

文章编号: 1002-5855 (2001) 01-0021-04

国际通用的阀门主体用铸钢材料

吴国健¹, 乐精华²

(1. 仪征化纤公司设备动力部 江苏 仪征 211900; 2. 兰州高压阀门厂 甘肃 兰州 730060)

摘要 详细地介绍了国际通用的采用先进技术标准的阀门主体材料用碳素铸钢、铬钼高温铸钢、铸造不锈钢耐酸钢、低温铸钢、高温不锈钢耐热铸钢等材料及其性能, 并进行了铸钢和轧材性能的对比分析。

关键词 国际通用; 阀门主体; 铸钢材料

中图分类号: TG142

文献标识码: A

International common cast steel for valve body

WU Guo-jian¹, LE Jing-hua²

(1. Yizheng Chemical Fibre Co., Ltd, Yizheng 211900, China

2. Lanzhou High Pressure Valve Factory Lanzhou 730060 China)

Abstract: Introducing the characteristics of international common cast steel for valve body, Such as carbon cast steel, molybdenum chromium cast steel, acid-proof and stainless cast steel, cryogenic cast steel, oxidation and heat resistant cast steel, etc. Advanced technical standards are adopted for these materials. The characteristics both of cast and rolled steel are compared and analyzed in all details.

Key words: International common; valve body; cast steel.

阀门广泛应用于石油、化工、冶金、电力、矿山、轻工、国防及科研等领域, 是流体控制的手段。而钢制阀门常用于输送高温、高压、低温和强腐蚀等介质。阀门用铸钢的生产和材料选用, 是阀门质量的关键因素。随着我国工业现代化和对外开放进程的加快及我国即将加入 WTO, 阀门工业不可避免地要加快与世界先进技术接轨。因此, 研究和实施阀门主

体材料的国际先进技术, 是我国阀门生产和使用单位广大科技人员的重要职责。

1 铸钢阀门主体材料

1.1 铸造碳素钢

碳钢(铸钢和锻钢)阀门约占高中压阀门产量的 90%。国际上碳素铸钢阀门采用美国 ASTM A216/A216M-89 的 WCB 和 WCC, 其化学成分及机械性能见表 1。碳钢阀门的最

表 1 WCB、WCC 化学成分及机械性能

钢号	化学成分/%											机械性能			
	C	Mn	P	S	Si	残留元素						抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	断面收缩率 /%
						Cu	Ni	Cr	Mo	V	总量				
WCB	≤0.30 ^B	≤1.00 ^B	≤0.040	≤0.045	≤0.60	≤0.30	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.03	≤1.00	485~655	≥250	≥22	≥35
WCC	≤0.25 ^C	≤1.20 ^C	≤0.040	≤0.045	≤0.60	≤0.30	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.03	≤1.00	485~655	≥275	≥22	≥35

注:^B规定的最高含碳量每减少 0.01%, 允许最高含锰量增加 0.04%, 直到其最大含量达 1.28%。

^C规定的最高含碳量每减少 0.01%, 允许最高含锰量增加 0.04%, 直到其最大含量达 1.4%。

作者简介: 吴国健, (1971-), 男, 甘肃天水人, 工学硕士, 工程师。

高工作温度在 ANSI B16.34-1996 和 SH3064-94 中规定, WCB、WCC 的适用温度范围为 $-29 \sim 425^{\circ}\text{C}$ 。

我国碳钢阀门现在已不用 GB11352-89 中的 ZG230-450, 其原因可以从与 ASTM A216/A216M-89 的 WCB 比较中看出。

ZG230-450 钢主要突出其屈服强度 $\geq 230\text{MPa}$, 抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 。而 WCB 突出了用于高温时强度和焊接性能。ASTM A216/A216M-89 中明确指出, 本规范包括高温用, 并能与其他铸钢或锻钢件熔焊成组件的阀门、法兰、管件或其他承压件的碳素钢铸件。铸钢阀门的应用工况多为高温高压, 因此不能视为一般工程用铸造碳钢件, 故阀门不宜用 GB11352-89 中的 ZG230-450。

WCB 钢的 Mn 和 Si 等合金元素的含量比 ZG230-450 的高, 屈服强度 $\geq 250\text{MPa}$, 抗拉强度 $\geq 485\text{MPa}$ 。控制钢中的残留元素含量, 主要目的就是改善钢的焊接性能。GB11352-89 中规定, ZG230-450 的残余元素总含量不超过 1.00%, 如需方无要求, 残余元素可不进行分析。而 ASTM A216/A216M-89 规定, 不管需方有无要求, 必须同时检测各残留元素。

