

水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范

DL/T 5018—2004

1 范围

本标准规定了水电水利工程闸门（包括拦污栅，下同）制造、安装的技术要求及验收标准。

本标准适用于大、中型水电水利工程闸门的制造、安装及验收。小型水利水电工程亦可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而构成为本标准的条款，凡是注明日期的引用文件，其随后所用的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 228 金属材料室温拉伸试验方法

GB/T 229 金属夏比缺口冲击试验方法（eqv ISO 148）

GB/T 232 金属材料弯曲试验方法（eqv ISO 7438）

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 983 不锈钢焊条（neq ANSI/AWS A5.4）

GB/T 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸

GB/T 986 埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸

GB/T 1182 形状和位置公差 通则、定义、符号和图样表示法（eqv ISO

1101)

- GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值 (eqv ISO 2768—2)
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢 (neq ISO 4950)
- GB/T 1800.2 极限与配合 基础 第2部分:公差、偏差和配合的基本规定
- GB/T 1801 极限与配合 公差带与配合的选择 (eqv ISO 1829)
- GB/T 2970 中厚钢板超声波检验方法
- GB/T 3077 合金结构钢 (neq DIN EN 10083-1)
- GB/T 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板 (neq JIS G4303)
- GB/T 5117 碳钢焊条 (eqv ANSI/AWS A5.1)
- GB/T 5118 低合金钢焊条 (neq ANSI/AWS A5.5)
- GB/T 5216 保证淬透性结构钢
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂 (eqv ANSI/AWS A5.17)
- GB/T 5680 高锰钢铸件
- GB/T 6060.1 表面粗糙度比较样块 铸造表面 (eqv ISO 2632—3)
- GB/T 6402 钢锻件超声波检验方法 (neq JIS G587)
- GB/T 6414 铸件尺寸公差与机械加工余量 (eqv ISO 8062)
- GB 6654 压力容器用钢板
- GB/T 7233 铸钢件超声探伤及质量评级标准 (neq BS 6208)
- GB/T 7659 焊接结构用碳素钢铸件 (neq ASTM A216)
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊 (neq ANSI/AWS)
- GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级 (eqv ISO 8501-1)
- GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
- GB/T 9443 铸钢件渗透探伤及缺陷显示迹痕的评级方法
- GB/T 9444 铸钢件磁粉探伤及质量评级方法
- GB/T 11345 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级
- GB/T 11351 铸件重量公差
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件 (neq ISO 3755)
- GB/T 12470 低合金钢埋弧焊用焊剂 (neq ANSI/AWS A5.23)

- GB/T 14408 一般工程与结构用低合金铸钢件
- GB/T 15056 铸造表面粗糙度 评定方法
- GB/T 15826.1~9 锤上钢质自由锻件机械加工余量与公差 (eqv DIN 7527)
- GB/T 16253 承压钢铸件 (eqv ISO 4991)
- GB/T 17854 埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂 (eqv JIS Z3324)
- DL/T 679 焊工技术考核规程
- DL/T 5039 水利水电工程钢闸门设计规范
- JB 4730 压力容器无损检测
- JB/T 9179.1~8 水压机上自由锻件机械加工余量与公差
- SL 35 水工金属结构焊工考核规则

3 一般规定

3.1 技术资料

3.1.1 闸门和埋件制造前, 应具备下列资料:

- 1 设计图样和技术文件, 设计图样包括总图、装配图及零件图;
- 2 主要钢材、焊材及防腐材料的质量证书;
- 3 标准件和非标准协作件的质量证书。

3.1.2 闸门和埋件安装前应具备下列资料:

1 设计图样和技术文件, 设计图样包括总图、装配图、零件图、相关的水工建筑物图及闸门与启闭机关系图;

- 2 闸门出厂合格证;
- 3 闸门制造验收资料和质量证书;
- 4 发货清单、到货验收文件及装配编号图;
- 5 安装用控制点位置图。

3.1.3 闸门制造与安装必须按设计图样和文件进行, 如需修改应有设计修改通知书, 下达设计修改通知书程序应遵照合同有关规定。

3.2 材料

3.2.1 闸门使用的钢材必须符合设计图样规定, 其性能参照附录 A 中的有关规定, 并应具有出厂质量证书。如无质量证书应予复验, 复验合格方可使用。

3.2.2 钢板如需超声波探伤, 则应按 GB/T 2970 标准执行。

3.2.3 焊接材料（焊条、焊丝、焊剂）必须具有出厂质量证书。焊条的化学成分、力学性能和扩散氢含量等各项指标应符合 GB/T 5117、GB/T 5118 或 GB/T 983 的规定；埋弧焊用焊丝和焊剂应符合 GB/T 5293、GB/T 12470 或 GB/T 17854 的规定；气体保护焊用焊丝应符合 GB/T 8110 的规定。

3.3 基准点和测量工具

3.3.1 闸门制造、安装所有的钢尺和测量仪器的精度必须达到下述规定：

- 1 精度不低于 1 级的钢卷尺；
- 2 DJ 2 级以上精度的经纬仪；
- 3 DS 3 级以上精度的水准仪；
- 4 测量精度不低于万分之一的全站仪、天顶仪及天底仪。

闸门制造与安装所用量具和仪器应定期由法定计量部门予以检定。

3.3.2 用于测量高程和安装轴线的基准点及安装用的控制点均应明显、牢固和便于使用。

3.4 标志、验收、包装及运输

3.4.1 闸门和埋件制造安装的验收应按第 10 章“验收”有关规定进行验收。

3.4.2 闸门应有标志，标志内容必须包括：

- 1 制造厂名或厂标；
- 2 产品名称；
- 3 产品型号或主要技术参数
- 4 制造日期；
- 5 闸门重心位置及总重量。

3.4.3 闸门的门叶应分节编号，加工面应有可靠保护；埋件可成捆包装并用钢架栓紧；附件应成套装箱。

3.4.4 闸门起吊时应防止构件损坏或变形；装车时应摆放平稳、位置适中、加固可靠；超长、超宽、超高件运输应悬挂危险警示牌，注意保护道路、桥梁、通信、电力等设施安全。

4 焊接

4.1 焊接工艺评定

4.1.1 在制造与安装闸门前，应由施焊单位根据闸门结构特点和质量要求编制对

焊接提供指导的、经过评定的焊接工艺规程。

4.1.2 焊接工艺评定是通过对焊接接头的力学性能或其他性能的试验验证焊接工艺规程的正确性和合理性。

4.1.3 焊接工艺评定一般过程是：拟定焊接工艺指导书，施焊试件和制取试样，检验试件和试样，测定焊接接头是否具有所要求的使用性能，提出焊接工艺评定报告对拟定的焊接工艺指导书进行评定。

