230 GB/T 231 GB/T 4340	√	√
耐腐蚀试验	按标准		GB/T 4334	√	
低倍组织检验	2	相当于钢锭头部的不同根钢棒或钢坯	GB/T 226 GB/T 1979	√	√
顶锻试验	2	不同根钢棒	GB/T 233	√	√
夹杂物检验	2		GB/T 10561	√	√
晶粒度检验	1	任一钢棒	YB/T 5148	√	√
塔型发纹检验	2	相当于钢锭头部的不同根钢棒	GB/T 10121	√	√
尺寸偏差	逐根		量具	√	√
表面质量			宏观	√	√

4.4 汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮用金属材料

4.4.1 汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮对金属材料的要求

4.4.1.1 应具有强度高、塑性和韧性良好的综合力学性能。

4.4.1.2 具有较高的蠕变强度、持久强度，且长期组织稳定性好。

4.4.1.3 具有较高的断裂韧性，且脆性转变温度低，抗疲劳性能好。

4.4.1.4 对转子体和主轴锻件，均应测定残余应力，其值不应大于相应锻件强度级别材料径向屈服强度下限值的8%。对于汽轮机轮盘和叶轮锻件，当直径大于600mm时，在最终热处理后应检查残余应力，锻件直径为600~1000mm时，其残余应力不应大于40MPa；锻件直径大于1000mm时，残余应力不应大于50MPa。

4.4.1.5 具有良好的抗氧化和抗高温蒸汽腐蚀的能力。

4.4.1.6 锻件冶金质量好、材料性能均匀，不应有裂纹、白点、缩孔、折叠、过度的偏析，以及超过允许的夹杂和疏松等。锻件材料性能的均匀性，可在锻件性能热处理后，通过测量硬度的方法进行检验（硬度的绝对值供参考）。硬度的均匀性要求规定为：对于转子体和主轴锻件，在同一圆弧表面上各点间的硬度差不应超过30HB，在同一母线上的硬度差不应超过40HB。对于轮盘和叶轮，在轮缘和轮毂的半径方向上每隔90°各测1点（共8点），轮缘和轮毂间任意两点间的硬度差不应超过40HB，轮缘各点间和轮毂各点间的硬度差不应超过30HB。

4.4.2 汽轮机主轴、转子体、轮盘及叶轮常用钢钢号、特性及其主要应用范围

汽轮机主轴、转子体、轮盘及叶轮常用钢钢号、特性及其主要应用范围见附录A中表A4。

4.4.3 汽轮机主轴、转子体、轮盘及叶轮锻件的材质检验

4.4.3.1 汽轮机主轴用35、40和45号优质碳素结构钢的技术要求和质量检验，应符合GB/T 699的规定。

4.4.3.2 汽轮机主轴、转子体、轮盘及叶轮用35SiMn、35CrMo、35CrMoV、20Cr3MoWV、30Cr1Mo1V以及30Cr2Ni4MoVE合金结构钢的技术要求和质量检验，应符合相应的GB/T 3077或JB/T 7027的规定。

4.4.3.3 25MW~200MW汽轮机轮盘及叶轮锻件的技术要求和质量检验，应符合JB/T 1266的要求。

4.4.3.4 汽轮机转子体及主轴锻件的技术要求和质量检验，应符合相应的JB/T 1265或JB/T 7027的规定。

4.4.3.5 进口汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮用钢的技术要求和质量检验，应符合供货国标准或订货合同要求。

4.4.3.6 汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮锻件材质的检验项目及试验方法见表4。

表4 大型锻件材质的检验

项目名称	试验方法	检验项目						
		汽轮机转子体和主轴锻件		汽轮机主轴、转子体和叶轮锻件 JB/T 1266—93	汽轮发电机转子锻件		无磁性护环锻件	
		JB/T 1265	JB/T 7027		JB/T 1267	JB/T 7178	JB/T 1268	JB/T 7030
化学成分分析	GB/T 223	✓		✓	✓	✓	✓	✓
拉伸试验	GB/T 228 GB/T 4338	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
冲击试验	GB/T 229	✓	✓		✓	✓	✓	✓
FATT ₅₀ 的测定		✓		✓	✓	✓		
持久强度试验	GB/T 2039	✓	✓					

表 4 (续完)

项目名称	试验方法	检 验 项 目						
		汽轮机转子体和主轴锻件		汽轮机主轴、转子体和叶轮锻件 JB/T 1266—93	汽轮发电机转子锻件		无磁性护环锻件	
		JB/T 1265	JB/T 7027		JB/T 1267	JB/T 7178	JB/T 1268	JB/T 7030
硬度试验	GB/T 231	✓	✓	✓	✓			
酸洗检验				✓	✓	✓		
磁粉检验		✓	✓	✓	✓	✓		
超声波探伤	JB 1582、JB 1581 JB 4010	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
渗透检验							✓	✓
中心孔检验	窥膛仪及磁粉	✓	✓		✓	✓		
热稳定性试验	JB/T 9021	✓	✓					
夹杂物检验	GB/T 10561	✓	✓					
晶粒度检验	YB/T 5148	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
残余应力测量	切环或环芯电阻应变法	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
磁性能测定					✓	✓		
磁导率测定							✓	✓
应力腐蚀试验								✓
尺寸及表面粗糙度检验		✓	✓		✓	✓	✓	✓

4.5 汽轮发电机转子和无磁性护环用金属材料

4.5.1 汽轮发电机转子和无磁性护环对金属材料的要求

4.5.1.1 具有较高的强度（特别是屈服强度）、塑性和韧性，脆性转变温度低，且冷、热变形及抗疲劳性能好，并具有适当的热膨胀系数（不宜太小）。

4.5.1.2 锻件的材料性能均匀，不允许有裂纹、白点、缩孔、折叠和其他影响使用的缺陷。汽轮发电机转子锻件材料性能的均匀性可通过测量硬度的方法进行检验（硬度的绝对值供参考）。硬度均匀性要求规定为：对于 50MW~200MW 汽轮发电机转子锻件，热处理后，在同一圆弧表面上，硬度偏差不得超过 30HB；在同一母线上，不得超过 40HB。

4.5.1.3 锻件残余应力应尽量小，且分布均匀，以防局部应力增大或产生弯曲变形。对于 50MW~200MW 汽轮发电机转子锻件，其残余应力不允许大于相应强度级别材料屈服强度保证值的 10%。对于 300MW~600MW 汽轮发电机转子锻件，其残余应力不允许大于 60MPa。对于 50MW~200MW 汽轮发电机无磁性护环锻件，其残余应力不允许大于相应强度级别材料屈服强度保证值的 20%。

4.5.1.4 汽轮发电机转子锻件用钢，应具有良好的导磁性能。对于 50MW~200MW 汽轮发电机无磁性护环锻件，在磁场强度为 $1.6 \times 10^4 \text{ A/m}$ 时，磁导率应不大于 $13.8 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。对于 300MW~600MW 汽轮发电机无磁性护环锻件，在磁场强度为 $0.8 \times 10^4 \text{ A/m}$ 时，磁导率应不大于 $13.2 \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

4.5.1.5 有良好的抗腐蚀性能，以防发生应力腐蚀破坏。

4.5.2 汽轮发电机转子和无磁性护环常用钢钢号、特性及其主要应用范围

汽轮发电机转子和无磁性护环常用钢钢号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A4。

4.5.3 汽轮发电机转子和无磁性护环锻件的材质检验

4.5.3.1 汽轮发电机转子锻件的技术要求和质量检验应符合 JB/T 1267 或 JB/T 7178 的相应要求。

4.5.3.2 汽轮发电机无磁性护环锻件的技术要求和质量检验，应符合 JB/T 1268 或 JB/T 7030 的相应要求。

4.5.3.3 进口汽轮发电机转子、无磁性护环锻件的技术要求和质量检验，应符合供货国家标准或订货合同要求。

4.5.3.4 汽轮发电机转子和无磁性护环锻件材质的检验项目及试验方法见表 4。

4.6 汽轮机叶片用金属材料

4.6.1 汽轮机叶片对金属材料的要求

4.6.1.1 具有较高的强度、塑性、韧性和热强性能。对于工作温度小于或等于 400℃ 的叶片，以室温和瞬时高温力学性能为主；对于在 400℃ 以上区域工作的叶片，除室温力学性能外，还应具有较高的持久强度、蠕变强度及持久塑性，且组织性能稳定性好，持久缺口敏感性低。

4.6.1.2 具有良好的减振性、耐蚀性，且抗腐蚀疲劳和抗腐蚀性热疲劳性能好，以防发生疲劳破坏。处于湿蒸汽区工作的叶片宜采用耐蚀性好的不锈钢制造，或采用非不锈钢而予以适当的表面保护处理。

4.6.1.3 耐磨性能好。特别是承受水滴冲刷磨损的后几级叶片，要求材料耐磨性能好。

4.6.1.4 有良好的工艺性能。以利于大批量生产并降低成本。

4.6.2 汽轮机叶片常用钢钢号、特性及其主要应用范围

汽轮机叶片常用钢钢号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A5。

4.6.3 汽轮机叶片的材质检验

汽轮机叶片用钢的技术要求和质量检验应符合 GB/T 8732 或订货合同要求。

GB/T 8732 标准对叶片材质检验的要求见表 5。

表 5 叶片的材质检验 (GB/T 8732)

