

ICS 23.040.01
P 61
备案号: 50039-2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 715 — 2015
代替 DL/T 715 — 2000

火力发电厂金属材料选用导则

Selection guide for the metallic material of fossil power plants

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 选材和材料质量控制原则	3
4 金属材料的选用	4
4.1 高温蒸汽管道、高温联箱及高温管件用钢	4
4.2 锅炉受热面管用钢	4
4.3 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢	5
4.4 锅炉锅筒和汽水分离器用钢	6
4.5 锅炉受热面固定件及吹灰器用钢	6
4.6 汽轮机转子体、轮盘和叶轮用钢	6
4.7 汽轮发电机转子和无磁性护环用钢	7
4.8 汽轮机叶片用金属材料	8
4.9 紧固件用金属材料	8
4.10 汽轮机、锅炉铸钢件用钢	9
4.11 凝汽器用管材	9
4.12 压力容器用钢	10
附录 A (资料性附录) 电站常用钢牌号、特性及主要应用范围	11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。
本标准与 DL/T 715—2000 比较，主要技术变化如下：

- 增加了超（超）临界锅炉高温蒸汽管道、联箱和高温受热面用 9%~12%Cr 系列钢、S30432/10Cr18Ni9NbCu3BN/Super304H/DMV304HCu、TP347HFG/08Cr18Ni11NbFG、TP310HCbN/07Cr25Ni21NbN/HR3C/DMV310N；超（超）临界机组高中压转子、高温铸钢件用 10%Cr 系列钢的选用。
- 删除了附录 A 中高温管道及受热面管、锅筒、汽轮机主轴、叶轮、叶片及发电机转子选材中 19 种不常用的钢号。
- 删除了关于部件用金属材料的具体检验项目表。
- 将“4.1 蒸汽管道、联箱及锅炉受热面管子用金属材料”改为“4.1 高温蒸汽管道、高温联箱及高温管件用钢”“4.2 锅炉受热面管用钢”和“4.3 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢”，区分了蒸汽管道与受热面管用钢选用的差异和高温蒸汽管道、高温联箱与给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢选用的差异。
- 凝汽器用管材中增加了不锈钢管的选用。

本标准附录 A 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站金属标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司、苏州热工研究院有限公司、华北电力科学研究院、国网江西省电力科学研究院、中国神华国华电力分公司、陕西电力科学研究院、东方锅炉股份有限公司。

本标准主要起草人：杨百勋、李益民、赵彦芬、蔡文河、唐囡、赵慧传、刘树涛、张兵、杨华春、史志刚、田晓。

本标准实施后代替 DL/T 715—2000。

DL/T 715—2000 的历次版本发布情况为：

- DL/T 715—2000。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

火力发电厂金属材料选用导则

1 范围

本标准规定了火力发电设备金属材料选用的原则，重要部件金属材料的主要验收标准和质量要求。

本标准适用于火力发电厂新建机组重要部件金属材料的选用和替代，在役机组更换部件金属材料的选用和替代。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1221 耐热钢棒
- GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分
- GB/T 3625 换热器及冷凝器用钛及钛合金管
- GB 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 8732 汽轮机叶片用钢
- GB/T 8890 热交换器用铜合金无缝管
- GB/T 16507.2 水管锅炉 第2部分：材料
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- GB 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 20410 涡轮机高温螺栓用钢
- GB/T 20878 不锈钢和耐热钢牌号及化学成分
- GB/T 28559 超临界及超超临界汽轮机 叶片
- DL/T 438 火力发电厂金属技术监督规程
- DL/T 439 火力发电厂高温紧固件技术导则
- DL 473 大直径三通锻件技术条件
- DL/T 515 电站弯管
- DL/T 695 电站钢制对焊管件
- DL/T 712 发电厂凝汽器及辅机冷却器管选材导则
- JB/T 1265 25MW~200MW 汽轮机转子体和主轴锻件 技术条件
- JB/T 1266 25MW~200MW 汽轮机轮盘及叶轮锻件 技术条件
- JB/T 1267 50MW~200MW 汽轮发电机转子锻件 技术条件
- JB/T 1268 汽轮发电机 Mn18Cr5 系无磁性护环锻件 技术条件
- JB/T 5263 电站阀门铸钢件技术条件
- JB/T 7024 300MW 及以上汽轮机缸体铸钢件 技术条件
- JB/T 7026 50MW 以下汽轮发电机转子锻件 技术条件
- JB/T 7027 300MW 及以上汽轮机转子体锻件 技术条件

- JB/T 7030 汽轮发电机 Mn18Cr18N 无磁性护环锻件 技术条件
- JB/T 8705 50MW 以下汽轮发电机无中心孔转子锻件 技术条件
- JB/T 8706 50MW~200MW 汽轮发电机无中心孔转子锻件 技术条件
- JB/T 8707 300MW 及以上汽轮机无中心孔转子锻件 技术条件
- JB/T 8708 300MW~600MW 汽轮发电机无中心孔转子锻件 技术条件
- JB/T 9625 锅炉管道附件承压铸钢件 技术条件
- JB/T 10087 汽轮机铸钢件 技术条件
- JB/T 11017 1000MW 及以上汽轮发电机转子锻件 技术条件
- JB/T 11018 超临界及超超临界机组汽轮机用 Cr10 型不锈钢铸件 技术条件
- JB/T 11019 超临界及超超临界机组汽轮机高中压转子体锻件 技术条件
- JB/T 11020 超临界及超超临界机组汽轮机用超纯净钢低压转子锻件 技术条件
- JB/T 11030 汽轮机高低压复合转子锻件 技术条件
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
- NB/T 47019.3 锅炉、热交换器用管材订货技术条件 第3部分:规定高温性能的非合金钢和合金钢
- YB/T 4173 高温用锻造镗孔厚壁无缝钢管
- ASME SA-105 管道用碳钢锻件 技术条件 (Specification for carbon steel forgings, for piping applications)
- ASME SA-106 高温用碳钢无缝钢管 技术条件 (Specification for seamless carbon steel pipe for high-temperature service)
- ASME SA-178 电阻焊碳钢管和锅炉、过热器用碳-锰钢 技术条件 (Specification for electric-resistance-welded carbon steel and carbon-manganese steel boiler and superheater tubes)
- ASME SA-181 管道用碳钢锻件通用技术条件 (Specification for carbon steel forgings, for general-purpose piping)
- ASME SA-182 高温用锻制或轧制合金钢和不锈钢管道法兰、锻制管件、阀门和部件 技术条件 (Specification for forged or rolled alloy and stainless steel pipe flanges, forged fittings, and valves and parts for high-temperature service)
- ASME SA-210 中碳钢制锅炉和过热器用无缝钢管 技术条件 (Specification for seamless medium-carbon steel boiler and superheater tubes)
- ASME SA-213 高温用铁素体、奥氏体钢制锅炉、过热器和热交换器无缝钢管 技术条件 (Specification for seamless ferritic and austenitic alloy-steel boiler, superheater, and heat-exchanger tubes)
- ASME SA-234 中高温用锻制碳钢、合金钢管件 技术条件 (Specification for piping fittings of wrought carbon steel and alloy steel for moderate and high-temperature service)
- ASME SA-299 压力容器用碳钢、锰-硅钢板 技术条件 (Specification for pressure vessel plates, carbon steel, manganese-silicon)
- ASME SA-302 压力容器用合金钢、锰-钼和锰-钼-镍钢板 技术条件 (Specification for pressure vessel plates, alloy steel, manganese-molybdenum and manganese-molybdenum-nickel)
- ASME SA-335 高温用铁素体合金钢制无缝钢管 技术条件 (Specification for seamless ferritic alloy-steel pipe for high-temperature service)
- ASME SA-387 压力容器用合金钢板、铬-钼钢板 技术条件 (Specification for pressure vessel plates, alloy steel, chromium-molybdenum)
- ASME SA-672 中温高压用电熔焊管技术条件 (Specification for electric-fusion-welded steel pipe for

high-pressure service at moderate temperatures)

ASME SA-691 高温高压用碳钢和合金钢制电熔焊管 技术条件 (Specification for carbon and alloy steel pipe, electric-fusion-welded for high-pressure service at high temperatures)

ASME SA-960 锻制钢管管件通用技术条件 (Specification for common requirements for wrought steel piping fittings)

ASME SB-338 冷凝器、热交换器用无缝钛管、焊接钛管及钛合金管 技术条件 (Specification for seamless and welded titanium and titanium alloy tubes for condensers and heat exchangers)

DIN EN 10216-2 承压无缝钢管技术条件 第2部分: 高温用碳钢和合金钢管 (Seamless steel tubes for pressure purposes-technical delivery conditions-Part 2: Non alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties)

DIN EN 10216-5 承压无缝钢管技术条件 第5部分: 不锈钢管 (Seamless steel tubes for pressure purposes-technical delivery conditions-Part 5: Stainless steel tubes)

DIN EN 10222 承压用钢制锻件 (Steel forgings for pressure purposes)

DIN EN 10028 压力容器用钢板 (Flat products made of steel for pressure purposes)

3 选材和材料质量控制原则

3.1 火电机组选材的原则应基于部件的受力状态、服役温度、服役环境(如腐蚀性介质等)和预期的安全服役寿命,综合考虑材料的物理性能、化学性能、力学性能、工艺性能、组织稳定性和经济性。

3.2 本标准中给出的部件选材为推荐性材料牌号,也可选其他标准中的类似牌号。

3.3 火电机组选用的各种金属材料应符合国家有关标准、行业标准、企业标准或国外相关标准及订货技术条件。

3.3.1 火电机组选用中国牌号的金属材料,应符合相应牌号材料的中国国家标准、行业标准或企业标准及订货技术条件。

3.3.2 火电机组选用国外牌号的金属材料,应符合相应牌号材料的国外技术标准及订货技术条件,同时应参照中国相应的国家标准、行业标准或企业标准。

3.3.3 火电机组选用国内制造商生产的国外牌号金属材料或制品的首批产品时,应查阅该产品的技术评审资料,按照该牌号材料国外标准验收,并参照国内相应牌号材料标准。

3.4 金属产品合格证及质量证明书应齐全,宜包括金属产品的基本信息、制作工艺信息和性能检验信息:

- a) 基本信息: 制造商、材料牌号、检验签字和合格章;
- b) 制作工艺信息: 冶炼方法、热加工工艺、热处理工艺;
- c) 成分和性能检验信息: 化学成分、力学性能、金相组织、无损检测结果等资料。

检验人员应对材料产品合格证、质量证明书及产品标记确认。

3.5 进口金属产品应有报关单、商检报告、原产地证书,检验人员应对报关单、商检报告、原产地证书和产品标记进行确认。

3.6 金属产品质量证明书中若性能检验信息缺项或数据不全,应补做所缺项目检验。检验范围、数量和检验方法应符合相关标准,合格后才能使用。

3.7 选用代用材料时,应选化学成分、设计性能和工艺性能相当或略优者;若代用材料工艺性能不同于设计材料,应经工艺评定验证后方可使用。

3.8 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金属技术监督专职工程师的同意,并经总工程师批准。

3.9 代用前和组装后,应对代用材料进行材质复查,确认无误后,方可投入运行。

4 金属材料的选用

4.1 高温蒸汽管道、高温联箱及高温管件用钢

4.1.1 高温蒸汽管道和高温联箱包括服役温度高于或等于 400℃ 的管道、联箱、导汽管和管件（弯头、三通、异径管）。

4.1.2 高温蒸汽管道、高温联箱及高温管件用钢应具有以下性能：

- a) 合适的常规力学性能，包括室温、高温拉伸性能、冲击吸收能量。
- b) 优异的蠕变强度、持久强度、持久塑性、抗氧化性能和抗高温腐蚀性能。
- c) 在高温下长期运行中，组织稳定性好。
- d) 良好的工艺性能，特别是焊接性能。

4.1.3 亚临界 300MW 级、600MW 级机组的主蒸汽管道可选 P91，再热蒸汽管道可选 P91、P22；超临界机组主蒸汽管道、高温蒸汽管道可选 P91；超超临界机组主蒸汽管道可选 P92，高温再热蒸汽管道可选 P92 或 P91。具有相同温度的高温联箱、高温管件及导汽管的选材可参考主蒸汽管道、高温蒸汽管道的选材。