4.1.4 焊接工艺评定所用设备、仪表应处于正常工作状态，钢材、焊材必须符合相应标准，应由施焊单位持有合格证书、技能熟练的人员焊接试件。

4.1.5 评定对接焊缝焊接工艺时，采用对接焊缝试件；评定角焊缝焊接工艺时，采用角焊缝试件或对接焊缝试件；评定组合焊缝（角焊缝加对接焊缝）焊接工艺时，采用对接焊缝试件，当组合焊缝构件要求全焊透时，应增加组合焊缝试件。

4.1.6 焊接工艺因素分为重要因素、补加因素和次要因素。

重要因素是指影响焊接接头的抗拉强度和弯曲性能的焊接工艺因素。

补加因素是指影响焊接接头冲击韧性的焊接工艺因素，当规定进行冲击试验时，需增加补加因素。

次要因素是指对要求测定的力学性能无明显影响的焊接工艺因素。

4.1.7 改变焊接方法，需重做焊接工艺评定。

4.1.8 当同一条焊缝使用两种或两种以上焊接方法或重要因素、补加因素不同的焊接工艺时，可按每种焊接方法或焊接工艺分别进行评定；亦可使用两种或两种以上焊接方法或焊接工艺进行组合评定。

组合评定合格后可以采用其中一种或几种焊接方法或焊接工艺，但应保持每种焊接方法或焊接工艺所评定的焊件厚度和熔敷金属的厚度都在已评定的各自有效范围内。

4.1.9 不锈钢复合钢板焊接工艺评定试件采用不锈钢复合钢板制备。不锈钢复合钢板的焊接工艺评定应遵照附录 B 有关规定。

4.1.10 为减少焊接工艺评定数量，根据母材的化学成分，力学性能和焊接性能进行分类、分组，可按表 4.1.10 规定。

表 4.1.10 母材分类

钢种	类别	组别	钢号	相应标准号
碳素钢	I	1	Q235	GB/T 700
			20R	GB 6654
低合金钢	II	1	Q345(16Mn、16Mnq)	GB/T 1591
			16MnR	GB 6654
		2	Q390	GB/T 1591
			(15MnV、15MnTi)	GB/T 1591
不锈钢	III	1	0Cr18Ni9	GB/T4237
			1Cr18Ni9	
			0Cr18Ni9Ti	
			1Cr18Ni9Ti	
		2	0Cr13Ni5Mo	
			00Cr22Ni5Mo3N	

4.1.11 国外钢材首次使用时应对每个钢号进行焊接工艺评定。当已掌握该钢号焊接性能，其化学成分、力学性能与表 4.1.10 中某钢号相当，且某钢号已进行焊接工艺评定时，该进口钢材可免做焊接工艺评定。

4.1.12 符合下列情况之一者，可不再重作焊接工艺评定：

1 凡过去已评定合格的焊接工艺，经批准“评定”报告的单位验证后，可不再重作“评定”。

2 按表 4.1.10 对钢材分类，类别 II 的高组别钢材的“评定”可代替低组别钢材评定。

3 同组别钢材的“评定”可互相替代。

4.1.13 不同类别钢材组成的焊接接头，即使两者都已分别进行过工艺评定，仍应重新评定。但类别为 II 与 I 组成的焊接接头，母材为 II 的焊接工艺评定合格后，可不再重做焊接工艺评定。

4.1.14 评定合格的对接焊缝试件的焊接工艺适用于焊件的母材厚度和焊缝金属厚度的有效范围应符合表 4.1.14 规定。

表 4.1.14 焊接工艺适用于焊件的母材厚度和焊缝金属厚度的有效范围

适用范围 母材强度等级	试件母材厚度 δ 及试件焊缝 金属厚度 t^a	适用于焊件母材 厚度范围		适用于焊件焊缝 金属厚度范围	
		最小值	最大值	最小值	最大值
标准抗拉强度 下限值大于 540MPa	$1.5 \leq \delta(t) \leq 8$	1.5	$2t$, 且不大于 12	不限	$2t$, 且不大于 12
	$\delta(t) \geq 8$	0.75δ	1.5δ	不限	$1.5t$
标准抗拉强度 下限值小于 540MPa	$1.5 < \delta(t) < 10$	1.5	2δ	不限	$2t$
	$10 < \delta < 38$	5	2δ	不限	$2t$
	$\delta \geq 38$	5	200^b	不限	$2t(t < 20)$
	$\delta \geq 38$	5	200^b	不限	$200^b(t \geq 20)$
<p>a: t 指一种焊接方法(或焊接工艺)在试件上所熔敷的焊缝金属厚度。</p> <p>b: 限于焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊的多道焊。</p>					

4.1.15 对接焊缝试件或角焊缝试件评定合格的工艺用于焊接角焊缝时, 焊接厚度的有效范围不限。

4.1.16 已进行过焊接工艺评定, 但改变下列重要因素之一者, 应重新进行评定:

- 1 改变焊条牌号中前两位数字, 焊丝牌号, 焊剂牌号;
- 2 预热温度比评定合格值降低 50°C 以上;
- 3 改变保护气体种类、混合保护气体比例、取消保护气体以及从单一的保护气体改用混合保护气体;
- 4 改变熔化极气体保护焊过渡模式从喷射弧、熔滴弧或脉冲弧为短路弧或反之。

4.1.17 如与已做的焊接工艺评定的重要因素相同, 只是增加或改变下述任何一个补加因素时, 可按增加或改变的补加因素, 增焊冲击韧性试件进行试验:

- 1 用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条;
- 2 用具有较低冲击吸收功的药芯焊丝代替具有较高吸收功的药芯焊丝;
- 3 改变电流种类或极性;
- 4 从评定合格的焊接位置改为向上立焊;

- 5 最高层间温度比评定记录值高 50℃ 以上；
- 6 增加线能量或单位长度焊道的熔敷金属体积已超出评定合格的范围；
- 7 埋弧焊、熔化极气体保护焊由每面多道焊改为每面单道焊；
- 8 埋弧焊或熔化极气体保护焊由单丝焊改为多丝焊或反之。

4.1.18 如与已做的焊接工艺评定中的重要因素和补加因素都相同，仅改变下述次要因素时，只需修改焊接工艺指导书，不必重新进行焊接工艺评定：

- 1 坡口形式；
- 2 坡口根部间隙；
- 3 取消单面焊时的钢衬板；
- 4 增加或取消非金属或非熔化的金属焊接衬垫；
- 5 焊条及焊丝直径；
- 6 除向上立焊外的所有焊接位置；
- 7 需做清根处理的根部焊道向上立焊或向下立焊；
- 8 施焊结束后至焊后热处理前，改变后热温度范围和保温时间；
- 9 电流值或电压值；
- 10 摆动焊或不摆动焊；
- 11 焊前清理和层间清理方法；
- 12 清根方法；
- 13 焊丝摆动幅度、频率和两端停留时间；
- 14 导电嘴至工件的距离；
- 15 手工操作、半自动操作或自动操作；
- 16 有无锤击焊缝。