检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 部 位	试 验 方 法
化学成分分析	1	GB/T 222	GB/T 223
低倍组织检验	2	相当于钢锭头部的钢材	GB/T 226 GB/T 1979
冲击试验	2	任意 2 支钢材上 GB/T 2975	GB/T 229
拉伸试验	2		GB/T 228
试样硬度	2		GB/T 231
发纹检验	2	任意 2 支钢材上	
非金属夹杂物检验	2		GB/T 10561
铁素体检验	2		放大 250 倍检查 10 个视场
交货状态硬度	3	任意 3 根钢材上	GB/T 231
外形与尺寸检验	逐支		量具
表面质量检验	逐支		目视

4.7 紧固件用金属材料

4.7.1 紧固件对金属材料的要求

4.7.1.1 火力发电厂用高温螺栓（碳钢工作温度超过 300℃～350℃，合金钢超过 350℃～400℃），应采用抗松弛性能高的材料，以使螺栓在较低的初紧力下，在一个大修期内的压紧力不低于最小密封应力（一般为 150MPa），从而可降低对材料屈服强度的要求，减少螺栓发生脆性断裂的危险。

4.7.1.2 高温螺栓用钢，应具有一定的持久强度和蠕变强度，蠕变脆化倾向及蠕变缺口敏感性小，且

具有良好的持久塑性。一般要求螺栓材料 8000h~10000h 以上光滑试样的持久塑性应不小于 5%。

4.7.1.3 材料的组织性能稳定性好，回火脆性和热脆性倾向小。长期运行后，材料的 U 形缺口试样冲击韧性：对于调速汽门螺栓和采用扭矩法装卸的螺栓，应大于 $58.8\text{J}/\text{cm}^2$ ；对于采用加热伸长装卸或用油压拉伸器装卸的螺栓，应大于 $29.4\text{J}/\text{cm}^2$ 。长期运行后螺栓的硬度值也应控制在相应的技术标准所要求的范围内。

4.7.1.4 对于承受疲劳载荷的螺栓（如联轴器螺栓）材料，还应具有较高的抗疲劳和抗剪切的能力。在汽缸内部工作的螺栓，由于受蒸汽和水的冲蚀，还应具有一定的抗蚀性。

为防止螺纹咬死和减少磨损，选材时，螺栓和螺母应采用不同钢号。螺母的工作条件较螺栓好，螺母材料强度等级应比螺栓低一级（硬度低 20HB~50HB）；并且，原则上同一法兰的紧固件，应采用牌号和强度等级相同的材料，否则应计算由不同线膨胀系数和不同抗松弛性能带来的影响。

4.7.2 紧固件常用钢钢号、特性及其最高使用温度

紧固件常用钢钢号、特性及其最高使用温度见附录 A 中表 A6。

4.7.3 紧固件的材质检验

4.7.3.1 紧固件用钢应符合相应的国家或行业技术标准或订货合同要求。

4.7.3.2 火力发电厂高温紧固件的技术要求及使用前的质量检验应符合 DL/T 439 的规定。

4.7.3.3 DL/T 439 对高温紧固件的检验要求见表 6。

表 6 高温紧固件使用前的材质的检验 (DL/T 439)

检 验 项 目	检 验 方 法	检 验 数 量
成品硬度测量	GB/T 231	螺纹直径 \geq M32 的为 100%
成品光谱检验		逐 根
超声波探伤		螺纹直径 \geq M32 的为 100%
微观组织检验	GB/T 1979 YB/T 5148	螺纹直径 $>$ M32 的，酌情抽检
尺寸公差与表面质量		逐 根

4.8 汽轮机与锅炉铸钢件用金属材料

4.8.1 汽轮机与锅炉铸钢件对金属材料的要求

4.8.1.1 应具有良好的浇铸性能，即好的流动性及小的收缩性，为此，铸钢中碳、硅、锰的含量应比锻、轧件高一些。

4.8.1.2 在高温及高应力下长期工作的铸钢件用钢，应具有较高的持久强度和塑性，并具有良好的组织性能稳定性。

4.8.1.3 承受疲劳载荷作用的铸钢件（如汽轮机汽缸和蒸汽室）用钢，应具有良好的抗疲劳性能和较高的冲击韧性。

4.8.1.4 承受高温蒸汽冲蚀与磨损的铸钢件用钢，应具有一定的抗氧化性能和耐磨性能。

4.8.1.5 需要焊接的铸钢应具有满意的可焊性。

选材时，主要依据铸钢件的工作温度和钢材的最高允许使用温度进行选用。存在于复杂形状铸件（如汽缸）中的危害性铸造缺陷，必须彻底清除后，用补焊的方法修复。

4.8.2 铸钢件常用材料牌号、特性及其主要应用范围

铸钢件常用材料有碳素铸钢及铬钼和铬钼钒合金铸钢。碳素铸钢多用于介质温度小于 450°C 、压力为 $4\text{MPa}\sim 32\text{MPa}$ 的部件；合金铸钢多用于介质温度为 $450^{\circ}\text{C}\sim 570^{\circ}\text{C}$ 的部件。铸件与锻件相比，铸件多用于受力较小的部件。由于铸件内部不可避免地存在铸造缺陷，强度计算时，许用应力的安全系数要适当放大。

汽轮机与锅炉铸钢件常用钢钢号、特性及其主要应用范围见附录 A 中的表 A7。

4.8.3 铸钢件的材质检验

4.8.3.1 铸钢件所用钢材应符合相应的国家、行业技术标准或订货合同要求。

4.8.3.2 汽轮机铸钢件的技术要求和质量检验应符合 JB/T 10087 的规定。

4.8.3.3 锅炉管道附件承压铸钢件的技术要求和质量检验，应符合 JB/T 9625 的规定。

JB/T 10087 和 JB/T 9625 标准对铸钢件的检验要求见表 7。

表 7 铸钢件的材质检验

项目名称	取样数量	抽检方法	检 验 项 目		
			汽缸、蒸汽室、喷嘴室、主汽阀、调节阀、阀壳	隔板	管道附件铸钢件
化学成分分析	逐炉		JB/T 10087		JB/T 9625
拉伸试验	1 个	GB/T 228	✓	✓	✓
冲击试验	2 个 管道附件铸钢件 3 个	GB/T 229	✓	✓	✓
磁粉探伤	全部表面	JB/T 9630.1	✓		
水压试验		JB/T 9629	✓		✓
射线探伤	连接焊缝	GB/T 3323	✓		
外形和尺寸		宏观和量具	✓		✓
金相检验	仅对 ZG20CrMo ZG20CrMoV ZG15Cr1Mo1V	GB/T 13298			✓

4.9 凝汽器用管材

4.9.1 凝汽器管材的选用

应综合考虑凝汽器的结构形式、安装工艺，所用冷却水水质及其变化情况，冷却水的流速，可能的腐蚀形式，防腐措施，清洗方法和管材价格等因素，选用耐蚀性和传热性好、并具有合适的强度和塑性、能满足加工工艺性能要求的材料。使之在采用一般维护措施的情况下，不出现管材的严重腐蚀和泄漏，使用寿命能在 20 年以上。

凝汽器管常用管材的选用应符合 DL/T 712 的规定。

4.9.2 凝汽器常用管材牌号、特性及其主要应用范围

凝汽器常用管材牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A8。

4.9.3 凝汽器管的材质检验

4.9.3.1 凝汽器用黄铜管和白铜管的技术要求及质量检验应符合 GB/T 8890 的规定。

4.9.3.2 凝汽器用钛合金管的技术要求及质量检验应符合 GB/T 3625 和 GB/T 3620.1 的规定。

4.9.3.3 凝汽器管材质的检验项目、取样数量及检验方法见表 8。

表 8 凝汽器管材质的检验

项目名称	取样数量	检验方法	检 验 项 目		
			钛管 GB/T 3625 GB/T 3620.1	黄铜管 GB/T 8890	白铜管 GB/T 8890
化学成分分析	每批 1 个试样	钛管：GB/T 4698 GB/T 5121	✓	✓	✓
拉伸试验	每批 2 根 每根 1 个试样	GB/T 228 GB/T 6397	✓	✓	✓
压扁试验		GB/T 246	✓	✓	✓
扩口试验		GB/T 242	✓	✓	✓
晶粒度检验		YS/T 347		✓	✓

表 8 (续完)

项 目 名 称	取 样 数 量	检 验 方 法	检 验 项 目		
			钛管 GB/T 3625 GB/T 3620.1	黄铜管 GB/T 8890	白铜管 GB/T 8890
水压试验	每批 2 根	GB/T 241	✓	✓	✓
超声波探伤 或涡流探伤	逐根	GB/T 12969.1 GB/T 12969.2	✓		
尺寸公差	逐根	量具	✓	✓	✓
表面质量	逐根	目视	✓	✓	✓
内应力测量	每批 2 根 每根 1 个试样	GB 8000		✓	
涡流探伤	逐根	GB 5248		✓	