4.1.4 壁温小于或等于 520℃/550℃ 的导汽管、联箱可选用 P12/15CrMoG；500℃~560℃ 间的蒸汽管道、导汽管、联箱可选用 P22/12Cr2MoG、12Cr1MoVG。

4.1.5 高温蒸汽管道、高温联箱及高温管件的材质验收，应满足以下规定：

- a) 国产钢管的技术要求及质量检验应满足 GB 5310、GB/T 16507.2 的规定，锻造钢管应满足 YB/T 4173 的规定。
- b) 国产管道锻件的技术要求及质量检验应满足 NB/T 47008、NB/T 47010 的规定。
- c) 进口钢管的技术要求及质量检验应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件，重要的钢管技术标准有美国的 ASME SA335、欧盟的 DIN EN 10216-2，同时应满足 GB 5310 的规定。
- d) 弯管按 DL/T 515 的规定，钢制对焊管件按 DL/T 695 的规定，大直径三通按 DL 473 的规定。
- e) 9%~12%Cr 钢制高温蒸汽管道、高温再热蒸汽管道、高温联箱及导汽管用无缝钢管的硬度应符合 DL/T 438 的规定。
- f) 进口锻制弯管、大直径三通锻件的技术要求及质量检验可按 ASME SA-234、ASME SA-182、ASME SA-960 和 DIN EN 10222 执行。

4.1.6 高温蒸汽管道、高温再热蒸汽管道、高温联箱、高温管件及导汽管常用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.1。

4.2 锅炉受热面管用钢

4.2.1 锅炉水冷壁/省煤器管用钢应具有以下性能：

- a) 合适的室温、中温拉伸强度。
- b) 良好的抗烟气腐蚀性能，合适的抗汽水腐蚀性能。
- c) 良好的抗热疲劳性能。
- d) 良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。

4.2.2 亚临界锅炉水冷壁可选用 20G、SA-210C；超临界锅炉水冷壁可选用 15CrMoG/T12/T22；超超临界锅炉水冷壁低温段可选用 15CrMoG/T12，较高温度区段可选 12Cr1MoVG。

4.2.3 亚临界以下锅炉省煤器可选用 20G、SA-178C；超（超）临界锅炉省煤器可选用 SA-210C。

4.2.4 锅炉过热器/再热器管用钢相对于高温蒸汽管道、高温联箱用钢，还应具有以下更高的要求：

- a) 优异的高温强度，特别是持久强度，良好的组织稳定性。
- b) 优异的抗高温氧化性能，良好的抗腐蚀性能。
- c) 良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。
- d) 对同一牌号的钢材，用于高温受热面管的允许最高服役温度一般可适当高于主蒸汽管道、高温

再热蒸汽管道、高温联箱、高温管件及导汽管等部件的最高服役温度，但要在材料抗氧化温度允许范围内。

4.2.5 超超临界锅炉高温过热器、再热器管可选 TP310HCbN/07Cr25Ni21NbN/HR3C/DMV310N、内壁喷丸的 S30432/10Cr18Ni9NbCu3BN/Super304H/DMV304HCu；屏式过热器可选上述两种材料以及 TP347HFG、内壁喷丸 18-8 奥氏体耐热钢；620℃ 高效超超临界锅炉高温过热器、再热器管可选 TP310HCbN/07Cr25Ni21NbN/HR3C/DMV310N、内壁喷丸的 S30432/10Cr18Ni9NbCu3BN/Super304H/DMV304HCu、Sanicro 25/S31035、NF709R；低温过热器、再热器根据不同的温度区域，可选 T92、T91、12Cr1MoVG、12Cr2MoG/T22、15CrMoG/T12、SA-210C、20G。

4.2.6 超临界锅炉高温过热器、再热器、屏式过热器温度较高的区段可选 TP347HFG、内壁喷丸的 18-8 奥氏体耐热钢，温度较低的区段选 TP304H、TP347H、TP347HFG、TP321H、TP316H、T92、T91；低温过热器、再热器根据不同的温度区域，可选 12Cr1MoVG、12Cr2MoG/T22、15CrMoG/T12、SA-210C、20G。

4.2.7 亚临界锅炉高温过热器、再热器管根据不同的温度区段，可选 TP347H、TP304H、TP321H、TP316H、T91、12Cr1MoVG、12Cr2MoWVTiB；低温过热器、再热器根据不同的温度区域，可选 15CrMoG/T12、12Cr2MoG/T22、12Cr1MoVG、SA-210C、20G。

4.2.8 锅炉受热面用钢的材质验收，应满足以下规定：

- a) 国产锅炉受热面用无缝钢管的技术要求及质量检验应符合 GB 5310、GB/T 16507.2 的规定，同时参照 NB/T 47019.3 的规定。
- b) 进口钢管的技术要求及质量检验应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件，重要的钢管技术标准有美国的 ASME SA213、ASME SA210、ASME SA178、欧盟的 DIN EN 10216-5，同时应满足 GB 5310 的规定。

4.2.9 锅炉受热面常用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.1。

4.3 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢

4.3.1 低温蒸汽管道和低温联箱包括服役温度低于 400℃ 的蒸汽管道、联箱和管件（弯头、三通、异径管）。

4.3.2 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢应具有以下性能：

- a) 合适的室温、中温拉伸强度和塑性。
- b) 良好的冲击吸收能量和断裂韧性。
- c) 低的断口形貌韧脆转变温度（FATT₅₀）和时效缺口敏感性。
- d) 良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。

4.3.3 超（超）临界及亚临界机组给水管道可选用 15NiCuMoNb5-6-4/15NiCuMoNb5/15Ni1MnMoNbCu/P36/WB36、SA-106C。

4.3.4 超超临界机组再热蒸汽冷段管道可选用 SA-691 1-1/4CrCL22、12Cr1MoVG、SA-672B70CL32、SA-106C；620℃ 超超临界机组再热蒸汽冷段管道可选 15CrMoG、12Cr1MoVG 无缝钢管或 SA-691 1-1/4CrCL22；亚临界、超临界机组再热蒸汽冷段管道可选 SA-672B70CL32、SA-672B70CL22、SA-106C、20G；低温联箱可选用 SA-106C、20G、SA-106B。所有再热蒸汽冷段管道均可选用成分、性能满足服役要求的无缝钢管。

4.3.5 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢的验收，应满足以下规定：

- a) 国产给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用无缝钢管的技术要求及质量检验应符合 GB 5310、GB/T 16507.2 的规定。
- b) 国产管道锻件的技术要求及质量检验应满足 NB/T 47008 和 NB/T 47010 的规定。
- c) 进口钢管的技术要求及质量检验应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件，SA-672B70CL32 和 SA-691 1-1/4CrCL22 钢管的技术要求及质量检验应符合 ASME SA-672 和 ASME SA-691 的

规定, SA-106C 应符合 ASME SA-106 的规定, 同时应满足 GB 5310 的规定。

- d) 进口管道锻件的技术要求及质量检验可按 ASME SA-105、ASME SA-181、ASME SA-182、ASME SA-960 和 DIN EN 10222 执行。

4.3.6 给水管道、低温蒸汽管道和低温联箱用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.1。

4.4 锅炉锅筒和汽水分离器用钢

4.4.1 锅炉锅筒和汽水分离器用钢应具有以下性能:

- a) 合适的室温、中温拉伸强度、塑性和低周疲劳强度。
- b) 良好的冲击吸收能量和断裂韧性。
- c) 低的断口形貌韧脆转变温度 (FATT₅₀)、缺口敏感性和时效缺口敏感性。
- d) 良好的抗汽水腐蚀能力。
- e) 良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。

4.4.2 亚临界及以下锅炉锅筒可选用 SA-299、SB49、Q245R、Q345R、P355GH、SA-302 或 13MnNiMoR/DIWA353/13MnNiMo5-4、18MnMoNbR 等; 超 (超) 临界锅炉汽水分离器可选用 P91、SA-336F12、15CrMoG、12Cr1MoVG、SA-182F12CL2、15NiCuMoNb5-6-4/WB36 或 SA-302C, 储水罐可选用 SA-387Gr.11CL2 钢板制造。

注: Q245R 是 GB 713—2008 中的牌号, 代替 GB 713—1997 中的 20g 和 GB 6654—1996 中的 20R。

4.4.3 锅炉锅筒和汽水分离器用钢的验收, 应满足以下规定:

- a) 国产锅炉锅筒用碳素钢、低合金钢板和汽水分离器用低合金钢板的技术要求和质量检验应符合 GB 713、GB/T 5313 的规定。
- b) 进口锅炉锅筒和汽水分离器钢板的技术要求及质量检验应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件, 重要的钢板技术标准有 ASME SA-299、ASME SA-302、ASME SA-387, P355GH 钢应满足 DIN EN 10028, 所有国外的钢板同时应满足 GB 713 的规定。

4.4.4 锅炉锅筒和汽水分离器用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.2。

4.5 锅炉受热面固定件及吹灰器用钢

4.5.1 锅炉受热面固定件及吹灰器用钢应具有以下性能:

- a) 锅炉受热面固定件用钢应具有良好的抗氧化性, 并具有合适的热强性能和良好的耐蚀性、工艺性能。
- b) 吹灰器用钢应具有优异的抗氧化性能、良好的抗腐蚀性能和良好的高温强度。

4.5.2 锅炉受热面固定件及吹灰器可选用高铬马氏体、奥氏体或双相耐热钢。

4.5.3 锅炉受热面固定件和吹灰器的材料验收, 应满足以下规定:

- a) 国产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质量检验应符合 GB/T 1220 和 GB/T 1221 的规定。
- b) 进口锅炉受热面固定件和吹灰器用钢的技术要求及质量检验应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件。

4.5.4 锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.3。

4.6 汽轮机转子体、轮盘和叶轮用钢

4.6.1 汽轮机高中压转子、轮盘及叶轮用钢应具有以下性能:

- a) 汽轮机转子、轮盘及叶轮用钢应具有良好的韧性和塑性; 高中压转子用钢应具有良好的室温和高温拉伸强度, 高的疲劳强度、持久强度, 良好的组织稳定性; 低压转子、轮盘及叶轮用钢应具有高的室温和中温拉伸强度。
- b) 高中压转子用钢应具有良好的抗高温蒸汽氧化、抗腐蚀能力。
- c) 汽轮机转子、轮盘及叶轮用钢应具有较高的断裂韧性, 低的韧脆转变温度。
- d) 汽轮机转子应具有低的残余应力。

e) 汽轮机转子用钢应具有良好的冶炼、锻造和热处理性能。

4.6.2 高温高压机组、亚临界机组根据容量可选 34CrMo1A、30Cr1Mo1V；超临界机组可选 30Cr1Mo1V；超超临界机组可选用 10Cr 系列钢的 12Cr10NiMoWVNbN/X12CrMoWVNbN10-1-1、13Cr10NiMoWVNbN/TMK-1、14Cr10NiMoWVNbN/TOS107、15Cr10NiMoWVNbN/KT5916；620℃超超临界机组可选用 FB2、TOS110。

4.6.3 高温高压机组、亚临界机组根据容量，低压转子、轮盘及叶轮可选 34CrNi3Mo、25CrNiMoV、30Cr2Ni4MoV 或制造企业自行设计并选用的相近材料；超（超）临界机组低压转子、轮盘及叶轮可选用 30Cr2Ni4MoV。

4.6.4 汽轮机高低压复合转子体锻件可选用 25Cr2NiMo1V、25Cr2Ni1Mo1V。

4.6.5 汽轮机转子体、轮盘及叶轮用钢的验收，应满足以下规定：

- a) 超临界及超超临界机组汽轮机高中压转子体锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 11019 的要求。
- b) 300MW 及以上汽轮机转子体锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 7027 的规定。
- c) 300MW 及以上汽轮机无中心孔转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 8707 的规定。
- d) 25MW~200MW 汽轮机转子体和主轴锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 1265 的规定。
- e) 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 的规定。
- f) 超临界及超超临界机组汽轮机低压转子体锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 11020 的规定。
- g) 汽轮机高低压复合转子体锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 11030 或制造企业的相关标准。
- h) 进口汽轮机转子锻件的技术要求和质量检验，应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件。