WCB 钢的中文含义是: 强度适中 (B 级) 的可焊接的铸钢。对于 $\text{PN} \geq 32.0\text{MPa}$ 的碳钢阀门应采用强度高的 (C 级) WCC 钢制作。

表 2 阀门主体材料用 Cr-Mo 高温铸钢

钢号	化学成分/%								机械性能			
	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P	残留元素	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	断面收缩率 /%
WC6	0.05~0.20	≤ 0.60	0.50~0.80	1.00~1.50	0.45~0.65	≤ 0.045	≤ 0.040	$\text{Cu} \leq 0.50$	485~655	≥ 275	≥ 20	≥ 35
WC9	0.05~0.18	≤ 0.60	0.40~0.70	2.00~2.75	0.90~1.20	≤ 0.045	≤ 0.040	$\text{Ni} \leq 0.50$ $\text{W} \leq 0.10$	485~655	≥ 275	≥ 20	≥ 35
C5	≤ 0.20	≤ 0.75	0.40~0.70	4.0~6.5	0.45~0.65	≤ 0.045	≤ 0.040	$\Sigma_i \leq 1.00$	620~795	≥ 415	≥ 18	≥ 35

铬钼钢耐高温的机理主要是: ①铁中加入 Cr 后, 可提高 FeO 出现的温度, 而且可形成具有良好保护性能的 Cr_2O_3 合金氧化膜, 保护金属不被继续氧化。②Cr 和 Mo 等中强碳化物形成元素能形成合金渗碳体或特殊碳化物, 如 FeMo_3C , Mo_2C 等。这类钢在淬火或高温

我国已将 ASTM A216/A216M-89 转化为 GB/T12229-1989。

1.2 铬钼铸钢

国际上铬钼高温阀门主体材料执行 ASTM A217/A217M-91 标准。该标准中有 WC1, WC4, WC5, WC6, WC9, WC11, C5, C12, CA15 等 9 种钢号。钢号中 W 表示可焊接, C 表示铸钢, 后面的数字表示钢的工作温度高低排序。以介质为水和蒸汽为例, 其最高使用温度分别是: WC1 ($\leq 455^{\circ}\text{C}$) < WC4 ($\leq 540^{\circ}\text{C}$) < WC5 ($\leq 565^{\circ}\text{C}$) < WC6 ($\leq 595^{\circ}\text{C}$) < WC9 ($\leq 600^{\circ}\text{C}$) 等。广泛用于阀门的钢号是 WC6、WC9 和 C5 (我国称铬 5 钼铸钢)。这 3 种钢的化学成分和机械性能见表 2。阀门用铬钼铸钢我国尚无标准。

铸钢铬 5 钼 (ZGCr5Mo)。适用于含硫化物热态石油介质, 同时还具有抗氢腐蚀性能。因此铸钢铬 5 钼高温阀门广泛用于石油炼制及乙烯生产等含硫介质的高温工况中。WC6、WC9 等铬钼钢高温阀门广泛用于电力或热力系统等介质为水和蒸汽的高温高压工况中。用于工作介质为油品或蒸汽的阀门, 应有足够安全可靠, 通常规定: C5 (ZGCr5Mo) 阀门的工作温度 $\leq 550^{\circ}\text{C}$, WC6 (介质为水和蒸汽) 阀门工作温度 $\leq 540^{\circ}\text{C}$; WC9 (介质为水和蒸汽) 阀门工作温度 $\leq 570^{\circ}\text{C}$ 。

回火时, 即析出 Mo_2C 等碳化物。其质点很细小, 不易聚集长大。由其造成的沉淀强化使钢保持较高的蠕变强度, 它们能阻止 α 相的再结晶, 因而起着固溶强化的作用。