4.10 压力容器用金属材料

4.10.1 压力容器对金属材料的要求

4.10.1.1 具有合格的室温强度和良好塑性配合，屈服比适宜，并具有高的抗时效能力。

4.10.1.2 具有良好的韧性。对于 20R、16MnR 以及 15MnVR 钢板，其室温横向（夏比 V 形缺口试样）冲击功应不小于 31J，而对于强度较高的 15MnVNR 以及 18MnMoNbR 钢板，其冲击功应不低于 34J。此外，应选用材料的脆性转变温度（FATT₅₀）和无塑性转变温度（NDT）比较低的钢材。

4.10.1.3 对于承受腐蚀介质作用的容器，应根据使用环境和受力状态，选用耐腐蚀性好的材料。

4.10.1.4 为适应冷、热加工和焊接工艺要求，应选用具有良好的冷、热加工性能和焊接性能的材料。

4.10.2 压力容器用钢板的材质检验

压力容器用钢板的技术要求和质量检验应符合 GB 6654 的规定，检验项目和试验方法见表 9。

表 9 压力容器用钢板的材质检验（GB 6654）

检 验 项 目	取 样 数 量	取 样 方 法	试 验 方 法
化学成分分析	1 个（每炉罐号）	GB/T 222	GB/T 223
拉伸试验	1 个	GB/T 2975	GB/T 228
冷弯试验	1 个		GB/T 232
室温冲击试验	3 个		GB/T 229
低温冲击试验	3 个		GB/T 229
高温拉伸试验	1 个（每炉罐号）		GB/T 4338
超声波探伤	按协议		GB/T 2975

附录 A (提示的附录)

电站常用钢钢号、特性及主要应用范围

表 A1 蒸汽管道、集箱和锅炉受热面钢管常用钢钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
20 (20G) GB/T 699—88 GB 5310—95	该钢具有良好的工艺性能, 在 530℃ 以下具有满意的抗氧化性能, 但在 470℃ ~ 480℃ 高温下长期运行过程中, 会发生珠光体球化和石墨化。当 HB = 137 ~ 174 时, 相对加工性为 65%。该钢无回火脆性	壁温 ≤ 425℃ 的蒸汽管道、集箱; 壁温 ≤ 450℃ 的受热面管子及省煤器管等	CT20 (ГОСТ)、S20C (JIS) 1020 (SAE, AISI) C22、CK22 (DIN) XC18 (NF)、N2024 (ČSN) St45.8/III (DIN)
15MoG (15Mo3、16Mo) GB 5310—95	是成分最简单的低合金热强钢, 其热强性和腐蚀稳定性优于碳素钢, 而工艺性能仍与碳素钢大致相同。存在的主要问题是, 在 500℃ ~ 550℃ 长期运行时会产生珠光体球化和石墨化倾向, 随其发展会导致钢的蠕变强度和持久强度降低, 甚至会导致钢管的脆性断裂。焊接性能良好, 焊前需预热, 焊后需热处理	壁温 ≤ 500℃ 的蒸汽管道; 壁温 ≤ 530℃ 的过热器管	16M (ЧМТУ) STBA12、STPA12 (JIS) A209-T1 (ASTM) A335-P1 (ASTM) 15Mo3 (DIN) 15020 (ČSN)
12CrMoG GB 5310—95	属低合金耐热钢, 在 480℃ ~ 540℃ 下具有足够的热强性和组织稳定性, 综合性能良好, 无热脆性现象	壁温 ≤ 510℃ 的蒸汽管道; 壁温 ≤ 540℃ 的受热面管子	12MX (ГОСТ) T2、P2 (ASME、ASTM) 12CrMo195 (德国) 15CD2 (法国)
15CrMoG GB 5310—95	该钢正火后的组织为铁素体、贝氏体和部分马氏体, 正火、回火后的组织为铁素体、贝氏体和回火马氏体, 其冷加工性能和焊接性能良好, 无石墨化倾向。在 520℃ 以下, 具有较高的持久强度和良好的抗氧化性能, 但超过 550℃ 以后, 蠕变极限将显著降低。长期在 500℃ ~ 550℃ 运行, 会发生珠光体球化, 使强度下降	壁温 ≤ 510℃ 的蒸汽管道、集箱; 壁温 ≤ 540℃ 的受热面管子	15XM (ЧМТУ) 13CrMo44 (DIN) T12、P12 (ASME、ASTM) STBA22、STPA22 (JIS) 15121 (ČSN)
12CrMoV GB/T 3077—88	在铬钼钢中加入少量的钒, 从而可阻止钢在高温下长期使用过程中合金元素钼向碳化物中的转移, 提高钢的组织稳定性和热强性。与 12Cr1MoV 钢相比, 钢中的含铬量较低, 但在 550℃ 以下, 对力学性能和热强性能影响不大, 而在高于 550℃ 时, 其性能低于 12Cr1MoV 钢	壁温 ≤ 540℃ 的蒸汽管道; 壁温 ≤ 570℃ 的过热器管等	12XMΦ (ГОСТ4543) 15123.9 (ČSN) 15128 (ČSN) 14MoV63 (DIN17175)

表 A1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
12Cr1MoVG GB 5310—95	该钢属珠光体热强钢。由于钢中加入了少量的钒,可以降低合金元素(如钼、铬)由铁素体向碳化物中转移的速度,弥散分布的钒的碳化物可以强化铁素体基体。该钢在580℃时仍具有高的热强性和抗氧化性能,并具有高的持久塑性。工艺性能和焊接性能较好,但对热处理规范的敏感性较大,常出现冲击韧性不均匀现象。在500℃~700℃回火时,具有回火脆性现象;长期在高温下运行,会出现珠光体球化以及合金元素向碳化物转移,使热强性能下降	壁温≤570℃的受热面管子; 壁温≤555℃的集箱和蒸汽管道等	12XIMΦ (ГОСТ) 13CrMoV42 (DIN) 15225 (ČSN) 12Cr1MoV (曼内斯曼钢厂)
15Cr1MoIV (15X1M1Φ)	前苏联钢号。与12Cr1MoV钢相比,含钼量有所提高,故热强性能稍高,在450℃~550℃,其持久强度比12Cr1MoV钢高19.6MPa,570℃时高9.8MPa,但持久塑性稍低于12Cr1MoV钢。该钢在570℃以下长期使用,组织稳定,且具有良好的抗氧化性能。焊接性能与12Cr1MoV钢相当。存在的问题是有些炉号的冲击值低于标准要求,且钢中含有0.013%~0.08%的残铝对钢的热强性能会有不利影响	壁温≤580℃的蒸汽管道和集箱	A405-61T (ASTM)
12Cr2MoG GB 5310—95	该钢正火后的组织为贝氏体加少量的马氏体,有时有少量铁素体。长期在高温下运行,将会出现碳化物从铁素体基体中析出并聚集长大现象。500℃的蠕变试验结果表明,在蠕变第一阶段结束时,总伸长率约为0.2%;550℃及其以上温度,总伸长率约为1%~2%;钢的持久塑性比较好	壁温≤580℃的过热器管、再热器管; 壁温≤570℃的蒸汽管道、集箱	10CrMo910 (BQB, DIN) STBA24、STPA24 (JIS) T22、P22 (ASME, ASTM) HT8 (SANDVIK)
12Cr2MoWVTiB (钢 102) GB 5310—95	属贝氏体低合金热强钢。经正火加回火处理后的组织为贝氏体,具有良好的综合力学性能、工艺性能和相当高的持久强度,抗氧化性能较好;组织稳定性好,于620℃经5000h时效后,力学性能无明显变化。用于代替高合金奥氏体铬镍钢	壁温≤600℃的过热器管和再热器管	12X2MΦCP (TY14-460-75)
12Cr3MoVSiTIB (П-11) GB 5310—95	属贝氏体热强钢。在600℃有足够高的持久强度和抗氧化性能,无热脆倾向,组织稳定性好。回火后冷却速度对钢的性能无明显影响,但回火温度超过710℃以后,持久强度将明显下降。为保证该钢有较好的高温性能,回火温度不宜过高。该钢工艺性能稍差	壁温≤600℃的过热器管和再热器管	