4.6.6 汽轮机转子体、轮盘及叶轮常用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.4。

4.7 汽轮发电机转子和无磁性护环用钢

4.7.1 汽轮发电机转子和无磁性护环应具有以下性能：

- a) 合适的室温拉伸强度（特别是屈服强度）、塑性。
- b) 优异的冲击吸收能量和断裂韧性，低的韧脆转变温度。
- c) 良好的高周疲劳强度，低的残余应力。
- d) 汽轮发电机转子应具有良好的磁性能。
- e) 发电机护环锻件应具有良好的磁性能和良好的抗应力腐蚀性能。

4.7.2 200MW 以下机组，根据容量发电机转子可选用 34CrMo1A、34CrNi1Mo、34CrNi3Mo、25CrNi1MoV、25Cr2Ni4MoV；300MW~600MW 以及超（超）临界机组发电机转子可选用 25Cr2Ni4MoV。

4.7.3 亚临界及以下机组，根据容量，发电机无磁性护环可选用 50Mn18Cr5、50Mn18Cr5N 和 1Mn18Cr18N；超（超）临界机组发电机无磁性护环可选用 1Mn18Cr18N。

4.7.4 汽轮发电机转子用钢的验收，应满足以下规定：

- a) 1000MW 及以上汽轮发电机转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 11017 的规定。
- b) 300MW~600MW 汽轮发电机转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 8708 的规定。
- c) 50MW~200MW 汽轮发电机转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 1267 的规定。
- d) 50MW~200MW 汽轮发电机无中心孔转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 8706 的规定。
- e) 50MW 以下汽轮发电机转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 7026 的规定。
- f) 50MW 以下汽轮发电机无中心孔转子锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 8705 的规定。
- g) 进口汽轮发电机转子的技术要求和质量检验，应符合相应牌号的国外标准及订货技术协议。

4.7.5 汽轮发电机无磁性护环用钢的材质检验，应满足以下规定：

- a) 采用 Mn18Cr18N 制作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 7030 的规定。
- b) 50MW~200MW 汽轮发电机无磁性护环锻件技术要求和质量检验，应符合 JB/T 1268 的规定。

c) 进口汽轮发电机无磁性护环的技术要求和质量检验,应符合供货国家标准或订货技术条件。

4.7.6 汽轮发电机转子和无磁性护环常用钢牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.4。

4.8 汽轮机叶片用金属材料

4.8.1 汽轮机叶片金属材料应具有以下性能:

- a) 优异的强度、塑性和热强性能。对于服役温度小于 400℃ 的叶片,主要考虑室温和中温拉伸性能;对于服役温度大于或等于 400℃ 的叶片,除室温拉伸性能外,还应具有高的持久强度和持久塑性,且组织稳定性好。
- b) 优异的冲击吸收能量,低的缺口敏感性。
- c) 良好的减振性。
- d) 良好的抗腐蚀性。处于湿蒸汽区服役的低压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。
- e) 优异的抗疲劳性能,特别是抗腐蚀疲劳性能。
- f) 良好的耐磨性能,特别是承受水滴冲刷磨损的低压末三级叶片。
- g) 良好的冷、热加工工艺性能。

4.8.2 汽轮机高中压区段的叶片选材主要基于材料的室温及高温拉伸性能、持久强度、抗热疲劳性能、冲击吸收能量、缺口敏感性、减振性及组织稳定性;低压区段的叶片选材主要基于材料的室温拉伸性能、冲击吸收能量、缺口敏感性、减振性和抗腐蚀性。

4.8.3 汽轮机叶片用金属材料的验收,应满足以下规定:

- a) 国产汽轮机叶片用钢的技术要求和质量检验应符合 GB/T 8732、GB/T 28559 或订货合同要求。
- b) 进口汽轮机叶片的技术要求和质量检验,应符合相应牌号的国外标准或制造企业标准及订货技术条件。

4.8.4 汽轮机叶片常用材料牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.5。

4.9 紧固件用金属材料

4.9.1 紧固件用金属材料应具有以下性能:

- a) 高温紧固件用金属材料应具有良好的室温、高温拉伸强度和塑性。
- b) 优异的冲击吸收能量、低的缺口敏感性。
- c) 高温(碳钢工作温度超过 300℃~350℃,合金钢超过 350℃~400℃)紧固件用钢应具有良好的抗松弛性能。
- d) 高温紧固件用钢应具有良好的持久强度和蠕变强度,低的蠕变脆化倾向及蠕变缺口敏感性,且具有良好的持久塑性。一般要求螺栓材料 8000h~10 000h 以上光滑试样的持久塑性为:新材料大于 5%;已运行材料不低于 3%。
- e) 高温紧固件用钢应具有高的组织稳定性,回火脆性和热脆性倾向小。
- f) 良好的抗氧化性能。
- g) 在汽缸内部服役的螺栓,还应具有合适的抗蚀性。
- h) 对于承受疲劳载荷的螺栓(如联轴器螺栓),还应具有良好的抗疲劳和抗剪切能力。
- i) 良好的冷、热加工工艺性能。
- j) 原则上,螺母材料强度宜比螺栓低一级(低 20HB~50HB),同一法兰的紧固件应采用相同的钢号、强度等级和结构形式。当在同一法兰上要安装不同材料和强度等级的紧固件时,应考虑计算由不同线膨胀系数和抗松弛性能引起的影响。

4.9.2 高温紧固件金属材料的选用主要基于材料的抗松弛性能、高温强度、持久强度、缺口敏感性、组织稳定性,回火脆性、热脆性以及抗氧化性能、抗热疲劳性能、冲击吸收能量、缺口敏感性和组织稳定性;室温服役的紧固件主要基于室温拉伸强度、抗疲劳和抗剪切能力。

4.9.3 紧固件材料的验收,应满足以下规定:

- a) 紧固件用金属材料的技术要求和质量检验应符合 DL/T 439、GB/T 20410 及订货技术条件。
- b) 进口紧固件金属材料的技术要求和质量检验,应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件。

4.9.4 紧固件常用金属材料牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.6。

4.10 汽轮机、锅炉铸钢件用钢

4.10.1 汽轮机、锅炉铸钢件材料应具有以下性能:

- a) 良好的室温、高温拉伸强度、塑性和冲击吸收能量。
- b) 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。
- c) 承受热疲劳载荷的铸钢件(如汽轮机汽缸和蒸汽室)用钢,应具有良好的抗疲劳性能。
- d) 承受高温蒸汽冲蚀的铸钢件用钢,应具有一定的抗氧化性能和耐磨性能。
- e) 需要焊接的铸钢应具有良好的可焊性。

4.10.2 汽轮机、锅炉铸钢件材料的选用主要基于铸钢件的服役温度和压力,以及材料的高温拉伸强度和持久强度。碳素铸钢宜用于温度小于或等于 430℃、压力小于或等于 5.3MPa 的部件;合金铸钢宜用于温度大于 430℃的部件。

4.10.3 铸钢件的验收,应满足以下规定:

- a) 汽轮机承压铸钢件的技术要求和质量应符合 JB/T 10087 的规定。
- b) 超临界及超超临界机组汽轮机用 10Cr 钢铸件技术要求和质量检验,应符合 JB/T 11018 的要求。
- c) 300MW 及以上汽轮机缸体铸钢件的技术要求和质量应符合 JB/T 7024 的规定。
- d) 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。
- e) 凝汽器进出口蝶阀的技术要求和质量检验,应符合 GB/T 12229 的规定。
- f) 电站阀门铸钢件的技术要求和质量检验,应符合 JB/T 5263 的规定。
- g) 进口汽轮机、锅炉铸钢件的技术要求和质量检验,应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件。

4.10.4 铸钢件常用材料牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.7。

4.11 凝汽器用管材

4.11.1 凝汽器管材应具有以下性能:

- a) 合适的室温拉伸强度。
- b) 良好的抗腐蚀、抗磨损性能。
- c) 良好的冷、热加工工艺性能。

4.11.2 凝汽器管材的选用原则参照 DL/T 712 执行或由制造厂根据使用状况选材,按以下原则选材:

- a) 凝汽器铜管的选用基于水质中的溶解固体、氯离子浓度、悬浮物和沙含量以及允许的流速选择管材牌号,具体按 DL/T 712 中表 6 执行。
- b) 滨海电厂或有季节性海水倒灌的电厂,凝汽器及辅机冷却器管应选用钛管。使用严重污染淡水水源的,也可选用钛管。
- c) 同牌号不锈钢管的选用以不锈钢管在冷却水中不发生点蚀为主要依据,并应通过试验验证。在具有代表性的冷却水或在设计时选取的冷却水工况条件下测定不锈钢的点蚀电位与(析)氧平衡电位。如果点蚀电位大于或等于氧平衡电位,则该型号的不锈钢管在该冷却水中不会发生点蚀,可以选用。

4.11.3 凝汽器管材的验收,应满足以下规定:

- a) 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。
- b) 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。
- c) 国产不锈钢管的技术要求及质量检验,应符合 GB/T 20878 或 GB 13296 的规定。
- d) 进口凝汽器管材的技术要求和质量检验,应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件,进口钛管可按 ASME SB-338 的规定。

4.11.4 凝汽器管材常用材料牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.8。

4.12 压力容器用钢

4.12.1 压力容器用钢应具有以下性能：

- a) 合适的室温拉伸强度、塑性和屈强比。
- b) 良好的韧性，低的断口形貌韧脆转变温度（FATT₅₀）和无塑性转变温度（NDT），良好的时效抗力。
- c) 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，选用耐腐蚀性高的材料。
- d) 良好的冷、热加工工艺性能和焊接性能。

4.12.2 超（超）临界机组除氧器水箱、封头采用 Q345R；亚临界及以下机组的除氧器水箱、封头采用 Q245R 或 Q345R。

4.12.3 超（超）临界机组高压加热器水室可选用 13MnNiMoR，管板可选 20MnMo 或 20MnMoNb；壳体可选用 Q345R、15CrMoR、SA387Cr11CL2、12Cr1MoVR、12Cr2Mo1R、SA387Cr91；封头可选用 Q345R、15CrMoR、13MnNiMoR 或 SA387Cr11CL2、SA387Cr91。

4.12.4 压力容器用钢的验收，应满足以下规定：

- a) 压力容器用钢板的技术要求和质量检验，应符合 GB 713 的规定。
- b) 国产压力容器钢制锻件的技术要求及质量检验，应满足 NB/T 47008 和 NB/T 47010 的规定。
- c) 进口压力容器用钢板的技术要求和质量检验，应符合相应牌号的国外标准及订货技术条件，SA387Cr11CL2、SA387Cr91 应满足 ASME SA387 的规定，同时应满足 GB 713 的规定。
- d) 进口压力容器钢制锻件的技术要求及质量检验，可按照进口压力容器钢制锻件的技术要求及质量检验，可按照 ASME SA-105、ASME SA-182、ASME SA-960 或 DIN EN 10222 执行。

4.12.5 压力容器用钢常用材料牌号、特性及其主要应用范围见附录 A 中表 A.9。

附录 A

(资料性附录)