1.3 不锈钢耐酸铸钢

不锈钢耐酸钢是指在强腐蚀介质中腐蚀速度

较低的钢。腐蚀速度小于 0.1mm/a, 为“完全耐蚀”。腐蚀速度小于 1.0mm/a, 为“耐蚀”。不锈钢的腐蚀主要属于电化学腐蚀, 如均匀腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、点腐蚀、缝隙腐蚀和射线腐蚀等等, 其中晶间腐蚀危害最大。常温时, 碳在奥氏体的溶解度仅为 0.02%~0.04%, 剩余的碳为过饱和碳。晶间腐蚀是由于不锈钢奥氏体中过饱和碳在晶间与铬生成 Cr_{23}C_6 及 $(\text{CrFe})_{23}\text{C}_6$ 或 $(\text{CrFeMo})_{23}\text{C}_6$ 析出相, 且呈连续网状分布于晶界。由于 Cr_{23}C_6 中铬含量高达 95%, 当它析出时, 周围奥氏体区铬含量就降低, 又由于铬原子扩散速度低于碳原子的扩散速度, 因而在短时间内不能由晶内的铬扩散来补充, 通常形成了厚度约 10^{-5}cm 的贫铬区。当贫铬区的铬含量低于抗酸极限含量 12% 时, 在许多介质 (如高温稀硝酸、浓硝酸、硫酸、尿素熔融介质、工业醋酸、草酸、铬酸、蚁酸、乳酸、磷酸、亚硫酸、氢氟酸、氨基磺酸、氯化铁溶液、硫酸氢钠溶液、乙二酸及海水等) 贫铬区成为微阳

极, Cr_{23}C_6 及 $(\text{CrFe})_{23}\text{C}_6$ 等和其他奥氏体成为阴极, 造成“晶间腐蚀”。产生严重“晶间腐蚀”的工件, 可用手指碾碎为粉末。

为了克服碳对不锈钢耐蚀性的危害, 要求耐蚀不锈钢中碳含量越低越好。当不锈钢中碳含量达到碳在奥氏体中的溶解度 (固溶) 时, 就可避免“晶间腐蚀”的发生, 如 $\text{C} \leq 0.03\%$ 的超低碳不锈钢耐蚀钢。

尽管不锈钢耐蚀钢目前有几十种之多, 但阀门主体材料用不锈钢国际上主要采用的是 ASTM A351/A351M-1993 中的 CF8、CF8M、CF3 和 CF3M 等 (表 3)。除 ASTM A351/A351M-1993 外, 有时用户还会要求执行 ASTM A743/A743M-1995 或 ASTM A744/A744M-1996 中的 CF8, CF8M, CF3, CF3M 等。这些标准中的 CF8, CF8M, CF3, CF3M 的化学成分和机械性能与 ASTM A351/A351M-1993 相同, 仅对铸件焊补及焊补后热处理要求有差别, 其中 ASTM-A744/A744M-1996 要求最严格, 因为它要保证用于恶劣条

表 3 CF8, CF8M, CF3, CF3M 的化学成分及机械性能 (ASTM A351、A743、A744)

钢号	化学成分/%							机械性能			
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	断面收缩率 /%
CF8	≤ 0.08	≤ 1.50	≤ 2.00	≤ 0.04	≤ 0.04	18.0~21.0	8.0~11.0	≥ 485	≥ 205	≥ 35	≥ 35
CF8M	≤ 0.08	≤ 1.50	≤ 1.50	≤ 0.04	≤ 0.04	18.0~21.0	9.0~12.0	≥ 485	≥ 205	≥ 30	≥ 30
CF3	≤ 0.03	≤ 1.50	≤ 1.50	≤ 0.04	≤ 0.04	17.0~21.0	8.0~12.0	≥ 485	≥ 205	≥ 35	≥ 35
CF3M	≤ 0.03	≤ 1.50	≤ 1.50	≤ 0.04	≤ 0.04	17.0~21.0	9.0~13.0	≥ 485	≥ 205	≥ 30	≥ 30

件下的耐蚀性能。

1.4 低温铸钢

低温钢质量的好坏, 在很大程度上取决于使用温度下钢的冲击韧性大小。当温度降至某一临界值 (即“冷脆性转变温度”) 以下, 钢材将完全失去韧性, 发生脆性断裂。这种低温脆断曾多次使位于寒冷地带的钢铁桥梁、船体、容器等发生突然断裂的重大事故。所以, 低温阀门的质量好坏, 取决定作用的是合理选用低温钢。