表 A1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
15NiCuMoNb5 (WB36)	15NiCuMoNb5 (WB36) 为德国梯生钢厂、曼内斯曼钢厂和日本住友金属株式会社生产的 Ni-Cu-Mo 低合金钢。由于钢中含有 Cu, 因此提高了钢的抗腐蚀性能。该钢具有较高的强度, 室温抗拉强度可达 610MPa 以上, 屈服强度 ≥ 440 MPa, 比 20 号钢高 40%, 用于锅炉给水管, 可使管壁厚度减薄, 从而有利于加工、制造、安装和运行。通常含 Cu 钢具有红脆性, 但由于该钢中加入了较多的 Ni, 从而消除了红脆性。该钢的焊接性能良好, 但不适合冷成形加工。	壁温 $\leq 500^{\circ}\text{C}$ 的大口径 (76~660mm) 锅炉用厚壁钢管、集箱、锅筒、压力容器等	
X20CrMoV121 (F12)	属 12% 铬型马氏体热强钢, 具有良好的耐热性能, 在空气和蒸汽中抗氧化能力可达 700°C , 但工艺性能较差, 在锻造轧制和焊接时易产生裂纹。钢的热强性能低于钢 102 和 II-11 钢	壁温 $540^{\circ}\text{C} \sim 560^{\circ}\text{C}$ 的集箱和蒸汽管道, 以及壁温达 610°C 的过热器管和壁温达 650°C 的再热器管	HT9 (SANDVIK) 1X12B2MΦ (FOCT) 2X12MΦBP (FOCT) X20CrMoWV121 (DIN)
10Cr5MoWVTiB (G106)	属中铬贝氏体钢。具有良好的抗氧化性能、耐腐蚀性和组织稳定性。热强性能较高, 且工艺性能良好	壁温为 $630^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 的再热器管	STBA25 (JIS) T5、T5C (ASME)
1Cr9Mo1	属马氏体型耐热钢。由于钢中含铬量较高, 因此抗氧化和抗腐蚀性能优于低合金钢, 但钢的热强性能低于 2.25Cr-1Mo、12Cr1MoV 钢等。焊接性能差, 且有空淬现象	壁温 $\leq 650^{\circ}\text{C}$ 的再热器管	T9、P9 (ASME) STBA26、STPA26 (JIS) X12CrMo91 (德国) HT7 (SANDVIK)
1Cr9Mo2 (HCM9M)	HCM9M 是 9Cr-2Mo 型铁素体钢, 是日本三菱重工和住友金属株式会社联合研制的。该钢具有高的抗氧化和抗高温蒸汽腐蚀性能, 并具有更高的热强性和组织稳定性	壁温 $\leq 620^{\circ}\text{C}$ 的亚临界、超临界锅炉过热器管、再热器管、集箱和导汽管	
10Cr9Mo1VNb (T91、P91) GB 5310—95	是美国在 9Cr-1Mo 钢基础上添加微量 V、Nb, 调整 Si、Ni 和 Al 添加量后形成的超 9Cr 钢。该钢的高温强度优异, 在 550°C 以上, 其设计许用应力为 T9 和 2.25Cr-1Mo 钢的两倍。与 1Cr19Ni9 钢相比, 其等强 (持久强度) 温度为 625°C , 抗氧化和抗蒸汽腐蚀性能与 9Cr-1Mo 钢相当	用于亚临界、超临界锅炉壁温达 650°C 的过热器管和再热器管, 壁温为 600°C 以下的集箱和蒸汽管道	X10CrMoVNb91 (DIN17175) TUZ10CDVNb09.01 (NFA-49213)
1Mn17Cr7Mo- VNbBZr (17-7MoV)	属锰铬型奥氏体热强钢, 由于用钼、钒、硼、铌和锆进行综合强化, 具有较高的热强性和抗氧化性; 时效稳定性良好, 于 650°C 时效 8500h 后的冲击韧性值仍保持在 $127.4\text{J}/\text{cm}^2$ 以上, 在奥氏体基体上的碳化物颗粒呈均匀弥散分布, 未出现 σ 相。该钢的焊接性能和工艺性能良好。钢中所含锆元素为我国稀有	壁温 $\leq 680^{\circ}\text{C}$ 的过热器管、再热器管、蒸汽管道和集箱	

表 A1 (完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
1Cr18Ni9 (304) GB 5310—95	属各国通用的 18-8 型铬镍奥氏体不锈热强钢。钢的热强性能、耐腐蚀性能和焊接性能良好,冷变形能力非常高	大型锅炉的再热器管、过热器管及蒸汽管道。用于锅炉管的允许抗氧化温度为 705℃	SUS304 TB (JIS) SUS304 TP (JIS) TP304H (ASME)
0Cr17Ni12Mo2 (316) TP316H GB 13296—91	属各国通用的奥氏体不锈热强钢。由于钢中含有 2%~3% 的钼元素,对各种无机酸、有机酸、碱、盐类的耐腐蚀性和耐点蚀性显著提高。在高温下具有较高的蠕变强度	大型锅炉的再热器管、过热器管及蒸汽管道。用于锅炉管的允许抗氧化温度为 705℃	SUS316TB (JIS) SUS316TP (JIS) TP316H (ASME)
0Cr18Ni11Ti (321) GB 5310—85	属用钛稳定的铬镍奥氏体不锈热强钢。与 1Cr18Ni9Ti 钢相比,由于含有较多的镍,因此,奥氏体组织较稳定,并具有较高的热强性能和持久断裂塑性	大型锅炉的再热器管、过热器管及蒸汽管道。用于锅炉管的允许抗氧化温度为 705℃	SUS321TB、SUS321TP (JIS) TP321H (ASME) 12X18H12T (ГОСТ)
1Cr19Ni11Nb (347) GB 5310—95 GB 13296—91	属用铌稳定的铬镍奥氏体不锈热强钢。该钢具有良好的耐腐蚀性能和焊接性能。热强性能高于 18-8 型 TP304H 钢。在碱、海水和很多种酸中都有很好的耐腐蚀性	大型锅炉的再热器管、过热器管及蒸汽管道。用于锅炉管的允许抗氧化温度为 705℃	SUS347TB、SUS347TP (JIS) TP347H (ASME) 08X18H12B (ГОСТ) X10CrNiNb189 (德国)

表 A2 锅炉锅筒常用钢钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
20g、22g GB 713—97 YB (T) 41—87	该钢的塑性、韧性及焊接性能均较好,但对应变时效较为敏感,强度不高,属 245MPa 强度级别的锅炉钢板,用这种钢制造的锅筒壁厚较厚。该钢板以热轧状态交货,必要时可进行 890℃~920℃ 正火处理	低、中压锅炉锅筒	20K、22K (ГОСТ) SB42、SB46、SB49 (JIS) H11 (DIN) 11474.1 (ČSN)
12Mng GB 713—96 YB (T) 41—87	该钢在热轧状态和正火状态下的各种性能均能满足低压锅炉锅筒对钢材性能的要求,而且焊接性能良好,厚度小于 16mm 的钢板,焊前可不预热。该钢屈服强度为 294MPa 级别的普通低合金钢。用于代替 20g 钢可节约金属约 17%,一般情况下,钢板以热轧状态交货,必要时可进行 900℃~920℃ 正火处理	工作压力 ≤ 5.9MPa 的低、中压锅炉锅筒	10Г (ГОСТ) 13Mn6 (DIN) SM21 (日本) 12MF4 (NF)
16Mng GB 713—97 YB (T) 41—87	该钢具有良好的综合力学性能、工艺性能和焊接性能,屈服强度为 343MPa 级别的普通低合金钢。该钢的缺口敏感性比碳钢大,疲劳强度较低。一般情况下,钢板以热轧状态交货,必要时可进行 900℃~920℃ 正火处理。经正火处理后可显著提高韧性,并降低脆性转变温度	工作压力 ≤ 5.9MPa 的低、中压锅炉锅筒	19Mn5、19Mn6 (DIN) SPV36 (JIS) 16Г (ГОСТ) 17Mn4 (DIN) SA299 (ASME)

表 A2 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
19Mn5、19Mn6	德国钢号, 属屈服强度为 300MPa 级别的碳锰钢, 冶炼、热加工性能及焊接性能均良好, 断裂韧性和低循环疲劳性能也较好, 有利于降低低应力脆断的危险性。钢板的正火温度为 890℃~950℃, 消除应力退火温度为 520℃~580℃	中、高压锅炉锅筒	19Mn6 (GB) SA299 (ASME) A299 (ASTM)
SA299	美国钢号。该钢的化学成分和屈服强度级别与 16Mng 和 19Mn5 钢相似, 但钢中含碳量更高, 其低循环疲劳性能略低于 19Mn5 钢。该钢的力学性能比较稳定。厚度方向的力学性能较均匀, 高温抗拉强度较高, 冲击韧性较好, 如不含有太多的 MnS 夹杂, 层状断裂敏感性亦不高, 脆性转变温度低于 -30℃, 无塑性转变温度 NDT 约为 -15℃。焊接工艺较简单, 焊前预热温度低 (150℃), 焊接接头性能好	高压、超高压亚临界锅炉锅筒。由美国引进的 300MW、600MW 机组锅炉锅筒均使用该种钢	A299 (ASTM)
15MnVg GB 713—96 YB (T) 41—87	属屈服强度为 392MPa 级别的普通低合金钢。该钢在热轧状态下具有良好的综合力学性能及焊接性能, 但缺口敏感性和时效敏感性较大。与 16Mng 钢相比, 冷脆倾向稍大。为改善钢的韧性, 降低脆性转变温度, 应进行 940℃~980℃ 正火, 600℃~650℃ 消除应力退火	低、中压锅炉锅筒	A255 (ASTM)
14MnMoVg GB 713—96 YB (T) 41—87	属屈服强度为 490MPa 级别的普通低合金钢。由于钢中加入了 0.5% 的钼和少量的钒, 使屈服强度提高, 特别适合生产厚度在 60mm 以上的厚钢板。该钢具有良好的综合力学性能, 但对热处理工艺较为敏感, 尤其对冲击韧性和延伸率影响较大。大于 60mm 厚钢板在热轧状态下的塑性和韧性较差, 特别是低温及时效后的冲击值不稳定, 故不宜在热轧状态下使用。一般在正火加高温回火状态下使用, 正火温度为 970±10℃, 回火温度为 630℃~660℃。使用中也可以采用调质处理, 这时, 钢的强韧性都会有很大程度的改善。生产中应防止产生白点和夹层缺陷	高压锅炉锅筒	A302 (ASTM) BHW38 (德国)
18MnMoNbg GB 713—96 YB (T) 41—87	属屈服强度为 490MPa 级别的低合金钢。该钢的热强性能较好, 屈强比较高, 可焊性好。但正火加回火状态下的力学性能不够稳定, 与 14MnMoVg 钢相比, 常出现强度、塑性、韧性不能同时满足技术条件要求的情况。钢板经调质处理后屈服强度将显著提高, 更能发挥材料潜力。 大锻件及特厚钢板有白点倾向, 故钢坯应缓冷。大锻件塑性和韧性由表面向中心逐渐降低。有一定的淬硬倾向, 焊前须经 200℃~250℃ 预热, 焊后应采取后热去氢措施	高压锅炉锅筒	