4.1.19 板材对接焊缝试件力学性能评定项目和试样数量详见表 4.1.19。试板的制备、试样尺寸、试验方法和合格标准见附录 C 所示。

表 4.1.19 板材对接焊缝试件力学性能评定项目和试样数量表

接头型式	试件厚(δ) mm	拉伸与弯曲试验				冲击试验	
		拉伸	面弯	背弯	侧弯	焊缝区	热影响区
对接	$\delta < 20$	2	2	2		3	3
	$\delta \geq 20$	2			4	3	3

接头型式	试件厚(δ) mm	拉伸与弯曲试验				冲击试验	
		拉伸	面弯	背弯	侧弯	焊缝区	热影响区
<p>注 1: 当试件焊缝两侧的母材之间或焊缝金属和母材之间的弯曲性能有明显差别时, 宜改用纵向弯曲试验代替横向弯曲试验, 纵向弯曲只取面弯及背弯试样各 2 个。</p> <p>注 2: 当母材厚度大于 20mm 时, 可用 4 个侧弯试样代替 2 个面弯, 2 个背弯试样。</p> <p>注 3: 要求做冲击韧性试验时, 试样数量为热影响区和焊缝上各取 3 个, 异种钢接头每侧热影响区分别取 3 个, 焊缝取 3 个。采用组合焊接方法(工艺)时冲击试样中应包括每种方法(工艺)的焊缝金属和热影响区。</p>							

4.1.20 板材组合焊缝及角焊缝的试件详见附录 C。试件应作焊缝外观检查, 并按 JB4730 中有关渗透探伤的规定进行表面缺陷检查。然后将试件切成 5 段, 进行横断面宏观金相检查。

4.1.21 焊接工艺评定后, 由焊接责任工程师填写焊接工艺评定报告作出综合结论, 评定合格的焊接工艺文件才能用于生产, “焊接工艺评定报告”格式参见附录 D。

4.2 焊工资格

4.2.1 从事闸门一、二类焊缝焊接的焊工必须按 SL35、DL/T 679 或《锅炉压力容器管道焊工考试与管理规则》考试合格, 具有经水利、电力主管部门或国家有关部门签发的焊工考试合格证。

4.2.2 焊工焊接的钢材种类、焊接方法和焊接位置等均应与焊工本人考试合格的项目相符。

4.3 焊接的基本规定

4.3.1 焊缝按其质量特性重要度分为三类。

一类焊缝:

1 组成闸门主梁、边梁、臂柱的腹板及翼缘板的对接焊缝;

2 闸门及拦污栅吊耳板、吊杆的对接焊缝;

3 闸门主梁腹板与边梁腹板和翼缘板连接的组合焊缝或角焊缝; 主梁翼缘板与边梁翼缘板连接的对接焊缝;

4 转向吊杆的组合焊缝及角焊缝;

5 人字闸门端柱隔板与主梁腹板及端板的组合焊缝。

二类焊缝：

- 1 闸门面板的对接焊缝；
- 2 拦污栅主梁、边梁的腹板、翼缘板对接焊缝；
- 3 闸门主梁、边梁、臂柱的翼缘板与腹板的组合焊缝及角焊缝；
- 4 闸门吊耳板与门叶的组合焊缝或角焊缝；
- 5 主梁、边梁与门叶面板的组合焊缝或角焊缝；
- 6 臂柱与连接板的组合焊缝或角焊缝。

三类焊缝：

不属于一、二类焊缝的其他焊缝都为三类焊缝（设计有特殊要求者例外）。

4.3.2 焊接闸门和埋件各类焊缝所选用焊条、焊丝、焊剂应与所施焊的钢种相匹配，选用时可参照表 4.3.2 规定。

4.3.3 异种结构钢焊接时，焊接材料按强度低的钢材选用或按图纸规定；焊接工艺按强度高的钢材选用。

4.3.4 在下列环境条件下，焊接处应有可靠的防护屏障和保温措施，否则应禁止施焊：

- 1 风速：气体保护焊大于 2m/s，其他焊接方法大于 8m/s；
- 2 相对湿度大于 90%；
- 3 雨雪环境；
- 4 环境温度：碳素结构钢 -20°C ；低合金结构钢 -10°C ；中高合金结构钢 0°C 。

4.3.5 闸门和埋件组装完毕，经验查合格后，方可施焊。施焊前，应将坡口及其两侧 10mm~20mm 范围内的铁锈、熔渣、油垢、水迹等清理干净。

4.3.6 焊接材料应按下列要求保管和烘焙：

- 1 焊条、焊丝、焊剂应放置于通风、干燥的专设库房内，其温度保持在 5°C 以上，相对湿度不大于 60%；
- 2 制造厂或施工现场宜建立现场焊条库，焊条由专人保管、烘焙和发放，并及时做好烘焙实测温度和焊条发放及回收记录，烘焙温度和时间应严格按焊条说明书规定进行；
- 3 烘焙后的焊条应保存在 $100^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱内，药皮应无脱落和明显的

裂纹；

4 施焊时，待用的电焊条应放在具有电源的保温筒中，随焊随取，并随手盖好筒盖；焊条在保温筒内的时间不宜超过 4h，否则应重新烘焙，重复烘焙次数不宜超过两次；

表 4.3.2 焊条、焊丝、焊剂的选用

钢种	钢号	手工焊		埋弧焊			气体保护焊		
		牌号 示例	符合国 际型号	焊丝钢号	焊剂		焊丝钢号	保护气 体种类	药芯焊 丝钢号
		焊条			牌号 示例	符合国 际型号			
碳素钢	Q235	J422y J426x J427	E4303 E4316 E4315	H08A	HJ431	HJ401	H08Mn2SiA	CO ₂	EP13— 4342
低合金钢	Q345 (16Mn) (16Mnq)	J506	E5016	H08MnA	HJ431	HJ401	H08Mn2SiA	CO ₂	EF13— 5042 EF14— 5042
		J507	E5015	H10MnSi	HJ431	HJ401			
		J507H	E5015	H10Mn2	HJ350	HJ402			
	Q390 (15MnV) (15MnTi)	J506	E5016	H08MnA	HJ431	HJ401	H08Mn2SiA	SO ₂	
		J507H	E5015	H10MnSi	HJ431	HJ401			
J556	E5516-G	H10Mn2	HJ350	HJ402					
J557	E5515-G								
不锈钢	0Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni9Ti	A132 A137	EO-19-10Nb ₆ -16 EO-19-10Nb ₆ -15	HOcr21Ni10Ti	HJ260	H308H F410H	H0Cr20Ni ₁₀ Ti H0Cr19NiTi	Ar Ar	E308T11 E308T12 E308T13