低温阀门主体材料用铸钢, 国际上选用

美国 ASTM A352/A352M-1993 和 ASTM A351/A351M-1993 标准。ASTM A352/A352M-1993 标准中 LCB、LCC 可用于 -46°C , LC1 可用于 -59°C , LC2 可用于 -73°C , LC3 可用于 -101°C 。但由于 Ni 钢热处理工艺复杂, 生产周期长等原因, 较少采用。一般为保证阀门安全以及便于组织生产, 国内外多用 ASTM A351/A351M-1993 中奥氏体不锈钢 CF8 或 CF8M 代替 Ni 钢。在 ASTM A352/A352M-1993 中, 用于生产低温阀门最常用的钢是 LCB 和 LCC (表 4、表 5)。

表 4 LCB, LCC 化学成分

%

钢号	C	Si	Mn	P	S	残留元素					总量
						Ni	Cr	Mo	Cu	V	
LCB	≤0.30	≤0.60	≤1.00	≤0.04	≤0.045	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.30	≤0.03	≤1.00
LCC	≤0.25	≤0.60	≤1.20	≤0.04	≤0.045	≤0.50	≤0.50	≤0.20	≤0.30	≤0.03	≤1.00

注: 含碳量在最大规定值下减少 0.01%, 允许最高含锰量增加 0.04%, 直至最大含量 (LCB) 到 1.28%; (LCC) 到 1.40%。

表 5 LCB, LCC 机械性能

钢号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	断面收缩率 /%	冲击性能: 夏比 V 型缺口 (焦耳)		
					两个试样最少平均值和 三个试样最少平均值	单个试 样最小值	试验温度 /℃
LCB	450~650	≥240	≥24	≥35	≥18	≥14	-46
LCC	485~655	≥275	≥22	≥35	≥20	≥16	-46

-101℃ 以下的低温阀门, 国内外均是采用 ASTM A351/A351M-1993 中 CF8 或 CF8M。因为 CF8 和 CF8M 是十分优良的低温钢, CF8 可用于 -196℃, CF8M 可用于 -253.8℃ (液氢) 等超低温状态中。

1.5 高温不锈钢耐热铸钢

在室温和低温下工作的钢件原子扩散缓慢, 而在高温下工作的钢件会发生剧烈的原子扩散。所以对耐热钢和耐热合金的使用性能最基本的要求有①良好的高温强度和高温疲劳强度以及与之相适应的塑性。②良好的高温化学稳定性。③良好的铸造、锻造、焊接及机加工等工艺性能。

在石化工业中使用的高温不锈钢耐热钢阀门的耐热不锈钢, 应采用电弧炉冶炼。在电弧炉冶炼时, 应对高温不锈钢耐热钢进行充分地脱硫和脱磷, 除渣及除气精炼、净化晶界和细化晶粒, 防止铸钢件在长期高温状态下晶粒粗化, 提高抗高温蠕变等功能。因为碳能显著提高钢的强度, 扩大钢的奥氏体区域, 稳定奥氏体组

织, 所以对耐热不锈钢要保证含碳量不低于 0.045%。这就是说: 通常用于防腐蚀的未采用抗高温的特殊冶炼工艺措施的 CF8, CF8M 不锈钢不宜用作抗高温的耐热不锈钢, CF3, CF3M 更不能用于高温工况, 因为 CF3, CF3M 使用温度范围是 -254℃~425℃。

2 铸造合金与变形合金 (轧材)

铸造合金和轧材的使用性能相同, 而且材料相互间可以替代, 但在化学成分上略有差别。以 304、316 与 CF8、CF8M 为例, 在成分上可以看出它们间的差异 (表 6)。因为轧材要求塑性好, 便于轧制。铸件则要求有较好的铸造性能。化学成分不同, 则金相组织也不同, 304 和 316 不锈钢组织为奥氏体, CF8 和 CF8M 组织为奥氏体-铁素体。因此 304 和 316 不锈钢通常无磁性, 而 CF8 和 CF8M 带有磁性。

了解阀门主体材料用的铸造合金与变形合金 (轧材) 牌号间的对照关系 (表 7), 是掌握钢制阀门材料所必须的。

表 6 铸造不锈钢与对应轧材化学成分比较

%

钢种	对应钢号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
Fe-18Cr-8Ni	CF8	≤0.08	≤1.50	≤2.00	≤0.04	≤0.04	18.0~21.0	8.0~11.0	—	余
	304	≤0.08	≤2.00	≤1.00	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	8.0~10.5	—	余
Fe-18Cr-9Ni-2Mo	CF8M	≤0.08	≤1.50	≤2.00	≤0.04	≤0.04	18.0~21.0	9.0~12.0	2.0~3.0	余
	316	≤0.08	≤2.00	≤1.00	≤0.045	≤0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	余