电站常用钢牌号、特性及主要应用范围

电站常用钢牌号、特性及主要应用范围见表 A.1~表 A.9。

表 A.1 汽水管道、联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
20G GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	在 450℃ 以下具有满意的强度和抗氧化性能,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。冷热加工性能和焊接性能良好	壁温 ≤ 430℃ 的蒸汽管道、联箱; 壁温 ≤ 460℃ 的受热面管子及省煤器等	SA-210A-1、SA-106B (ASME) STB410 (JIS) P235GH (EN)、 PH26 (ISO) C22、CK22、 St45.8/III (DIN) TU 48 C、XC18 (NF)、 N2024 (ČSN)、 CT20 (ГОСТ)
15MoG、20MoG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	成分最简单的低合金热强钢,正火后的组织为铁素体+珠光体,有时有少量贝氏体。其热强性和腐蚀稳定性优于碳素钢,工艺性能与碳素钢差异不大。焊接性能良好,厚壁管件焊前需预热,焊后需热处理。在 500℃~550℃ 长期运行会产生珠光体球化和石墨化,导致钢的蠕变强度和持久强度降低,甚至引起钢管的脆性断裂	壁温 ≤ 450℃ 的蒸汽管道、联箱; 壁温 ≤ 480℃ 锅炉受热面管	T1、P1/T1a (ASME) STBA12/STPA13 (JIS) 16Mo3 (ISO、EN) 15Mo3 (DIN)、 15020 (ČSN)、 16M (ЧМТУ)
20MnG、25MnG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	在室温与中温具有较高的强度。450℃ 以下的强度明显高于 20G,略高于 15MoG/20MoG。抗氧化性能与 20G 相当,450℃ 以上的持久强度低于 15MoG/20MoG。工艺性能良好,但锰含量过高时,钢的韧性下降,焊接性能变差	壁温 ≤ 430℃ 的蒸汽管道、联箱; 壁温 ≤ 460℃ 的受热面管子及省煤器等	SA-210A-1、SA-106B (ASME) SA-210C、SA-106C (ASME) STB410/STB510 (JIS) P235GH/P265GH (EN)、 PH26/PH29 (ISO)
SA-672B70CL32 SA-672B70CL22 ASME SA672	材料为中温和高温压力容器用碳钢中厚板,抗拉强度为 485MPa 级。钢板经 950℃ 正火,性能和质量应符合 SA-515 技术规范。焊制钢管的工艺、性能和质量应符合 SA-672 技术规范	超临界机组冷再管道	
12CrMoG、15CrMoG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	正火+回火后的组织为铁素体+珠光体,有时有少量贝氏体。在 520℃ 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,无石墨化倾向。冷热加工性能和焊接性能良好。在 520℃ 以下,具有较高的持久强度和良好的抗氧化性能,但长期在 500℃~550℃ 运行会发生珠光体球化,使强度下降	壁温 ≤ 520℃ 的蒸汽管道、联箱; 壁温 ≤ 550℃ 的受热面管子	T2/P2、T12/P12 (ASME) STBA20/STBA22 (JIS) 13CrMo4-5 (ISO) 13CrMo4-5、13CrMo5-5 (EN) 12MX/15XM (ГОСТ) 13CrMo44 (DIN) 15CD2 (法国)

表 A.1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
12Cr1MoVG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	钢中加入少量的钒,可降低铬、钼元素由铁素体向碳化物中转移的速度,提高钢的组织稳定性和热强性,弥散分布的钒的碳化物可以强化铁素体基体。正火+回火后的组织为铁素体+贝氏体,或铁素体+珠光体,或铁素体+贝氏体+珠光体;淬火+回火后的组织为贝氏体,或铁素体+贝氏体,或铁素体+贝氏体+珠光体,或铁素体+珠光体。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。冷热加工性能和焊接性能较好,但对热处理规范敏感性较大,常出现冲击吸收能量不均匀现象。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≤560℃的蒸汽管道、联箱; 壁温≤580℃的受热面管子	12X1MΦ (ГОСТ4543) 13CrMoV42 (DIN) 15225 (ČSN)
15Cr1Mo1V	俄罗斯钢号。与 12Cr1MoV 钢相比,含钼量有所提高,故热强性能稍高。在 450℃~550℃下,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。在 570℃以下长期使用时,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钢的冲击吸收能量较低,焊缝易出现裂纹,且钢中含有 0.013%~0.08%的残铝,对钢的韧性不利	壁温≤580℃的蒸汽管道和联箱	15X1M1Φ (ГОСТ4543)
12Cr2MoG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	非常成熟的低合金热强钢。正火+回火后的组织为铁素体+贝氏体,或铁素体+珠光体,或铁素体+贝氏体+珠光体;淬火+回火后的组织为贝氏体,或铁素体+贝氏体,或铁素体+贝氏体+珠光体,或铁素体+珠光体。若进行等温退火,则组织为铁素体+珠光体。具有良好的冷热加工性能和焊接性能。长期在 540℃以上运行,会出现碳化物从铁素体基体中析出并聚集长大的现象,导致钢的蠕变强度和持久强度降低	壁温≤580℃的过热器管、再热器管; 壁温≤570℃的蒸汽管道、联箱	T22、P22 (ASME、ASTM) STBA24、STPA24 (JIS) 10CrMo9-10 (ISO、EN) HT8 (SA-NDVIK)
SA-691 1-1/4 Cr CL22	为高温高压用带纵焊缝低合金焊接钢管。钢板经正火+回火,性能和质量应符合 SA-387 技术规范。焊制钢管的工艺、性能和质量应符合 SA-691 技术规范	超超临界机组冷再管道	
12Cr2MoWVTiB (钢 102) GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	属贝氏体低合金热强钢。正火+回火后的组织为贝氏体,具有良好的综合力学性能、工艺性能和相当高的持久强度,组织稳定性高,于 620℃经 5000h 时效后,力学性能无明显变化。但易出现混晶组织,且蒸汽侧氧化较严重(即使用于亚临界锅炉的高温再热器管)	壁温≤575℃的过热器管和再热器管	

表 A.1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
07Cr2MoW2VNbB GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	属贝氏体低合金热强钢。正火+回火后的组织为贝氏体,具有良好的综合力学性能、工艺性能和相当高的持久强度,组织稳定性高,在 580℃下长期服役具有良好的综合力学性能、相当高的持久强度(580℃/10 ⁵ h 持久强度大于或等于 101MPa),高温烟气腐蚀与抗蒸汽氧化性能与 T22 钢相近。该钢焊接时产生再热裂纹敏感性较高,因此焊接前应预热,焊后热处理。形状复杂的水冷壁系统建议不采用	壁温≤575℃过热器和再热器管; 壁温≤570℃集箱、管道	T/P23 (ASME) STBA23 (JIS) 7CrWVMoNb9-6 (EN) HCM2S (日本住友金属)
15Ni1MnMoNbCu GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	通常将 15Ni1MnMoNbCu 称为 WB36,为 VOLLOREC&MANNESMANN, (V&M, 瓦卢瑞克·曼内斯曼钢管公司)生产的 Ni-Cu-Mo 低合金钢。该钢具有较高的室温、中温强度,用于锅炉给水管道可使管壁厚度减薄,从而有利于加工、制造、安装和运行。由于钢中含有 Cu,因此提高了钢的抗腐蚀性能,但通常含 Cu 钢具有红脆性,为了避免在热成型过程中的脆性,将 Cu/Ni 比控制在 0.5 左右。焊接性能良好	壁温≤450℃的联箱、锅筒、压力容器等	WB36 (V&M) T/P36、F36 (ASME) 15NiCuMoNb5-6-4 (EN) 15NiCuMoNb5 (VdTUV) 591 (BS)
10Cr9Mo1VNbN GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	马氏体型热强钢。T/P91 高的 Cr 量大大提高了钢的抗氧化、抗腐蚀性,Cr、Mo、Mn 元素的加入保证了钢的基体强度,少量的 N 与 V、Nb 在钢中可形成氮化物或复合碳/氮化物 Nb(C、N)产生沉淀强化效应。低的含 C 量增强了钢的组织稳定性,Mo 可提高钢的再结晶温度,延缓高温运行下马氏体的分解。具有良好的高温强度和抗氧化、抗蒸汽腐蚀性能。焊接时应采用低的线能量,严格执行焊接工艺	炉内壁温≤610℃,炉外壁温≤630℃的过热器管、再热器管; 壁温≤610℃的蒸汽管道、联箱	T91/P91、F91 (ASME) X10CrMoVNb9-1 (EN) X10CrMoVNb9-1 (ISO) STBA26 (JIS) TUZ10CDVNb09.01 (NFA-49213)
10Cr9MoW2VNbBN GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	马氏体型热强钢,是在 T/P91 钢的基础上,添加 2%W,降低 Mo 含量,W、Mo 同时添加可有效提高钢的持久强度,微量的 B 可增加钢的晶界强度。该钢具有良好的高温强度和抗氧化、抗蒸汽腐蚀性能。C 含量的降低可提高组织稳定性和焊接性能。与 T/P91 一样,焊接时应采用低的线能量,严格执行焊接工艺,焊后需尽快热处理。	炉内壁温≤620℃,炉外壁温≤650℃的过热器管、再热器管; 壁温≤630℃的蒸汽管道、联箱	T/P92、F92 (ASME) NF616(日本新日铁公司) STPA29 (JIS) X10CrWMoVNb9-2 (EN)
10Cr11MoW2VNbCu 1BN GB 5310—2008	马氏体型耐热钢,与 T/P92 钢相比,提高了 Cr 含量、添加了 Cu、提高了 W、降低了 Mo 含量,其余元素的含量与 T/P92 几乎相同。正火+回火后为回火马氏体,持久强度高于 T/P91 低于 T/P92,抗蒸汽氧化及高温烟气腐蚀性能与 T/P92 钢相当,但明显优于 T/P91。焊接时应采用低的线能量,严格执行焊接工艺,焊后需尽快热处理	壁温≤650℃的过热器和再热器管; 壁温≤621℃的蒸汽管道和联箱	T/P122、F122 (ASME) HCM12A(日本住友公司) SUS410J3TB (单相钢) (METI-日本通产经济省) SUS410J3DTB (双相钢) (METI-日本通产经济省)

表 A.1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
11Cr9Mo1W1NbBN GB 5310—2008	马氏体型耐热钢, 成分与 T/P92 非常相近, 仅有 W、Mo 含量有微小差异。正火+回火后为回火马氏体, 610℃下持久强度高于 T/P91 低于 T/P92, 抗蒸汽氧化及高温烟气腐蚀性能与 T/P92 钢相当。焊接性能与 T/P92 相同	炉内壁温 $\leq 620^{\circ}\text{C}$, 炉外壁温 $\leq 650^{\circ}\text{C}$ 的过热器管、再热器管; 壁温 $\leq 630^{\circ}\text{C}$ 的蒸汽管道、联箱	T/P911、F911 (ASME) X11CrMoWVNb 9-1-1 (EN) E911 (欧洲煤炭钢铁协会)
07Cr19Ni10 GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	18Cr-8Ni 型奥氏体耐热钢。600℃以上的持久强度高于 TP321H 低于 TP347H, 抗蒸汽氧化及高温烟气腐蚀性能与 TP321H、TP347H 相当, 冷变形能力、焊接性能良好, 但对晶间腐蚀比较敏感。晶粒度不粗于 3 级	烟气侧壁温 $\leq 670^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP304H (ASME) X6CrNi18-10 (EN) SUS304H TB (JIS) X7CrNi18-9 (ISO)
07Cr19Ni11Ti GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	用钛稳定的 18Cr-8Ni 型奥氏体耐热钢。600℃以上的持久强度低于 TP304H 与 TP347H, 抗蒸汽氧化及高温烟气腐蚀性能与 TP304H、TP347H 相当, 冷变形能力、焊接性能良好。晶粒度不粗于 3 级	烟气侧壁温 $\leq 670^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP321H (ASME) X6CrNiTi18-10 (EN) SUS321H TB (JIS) X7CrNiTi18-10 (ISO) 12X18H12T (ГОСТ)
07Cr18Ni11Nb GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	用铌稳定的 18Cr-8Ni 型奥氏体耐热钢。持久强度高于 TP304H 与 TP321H, 抗蒸汽氧化及高温烟气腐蚀性能与 TP304H、TP347H 相当, 冷变形能力、焊接性能良好。晶粒度不粗于 3 级。经内壁喷丸的管子抗氧化性能优异, 适宜于超临界环境下工作	烟气侧壁温 $\leq 670^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP347H (ASME) X7CrNiNb18-10 (EN) SUS347H TB (JIS) X7CrNiNb18-10 (ISO) 08X18H12B (ГОСТ)
08Cr18Ni11NbFG GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	相对于 07Cr18Ni11Nb, 碳含量下限由 0.04%提高到 0.06%, 其余元素成分完全相同。主要在钢管制作中采用了细化晶粒工艺, 钢的晶粒度 7 级~10 级, 增强了钢的蒸汽氧化抗力, 但不如内壁喷丸的 TP347H	烟气侧壁温 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP347HFG (ASME)
0Cr17Ni12Mo2 GB 13296—2007	含 2%~3%钼的奥氏体热强钢。600℃以上的持久强度低于 TP347H, 高于 TP304H、TP321H。由于含 Mo, 提高了钢的抗点蚀能力。晶粒度不粗于 3 级	烟气侧壁温 $\leq 670^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP316H (ASME) SUS316H TB (JIS)
10Cr18Ni9NbCu3BN GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	奥氏体耐热钢。在 TP304H 的基础上, 略微增加 C 量, 降了 Mn、Si 量, 添加约 3%Cu、0.45%Nb 和一定量的 N。适量的 Cu 使钢产生微细弥散富铜的金属间化合物 ϵ 相沉淀于奥氏体内, 以提高钢的强度、抗腐蚀性和抗蒸汽氧化性能, Nb、N 形成的氮化物产生沉淀强化以提高钢的强度、塑性和韧性, 降低 Si、Cr 含量有利于防止 σ 相的析出。持久强度远高于 TP347H、TP304H、TP321H, 细的晶粒 (7 级~10 级) 有利于提高钢的抗蒸汽氧化能力, 抗蒸汽氧化性能大大优于 TP321H 和 TP347H, 抗腐蚀性能优于 TP304H、略低于 TP347H, 焊接热裂纹敏感性低于 TP347H	烟气侧壁温 $\leq 705^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	S30432 (ASME SA-213) Super304H (日本住友公司) SUS304JIHTB (JIS) DMV304HCu (德国 SMST 公司)