5 埋弧焊焊剂中如有杂物混入，应对焊剂进行清理，或全部更换，使用前将焊剂放在不低于 260℃ 的烘箱中干燥 1h；

6 焊丝在使用前应清除铁锈和油污；

7 各种气体保护焊的保护气体和混合气体，其露点温度不高于 -40℃。

4.3.7 定位焊应符合下列规定：

1 定位焊工艺和对焊工的要求与正式焊缝相同；

2 对规定预热的焊缝，定位焊时应在焊缝中心两侧 150mm 范围内进行预热，预热温度较规定预热温度高出 20℃~30℃；

3 定位焊起始位置应距焊缝端部 30mm 以上，定位焊长度应在 50mm 以上，间距为 100mm~400mm，厚度不宜超过正式焊缝厚度的二分之一，且最厚不超过 8mm，定位焊的引弧和熄弧点应在坡口内，严禁在母材其他部位引弧（正式焊缝

焊接也严禁在母材其他部位引弧)；

4 定位焊缝上的裂纹、气孔、夹渣等缺陷均应清除。

4.3.8 工卡具定位板及其他临时构件的焊接和拆除应符合下列规定：

1 对需要预热焊接的焊缝，焊接工卡具等构件时应按第 4.3.7 条中第 2 款的规定进行预热；

2 工卡具等构件焊接时，引弧和熄弧点均应在工卡具等构件上；

3 工卡具等构件拆除时，严禁用锤击法，应用氧-乙炔火焰或碳弧气刨在离工件母材表面 3mm 左右处切除，并不得损伤工件母材。切除后再用砂轮磨平，并认真检查有无微裂纹。

4.3.9 为防止产生裂纹，闸门的一、二类焊缝预热温度可由斜 Y 型坡口焊接裂纹试验确定或按有关规定进行，常用钢号推荐的预热温度见表 4.3.9。焊接时的层间温度不应低于预热温度，且不高于 200℃。

表 4.3.9 一、二类焊缝预热温度

℃

板厚 mm	Q235 20R	Q345 16MnR(16Mn,16Mnq)	Q390 (15MnV,15MnTi)	不锈钢及 复合不锈钢
25~30	—	—	40~80	—
30~38	—	80~100	80~100	60~80
38~50	80~120	100~120	100~150	100~200

注 1:对不需预热的焊缝,当母材温度低于 0℃时也应预热到 20℃方能焊接;
注 2:异种钢焊接,其预热温度按强度较高的钢材确定。

4.3.10 预热时需配置带温控的加热设备对母材均匀加热，预热区的宽度应为焊缝中心线两侧各 3 倍板厚，且不少于 100mm，其温度测量宜用表面测温计，在距焊缝中心线两侧各 50mm 处对称测量，每条焊缝测量点不应少于 3 对。

4.3.11 厚度大于 36mm 的低合金钢，宜采取后热消氢处理。后热应在焊后立即进行，后热温度为 250℃~350℃，保温时间不少于 1h。焊后立即进行消除应力热处理者可不作后热消氢处理。

4.3.12 为减少焊接变形和焊接应力，根据结构的特点和坡口形式，选择合理的焊接顺序及采用跳焊、分段退步焊和多层多道焊或采取预留反变形等措施。对封闭焊缝或刚性较大的工件，焊接中间焊层时可配合锤击消除应力。

4.3.13 要求焊透的焊缝双面焊接时，单面焊接后应用碳弧气刨或砂轮进行背缝清根，并将清根侧的定位焊全部清除。如用碳弧气刨清根，清根后应用砂轮修整，并认真检查有无缺陷。对需预热焊接的焊缝，清根前应预热。

4.3.14 焊件组装后局部间隙超过 8mm，但长度不大于该焊缝长度的 15%，允许在坡口两侧或一侧按焊缝同样工艺作堆焊处理，但应符合下列规定：

- 1 严禁在间隙内填入金属材料；
- 2 堆焊时逐层表面探伤，堆焊后用砂轮修磨到原坡口尺寸；
- 3 根据堆焊长度和间隙大小，对堆焊部位的焊缝应增加无损探伤。

4.3.15 在焊缝两端设置引弧板和熄弧板时，引弧板和熄弧板的焊接和拆除应符合第 4.3.8 条规定。

4.3.16 焊接完毕，焊工应进行自检。一、二类焊缝自检合格后，应在焊缝附近用钢印打上焊工代号（高强度用记号笔），做好记录。

4.4 焊缝检验

4.4.1 所有焊缝均应进行外观检查，外观质量应符合表 4.4.1 规定。

表 4.4.1 焊缝外观质量

mm

序号	项 目	焊缝类别		
		一	二	三
		允许缺陷尺寸		
1	裂纹	不允许		
2	表面夹渣	不允许		深 $\leq 0.1\delta$,长 0.30δ , 且 < 15
3	咬边	深度 $\leq 0.5\text{mm}$;连续咬边长度 \leq 焊缝总长的 10%,且 ≤ 100 ;两侧咬边累计长度 \leq 该焊缝总长的 15%;角焊缝 $\leq 20\%$		≤ 1
4	表面气孔	不允许	直径 $\leq 1.0\text{mm}$ 的气孔在每米范围内允许 3 个,间距 ≥ 20	直径 $\leq 1.5\text{mm}$ 的气孔在每米范围内允许 5 个,间距 ≥ 20

序号	项 目		焊缝类别		
			一	二	三
			允许缺陷尺寸		
5	焊缝 余高 Δh	手工焊	$\delta \leq 12$ $\Delta h = 0 \sim 1.5$ $12 < \delta \leq 25$ $\Delta h = 0 \sim 2.5$ $25 < \delta \leq 50$ $\Delta h = 0 \sim 3$ $\delta > 50$ $\Delta h = 0 \sim 4$		0~2 0~3 0~4 0~5
		埋弧焊	0~4	0~5	
6	对接接头 焊缝宽度	手工焊	盖过每边坡口宽度 2~4, 且平缓过渡		
		埋弧焊	盖过每边坡口宽度 2~7, 且平缓过渡		
7	角焊缝厚度不足 (按设计焊缝厚度计)	不允许	$\leq 0.3 + 0.05\delta$, 且 ≤ 1 , 每 100 焊缝长度内缺陷总长度 ≤ 25	$0.3 + 0.05\delta$, 且 ≤ 2 , 每 100 焊缝长度内缺陷总长度 ≤ 25	
8	角焊缝 焊脚 K	手工焊	$K < 12 \pm \frac{1}{4}$	$K > 12 \pm \frac{1}{4}$	
		埋弧焊	$K < 12 \pm \frac{1}{4}$	$K > 12 \pm \frac{1}{4}$	