表 A2 (完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
13MnNiMo54 (BHW35) 13MnNiMoNb	<p>为德国钢号。属屈服强度为 392MPa 级别的含锰、镍、钼强韧性配合良好的低合金钢。由于合金元素设计合理, 钢的组织稳定, 并具有良好的综合力学性能和工艺性能。一般该钢在正火加高温回火状态下使用, 正火温度为 890℃ ~ 950℃, 回火温度为 580℃ ~ 690℃。正火组织为贝氏体加铁素体, 回火组织为回火贝氏体加铁素体, 故该钢又可称为低合金贝氏体钢。</p> <p>与 BHW35 相应的国产钢号为 13MnNiMoNb, 是在调整 BHW35 钢中镍、钼含量的基础上研制成功的, 其各项性能指标均已达到 BHW35 钢水平</p>	高压、超高压及亚临界锅炉钢筒	

表 A3 锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
1Cr5Mo GB/T 1221—92	<p>属马氏体型耐热钢, 热强性能不高。在 550℃ 以下, 在含硫的氧化性气氛中和热石油介质中, 具有良好的耐热性和耐蚀性。该钢可焊性差, 焊后应缓冷, 并经 850℃ 高温回火, 用以改善焊缝性能。此钢在 650℃ 以上开始剧烈氧化, 但仍有一定的热强性</p>	≤650℃ 的锅炉吊架	12CrM19S (W-Nr1.7362) STBA25 (JIS G3462) 15X5M (ГОСТ 20072-74) 502 (ASTM、AISI)
1Cr6Si2Mo	<p>属马氏体型耐热钢, 在 800℃ 有较好的抗氧化性。与 1Cr5Mo 钢相比, 含 Si 量多 1.5%, 使钢的回火脆性倾向增大, 零件在高温下长时间工作时会产生脆性破断。该钢在含硫的氧化性气氛中和热石油介质中的抗腐蚀性能很好。经正火、回火热处理后有较高的持久强度和蠕变强度。该钢有空淬现象, 热加工后, 如冷却过快, 会发生裂纹, 应缓冷。可焊性差, 可采用电焊, 不宜气焊, 焊前须预热到 300℃ ~ 400℃, 焊后进行 750℃ 回火处理</p>	工作温度 ≤700℃ 的锅炉吊架及省煤器管夹	X6CM (ГОСТ 5632-61)
4Cr9Si2 GB/T 1221—92	<p>属马氏体型耐热钢。在 800℃ 以下有良好的抗氧化性; 低于 650℃ 有较高的热稳定性和热强性。该钢可焊性差, 小截面零件经较高温度预热后可进行焊接, 焊后需进行退火或调质处理</p>	工作温度 ≤800℃ 的锅炉吊架	SUH1 (JIS G4311-1988) 40X9C2 (ГОСТ 5632-71) Z45CS9 (NFA35)

表 A3 (续完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
1Cr25Ti	属铁素体型不锈钢。该钢在 700℃ ~ 800℃ 空冷状态下具有良好的抗晶间腐蚀性, 在 1000℃ 左右耐热不起皮, 具有良好的抗氧化性。该钢的塑性和韧性好, 但强度较低, 热脆性倾向大, 长期运行后韧性很快降低, 因此, 运行中不宜受冲击载荷。焊接性能较差	工作温度 ≤ 1000℃ 的锅炉吊架及吹灰器	SUH446 (JIS G4312-1984) 15X25T (ГОСТ 5632-72)
1Cr20Ni14Si2 1Cr25Ni20Si2 GB/T 1221—92	都是 Cr-Ni 奥氏体型耐热钢。1Cr20Ni14Si2 钢的最高抗氧化使用温度为 1000℃, 其氧化腐蚀率: 900℃ 时为 0.1mm/a, 1100℃ 时为 1.1mm/a。由于 1Cr25Ni20Si2 钢 Cr、Ni 含量比 1Cr20Ni14Si2 钢高, 抗氧化性更好, 最高抗氧化使用温度达 1100℃, 且抗疲劳性能较好, 组织稳定。1Cr20Ni14Si2 钢在 600℃ ~ 800℃ 有析出 σ 相的脆化倾向, 可焊性较好	工作温度为 1000℃ ~ 1100℃ 的锅炉吊架、夹马	X20CrNiSi2012 (W-Nr 1.4828) 20X20H14C2 (ГОСТ 563272)
3Cr18Mn12Si2N GB/T 1221—92	属 Cr-Mn-N 系奥氏体型耐热钢。具有较好的抗氧化性、抗硫腐蚀和抗渗碳性。该钢有时效脆性倾向, 但时效后, 在高温下仍有较高的韧性。室温和高温性能优于 1Cr20Ni14Si2 钢	工作温度 ≤ 950℃ 的锅炉吊架和夹马	
2Cr20Mn9Ni2Si2N GB/T 1221—92	属 Cr-Mn-Ni-N 系奥氏体型耐热钢。该钢具有较好的高温强度和高温塑性、良好的抗氧化性、抗渗碳性和耐急冷急热的热疲劳性能。在融盐中也有较好的耐蚀性。可焊性好, 焊接裂纹敏感性小, 可用各种焊接方法焊接, 焊前不需要预热, 焊后不需要热处理。该钢有冷加工硬化倾向。该钢在 700℃ ~ 800℃ 时, 由于析出碳化物和 σ 相, 会使冲击值明显下降	工作温度 ≤ 1000℃ 的锅炉吊架	
2Mn18Al15SiMoTi	属 Fe-Al-Mn 系双相型耐热钢。在 850℃ 具有良好的抗氧化性, 在含硫气氛中有较好的耐蚀性。与常用的高铬铁素体型耐热钢相比, 有较高的组织稳定性和较小的时效脆性倾向。厚度 ≤ 6mm 的扁钢, 可进行冷冲压成型、冷剪; 厚度 ≥ 6mm 的扁钢, 应该用热冲压成型。焊接性能尚可, 焊前可不预热	工作温度 ≤ 850℃ 的锅炉吊架	

表 A4 汽轮机主轴、转子体、轮盘和叶轮及汽轮发电机转子和无磁性护环常用钢钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
35、40、45 GB/T 699—88	强度较低。可调质处理，但淬透性低。优质钢的硫、磷含量低，脱氧好，有良好的塑性和韧性。焊接性尚可	用于中压以下、强度级别为 280MPa、温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ 的汽轮机主轴或汽轮发电机转子	
35SiMn GB/T 3077—88	具有较好的淬透性、良好的韧性、较高的强度，疲劳强度也较好，但有一定的过热敏感性及回火脆性倾向，并有白点敏感性。冶炼时易于污染非金属夹杂物，造成热加工工艺上的困难。与 40Cr 钢相比，除低温冲击韧性稍差、缺口敏感性较高外，其他力学性能相当	用于工作温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ 的汽轮机主轴，轮毂厚度为 170mm 以下的叶轮，汽轮发电机中心环等	
35CrMo GB/T 3077—88 34CrMo1A 34CrMo1E JB/T 1265—93 JB/T 1266—93 JB/T 1267—93	强度较高、韧性好，有较好的淬透性，冷变形性中等，切削性能尚可。在高温下有高的蠕变强度和持久强度，长期使用组织比较稳定。焊接时需预热，预热温度为 $150^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。34CrMo1 钢由于提高了 Mo 含量，更适于生产大型锻件	35CrMo 用于工作温度为 480°C 以下的汽轮机主轴和叶轮。 34CrMo1 用于 294MPa 强度级别的汽轮发电机转子和 50MW 以下汽轮机主轴及转子	
24CrMoV 35CrMoV GB/T 3077—88 JB/T 1266—93	两种钢的强度均较高，淬透性也较好。但强度偏高时，其冲击韧性往往偏低，需要严格控制化学成分和热处理工艺。24CrMoV 钢的工艺性能不如 35CrMoV 钢。35CrMoV 钢有时会出现冲击韧性不稳定的现象，热处理时如果采用水-油淬火，对提高冲击韧性有较好的效果，该钢在 550°C 时的蠕变强度和持久强度均超过 34CrMo，但经 5000h 时效后，其力学性能急剧下降，因此使用温度不得超过 $500^{\circ}\text{C} \sim 520^{\circ}\text{C}$ 。该钢的焊接性能差，焊前预热温度为 300°C 以上	24CrMoV 钢用作直径小于 500mm、在 $450^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 下工作的叶轮、转子和主轴。 35CrMoV 钢用作在 $500^{\circ}\text{C} \sim 520^{\circ}\text{C}$ 以下工作的转子、叶轮及发电机环锻件	
30Cr1Mo1VE JB/T1265—93 JB/T7027—93	是国外在大型汽轮机组中应用最广泛的高、中压转子钢。该钢具有较好的热强性和淬透性，有良好的综合力学性能，切削加工性良好，锻造工艺性能也较好，抗腐蚀性和抗氧化性尚可	用作工作温度在 540°C 以下的汽轮机高中压转子	ASTM A470 Class8
27Cr2MoV (30Cr2MoV)	该钢属珠光体热强钢。具有较高的强度和韧性，在 500°C 及 550°C 下长期保温仍有良好的塑性，组织稳定性较好，室温冲击值变化很小。钢的工艺性能不够稳定，浇注及锻造工艺性能较差，锻造时易产生裂纹，该钢可以进行氮化处理	用作工作温度为 $535^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ 的汽轮机整锻转子和叶轮	P2 (前苏联) 30CrMoV9 (德国)