表 A.1 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
07Cr25Ni21NbN GB 5310—2008 NB/T 47019.3—2011	25Cr-20Ni 型奥氏体耐热钢, 钢中铬量为 25% 时氮可达到最大溶解度, 所以, 该钢的 N 含量明显高于 S30432, 增加 N 含量有利于增加 NbCrN 以提高钢的高温强度, 同时可稳定奥氏体相。钢的持久强度高于 TP347H、TP304H, 具有优异的抗蒸汽氧化与抗烟气腐蚀能力	烟气侧壁温 $\leq 730^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	TP310HCbN (ASME) HR3C (日本住友公司) SUS310JTB (JIS) DMV310N (DMV 公司)
S31035 (ASME SA213)	奥氏体耐热钢。在低碳、低硫、磷的 20Cr-25Ni 钢基础上添加 3%W、1.5%Co、2.8%Cu 以及微量的 Nb、B、N。高的 Cr 含量有利于提高钢的抗蒸汽氧化及高温抗腐蚀性, 高的 Ni 含量增强了钢的奥氏体稳定性, 同时析出 Nb(C, N)、NbCrN、M ₂₃ C ₆ 和富 Cu 沉淀相。具有优异的高温持久强度、抗氧化及抗腐蚀性能。该钢热导率优于 HR3C, 线膨胀系数低于 HR3C, 抗腐蚀性能优于 NF709, 抗蒸汽氧化性能优于 HR3C 和 NF709。600℃~700℃ 间的持久强度比 HR3C 高 45% 以上	烟气侧壁温 $\leq 730^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	Sanicro 25 (瑞典山特维克公司 Sandvik Materials Co.)
NF709 (20Cr25NiMoNbTiN) NF709R (0.03C22Cr25NiMoNb) ASME Code case2581	奥氏体耐热钢。在低碳、低硫、磷的 20Cr-25Ni 钢基础上添加 1.5%Mo、0.3%Nb、0.1%Ti 以及微量的 B、N, 高的 Cr 含量提高了钢的抗蒸汽氧化及高温抗腐蚀性, 高的 Ni 含量增强了钢的奥氏体稳定性, 同时阻止或减少了 σ 相的形成, 添加 Mo 增强了钢的抗点蚀能力, Nb、Ti 同时在钢中形成复合 Nb-Ti 碳氮化物产生弥散沉淀强化, 另一方面可避免 Cr ₂₃ C ₆ 在晶界上析出引起的晶间腐蚀。NF709R 钢管具有优异的高温强度和抗腐蚀性能, 热膨胀系数也较低。与 HR3C 相比, NF709R 钢管在 650℃~730℃ 间的强度比 HR3C 高约 30%~50%, 抗腐蚀性能接近	烟气侧壁温 $\leq 730^{\circ}\text{C}$ 的过热器和再热器管	SUS310J2TB (JIS)

表 A.2 锅炉锅筒、分离器常用钢牌号、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
Q245R GB 713—2008	相当于 GB 713—1997 中的 20g 和 GB 6654—1996 中的 20R。该钢的塑性、韧性及焊接性能良好, 但对应变时效较为敏感, 强度较低, 用这种钢制造的锅筒壁厚较厚。该钢板以热轧、控轧或正火状态交货, 必要时在 890℃~920℃ 正火处理	低、中、高压锅炉锅筒; 亚临界以下机组除氧器筒体、封头	20K、22K (ГОСТ) SB42、SB46 (JIS) HII (DIN) 11474.1 (ČSN)
Q345R GB 713—2008	相当于 GB 713—1997 中的 16Mng、19Mng 和 GB 6654—1996 中的 16MnR。该钢具有良好的综合力学性能、工艺性能和焊接性能。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、控轧或正火状态交货, 正火温度 900℃~920℃。经正火处理后可显著提高韧性, 并降低韧脆转变温度	中、高压锅炉锅筒; 超(超)临界机组的除氧器筒体、封头, 氢储罐等	SB49 (JIS) SA-299 (ASME) 17Mn4 (DIN) 16ГC (ГОСТ)

表 A.2 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
P355GH EN10028	欧洲标准钢号, 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, 断裂韧度和低循环疲劳性能也较好, 有利于降低低应力脆断的风险。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	19Mn5、19Mn6 (DIN)
SA-299	美国钢号。该钢的化学成分和屈服强度级别与 16Mng 和 19Mn5 钢相近, 但钢中含碳量更高, 其低循环疲劳性能略低于 19Mn5。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, 冲击吸收能量较高, 如不含有太多的 MnS 夹杂, 层状撕裂敏感性亦不高, 韧脆转变温度低于-30℃, 无塑性转变温度 NDT 约为-15℃。焊接性能良好	高压、超高压亚临界锅炉锅筒。由美国引进的 300、600MW 机组锅炉锅筒均使用该种钢	SA-299 (ASME) SB49 (日本)
13MnNiMo5-4	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。钢的组织稳定, 具有良好的综合力学性能和工艺性能。该钢在正火加高温回火 (或最终成品部件可在淬火+回火) 状态下使用, 正火+回火组织为回火贝氏体加铁素体, 淬火+回火可为全贝氏体组织, 故该钢又可称为低合金贝氏体钢。DIWA353 是德国迪林根公司在对 BHW35 的优化后的牌号, 其各项性能指标优于 BHW35	高压、超高压及亚临界锅炉锅筒	BHW35 (德国蒂森公司) DIWA353 (德国迪林根公司)
15CrMoG GB 5310—2008	正火+回火后的组织为铁素体+珠光体, 有时有少量贝氏体。在 520℃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, 无石墨化倾向。冷热加工性能和焊接性能良好。在 520℃以下, 具有较高的持久强度和良好的抗氧化性能, 但长期在 500℃~550℃运行会发生珠光体球化, 使强度下降	用于超 (超) 临界锅炉汽水分离器	SA-336 F12 (ASME) SA-182 F12 CL2 (ASME)
15Ni1MnMoNbCu GB 5310—2008	通常将 15Ni1MnMoNbCu 称为 WB36, 为 VOLLOREC&MANNESMANN, (V&M, 瓦卢瑞克·曼内斯曼钢管公司) 生产的 Ni-Cu-Mo 低合金钢。该钢具有较高的室温、中温强度, 用于锅炉给水管道的管壁厚度减薄, 从而有利于加工、制造、安装和运行。由于钢中含有 Cu, 因此提高了钢的抗腐蚀性能, 但通常含 Cu 钢具有红脆性, 为了避免在热成型过程中的脆性, 将 Cu/Ni 比控制在 0.5 左右。焊接性能良好	用于超临界锅炉汽水分离器	WB36 (V&M) T/P36、F36 (ASME) 15NiCuMoNb5-6-4 (EN) 15NiCuMoNb5 (VdTUV) 591 (BS)

表 A.2 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
10Cr9Mo1VNbN GB 5310—2008	马氏体型热强钢。T/P91 高的 Cr 量大大提高了钢的抗氧化、抗腐蚀性, Cr、Mo、Mn 元素的加入保证了钢的基体强度, 少量的 N 与 V、Nb 在钢中可形成氮化物或复合碳/氮化物 Nb (C、N) 产生沉淀强化效应。低的含 C 量增强了钢的组织稳定性, Mo 可提高钢的再结晶温度, 延缓高温运行下马氏体的分解。具有良好的高温强度和抗氧化、抗蒸汽腐蚀性能。焊接时应采用低的线能量, 严格执行焊接工艺	用于超超临界锅炉汽水分离器	T91/P91、F91 (ASME) X10CrMoVNb9-1 (EN) X10CrMoVNb9-1 (ISO) STBA26 (JIS) TUZ10CDVNb09.01 (NFA-49213)
SA-302B SA-302C SA-302D	抗拉强度 550MPa~690MPa 级的低合金钢。三者成分略有差异, 302B 是 Mn-Mo 低合金钢; 302C、302D 是 Mn-Ni-Mo 低合金钢; 302D 的 Ni 含量略高于 302C, 所以塑性略高。厚度小于或等于 50mm 的钢板供货状态一般为热轧; 厚度大于 50mm 的钢板供货状态一般为正火+回火; 但作为部件产品的热处理, 为保证性能, 可能需要加速冷却 (如淬火)+回火	用于超临界锅炉汽水分离器, 或高压、超高压及亚临界锅炉锅筒	SA-302C (ASME) SA-302B (ASME) SA-302D (ASME)

表 A.3 锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢牌号、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
12Cr5Mo GB/T 1221—2007	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。该牌号在 GB/T 1221—1992 中为 1Cr5Mo	工作温度≤650℃的锅炉吊架	12CrMo195 (W Nr1.7362) STBA25 (JIS G3462) 15X5M (ГОСТ 20072-74) 502 (ASTM、AISI)
42Cr9Si2 GB/T 1221—2007	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。该钢铸造工艺性能良好。该牌号在 GB/T 1221—1992 中为 4Cr9Si2	工作温度≤800℃的锅炉吊架	SUH1 (JIS G4311-1988) 40X9C2 (ГОСТ 5632-71) Z45CS9 (NFA35)
16Cr20Ni14Si2 16Cr25Ni20Si2 GB/T 1221—2007	属 Cr-Ni 奥氏体型耐热钢。16Cr20Ni14Si2 钢的最高抗氧化温度为 1000℃, 其氧化腐蚀率: 900℃时为 0.1mm/a, 1100℃时为 1.1mm/a。16Cr25Ni20Si2 钢的 Cr、Ni 含量比 16Cr20Ni14Si2 钢高, 故抗氧化性更好, 最高抗氧化使用温度达 1100℃, 且抗疲劳性能较好, 组织稳定。16Cr20Ni14Si2 钢在 600℃~800℃有析出 σ 相倾向, 可焊性较好。这两个牌号钢在 GB/T 1221—1992 中为 1Cr20Ni14Si2、1Cr25Ni20Si2	工作温度为 1000℃~1100℃的锅炉吊架、夹马	X20CrNiSi2012 (W-Nr1.4828) 20X20H14C2 (ГОСТ563272)

表 A.3 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
26Cr18Mn12Si2N GB/T 1221—2007	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 16Cr20Ni14Si2 钢。该钢在 GB/T 1221—1992 中为 3Cr18Mn12Si2N	工作温度 $\leq 950^{\circ}\text{C}$ 的锅炉吊架和夹马	
22Cr20Mn10Ni2Si2N GB/T 1221—2007	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腐蚀性。可焊性好,焊接裂纹敏感性小,可用各种焊接方法焊接。该钢有冷加工硬化倾向,在 $700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 时,由于析出碳化物和 σ 相,会使冲击吸收能量明显下降。该钢在 GB/T 1221—1992 中为 2Cr20Mn9Ni2Si2N	工作温度 $\leq 1000^{\circ}\text{C}$ 的锅炉吊架	