4.4.2 无损检测人员必须持有我国水利、电力行业及无损检测协会无损检测人员资格鉴定工作委员会签发的, 并与其工作相适应的资格证书。评定焊缝质量应由 II 级或 II 级以上的检测人员担任。

4.4.3 焊缝内部缺陷探伤可在射线或超声波探伤中任选一种。表面裂纹检查可选用渗透或磁粉探伤。

4.4.4 焊缝无损探伤长度占全长的百分比不少于表 4.4.4 规定, 但如图样、设计文件另有规定, 则按图样、设计文件规定执行。

表 4.4.4 无损探伤长度占全长百分数

钢种	板厚 mm	射线探伤 %		超声波探伤 %	
		一类	二类	一类	二类
碳素钢	< 38	15	10	50	30
	≥ 38	20	10	100	50

钢种	板厚 mm	射线探伤 %		超声波探伤 %	
		一类	二类	一类	二类
低合金钢	<32	20	10	50	30
	≥32	25	10	100	50

注:局部探伤部位应包括全部丁字缝及每个焊工所焊焊缝的一部分。

4.4.5 焊缝局部无损探伤如发现有不允许缺陷时,应在其延伸方向或可疑部位作补充检查;如补充检查不合格,则应对该条焊缝进行全部检查。

4.4.6 射线探伤按 GB/T 3323 标准评定,检验等级为 AB 级,一类焊缝不低于 II 级合格,二类焊缝不低于 III 级合格。超声波探伤按 GB/T 11345 标准评定,检验等级可选作 B 级,一类焊缝 I 级为合格,二类焊缝 II 级为合格。

4.4.7 对有延迟裂纹倾向的钢材无损探伤应在焊接完成 24h 以后进行。

4.4.8 单面焊且无垫板的对接焊缝,根部未焊透深度不应大于板厚的 10%,最大不超过 2mm,但长度不大于该焊缝长度的 15%。

4.4.9 板材的组合焊缝,如设计无特殊焊透要求,腹板与翼缘板的未焊透深度不应大于板厚的 25%,最大不超过 4mm。

4.4.10 由大厚度板材组成的一、二类角型焊缝或组合焊缝,应增加焊缝表面检测。

4.5 焊缝返修与处理

4.5.1 焊缝发现有不允许的缺陷时,应进行分析,并找出原因,制订返修工艺后方可返修处理。

4.5.2 焊缝缺陷应根据钢材种类选用碳弧气刨或砂轮进行清理,并用砂轮修磨成便于焊接的坡口。返修前要认真检查,如缺陷为裂纹,则应用磁粉或渗透探伤,确认裂纹已经消除,方可返修。

4.5.3 当返修的焊缝需要预热、后热,则返修前应按第 4.3.7 条中的第 2 款规定预热,返修后按第 4.3.11 条规定进行后热处理。

4.5.4 焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次。超过两次以上返修时,应查明原因,制定可靠的返修工艺措施,并经单位技术负责人批准,方可返修处理。返修后的焊缝,应进行探伤检查。

4.5.5 在母材上严禁有电弧擦伤，如有擦伤应用砂轮将擦伤处作打磨处理，并检查有无微裂纹。

4.6 焊后消除应力热处理

4.6.1 闸门及预埋件是否进行焊后消除应力热处理和采用热处理方法应根据母材的化学成分、焊接性能、厚度及焊接接头的约束程度、使用条件按设计图样或技术条件规定执行。

4.6.2 焊件宜作整体消除应力热处理，由于条件限制，允许分段或局部热处理，但局部热处理的加热宽度，在焊缝中心两侧应不小于3倍的板厚。

4.6.3 消除应力热处理的温度应按图样规定或经焊接工艺评定确定，碳素钢与低合金钢的加热温度不宜超过 $580^{\circ}\text{C}\sim 620^{\circ}\text{C}$ 。

4.6.4 焊件在炉内整体热处理的加热速度、恒温时间及冷却速度应符合下列要求：

1 焊件入炉时，炉内温度应低于 300°C ；

2 加热速度：升温至 300°C ，加热速度不应超过 $220 \times \frac{25}{\delta_{\max}}^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，且小于或等于 $220^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，式中 δ_{\max} 为最大板厚（mm）；

3 恒温时间：保温时间可按每毫米 $2\text{min}\sim 2.5\text{min}$ ，且不小于 30min ，保温时各部温差不得超过 50°C ；

4 冷却速度：恒温后的冷却速度不应超过 $260 \times \frac{25}{\delta_{\max}}^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，且小于或等于 $260^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，式中 δ_{\max} 为最大板厚（mm）；

5 炉温降至 300°C 以下焊件才能出炉空冷。

4.6.5 整体或局部热处理后，应提供热处理曲线及消除应力的效果及硬度测定记录。

5 螺栓连接

5.1 螺孔制备

5.1.1 普通螺栓或高强度螺栓的孔径比螺栓公称直径大 $1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ ，螺孔应配钻，或用钻模钻孔，螺栓孔应具有GB/T 1800.2中IT14级精度要求。

5.1.2 为防止构件钻孔时出现位移，应选最远孔距先扩钻全部孔数10%的销钉孔（且不少于2个），并打入销钉。销钉直径与孔径应符合GB/T 1801中H7/k6的配合要求。

5.1.3 构件配钻后，螺栓与螺栓孔的允许偏差应符合表 5.1.3 的规定。

表 5.1.3 螺栓与螺栓孔的允许偏差

mm

序号	名称		公称直径及允许偏差						
			12	16	20	(22)	24	(27)	30
1	螺栓	公称直径	12	16	20	(22)	24	(27)	30
		允许偏差	+0.43		±0.52			±0.84	
2	螺栓孔	直径	13.5	17.5	21	(24)	26	(30)	33
		允许偏差	+0.43 0		+0.52 0			+0.84 0	
3	不圆度(最大和最小直径之差)		1.0		1.50				
4	中心线倾斜度		应不大于板厚的 3%，且单层板不得大于 2.0，多层板叠组合不得大于 3.0						

5.1.4 使用高强度螺栓连接的构件表面，为使抗滑移系数值保持规定值，在表面除锈后，宜热喷涂锌、铝、铝合金和涂刷无机富锌漆。无机富锌漆配方可参照附录 E。

5.1.5 闸门使用高强度螺栓的连接面，安装前应按设计要求复验制造厂所附试件的抗滑移系数，检测合格后方可安装施工，试件应与闸门连接板同时制作。连接摩擦面的抗滑移系数检测方法参见附录 F.1。