(下转 36 页)

阀盖上半部分。⑥Save-part as 建一新文件名供有限元分析用。

4.2 建立物理模型及力学模型

对模型加网格, 边界条件及材料等进行解算处理。

4.3 后置处理

运用其动画显示及云图, 达到了使用目的, 求出了工作压力下阀体、阀盖及螺栓内部所产生的最大应力值, 为设计提供了充分的理论依据。阀门的工作状态类似于压力容器, 在中高压阀门的设计中, 这一功能解决了阀门设计中零部件受力分析的难题。

4.4 检查静态干涉

在装配中利用 info interference 检查相邻两零件间的干涉情况, 如有干涉可生成干涉条或高亮显示。利用生成干涉条方法及“info”其尺寸, 据此对主模型进行相应的改动, 消除阀体与闸板或阀体与蝶板等的静态干涉。

4.5 机构分析动态干涉

利用 UG/Mechanism 建立机构模型, 使

装配中阀杆、闸板或阀体与蝶板等成连杆, 并对其加滑动副, 固定到地 (fixed to ground), 并给出其运动方向, 输入运动速度, 即可进行动画显示及检查动态干涉了。

实际工作中通过检查闸板与阀体和阀盖、阀体与蝶板、阀座与球体等的动态干涉情况, “Info”了干涉条的尺寸, 对主模型进行了相应的修改, 消除了干涉。

4.6 重量计算

在工程设计中, 对形状复杂, 且不规则的铸件及加工件的重量计算, 是一件很繁琐的事情, 而且误差较大, 使原材料消耗计算不准。使用 info/analyses/mass, 这一过程就变得简单且准确了。

5 结语

使用 UG 软件, 可提高工作效率, 缩短产品开发周期, 提高产品设计可靠性, 降低产品开发成本。该软件可操作性强, 具有一定工作经验及英语基础的设计人员可在短时间内达到应用水平。

(收稿日期 2000.4.3)

(上接 24 页)

表 7 铸造合金与对应变形合金牌号及标准

铸造合金标准及牌号		变形合金标准及牌号	
ASTM A216	WCB, WCC	ASTM A105	
	WC6		F11
ASTM A217	WC9	ASTM A182	F22
	C5		F5
	CF8		304
ASTM A351	CF8M	ASTM A182	316
	CF3	A276	304L
	CF3M		316L
ASTM A352	LCB, LCC	ASTM A350	LF2

3 镍基耐蚀合金

铸造阀门主体材料还有 CN7M 合金 (ASTM A744/A744M-1996) 和镍基耐蚀合金 (ASTM A494/A494M-1991), 如蒙乃尔合金 (M35-1)、铸镍合金 (CZ100)、英康乃尔高温镍合金 (CY-40) 及哈氏合金等等, 由于它们用量较小, 工况较特殊, 限于篇幅的关系,

在此不作介绍。

参 考 文 献

- [1] ASTM A216/A216M-89, 高温用可熔焊碳钢铸件标准规范 [S].
- [2] ANST B16. 34-1996, 法兰和对焊端阀门 [S].
- [3] SH3064-1994, 石化钢制通用阀门选用检验与验收 [S].
- [4] GB11352-1989, 一般工程铸钢件 [S].
- [5] GB/T 12229-1989, 通用阀门碳素钢铸件技术条件 [S].
- [6] ASTM A217/A217M-1991, 高温承压件用马氏体不锈钢和合金钢铸件标准规范 [S].
- [7] ASTM A351/A351M-1993, 承压件用奥氏体、奥氏体-铁素体 (22 相) 钢铸件规范 [S].
- [8] ASTM A743/A743M-1995, 耐蚀铬铁和镍铬铁合金铸件 [S].
- [9] ASTM A744/A744M-1996, 恶劣条件下用耐蚀铁铬镍铸件标准规范 [S].
- [10] ASTM A352/A352M-1993, 低温承压件用铁素体和马氏体钢铸件 [S].
- [11] ASTM A494/A494M-1991, 镍及镍合金铸件标准规范 [S].

(收稿日期 2000.9.29)