表 A.4 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牌号、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—1999	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—1999	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,除低温冲击吸收能量稍差、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—1999 34CrMo1 34CrMo1A JB/T 1265—2014 JB/T 1266—2014 JB/T 1267—2014	34CrMo1 是 JB/T 1265—2002 中的牌号,34CrMo1A 是 JB/T 1266—2002 和 JB/T 1267—2002 中的牌号。属 Cr-Mo 合金结构钢。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。具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 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、轮盘	
24CrMoV JB/T 1266—2014 35CrMoV GB/T 3077—1999 JB/T 1266—2014	两种钢的强度均较高,淬透性也较好,冲击吸收能量较高。24CrMoV 钢的工艺性能不如 35CrMoV 钢。35CrMoV 钢有时会出现冲击吸收能量不稳定的现象,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 钢用于直径小于 500mm、在 $450^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 下工作的叶轮、转子主轴。 35CrMoV 钢用于在 $500^{\circ}\text{C}\sim 520^{\circ}\text{C}$ 以下工作的转子及叶轮	

表 A.4 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
30Cr1Mo1V JB/T 1265—2014 JB/T 7027—2014	300MW 和 600MW 亚临界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, 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	用于工作温度在 560℃ 以下的汽轮机高中压转子	ASTM A470 Class8
28CrNiMoV JB/T 1265—2014	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	用于蒸汽参数为 500℃~540℃、9.8MPa~15.7MPa 的汽轮机高、中压转子	
25CrNiMoV JB/T 1266—2014 25CrNi1MoV JB/T 1267—2014 JB/T 8706—2014	属贝氏体类型钢。用于汽轮机轮盘、叶轮的 25CrNiMoV 与用于发电机转子的 25CrNi1MoV 的 Cr、Ni 含量完全一致, Mo、V 含量略有差异, 25CrNi1MoV 的 S、P 含量低于 25CrNiMoV。用于发电机转子时, 其强度要求低于汽轮机叶轮、轮盘规定的强度。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	用于 200MW 以下汽轮机低压转子、低压轮盘、压气机转子和 200MW 以下发电机转子	
34CrNi1Mo 34CrNi3Mo JB/T 1265—2014 JB/T 1266—2014 JB/T 1267—2014 JB/T 8706—2014	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	用于 200MW 以下汽轮机低压转子、低压轮盘和 200MW 以下发电机转子	
25Cr2NiMo1V 25Cr2Ni1Mo1V JB/T 11030—2010	高低压复合转子锻件材料。采用分区热处理, 高压侧鼓风喷雾冷却, 低压侧喷水淬火。两种材料除 Mn、Ni 含量有差异外, 其余元素含量基本相同。其拉伸强度与 30Cr1Mo1V 相当, 但塑性、韧性和韧脆转变温度高于 30Cr1Mo1V	汽轮机高低压复合转子锻件	
25Cr2Ni4MoV 30Cr2Ni4MoV JB/T 1265—2014 JB/T 1266—2014 JB/T 7027—2014 JB/T 8706—2014	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, 韧脆转变温度低。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 300MW 及以上汽轮机低压转子、低压轮盘和发电机转子	
12Cr10NiMoWVNbN JB/T 11019—2010 TLV9258—2004	欧洲 COST501 研发的含 W 的马氏体耐热钢, 其元素含量与 E911 钢的成分基本相同。转子锻件经真空除气或电渣重熔后整体锻造。锻后进行预备热处理和性能热处理。性能热处理需行两次回火, 第二次回火温度要高于第一次, 且尽量提高第二次回火温度。具有高的持久强度, 若热加工工艺控制不佳, 冲击吸收能量较低	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	12CrMoWVNbN10-1-1 (西门子公司)

表 A.4 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
13Cr10NiMoVNbN JB/T 11019—2010	日本神户制钢所研发的改良的不含 W 的 10%Cr 马氏体耐热钢, 具有高的持久强度, 但冲击吸收能量较低。性能热处理需两次回火, 第二次回火温度要高于第一次, 且尽量提高第二次回火温度	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	TMK-1 (日本神户) Cr10.5Mo1.5NiVNbN (哈尔滨汽轮机有限公司)
14Cr10NiMoWVNbN JB/T 11019—2010	20 世纪 80 年代日本研发的 10%Cr-1%Mo-1%W-V-Nb-N 马氏体耐热钢, Cr、Mo 和 V 存在于析出相和基体中, 而大部分 W 则存在于基体中。由于 W 的固溶强化效应, 使该钢的持久强度得到显著改善, 但冲击吸收能量较低。性能热处理需两次回火, 第二次回火温度要高于第一次, 且尽量提高第二次回火温度	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	TOS107 (日本) Cr10.5Mo1W1NiVNbN (哈尔滨汽轮机有限公司)
15Cr10NiMoWVNbN JB/T 11019—2010	日立公司研发的马氏体耐热钢, W 含量低于 TOS107, 其余元素含量相近。具有高的持久强度, 抗拉强度略低于 14Cr10NiMoWVNbN (TOS107), 冲击吸收能量较低。性能热处理需两次回火, 第二次回火温度要高于第一次, 且尽量提高第二次回火温度	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	KT5916 (日立) 1Cr10Mo1NiWVNbN (东方汽轮机有限公司)
FB2 COST 522	FB2 是欧洲 COST 522 项目中研发的 9Cr-2Mo-1Co-NiV-Nb-N-B 马氏体耐热钢, 设定的目标为锻件的屈服强度 $\geq 700\text{MPa}$, 620℃ 下 10 ⁵ h 的持久强度 $\geq 100\text{MPa}$, 持久塑性大于 10%, 比改良型 12Cr 的 10 ⁵ h 持久强度高 30MPa~40MPa。相对于 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压机转子, 添加微量的 B 并降低 N 量。Co 可防止钢中 δ 铁素体的形成, 改善钢的淬透性和组织稳定性。B 可提高 (Nb, V) C 及 V (C, N) 的高温稳定性和钢的淬火加热温度, 低的 N、Al 含量可避免形成 AlN 夹杂。该钢的冲击吸收能量低。目前该钢尚无相应的国家标准或行业标准, 或国外学术团体技术规范, 各汽轮机制造商有相应的企业标准	用于制造 630℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	X13CrMoCoNiVNbNB9-2-1 (EN)
TOS110	日本研制的 10Cr-3Co-1.8W-0.7Mo-V-Nb-B 马氏体耐热钢, 具有较高的 W、Co 含量, 添加微量的 B 并降低 N 量, 改善了钢的淬透性和组织稳定性。持久强度明显高于 TOS107, 但冲击吸收能量低。目前该钢尚无相应的国家标准或行业标准, 或国外学术团体技术规范, 各汽轮机制造商有相应的企业标准	用于制造 630℃ 左右的超超临界汽轮机高中压转子	新 12Cr 钢
50Mn18Cr5 50Mn18Cr5N 50Mn18Cr4WN 1Mn18Cr18N JB/T 1268—2002	均为锰铬系无磁性奥氏体钢, 屈服强度较高。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。整锻后进行去应力处理, 随后固溶处理, 粗加工后形变强化, 强化方法有半热锻、冷锻、冷扩孔或爆炸等加工硬化方法	用作 50MW~200MW 汽轮发电机无磁性护环	

表 A.4 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
1Mn18Cr18N JB/T 1268—2002 JB/T 7030—2014	该钢与 18Mn-5Cr 护环钢相比, 具有更高的抗应力腐蚀能力和强度。其主要缺点是高的屈服比	用作 300MW~1000MW 汽轮发电机无磁性护环	

表 A.5 汽轮机叶片常用钢牌号、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
20CrMo GB/T 3077—1999	广泛应用的铬钼合金结构钢, 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	用作中压 125MW 以下 汽轮机压力级叶片	
1Cr13 GB 8732—2004 12Cr13 GB/T 1221—2007	属马氏体型耐热钢。碳含量较低, 淬透性好, 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。避免在 370℃~560℃ 回火, 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。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 8732—2004 20Cr13 GB/T 1221—2007	属马氏体耐热钢。在 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。在淡水、海水、蒸汽及湿气等条件下耐蚀性较好。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) Z20C13 (NFA)
1Cr12Mo GB 8732—2004 12Cr12Mo GB/T 1221—2007	属马氏体型耐热钢。与 2Cr13 钢相比, 含碳量稍低, 但强度、塑性、韧性均高于 2Cr13。Mo 的加入有利于提高钢的抗点蚀能力。在淡水、海水、蒸汽及湿气等条件下耐蚀性较好	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, 例如 1000MW 汽轮机低压动 叶片	
1Cr11MoV GB/T 8732—2004 14Cr11MoV GB/T 1221—2007	属马氏体耐热钢, 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。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。可通过氮化提高钢表面的耐磨性。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)
2Cr12MoV GB 8732—2004	属马氏体耐热钢。与 1Cr11MoV 钢相比, C、Mn、Cr、Mo 含量均有所提高, 强度明显高于 1Cr11MoV, 但塑性、韧性相对稍低。钢的热强性和组织稳定性均比 13% 铬钢高。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	用于工作温度<540℃ 的汽轮机变速级及高温 区动、静叶片	

表 A.5 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
1Cr12W1MoV GB/T 8732—2004 15Cr12WMoV GB/T 1221—2007	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,可进行氮化	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)
2Cr11NiMoNbVN GB/T 8732—2004 18Cr11NiMoNbVN GB/T 1221—2007	12%铬型马氏体耐热钢。由于钢中加入了铌、钒、氮等元素,增强了钢的沉淀强化效应,具有较高的强度,一定量的镍增加了钢的韧性。580℃左右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。钢的工艺性能尚好,可以锻轧和模锻加工。为提高钢的表面耐磨性,可进行氮化	用于工作温度<580℃的汽轮机变速级及高温区动、静叶片	
1Cr11Mo1NiWVNbN (东方汽轮机有限公司) 2Cr11Mo1VNbN (东方汽轮机有限公司) 1Cr11MoNiW2VNbN (哈尔滨汽轮机有限公司) 1Cr9Mo1VNbN (哈尔滨汽轮机有限公司)	12%铬型马氏体耐热钢。由于钢中加入了铌、钒、氮等元素,增强了钢的沉淀强化效应,具有较高的强度。600℃左右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。1Cr9Mo1VNbN 由于铬含量较低,所以强度和抗氧化性能稍低	用于工作温度<600℃的汽轮机变速级及高温区动、静叶片	1Cr11MoNiW2VNbN 与日本的 10705MBU 和 10725MBU 相同
2Cr12NiMo1W1V GB/T 8732—2004 22Cr12NiWMoV GB/T 1221—2007	两个钢成分几近相同,22Cr12NiWMoV 的 S、P 含量低于 2Cr12NiMo1W1V, Cr、Mo、W、V 的上限略有差异。是 12%铬型马氏体耐热钢。与 1Cr12W1MoV 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)
2Cr12Ni2W1Mo1V 1Cr12Ni2W1Mo1V	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耐热钢,与 GB/T 1221—2007 中的 13Cr11Ni2W2MoV 成分相近。具有高的强度及良好的韧性,屈服强度大于 735MPa,硬度为 293HB~331HB,冲击值大于 59J/cm ² ,且抗蚀性和冷热加工性能良好。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。抗回火能力强,因此,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 1000MW 汽轮机低压末级和次末级动叶片	