表 A4 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
28CrNiMoVE JB/T 1265—93	具有较高的蠕变强度和持久强度、一定的持久塑性和组织稳定性、良好的室温力学性能及均匀的组织、较好的工艺性能及抗脆性破坏能力。高温性能稍低于 27Cr2MoV 钢	用作蒸汽参数为 500℃~540℃、9.8MPa~15.7MPa 的汽轮机高、中压转子	
17CrMo1V	有较高的热强性，综合性能较好。该钢合金元素含量较高，工艺性能良好。该钢是条件性可焊接钢，焊前要预热，焊后要立即进行高温回火。为防止焊接裂纹及焊接引起的脆性，要尽量减少钢中的硫、磷含量	用作工作温度为 520℃ 以下的汽轮机低压焊接转子及压气机转子	St560TS (瑞士)
25Cr2NiMoV	属贝氏体类型钢。与 17CrMo1V 钢相比，强度高，淬透性好，脆性转变温度低。该钢有较好的焊接性能，冶炼、锻造及热处理工艺性能良好，但对回火温度及回火时间较敏感	用作汽轮机低压焊接转子，及压气机转子	
34CrNi1Mo 34CrNi2Mo 34CrNi3MoE JB/T 1265—93 JB/T 1266—93 JB/T 1267—93	是大截面高强度钢，淬透性高，综合性能良好。回火稳定性好，回火温度范围较宽 (540℃~660℃)，有利于调整强度和韧性。冷热加工工艺性能良好。该钢限制在 400℃ 以下使用，当温度达到 400℃~450℃ 时，力学性能急剧下降，超过 450℃ 时持久强度和蠕变强度都很低。由于含碳量较高，钢的裂纹敏感性和白点敏感性大	用作工作温度为 400℃ 以下的汽轮机及汽轮发电机转子和叶轮	
25CrNi3MoV 25Cr2Ni4MoV 30Cr2Ni4MoVE JB/T 1265—93 JB/T 1266—93 JB/T 7027—93 JB/T 7178—93	与 34CrNi3Mo 钢相比，C 含量低，合金元素含量增加，并严格控制杂质元素，提高了导磁性能，增加了淬透性，综合性能好，脆性转变温度低。但具有回火脆性。这主要与杂质元素 P、Sn、As 等含量有关，脆化温度范围大致为 350℃~575℃	用于制造大功率汽轮机低压转子和汽轮发电机转子。已用于制造 300MW 机组低压转子、600MW 机组整锻低压转子和汽轮发电机转子	
20Cr3MoWV GB/T 3077—88	具有较高的热强性能和抗松弛性能。在 550℃~600℃ 长期载荷作用下，具有较高的热稳定性和持久塑性	用于工作温度在 550℃ 以下的汽轮机转子及叶轮	ЭИ415 (前苏联)
33Cr3MoWV	淬透性高，无回火脆性倾向。白点敏感性和缺口敏感性较 34CrNi3Mo 钢低。采用水淬油冷工艺，金相组织细密均匀，其性能良好。厚度大于 400mm 的锻件，应严格控制锻造温度和变形量，以免因过热而影响冲击性能	用于工作温度在 450℃ 以下、截面厚度 < 450mm 的汽轮机转子和叶轮	

表 A4 (完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
18Cr2MnMoB	是不含镍、含铬较低的大锻件用钢。钢的淬透性高,大截面上强度性能均匀,并有较好的锻造、焊接和切削加工等工艺性能。要求强度很高时,应将碳、铬和锰含量控制在上限。与相同强度等级钢相比,使用合金元素少,成本低	用于工作温度在450℃以下、轮毂厚度>300mm的叶轮,直径>500mm的汽轮机主轴和转子	
40Mn18Cr4 40Mn18Cr4V 50Mn18Cr5 50Mn18Cr5N 50Mn18Cr4WN JB/T 1268—93	均为锰铬系无磁性奥氏体钢,屈服强度较低。钢中W、N起强化作用,加N能扩大和稳定奥氏体,加W可使碳化物沉淀较慢,利于强化操作。强化方法有半热锻、冷锻、冷扩孔或爆炸等加工硬化方法。加V的钢可在固溶处理后,采用人工时效的方法,通过沉淀硬化来提高强度	用作汽轮发电机无磁性护环	
50Mn18Cr5Mo3VN	该钢是在50Mn18Cr5钢基础上发展起来的。采用变形强化和沉淀时效强化的复合强化,使屈服强度>981MPa,而塑性仍保持在较高水平	用作屈服强度>981MPa的汽轮发电机无磁性护环	
1Mn18Cr18N JB/T 1268—93 JB/T 7030—93	该钢与18Mn-5Cr护环钢相比,具有更好的抗应力腐蚀能力,更高的强度、塑性、冲击韧性、断裂韧性和抗疲劳性能。其主要缺点是高的屈强比和高温强度衰减性	用作汽轮发电机无磁性护环	

表 A5 汽轮机叶片常用钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
25Mn2V	是以锰为主要合金元素的合金结构钢。经调质处理后,强度、塑性和韧性均比较满意,低温冲击值也比较高。钢中合金元素较少,符合我国资源情况,可作为低碳镍钢的代用钢	用于工作温度<450℃的中温中压汽轮机压力级各级动叶片和隔板叶片	25MnV8 (德国)
20CrMo GB/T 3077—88	是广泛应用的铬钼结构钢,具有良好的力学性能和工艺性能。在520℃以下具有良好的高温持久性能。焊接性能尚好,作为叶片使用时,表面采取适当的防护措施,更有利于运行	用作中压125MW以下汽轮机压力级叶片	
24CrMoV	钢的强度较高,淬透性也较好。但强度偏高时,其冲击韧性往往偏低,需要严格控制化学成分和热处理工艺。24CrMoV钢的工艺性能不如35CrMoV钢。35CrMoV钢有时会出现冲击韧性不稳定的现象,热处理时如果采用水-油淬火,对提高冲击韧性有较好的效果,该钢在550℃时的蠕变强度和持久强度均超过34CrMo,但经5000h时效后,其力学性能急剧下降,因此使用温度不得超过500℃~520℃。该钢的焊接性能差,焊前预热温度为300℃以上	用作工作温度<500℃的汽轮机压力级叶片。经适当表面保护处理后,亦可用作强度要求较高、尺寸较大的后几级叶片	