5.2 螺栓制备

5.2.1 普通螺栓与高强度螺栓，根据连接件工作特性、布置条件，按不同强度等级选用，并应符合表 5.2.1 规定，其螺母垫圈按相应的强度级别组合选用。

表 5.2.1 螺栓的选用

螺栓的强度级别			螺 母			螺栓与螺母按强度级别组合	
级别	MPa	推荐材料牌号	级别	MPa	推荐材料牌号	螺母	螺栓
4.6	400	15、Q235	4	400	10、Q215	4	4.6、4.8
4.8		10、Q215	4				

螺栓的强度级别			螺 母			螺栓与螺母 按强度级别组合	
5.6	500	25、35	5	500	10、Q215	5	5.6、5.8
5.8		15、Q235	5				
6.8	600	35、Q345	6	600	15、Q235	6	6.8
* 8.8	800	35、45、40B	8	800	35	8H	8.8S
* 10.9	1000	20MnTiB、35VB	10	1000	35、45、15MnVB	10H	10.9S

注 1:表中性能级别中小数点前的数字为 $\delta_{bmin}/100$, 小数点后的数字为屈强比 $\delta_{Smin}/\delta_{bmin}$ 的 10 倍。
 注 2:“*”为高强度螺栓。
 注 3:高强度螺栓配套的垫圈 HRC35~45, 推荐材料 45 号或 35 号钢。

5.2.2 普通螺栓材料性能应符合 GB/T 700 或 GB/T 699 的规定。螺栓、螺母和垫圈都应该妥善保管, 防止锈蚀和丝扣损伤。

5.2.3 高强度大六角螺栓应符合 GB/T 1231。高强度连接副应注明规格, 分箱保管, 使用前严禁任意開箱。

5.2.4 高强度大六角头螺栓连接副在施工前按出厂批号复验扭矩系数, 其平均值应达到设计规定值后才能使用。不同性能等级的高强度螺栓规定的施工预紧力、施工扭矩及检查扭矩的计算公式可参照附录 F.2。

5.3 螺栓紧固

5.3.1 钢结构连接用的普通螺栓的最终合适紧度宜为螺栓拧断力矩的 50%~60%, 并应使所有螺栓拧紧力矩保持均匀。

5.3.2 高强度螺栓拧紧, 分为初拧和终拧。初拧扭矩为规定力矩值的 50%, 终拧到规定力矩。拧紧螺栓应从中部开始对称向两端进行。

5.3.3 测力扳手在使用前, 应检查其力矩值, 并在使用过程中定期复验。

5.3.4 经检验合格的高强度连接副, 应按设计要求涂漆防锈, 并在连接处缝隙及时用腻子封闭。

6 表面防腐蚀

6.1 表面预处理

6.1.1 预处理前,应将闸门表面整修完毕,并将金属表面铁锈、氧化皮、油污、焊渣、积水等附着物清除干净。

6.1.2 表面预处理应采用喷射或抛射除锈,所用磨料表面应清洁干净。喷射用的压缩空气应经过滤,除去油、水。

6.1.3 闸门表面除锈等级应符合 GB/T 8923 中规定的 Sa2.5 级,使用照片目视对照评定。GB/T 8923 标准中的各除锈蚀等级要求见附录 G。除锈后,表面粗糙度数值对常规防腐涂料应为 $Ry40\mu m \sim Ry70\mu m$;对厚浆型重防腐涂料及金属热喷涂为 $Ry60\mu m \sim Ry100\mu m$ 。用表面粗糙度专用检测量具或比较样块进行检测。

6.1.4 闸门埋件的表面,其埋入混凝土一侧除锈等级制造厂内可按 GB/T 8923 中规定的 Sa1 级,除锈后涂刷结合力强的改性水泥胶浆,在安装前除去表面氧化皮后埋入混凝土内。其露出混凝土的表面仍按 Sa2.5 级除锈等级进行。

6.2 表面涂装

6.2.1 除锈后,钢材表面应尽快涂装底漆,在潮湿天气应在 4h 内涂装完毕;如在晴天和较好的天气条件下,最长也不应超过 12h。

6.2.2 涂装的涂料应符合设计图纸规定,涂装层数、每层厚度、逐层涂装间隔时间、涂料配制方法和涂装注意事项,应按设计文件或涂料生产厂家的说明书规定执行。

6.2.3 闸门拼装后如不立即焊接,应在待焊接头坡口两侧各 50mm 范围内,涂装焊接时不会对焊缝质量产生不良影响的车间底漆,以免坡口生锈。焊接后,对焊缝区进行二次除锈,用人工涂刷或小型高压喷漆机喷涂料,达到规定厚度。

6.2.4 闸门出厂前应涂底漆及面漆。最后一道面漆宜在安装后完成,至于安装焊缝两侧 100mm~200mm 范围内,也应留待安装后涂装。如采用金属热喷涂复合保护系统,除金属涂层及封闭涂料由工厂完成外,其最后一道面漆宜在安装后完成。

6.2.5 在下述施工条件下不得进行涂装:

- 1 空气相对湿度超过 85%;
- 2 施工现场环境温度低于 10℃;
- 3 钢材表面温度低于大气露点 3℃ 以上。大气露点计算表见附录 H。

6.3 涂料涂层质量检查

6.3.1 每层漆膜涂装前应先对上一层涂层外观进行检查。涂装时如有漏涂、流挂、皱皮等缺陷应进行处理,可用湿膜测厚仪测定涂层厚度。

6.3.2 涂装后应对涂层进行外观检查，表面应均匀一致，无流挂、皱纹、鼓泡、针孔、裂纹等缺陷。

6.3.3 涂层质量应符合下述规定：

1 漆膜厚度用测厚仪测定，测点距离为 1.0m 左右，85% 以上测点厚度应符合设计要求。漆膜最小厚度值不低于设计厚度的 85%。

2 如使用厚浆型涂料应用针孔检测仪，按设计规定电压值检测漆膜针孔，检测可在闸门主梁与纵隔板围成的各区域中根据闸门重要程度抽查其中的 10%~20%。在一个区域中应取不少于 5 个检测点，每处测试的检查探测距离保持 300mm 左右。在检测区域中，如只有 20% 以下发现针孔，该区域全部合格。所发现的针孔，需用砂纸或砂轮机打磨补涂。

3 漆膜附着力检查：

1) 当漆膜厚度大于 $120\mu\text{m}$ 时，在涂层上划两条夹角为 60° 的切割线，应划透涂层至金属表面，用布胶带粘牢划口部分，然后沿垂直方向快速撕起胶带，涂层应无剥落为合格；

2) 当漆膜厚度小于 $120\mu\text{m}$ 时，可用专用割刀在涂层表面以等距离（1mm~2mm）划出相互垂直的两组平行线，构成一组方格，根据 GB/T 9286 按表 6.3.3 规定检查漆膜附着力等级，其前三级均为合格漆膜。