表 A.5 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
1Cr12Ni3Mo2VNbN	在 12% 铬钢基础上加入较多量的镍、钼、钒等强化元素改进而成的高强度马氏体耐热钢。具有高的强度及良好的韧性, 抗蚀性和冷热加工性能良好。抗回火能力强, 因此, 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 1000MW 汽轮机低压末级和次末级动叶片	
14Cr17Ni2 GB/T 1221—2007	属马氏体钢。在 GB/T 1221—1992 中为 1Cr17Ni2。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, 钢中的镍控制在 1.5%~2.5%, 铬控制在 16%~18%。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 8732—2004 05Cr17Ni4Cu4Nb GB/T 1221—2007	属典型的马氏体沉淀硬化不锈钢。既保持了不锈钢的耐蚀性, 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)
Refractoloy-26 (R-26)	R-26 是美国钢号, 是 18%Cr-36%Ni-20%Co 型叶片材料, 属于 Ni-Cr-Co-Fe 混合基沉淀硬化型高温合金, 具有高的持久强度和抗松弛性能, 使用温度高达 650℃。R-26 通常在 (1024±13)℃ 下进行固溶处理, 保温时间多于 30min, 油或水冷却。沉淀硬化处理 (816±8)℃, 保温 20h, 待冷却到 (732±8)℃ 时保温 20h, 空冷	用于工作温度 <660℃、要求高抗氧化性和高强度的 1000MW 机组的叶片	15106FE (日本三菱公司)
1Cr11Co3W3NiMoV NbNb	在 12% 铬钢基础上加入较多量的钨、钴元素。试验表明, 在高温下, 钨的强化效应是钼的 2 倍, 复合添加钨/钼可获得更加的强化效应; 钴可抑制钢中 δ 铁素体的形成, 650℃ 时, 3% 的钴具有最高的持久强度; 铌、钒、氮、硼增加了沉淀强化。所以, 该钢具有高的持久强度和抗氧化性	用于工作温度 <650℃、要求高抗氧化性和高强度的 1000MW 机组动/静叶片	
NiCr20TiAl (上海汽轮机有限公司)	具有较高的铬含量, 大大提高了其抗氧化性能, 钛的添加可提高钢的强度, 细化晶粒, 同时可提高钢的抗氧化、抗腐蚀性能	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压 1 级~3 级叶片	NiCr20TiAl (西门子公司)
X12CrMoWVNbN 10-1-1 (上海汽轮机有限公司)	欧洲 COST501 研发的含 W 的马氏体耐热钢, 其元素含量与 E911 钢的成分基本相同。转子锻件经真空除气或电渣重熔后整体锻造。锻后进行预备热处理和性能热处理。性能热处理需行两次回火, 第二次回火温度要高于第一次, 且尽量提高第二次回火温度。具有高的持久强度, 但冲击吸收能量较低	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压 3 级~5 级叶片	12CrMoWVNbN10-1-1 (西门子公司)

表 A.5 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
X19CrMoNbVN11-1 (上海汽轮机有限公司)	马氏体型热强钢。高的 Cr 量提高了钢的抗氧化、抗腐蚀性, Cr、Mo 元素的加入保证了钢的基体强度, 少量的 N 与 V、Nb 在钢中可形成氮化物或复合碳/氮化物 Nb (C、N) 产生沉淀强化效应。低的含 C 量增强了钢的组织稳定性, Mo 可提高钢的再结晶温度, 延缓高温运行下马氏体的分解。具有良好的高温强度和抗氧化性能	用于制造 600℃ 左右的超超临界汽轮机高中压 6 级~13 级叶片	X19CrMoNbVN11-1 (西门子公司)
X5CrNiCuNb16-4	属 15%Cr 型沉淀硬化马氏体耐热钢, 含 4.5%Ni、3.5%Cu。经 1020℃~1050℃ 固溶处理、820℃~850℃ 中间回火、530℃~560℃ 沉淀硬化处理。屈服强度可达 950MPa。通常采用激光硬化	用于 1000MW 机组低压动叶片	X5CrNiCuNb16-4 (西门子公司)

表 A.6 紧固件常用钢牌号、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—1999	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—1999	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	
35CrMo GB/T 3077—1999 35CrMoA/42CrMoA GB/T 20410—2006	两种钢强度较高、韧性好, 有较好的淬透性, 冷变形性中等, 切削性能尚可。高温下有高的蠕变强度和持久强度, 长期使用组织较稳定。焊接时需预热, 预热温度为 150℃~400℃。相对于 35CrMoA, 42CrMoA 的碳、锰、铬含量略高, 故强度略高	480	
25Cr2MoVA GB/T 3077—1999 GB/T 20410—2006	珠光体型耐热钢。室温强度高, 韧性好, 淬透性好。500℃ 下具有良好的高温性能和高的抗松弛性能, 无热脆倾向。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℃~200℃。亦可在正火及高温回火后使用。焊接性能差	510	ЭИ10 (苏联)

表 A.6 (续)

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
25Cr2Mo1VA GB/T 3077—1999 GB/T 20410—2006	珠光体型耐热钢。相对于 25Cr2MoVA, 钢中铬、钼、钒、锰含量均有所提高, 因而具有较高的 高温强度和抗氧化性, 较好的抗松 弛性能。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。多在调质或正 火加回火后使用	550	ЭИ723 (苏联)
45Cr1MoVA GB/T 20410—2006	中碳耐热钢。相对于 42CrMoA, 碳、钼含量略高, 钢中添加钒, 因 而具有较高的 高温强度。根据不 同的使用条件, 可通过不同的热处 理工艺获得不同的强度。多在调质或 正火加回火后使用	500	
20Cr1Mo1V1A GB/T 20410—2006	性能优于 25Cr2Mo1V, 在 565℃~ 570℃有较高的热强性能和抗松弛 性能, 经过运行 (540℃, 9.81MPa, 运行约 6.4 万 h) 后, 钢的强度和 塑性略有降低, 室温冲击吸收能量 下降较多, 但水平仍很高, 未出现 明显的脆化	550	ЭИ909 (苏联)
20Cr1Mo1VNbTiB GB/T 20410—2006	我国自行研制的低合金高强度 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, 心部冲击吸收能量往往有较 大的波动。该钢经常出现晶粒粗大 现象, 以致影响力学性能。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 大于 260HB 时, 晶粒越粗大, 冲 击吸收能量越低。在相同晶粒级 别下, 硬度越高, 冲击吸收能量 越低	570	
20Cr1Mo1VTiB GB/T 20410—2006	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。淬透性好, 沿截面 有较均匀的力学性能	570	
2Cr12WMoVNbB	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℃ 以下使用	590	ЭИ993 (苏联)

表 A.6 (续)

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
1Cr15Ni36W3Ti	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。650℃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%。在700℃时开始软化，强度性能将显著下降	650	ЭИ612 (苏联)
2Cr12NiMo1W1V GB/T 8732—2004 GB/T 20410—2006 22Cr12NiWMoV GB/T 1221—2007	两个钢成分几近相同，22Cr12NiWMoV的S、P含量低于2Cr12NiMo1W1V，Cr、Mo、W、V元素含量略有差异；是12%铬型马氏体耐热钢。与1Cr12W1MoV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) SUH 616 (JIS) 616 (ASTM)
1Cr11MoNiW1VNbN 2Cr11Mo1NiWVNbN	12%铬型马氏体耐热钢。由于钢中加入了铌、钒、氮等元素，增强了钢的沉淀强化效应，具有较高的强度。600℃左右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	650	
Refractoloy-26 (R-26)	R-26 是美国钢号，是18%Cr-36%Ni-20%Co型叶片材料，属于Ni-Cr-Co-Fe混合基沉淀硬化型高温合金，具有高的持久强度和抗松弛性能，使用温度高达650℃。R-26通常在(1024±13)℃下进行固溶处理，保温时间多于30min，油或水冷却。沉淀硬化处理(816±8)℃，保温20h，待冷却到(732±8)℃时保温20h，空冷	677	
1Cr10Co3MoWVNbNB	在12%铬钢基础上加入较多量的钴、钨，添加其他元素的多元复合强化耐热钢。高温下钨的强化效应是钼的2倍，复合添加钨/钼可获得更加的强化效应；钴可抑制钢中δ铁素体的形成，650℃时，3%的钴具有最高的持久强度；铌、钒、氮、硼增加了沉淀强化。具有高的持久强度和抗氧化性	650	

表 A.6 (续)

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
1Cr11Co3W3NiMoVNB	在 12% 铬钢基础上加入较多量的钨、钴元素。试验表明, 在高温下, 钨的强化效应是钼的 2 倍, 复合添加钨/钼可获得更加强化的效应; 钴可抑制钢中 δ 铁素体的形成, 650℃ 时, 3% 的钴具有最高的持久强度; 铌、钒、氮、硼增加了沉淀强化。所以, 该钢具有高的持久强度和抗氧化性	650	
GH4145 (Ni-Cr 合金)	含镍高于 70%、铬 15% 的镍基合金, 具有高的 高温强度和抗氧化性	677	
IN783	IN783 合金为 Ni-Fe-Co 低膨胀高温合金, 该合金以一定比例的 Ni、Fe 和 Co 为基体, 加入 3%Cr 以提高抗氧化能力, 并添加一定的 Nb 和 Ti, 以及 5.4% 的 Al, 从而形成基体为 γ 的 γ - γ' - β 三相共存组织。合金经固溶处理+时效处理。 β 相又分两类, 一次 β (NiAl) 相尺寸较大, 在低于 1150℃ 的热加工过程中已大量存在; 二次 β 相则形成于 845℃ 的时效过程中。 γ' 相在时效过程中析出。合金中含 5% 左右的铝, 促使合金中析出 β 相, 使合金应力加速晶界氧化 (SAGBO) 抗力提高; 少量的铬与铝一起使合金的抗氧化性能提高, 在 800℃ 下仍具有完全抗氧化能力。IN783 合金有高的抗拉强度, 但拉伸强度对晶粒尺寸比较敏感, 固溶处理或时效处理不当易导致韧性低, 引起螺栓的早期开裂	用于 1000MW 机组 中压主汽门、中压调门 螺栓	
注: 用作螺母时, 最高使用温度可比表列温度高 30℃~50℃, 硬度可比用作螺栓时低 20HB~50HB。			

表 A.7 汽轮机与锅炉铸钢件常用钢牌号、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 10087—2001 JB/T 9625—1999	碳素铸钢。有一定的中温 (400℃~450℃) 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	用于工作温度 $\leq 430^\circ\text{C}$ 的汽缸、阀门、隔板和锅炉管道承压铸钢件等	25II (苏联)
WCB GB/T 12229—2005	普通碳钢阀门, 为 ASME SA-216 中的牌号强度级别为 250MPa~485MPa (250MPa 为屈服强度, 485MPa 为抗拉强度)。对应的有 WCA/ZG205-415 和 WCC/ZG275-485。均为碳钢, 随着锰含量的增加强度增高, WCA、WCB、WCC 的锰含量分别为 0.7%、1.0% 和 1.2%	用于汽轮机凝汽器进出口蝶阀	WCB (ASME)