表 A5 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
1Cr13 GB 8732—88 GB/T 1220—92 GB/T 1221—92	属马氏体型铬不锈钢。该钢碳含量较高，淬透性好，并且有较高的耐蚀性、热强性、韧性和冷变形性能。能在湿蒸汽及一些酸碱溶液中长期运行。该钢的减振性是已知钢中最好的。应严格控制该钢的热加工始锻温度和终锻温度，否则钢易过热而导致晶粒粗大，并析出大量的 δ 铁素体，使钢的韧性降低。该钢要求进行高温或低温回火，避免在 370℃~560℃进行回火。低温回火可消除淬火过程中形成的内应力，高温回火在保证良好的耐蚀性的同时，可获得优良的综合力学性能。钢的焊接性能尚可	用于工作温度<450℃的汽轮机变速级叶片及其他几级动、静叶片	SUS410 (JIS) 410 (AISI, ASTM) 410S 21 (BS) X10Cr13 (DIN) Z12Cr13 (NFA) 12X13 (ГОСТ 5632)
2Cr13 GB/T 1220—92 GB/T 1221—92 GB 8732—88	属马氏体不锈钢。该钢在大约 700℃以下具有足够高的强度、热稳定性和很好的减振性能，并具有较高的韧性和冷变形能力。与 1Cr13 钢相比，含碳量稍高，故强度也稍高，但塑性和韧性稍低。该钢在淡水、海水、蒸汽及湿气等条件下耐蚀性较好。该钢的抗磨蚀性能可通过表面强化方法来提高	用于工作温度<450℃的截面较大、要求强度较高的后几级叶片及低温段长叶片	SUS 420J1 (JIS) 420 S42000 (AISI, ASTM) 420 S37 (BS) X20Cr13 (DIN) Z20Cr13 (NFA)
1Cr11MoV GB/T 8732—88 GB/T 1221—92	属马氏体不锈钢，是改型的 12% 铬钢的典型钢种之一。由于钢中加入了钼和钒，其热强性和组织稳定性均比 13% 铬钢高。该钢具有良好的减振性和小的线膨胀系数，工艺性能较好，焊接性能尚可。可通过氮化处理提高钢表面的耐磨性。该钢对回火脆性不敏感	用于工作温度<540℃的汽轮机变速级及高温区动、静叶片	15X11MΦ (ГОСТ 5632)
1Cr12WMoV GB/T 8732—88 GB/T 1221—92	是 12% 铬钢的改型钢种之一。由于钢中加入了钨、钼、钒等元素，提高了钢的热强性。在 580℃具有较高的持久强度、持久塑性和组织稳定性，减振性能良好。由于钢的屈服强度较高，耐蚀性能较好。钢中因加入了相当数量的铁素体形成元素钨、钼和钒，故组织中含有一定数量的 δ 铁素体，其工艺性能尚好，可以锻轧和模锻加工。为提高钢的表面耐磨性，可以进行氮化处理	用于工作温度<580℃的汽轮机变速级及高温区动、静叶片	15X12BHMΦ (ЭИ802) (前苏联)
2Cr12WMoVNbB	是 12% 铬钢的改型钢种之一。由于钢中加入了钨、钼、钒、铌、硼多种强化元素，因此，热强性能较高，抗松弛性能较好，可长期在 590℃以下使用	用于工作温度<590℃的汽轮机动叶片，也可用作螺栓	18X12BMBΦP (ЭИ993) (前苏联)
2Cr12NiMoWV GB/T 1221—92	是强化的 12% 铬型马氏体耐热不锈钢。与 1Cr12WMoV 钢相比，由于钢中碳、钼和钨含量均有所增加，并加入少量镍元素，因此使钢的热强性能得到提高。此外，钢的缺口敏感性小，并具有良好的减振性、抗松弛性能和工艺性能	用于工作温度<550℃的汽轮机动叶片和围带	C-422 (美国) SUH 616 (JIS) 616 (ASTM)

表 A5 (完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
2Cr12Ni2W1Mo1V	是在 12% 铬钢基础上加入较多量的镍、钨、钼、钒等强化元素改进而成的高强度马氏体不锈钢。该钢具有高的强度及良好的韧性配合。该钢的屈服强度大于 735MPa, 冲击值大于 59J/cm ² , 且抗蚀性和冷热加工性能良好。该钢硬度为 293HB~331HB, 高温形变处理工艺简单, 成品率高。与调质处理叶片相比, 形变处理叶片晶粒细化且分布较为均匀, 其力学性能和断裂韧性均较高。该钢抗回火能力强, 因此, 使叶片进汽边硬质合金片的焊后热影响区性能不受影响	用作 300MW 汽轮机末级和次末级动叶片	
1Cr17Ni2 GB/T 1221—92	属马氏体钢。经淬火加低温回火后, 具有高的强度、韧性和耐蚀性。为避免钢中因 α 相增多而引起力学性能降低, 应控制钢中的镍铬含量, 即镍控制在 2%~2.5%, 铬控制在 16%~17%。热加工时, 停锻温度应高一些, 以改善塑性和表面质量, 还应控制较大的加工比, 以得到均匀的组织	用于工作温度 < 450℃、要求高耐蚀性和高强度的叶片	SUS431 (JIS) 431, S43100 (AISI, ASTM) X22 CrNi17 (DIN) Z15CN16-02 (NFA) 14X17H2 (ГОСТ 5632)
0Cr17Ni4Cu4Nb (17-4PH) GB/T 1221—92	属典型的马氏体沉淀硬化不锈钢。既保持不锈钢的耐蚀性, 又通过马氏体中金属间化合物的沉淀强化提高了强度。该钢的衰减性能好, 抗腐蚀疲劳性能及抗水滴冲蚀的能力优于 12%Cr 钢。固溶后, 可根据不同的强度要求选用不同的回火温度。经过热处理的锻件, 应具有均匀的回火马氏体组织, 晶粒度为 ASTM 6 号或更细, 纤维状或块状 δ 铁素体平均量不超过 5%, 以保证锻件性能	用作既要求耐蚀性、又要求较高强度的汽轮机低压末级动叶片	SUS630 (JIS) 630, S17400 (AISI, ASTM) Z6CNU 17.04 (NFA)

表 A6 紧固件常用钢钢号、特性及其最高使用温度

钢号与技术条件	特 性	用作螺栓时的最高使用温度 (℃)	类 似 钢 号
35、45 GB/T 699—88	强度较低。可调质处理, 但淬透性低。优质钢的硫、磷含量低, 脱氧好, 有良好的塑性和韧性, 焊接性尚可	400	
35SiMn GB/T 3077—88	具有较好的淬透性、良好的韧性、较高的强度, 疲劳强度也较好, 但有一定的过热敏感性及回火脆性倾向, 并有白点敏感性。冶炼时易于污染非金属夹杂物, 造成热加工工艺上的困难。与 40Cr 钢相比, 除低温冲击韧性稍差, 缺口敏感性较高外, 其他力学性能相当	400	

表 A6 (续)

钢号与技术条件	特 性	用作螺栓时的最高 使用温度 (°C)	类 似 钢 号
35CrMo GB/T 3077—88	强度较高、韧性好, 有较好的淬透性, 冷变形性中等, 切削性能尚可。在高温下有高的蠕变强度和持久强度, 长期使用组织比较稳定。焊接时需预热, 预热温度为 150°C ~ 400°C	480	
25Cr2MoVA GB/T 3077—88	属珠光体耐热钢。室温强度高, 韧性好, 淬透性好。在 500°C 以下具有良好的高温性能和高的抗松弛性能, 无热脆倾向。该钢热处理后有回火脆性, 并且对回火温度敏感。调质处理时, 回火温度宜高于工作温度 100°C ~ 200°C。该钢亦可在正火及高温回火后使用。焊接性能差	510	ЭИ10 (前苏联)
25Cr2Mo1VA GB/T 3077—88	属中碳耐热钢。由于钢中含有较高的合金元素, 因而具有较高的耐热性和高温强度, 较好的抗松弛性能。该钢的冷、热加工性能良好, 但对热处理较为敏感, 有回火脆性倾向, 长期运行后容易脆化, 即硬度增高, 韧性降低。持久塑性较差, 缺口敏感性也较大。在蒸汽介质中耐蚀性差, 需考虑表面保护。该钢多在调质或正火加回火后使用	550	ЭИ723 (前苏联)
20Cr1Mo1V1 DL 439—91	该钢性能优于 25Cr2Mo1V, 在 565°C ~ 570°C 有较高的热强性能和抗松弛性能, 该钢经过运行 (540°C, 9.81MPa, 运行约 6.4 万 h) 后, 钢的强度和塑性略有降低, 室温冲击值下降较多, 但水平仍很高, 未表现出明显的脆化	550	ЭИ909 (前苏联)
20Cr1Mo1VNbTiB DL 439—91	是我国自行研制的低合金高强度钢。该钢具有高的持久强度和持久塑性, 抗松弛性能好, 热脆倾向小, 缺口敏感性低。当工作断面尺寸较大时, 心部冲击值往往有较大的波动。该钢经常出现晶粒粗大现象, 以致于影响力学性能。为防止产生粗晶, 应尽量采用较低的锻造加热温度, 严格控制终锻温度, 并保证有足够的锻造比。该钢材硬度 > 260HB 时, 晶粒度越粗大, 冲击值越低。而在相同晶粒级别下, 硬度越高, 冲击值越低。对于新螺栓材料, 其硬度值、冲击值和晶粒度应符合 DL439—91 中 3.15 的规定	570	

表 A6 (完)

钢号与技术条件	特 性	用作螺栓时的最高使用温度 (°C)	类 似 钢 号
20Cr1Mo1VTiB DL 439—91	是与 20Cr1Mo1VNbTiB 钢相类似的高温螺栓钢。具有高的抗松弛性能、热强性能和良好的持久塑性, 缺口敏感性低。该钢的淬透性好, 沿截面有较均匀的力学性能	570	
2Cr12WMoVNbB	是 12% 铬钢的改型钢种之一。由于钢中加入钨、钼、钒、铌、硼多种强化元素, 因此, 热强性能较高, 抗松弛性能较好, 可长期在 590°C 以下使用	590	ЭИ993 (前苏联)
1Cr15Ni36W3Ti	属沉淀硬化型奥氏体热强钢, 在固溶状态, 高温时有强烈的沉淀硬化倾向, 经时效处理后, 组织趋于稳定。在 650°C 以下具有较好的抗松弛性能、持久强度和蠕变强度, 组织稳定。长期时效后冲击值仍能保持较高水平。持久塑性好, 1 万 h 的持久延伸率仍可达 5%~8%。该钢在 700°C 时开始软化, 强度性能将显著下降	650	ЭИ612 (前苏联)
2Cr12NiMoWV GB/T 1221—92	是强化的 12% 铬型马氏体耐热不锈钢。与 1Cr12WMoV 钢相比, 由于钢中碳、钼和钨含量均有所增加, 并加入少量镍元素, 因此使钢的热强性能得到提高。此外, 钢的缺口敏感性小, 并具有良好的减振性、抗松弛性能和工艺性能	570	C-422 (美国)
注 用作螺母时, 最高使用温度可比表列温度高 30°C~50°C, 硬度可比用作螺栓时低 20HFB~50HFB			