表 6.3.3 漆膜的检查

级别	检 查 结 果
0	切割的边缘完全是平滑的，没有一个方格脱落
1	在切割交叉处涂层有少许薄片分离，划格区受影响明显地不大于 5%
2	涂层沿切割边缘或切口交叉处脱落明显大于 5%，但受影响明显不大于 15%
3	涂层沿切割边缘，部分和全部以大碎片脱落或它在格子的不同部位上部分和全部剥落，明显大于 15%，但划格区受影响明显不大于 35%
4	涂层沿切割边缘大碎片剥落或者一些方格部分或全部出现脱落，明显大于 35%，但划格区受影响明显不大于 65%
5	甚至按第 4 类也识别不出其剥落程度

6.4 金属喷涂

6.4.1 金属喷涂用的金属丝应符合下列要求：

锌丝的含锌量应大于 99.99%；

铝丝的含铝量应大于 99.5%；

锌铝合金的含铝量应为 13%~35%，其余为锌；

铝镁合金的含镁量应为 4.8%~5.5%，其余为铝；

金属丝应光洁、无锈、无油、无拆痕，且直径为 $\phi 2.0\text{mm} \sim \phi 3.0\text{mm}$ 。

6.4.2 金属涂层的厚度根据工作环境及闸门结构按设计图样要求执行；也可根据不同喷涂材料按下述厚度施工：

1 喷铝层、锌铝、稀土铝混合金属宜取 $100\mu\text{m} \sim 120\mu\text{m}$ ；

2 喷锌层宜取 $120\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ ；

3 喷铝镁混合金属层宜取 $100\mu\text{m} \sim 120\mu\text{m}$ 。

6.4.3 除锈后，钢材表面应尽快喷涂，一般应在 2h 内喷涂，如在晴天和较好的大气条件下最长也不应超过 8h。

6.4.4 金属表面喷涂的施工条件必须满足第 6.2.5 条规定。

6.4.5 喷涂应力求均匀，喷束应互相垂直交叉覆盖。

6.4.6 涂层经检查合格后，根据使用要求按设计图样规定的涂料进行封闭，涂装前将涂层表面灰尘清理干净，涂装宜在涂层尚有余温时进行。

6.5 金属涂层质量检查

6.5.1 涂层表面应有均匀的外观，不能有夹杂物、起皮、孔洞、凹凸不平、粗颗粒、掉块及裂纹等缺陷，遇有少量夹杂，可用小刀剔刮；如缺陷面积较大应铲除重喷。

6.5.2 金属喷涂层的厚度测量，采用磁性测厚仪测定磁性基体上无磁性涂层厚度的方法见附录 I。

6.5.3 金属涂层的结合性能检测采用切格试验法进行。试验结果在方格形式切样内不能出现金属与基底剥离的现象。检测方法参见附录 I。

7 闸门和埋件制造

7.1 零件和单个构件制造

7.1.1 制订零件和单个构件的制造工艺时，应充分考虑到焊接收缩量、机械加工部位的切削余量。

7.1.2 用钢板或型钢下料而成的零件，其未注公差尺寸的极限偏差应符合表 7.1.2 规定。

表 7.1.2 零件的极限偏差

mm

基本尺寸	极限偏差	
	切割	刨(铣)边缘
≤ 1000	± 2.0	± 0.5
$> 1000 \sim 2000$	± 2.5	± 1.0
$> 2000 \sim 3150$	± 2.5	± 1.5
> 3150	± 3.0	± 2.0

7.1.3 切割钢板或型钢，其切断口表面形位公差及表面粗糙度要求：

1 钢板或型钢切断面为待焊接边缘时，切断面应无对焊接接头质量有不利影响的缺陷；断面粗糙度 $Ra \leq 50\mu m$ ；长度方向的直线度公差应不大于边棱长度的 0.5/1000，且不大于 1.5mm；厚度方向的垂直度公差：当板厚 $\delta \leq 24mm$ 时，不大于 0.5mm； $\delta > 24mm$ 时，不大于 1.0mm。若局部存在少量较深的割痕时，允许采用电焊方法进行焊补，但焊补必须严格遵守本标准有关焊接的规定，焊补后应磨平。

2 钢板或型钢切断面为非焊接边缘时，切断面应光滑、整齐、无毛刺；长度方向的直线度公差应不大于表 7.1.2 中尺寸公差的一半；厚度方向的垂直度公差应不大于厚度的 1/10，且不大于 2.0mm。

7.1.4 焊接接头坡口的基本形式和尺寸应符合 GB985 和 GB986 有关规定。

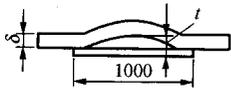
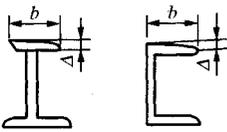
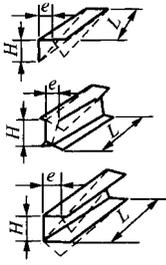
7.1.5 钢板零件的边棱之间平行度和垂直度公差为相应尺寸公差的一半。

7.1.6 零件经矫正后，钢板的平面度、型钢的直线度、角钢肢的垂直度、工字钢和槽钢翼缘的垂直度及其扭曲应符合表 7.1.6 的规定。

表 7.1.6 零件形位公差

mm

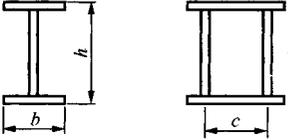
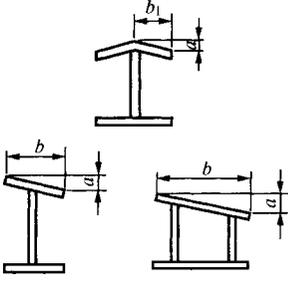
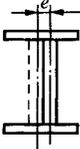
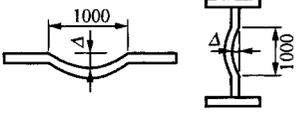
序号	名称	简图	公差
1	钢板、扁钢平面度(t)		在 1m 范围内： $\delta < 4; t < 2.0$ $\delta > 4 \sim 12; t < 1.5$ $\delta > 12; t < 1.0$

序号	名称	简图	公差		
2	角钢、工字钢、槽钢的直线度		长度的 1/1000 但不大于 5.0		
3	角钢肢的垂直度(Δ)		$\Delta \leq b/100$		
4	工字钢、槽钢翼缘的垂直度(Δ)		$\Delta \leq b/30$ 且 $\Delta \leq 2.0$		
5	角钢、工字钢、槽钢扭曲度(e)		型钢长度 L	型钢高度 H	
			≤ 2000	≤ 100	> 100
			> 2000	$e = \frac{0.5}{1000}L$	$e = \frac{0.75}{1000}L$
			$e \leq 2.0$		