表 A.7 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
WC1 JB/T 5263—2005	为 ASME SA-217 中的牌号, 相当于 ZG15Mo。性能特点见表 A.1 中 15MoG	壁温 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ 的阀门	WC1 (ASME)
ZG20CrMo JB/T 10087—2001 JB/T 9625—1999	珠光体型合金铸钢。500 $^{\circ}\text{C}$ 以下可保持稳定的热强性能, 组织稳定且具有较满意的铸造性能。高于 500 $^{\circ}\text{C}$ 时使用, 热强性能会急剧下降。20 $^{\circ}\text{C}$ 的冲击性能不稳定, 波动较大。焊接性能尚可。预热温度为 200 $^{\circ}\text{C}$ ~300 $^{\circ}\text{C}$, 焊后缓冷并进行去应力退火	用于工作温度 $\leq 510^{\circ}\text{C}$ 的铸件, 如汽轮机汽缸、隔板、蒸汽室和锅炉管道承压铸钢件等	20XMII (苏联)
ZG20CrMoV JB/T 10087—2001 JB/T 9625—1999	珠光体型合金铸钢。具有较高的热强性能, 组织稳定性好, 可在 540 $^{\circ}\text{C}$ 以下长期服役, 高于 600 $^{\circ}\text{C}$ 时热强性能显著下降, 在 525 $^{\circ}\text{C}$ ~600 $^{\circ}\text{C}$ 长期保温后对 20 $^{\circ}\text{C}$ 的冲击性能影响不大。该钢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, 易在铸件内造成力学性能不均匀。焊接性能尚可, 需预热 250 $^{\circ}\text{C}$ ~350 $^{\circ}\text{C}$ 及层间保温, 焊后缓冷并尽快去应力退火	用于工作温度 $\leq 540^{\circ}\text{C}$ 的铸件, 如汽轮机蒸汽室、汽缸和锅炉管道承压铸钢件等	20XMΦII (苏联)
ZG15Cr1Mo JB/T 10087—2001 WC6 JB/T 5263—2005	珠光体型合金铸钢。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 $^{\circ}\text{C}$ 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 $^{\circ}\text{C}$ ~150 $^{\circ}\text{C}$ 。WC6 是美国 ASME SA-217 中高温阀门用钢的专用牌号	用于工作温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ 的汽轮机铸件, 如内外汽缸, 阀门等; WC6 用于壁温 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ 的抽气电动闸阀的阀盖、阀板、阀头	WC6 (ASTM)
ZG15Cr1Mo1V JB/T 10087—2001 JB/T 9625—1999 ZG13Cr1Mo1V (东方汽轮机有限公司)	综合性能良好的热强铸钢。铸造性能较 ZG20CrMoV 稍差, 易产生裂纹。对热处理冷却速度敏感, 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 $^{\circ}\text{C}$ ~350 $^{\circ}\text{C}$ 及层间保温, 焊后缓冷并尽快去应力退火	用于工作温度 $\leq 570^{\circ}\text{C}$ 的铸件, 如汽轮机高中压缸、喷嘴室、主汽阀和锅炉管道承压铸钢件等	15X1M1ΦII (苏联) KT5100BS17 (日立) KT5102ES21 (日立)
ZG15Cr2Mo1 JB/T 10087—2001 WC9 JB/T 5263—2005	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。根据焊补金属厚度, 焊前预热温度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 250^{\circ}\text{C}$ 。WC9 是美国 ASME SA-217 中高温阀门用钢的专用牌号	用于工作温度 $\leq 566^{\circ}\text{C}$ 的汽轮机内缸、阀壳、喷嘴室等	WC9 (ASME)
ZG10Cr9Mo1VNbN JB/T 11018—2010 C12A JB/T 5263—2005	其成分相当于 T/P91 的马氏体耐热铸钢。铸件须经退火进行预备热处理, 然后经正火+回火(一次或二次)的性能热处理。常规力学性能与 T/P91 基本相同。C12A 是美国 ASME SA-217 中高温阀门用钢的专用牌号	用于超(超)临界机组汽轮机高温区段的静叶片、隔板、隔板套以及主蒸汽、高温再热蒸汽管道系统的阀门	KA SFVAF28 (日本三菱) C12A (ASME)

表 A.7 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
F92 ASME SA-182	化学成分、拉伸性能与 10Cr9MoW2VNbN (T/P92) 相同, 属马氏体型热强钢, 差异在于该钢是锻件。T/P92 管材在 T/P91 钢的基础上, 添加 2%W, 降低 Mo 含量, W、Mo 同时添加可有效提高钢的持久强度, 微量的 B 可增加钢的晶界强度。该钢具有良好的高温强度和抗氧化、抗蒸汽腐蚀性能。C 含量的降低可提高组织稳定性和焊接性能。与 T/P91 一样, 焊接时应采用低的线能量, 严格执行焊接工艺, 焊后需尽快热处理	用于超(超)临界机组汽轮机主汽暖管闸阀、高温、高压截止阀	
ZG12Cr9Mo1VNbN JB/T 11018—2010	这几种铸钢为 (9%~11%) Cr-1Mo 系列的马氏体耐热铸钢。相对于 ZG10Cr9Mo1VNbN, 碳、铬、镍含量略有提高, 相应的常规力学性能和抗氧化温度有所提高。铸件也需经退火进行预备热处理, 然后经正火+回火(一次或二次)的性能热处理	用于超(超)临界机组汽轮机高温区段的静叶片、隔板、隔板套、内外缸以及主蒸汽、高温再热蒸汽管道系统的阀门	GX12CrMoVNbN9-1 (西门子子公司)
ZG11Cr10MoVNbN JB/T 11018—2010			ZG1Cr10MoVNbN (欧洲)
ZG13Cr11MoVNbN JB/T 11018—2010			
ZG14Cr10MoVNbN JB/T 11018—2010			
ZG11Cr10Mo1NiWVNbN JB/T 11018—2010	为添加了镍、钨的 10Cr-1Mo 马氏体耐热铸钢。相对于 ZG10Cr9Mo1VNbN, 铬含量明显提高, 相应的抗氧化温度有所提高, 少量的钨可提高高温持久强度。铸件也需经退火进行预备热处理, 然后经正火+回火(一次或二次)的性能热处理	用于超(超)临界机组汽轮机高温区段的静叶片、隔板、隔板套、内外缸以及主蒸汽、高温再热蒸汽管道系统的阀门	ZG1Cr10Mo1NiWVNbN-5 (欧洲) KT5917 S0 (日立) KT5330 AS0 (日立) DIN EN 10204/3.1
ZG12Cr10Mo1W1VNbN-1 JB/T 11018—2010	三种铸钢的化学成分基本相同, 添加了 1%钨有助于提高其高温持久强度。-1、-2、-3 在于区别成分的微小差异。铸件也需经退火进行预备热处理, 然后经正火+回火(一次或二次)的性能热处理	用于超(超)临界机组汽轮机高温区段的静叶片、隔板、隔板套、内/外缸以及主蒸汽、高温再热蒸汽管道系统的阀门	GX12CrMoWVNbN10-1-1 (西门子子公司)
ZG12Cr10Mo1W1VNbN-2 JB/T 11018—2010			
ZG12Cr10Mo1W1VNbN-3 JB/T 11018—2010			
CB2 COST 522	欧洲 COST 522 项目中研发的 9Cr-2Mo-1Co-NiV-Nb-N-B 马氏体耐热钢, 与 FB2 的成分相同, 差异在于 CB2 是铸件, FB2 是锻件。添加微量的 B 并降低 N 量。Co 可防止钢中 δ 铁素体的形成, 改善钢的淬透性和组织稳定性。B 可提高(Nb,V)C 及 V (C,N) 的高温稳定性和钢的淬火加热温度, 低的 N、Al 含量可避免形成 Al、N 夹杂。目前该钢尚无相应的国家标准或行业标准, 或国外学术团体技术规范, 各汽轮机制造商有相应的企业标准	用于制造 630℃左右的超超临界汽轮机高中压内缸、自动主汽阀门、高温再热蒸汽阀门等	GX13Cr9Mo2Co1NiVNbNB (西门子子公司) GX13CrMoCoNiVNbNB 9-2-1 (EN)

表 A.8 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—2007	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溃蚀。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)、 ЛМЦЦ-68-0.06 (苏联)
HSn70-1A GB/T 8890—2007	HSn70-1A 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)、 ЛМЦЦ-70-1-0.06 (苏联)、 BSTF (日本)、 CuZn29Sn1 (法国)、 Alloy 433 (美国)
HAl77-2A GB/T 8890—2007	HAl77-2A 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。HAl77-2A 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)、 ЛМЦЦ-77-2 0.06 (苏联)、 BSTF2 (日本)、 BSTF3 (日本)、 BSTF4 (日本)、 Alloy 687 (美国)、 CuZn22Al2 (法国)
BFe30-1-1 (B30) GB 8890—2007	BFe30-1-1(B30)称结构铜镍白铜,具有高的力学性能,耐砂蚀和耐氢蚀性能良好,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 (苏联)、 CNTF3 (日本)、 Alloy 715 (美国)、 CuNi30Mn1Fe (法国)

表 A.8 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
TA1 TA2 TA3 GB/T 3620.1—2007 GB/T 3625—2007	TA1、TA2、TA3 均为工业纯钛，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	ASTM B338
06Cr19Ni10 GB/T 20878—2007	Cr-Ni 奥氏体不锈钢。两种钢的铬含量相同，022Cr19Ni10 的镍含量上限略高于 06Cr19Ni10，主要差异 022Cr19Ni10 为超低碳不锈钢 ($C \leq 0.03$)，故 022Cr19Ni10 的抗腐蚀性稍高于 06Cr19Ni10	适用于冷却水中 $Cl^- < 200\text{mg/L}$	S30400, 304 (ASTM)、 SUS304 (JIS)、 X5CrNi18-10 (ISO)、 X5CrNi18-10 (欧洲)
022Cr19Ni10 GB/T 20878—2007			S30403, 304L (ASTM)、 SUS304L (JIS)、 X2CrNi19-11 (ISO)、 X2CrNi19-11 (欧洲)
06Cr18Ni11Ti GB/T 20878—2007			S32100, 321 (ASTM)、 SUS321 (JIS)、 X6CrNiTi18-10 (ISO)、 X6CrNiTi18-10 (欧洲)
06Cr17Ni12Mo2 GB/T 20878—2007	含钼的 Cr-Ni 奥氏体不锈钢。Mo 可增强不锈钢的钝化作用和耐蚀性，阻止点腐蚀倾向。在 18-8 不锈钢中加入 1.5%~5.0% 的 Mo，可提高在各种有机酸（如蚁酸、醋酸、草酸等以及氧化氢、硫酸盐、酸性染料、漂白粉等）中的耐蚀性。由于 Mo 是形成铁素体元素，为了得到奥氏体组织，要相应的增加 Ni 含量，一般要增至 12% 以上	适用于冷却水中 $Cl^- < 1000\text{mg/L}$	S31600, 316 (ASTM)、 SUS316 (JIS)、 X5CrNiMo17-12-2 (ISO)、 X5CrNiMo17-12-2 (欧洲)
022Cr17Ni12Mo2 GB/T 20878—2007			S31603, 316L (ASTM) SUS316L (JIS) X2CrNiMo17-12-2 (ISO) X2CrNiMo17-12-2 (欧洲)
06Cr19Ni13Mo3 GB/T 20878—2007		当冷却水中 $Cl^- < 2000\text{mg/L}$ 时，可用于再生水； 当冷却水中 $Cl^- < 5000\text{mg/L}$ 时，适用于无污染的咸水	S31700, 317 (ASTM) SUS317 (JIS)
022Cr19Ni13Mo3 GB/T 20878—2007			S31703, 317 (ASTM) SUS317L (JIS) X2CrNiMo19-14-4 (ISO)

表 A.9 压力容器常用钢牌号、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
Q245R GB 713—2008	相当于 GB 713—1997 中的 20g 和 GB 6654—1996 中的 20R。该钢的塑性、韧性及焊接性能良好，但对应变时效较为敏感，强度较低，用这种钢制造的锅筒壁厚较厚。该钢板以热轧、控轧或正火状态交货，必要时在 890℃~920℃ 正火处理	工作压力较低的容器，300MW 机组如低压加热器	20K、22K (ГОСТ) SB42、SB46 (JIS) HII (DIN) 11474.1 (ČSN)

表 A.9 (续)

钢号与技术条件	特 性	主要应用范围	类似钢号
Q345R GB 713—2008	相当于 GB 713—1997 中的 16Mng、19Mng 和 GB 6654—1996 中的 16MnR。该钢具有良好的综合力学性能、工艺性能和焊接性能。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、控轧或正火状态交货，正火温度 900℃~920℃。经正火处理后可显著提高韧性，并降低韧脆转变温度	超（超）临界机组的除氧器筒体、封头，氢储罐等	SB49 (JIS) SA-299 (ASME) 17Mn4 (DIN) 16TC (ГОСТ)
15CrMoR GB 713—2008	15CrMoR 的 Si、Cr、Mo、S 含量和抗拉强度、冲击吸收能量与 15CrMoG 钢略有差异，两者特性相近	超（超）临界机组的高压加热器壳体、封头	
13MnNiMoR GB 713—2008	为屈服强度 390MPa 级别的锰、镍、钼强韧性配合良好的低合金钢，正火+回火组织为回火贝氏体加铁素体。化学成分、常规力学性能与 DIWA353 差异很小，两者特性相近	超（超）临界机组的高压加热器的水室、壳体和封头	
SA387Cr11CL1 ASME SA387	Si、Cr 含量高于 15CrMoR，C、Mn、Mo 含量和拉伸强度、延伸率与 15CrMoR 钢差异很小，与 15CrMoR 特性相近	超（超）临界机组的高压加热器的壳体和封头	

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—2015
代替 DL/T 715—2000

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2016年3月第一版 2016年3月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 2.25印张 64千字
印数 0001—1500册

*

统一书号 155123·2790 定价 19.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2790