表 A7 汽轮机与锅炉铸钢件常用钢钢号、特性及其主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
ZG 230-450 JB/T 9625—99	为碳素铸钢。有一定的中温 (400°C~450°C) 强度和较好的塑性、韧性, 且铸造性能良好。焊接性能良好, 焊前不需要预热, 若缺陷较大, 焊后需进行去应力退火。焊条用 T507 (结 507)	用于工作温度 $\leq 425^\circ\text{C}$ 的汽缸、阀门和隔板等	25Л1 (前苏联)
ZG20CrMo JB/T 9625—99	为合金铸钢。在 500°C 以下可以保持稳定的热强性能, 组织稳定且具有较满意的铸造工艺性能。在高于 500°C 下使用时, 热强性能会急剧下降。20°C 的冲击性能不稳定, 波动较大。脆性转变温度为 -20°C~50°C。焊接性能尚可。预热温度为 200°C~300°C, 焊后缓冷并进行去应力退火。焊条用 TRCr1Mo-7 (热 307)	用于工作温度 $\leq 510^\circ\text{C}$ 的铸件, 如汽轮机汽缸、隔板、蒸汽室等	20ХМЛ1 (前苏联)

表 A7 (续完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
ZG20CrMoV JB/T 9625—99	为合金铸钢。钢的热强性能较好, 组织稳定性好, 可在 540℃ 以下长期工作, 工作温度 > 600℃ 时热强性能显著下降, 在 525℃ ~ 600℃ 长期保温后对 20℃ 的冲击值影响不大。该钢铸造性能较差, 铸造时容易热裂和产生皮下气孔。对热处理冷却速度比较敏感, 容易在铸件内造成力学性能不均匀。焊接性能尚可, 需预热 250℃ ~ 350℃ 及层间保温, 焊后缓冷并尽快去应力退火。焊条用 TR-Cr1MoV-7 (热 317)	用于工作温度 ≤ 540℃ 的铸件, 如汽轮机蒸汽室、汽缸及管道附件等	20XMΦJI (前苏联)
ZG15Cr1Mo	为合金铸钢。该钢的热强性能稍低于 Cr-Mo-V 铸钢, 塑性和韧性良好, 铸造裂纹倾向较低, 其强度和热强性能可以满足在 538℃ 以下长期工作。焊接性能尚可。根据补焊金属的厚度不同, 焊前预热温度为 100℃ ~ 150℃。焊条用 TRCr3Mo1-7 (热 407)	用于工作温度 ≤ 538℃ 的汽轮机铸件, 如内外汽缸, 阀门等	A356、A217 (ASTM)
ZG15Cr1Mo1V JB/T 9625—99	为合金铸钢。属综合性能良好的热强铸钢。该钢的铸造工艺性能较 ZG20CrMoV 钢稍差, 容易产生裂纹。对热处理冷却速度相当敏感, 容易在铸件中造成不均匀的组织 and 性能。焊接性能尚可, 需预热到 300℃ ~ 350℃ 及层间保温, 焊后缓冷并尽快去应力退火。焊条用 TRCr1MoVW-7 (热 327)	用于工作温度 ≤ 570℃ 的铸件, 如汽轮机高中压缸、喷嘴室和主汽阀等	15X1M1ΦJI (前苏联)
ZG15Cr2Mo1	为合金铸钢。该钢具有良好的综合性能, 铸造性能较 ZG15Cr1Mo1V 钢好, 抗腐蚀和抗高温氧化性能优于 ZG15Cr1Mo 钢。焊接性能尚可。根据补焊金属厚度, 焊前预热温度 ≥ 150℃ 或 ≥ 250℃, 焊条用 TRCr3Mo1-7 (热 407)	用于工作温度 ≤ 566℃ 的汽轮机内缸、阀壳、喷嘴室等铸件	A356、A217 (ASTM)

表 A8 凝汽器常用管材牌号、特性和主要应用范围

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
H68A GB/T 8890—98	H68A 黄铜具有很好的塑性和较高的强度, 切削加工性好, 易于焊接。由于黄铜中含有微量砷, 故能有效地抑制黄铜的脱锌腐蚀。在大气及淡水中具有较高的耐蚀性, 但在轻度污染的冷却水中会出现层状脱锌与腐蚀。用于凝汽器管时, 冷却水中允许的悬浮物和含砂量不超过 100mg/L, 在采用硫酸亚铁处理时, 悬浮物的允许含量可提高到 500mg/L ~ 1000mg/L。	用于制造热交换器铜管, 如低压加热器、凝汽器铜管, 使用在溶解固形物 < 300mg/L、氯离子 < 50mg/L 的冷却水中	70/30 Brass (CZ105) (英国) JIMIII-68-0.06 (前苏联)

表 A8 (续完)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类 似 钢 号
H5n70-1 GB/T 8890—98	H5n70-1A 称为锡黄铜, 具有良好的力学性能, 在热态和冷态下加工性能好, 切削性能尚可, 易于焊接和钎焊。在大气和淡水中有较高的耐腐蚀性, 但在管子表面有沉积物或碳膜时易发生点蚀。由于锡黄铜中含有微量砷, 故有一定的抗脱锌能力, 用于凝汽器管时, 冷却水中允许的悬浮物和含砂量不超过 300mg/L, 在采用硫酸亚铁处理时, 悬浮物含量可提高到 500mg/L~1000mg/L	用于制造凝汽器管, 使用在溶解固形物 <1000mg/L、氯离子 <150mg/L 的冷却水中	Admiralty brass (CZ111) (英国) CuZn28Sn (SOMS71) (德国) JIMIII-70-1-0.06 (前苏联) BSTF (日本) CuZn29Sn1 (法国) Alloy 433 (美国)
HAI77-2 GB/T 8890—98	HAI77-2A 称铝黄铜。由于加入少量铍, 使其具有高的强度、硬度和良好的塑性。可在热态及冷态下进行压力加工。又由于铝黄铜中含有微量砷和锑, 故对海水及盐水有良好的耐蚀性。HAI77-2A 管耐砂蚀性能差, 用于凝汽器管时, 冷却水中允许的悬浮物和含砂量不超过 50mg/L, 在悬浮物及含砂量较高的海水或淡水中, 会使冷却水入口处管端产生严重的冲刷和腐蚀, 腐蚀表面呈金黄色, 腐蚀坑呈马蹄形, 并有方向性。采用硫酸亚铁成膜处理, 能有效地减缓管子的冲击腐蚀。当管子表面附有有害膜时, 往往会在短期内出现腐蚀; 当管子安装不当或有振动时, 易在淡水中发生应力腐蚀和腐蚀疲劳损坏。在污染的淡水中也不耐腐蚀, 因此, 一般不推荐在淡水中使用, 也不宜在浓淡交变的冷却水中应用	用于制造凝汽器管, 使用在溶解固形物 >1500mg/L 或海水的冷却水中。冷却水中允许的悬浮物和含砂量不超过 50mg/L	Aluminum brass (CZ110) (英国) CuZn20Al (SOMS76) (德国) JIMIII-77-2-0.06 (前苏联) BSTF2 (日本) BSTF3 (日本) BSTF4 (日本) Alloy 687 (美国) CuZn22Al2 (法国)
BFe30-1-1 (B30) GB 8890—98	BFe30-1-1 (B30) 称结构铜镍白铜, 具有高的力学性能, 耐砂蚀和耐氨蚀性能良好, 并具有耐热性和耐寒性, 在热态和冷态下压力加工性良好。这种管子在污染的冷却水中会发生点蚀或孔蚀	用于制造凝汽器管, 使用在悬浮物和含砂量较高、流速较高且含氧充足的海水冷却水中。冷却水中允许的悬浮物和含砂量可达 500mg/L~1000mg/L, 短期可大于 1000mg/L	CN107 (英国) CuNi30Fe (德国) MH-70-30 (前苏联) CNTF3 (日本) Allog 715 (美国) CuNi30Mn1Fe (法国)
TA1 TA2 TA3 GB/T 3620.1—94 GB/T 3625—95	TA1、TA2、TA3 均为工业纯钛, 它们具有较高的力学性能、优良的冲压性能, 并可进行各种形式的焊接, 焊接接头强度可达基体金属强度的 90%, 且切削加工性能良好。钛管对氯化物、硫化物和氨具有较高的耐蚀性能。钛在海水中的耐蚀性比铝合金、不锈钢、镍基合金还高。钛耐水冲击性能也较强	用于制造凝汽器管子, 可在受污染的海水、悬浮物含量高的水中, 及在较高的流速下使用	

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
火 力 发 电 厂 金 属 材 料 选 用 导 则
DL/T 715—2000

*

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](http://www.cepp.com.cn))
北京市梨园彩印厂印刷

*

2001年3月第一版 2001年3月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 2印张 56千字
印数0001—3000册

*

书号 155083·221 定价 7.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)