7.1.7 单个构件拼装的尺寸公差和形位公差应符合表 7.1.7 中有关规定。构件在焊接之后若发生变形，应予矫正，经矫正好的单个构件的形状公差应符合表 7.1.7 中有关规定。

表 7.1.7 构件拼装公差

mm

序号	名称	简图	公差或极限偏差
1 2 3	构件宽度 b 构件高度 h 腹板间距 c		± 2.0
4	翼缘板对腹板的垂直度 a		$a \leq b_1/150$, 且不大于 2.0
			$d \leq 0.003b$, 且不大于 2.0
5	腹板对翼缘板中心位置的偏移 e		2.0
6	腹板的局部平面度 Δ		每米范围内不大于 2.0
7	扭曲		长度不大于 3m 的构件, 应不大于 1.0; 每增加 1m, 递增 0.5, 且最大不大于 2.0
8	正面(受力面)弯曲度		构件长度的 1/1500, 且不大于 4.0

序号	名称	简图	公差或极限偏差
9	侧面弯曲度		构件长度的 1/1000, 且不大于 6.0

7.1.8 零件和单个构件变形, 可以采用机械方法矫正, 也可以采用局部火焰加热矫正法。若采用局部火焰加热矫正, 应严格控制加热区的温度不超过 650℃ (呈暗红色)。

7.2 铸钢件和锻件

7.2.1 铸钢件和锻件应根据零件的受力情况、重要性程度、工作条件进行分类:

I 类铸钢件和锻件:

用于承受复杂应力和冲击振动及重负载工作条件下的零件。这类零件如果失效或损坏会直接产生严重后果, 发生等级事故, 或危及人身安全, 或导致系统功能失效。

II 类铸钢件和锻件:

用于承受固定的重负载和较小的冲击振动工作条件下的零件。这类零件如果失效或损坏可能直接影响到其他零件、部件的损坏和失效, 影响到某一部分的正常工作, 但不会导致等级事故和危及人身安全, 不导致系统工作的失效。

III 类铸钢件和锻件:

用于承受固定的负载, 但不受冲击和振动工作条件下的零件。这类零件损坏只会引起局部出现故障。

IV 类铸钢件和锻件:

用于承受负载不大、不计算强度、安全系数较大的零件。

V 类铸钢件和锻件:

除以上 4 类之外的铸钢件和锻件。

7.2.2 各类铸钢件的检验项目按表 7.2.2 规定。

表 7.2.2 铸钢件的检验项目

铸件类别	单铸试件			铸钢件					
	化学成分	力学性能 σ_b 、 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 、 δ_5 、 Ψ	硬度	尺寸公差	重量公差	粗糙度	表面质量	无损检测	气密性
I类	√	√	√	√	√	√	√	√	○
II类	√	√	√	√	√	√	√	√	○
III类	√	○	√	○	○		√	○	
IV类	√	—	—	—	—	—	—	—	—
V类	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注 1:“√”表示必须检验的项目;“○”表示仅按设计要求才检验的项目;“—”表示不检验的项目。
注 2:单铸试块应符合 GB11352 中图 1 的要求,批量划分按炉次分。

7.2.3 除本标准另有规定外,一般工程与结构用铸钢的牌号及其铸件的技术条件应符合 GB/T11352 或 GB/T14408 的规定;铸焊结构用铸钢的牌号及其铸件的技术条件应符合 GB/T7659 的规定;承受压力铸钢的牌号及其铸件的技术条件应符合 GB/T16253 的规定;承受冲击负荷下耐磨损高锰钢的牌号及其铸件的技术条件应符合 GB/T5680 的规定。

一般工程用铸造碳钢件和低合金铸钢件的化学成分和力学性能应参见附录 J 的规定。

7.2.4 铸造 I、II 类铸钢件时,其冶炼方法和铸造工艺应符合以下规定:

- 1 铸钢宜采用电弧炉或感应电炉冶炼,必要时应进行炉外精炼,去除液态金属中的气体和夹杂物,以净化金属,改善铸钢质量。
- 2 铸造用材料的选择、型(芯)砂及涂料的配制,应满足铸件长尺寸、大面积及高结构的特征要求。
- 3 制订浇注工艺时,宜进行计算机模拟铸态显示试验,以验证铸造工艺。

7.2.5 除非设计另有规定者外,铸钢件可以用焊接方法进行修补。

焊补前需将缺陷全部清除干净,露出致密金属表面,坡口面应修整圆滑,不得有尖角存在;对于裂纹类缺陷,为防止裂纹扩展,应开止裂孔,并采用磁粉探伤或渗透探伤方法对焊补区进行检验,以证实缺陷被全部清除;对于焊接性能较差或裂纹倾向较大的铸钢件,焊补前应进行预热,焊补过程中预热区的温度应不低于选用

预热温度的下限；焊补后应进行消除应力热处理，必要时在焊补过程中应进行中间热处理。

焊补应严格遵照本标准有关焊接的规定。

当焊补坡口深度超过壁厚的 20% 或 25mm 或坡口面积大于 65cm² 时，被认为是重大焊补。重大焊补应征得上级设计同意并报监理批准；重大焊补必须有焊补技术记录，及时、正确、真实地记录焊补过程的实际情况。

铸钢件在最终性能热处理之后不得再进行焊补。

7.2.6 碳钢和合金钢铸件可采用退火、正火或淬火+回火处理，高锰钢铸件应进行水韧处理。

7.2.7 铸钢件表面粗糙度应采用 GB/T6060.1 规定的样块进行比较检查，按 GB/T15056 规定的方法进行评定，并满足设计图样的规定。

7.2.8 铸钢件的尺寸和机械加工余量的数值、确定方法及检验评定规则应符合 GB/T6414 的规定。

铸件重量公差数值、确定方法及检验规定应符合 GB/T 11351 的规定。

7.2.9 铸钢件的表面质量：

1 铸钢件表面应清理干净，修整飞边与毛刺，去除补贴、粘砂、氧化铁皮及内腔残余物。

2 浇冒口的残根应清理干净、平整。

3 铸钢件表面不应有裂纹、冷隔和缩松等缺陷，加工面上允许存在机械加工余量范围内的表面缺陷。

7.2.10 铸钢件的内部质量：

I、II 类铸钢件应按 GB/T7233 进行内部质量检验和评定，I 类铸钢件的关键部位质量等级应符合 2 级标准，II 类铸钢件的关键部位应符合 3 级标准。

7.2.11 每个铸钢件应在合适的非加工面铸造或打印标志，标志的内容包括制造厂名或代号、熔炼炉号或检验批号。

7.2.12 铸钢件应按批提供质量证明书，内容包括：订货合同号，铸件名称及设计图号，铸钢牌号，熔炼炉号、批号，热处理类型，各项检验结果及标准编号。

7.2.13 锻件用的钢棒、钢锭或钢坯应是镇静钢，其牌号、技术要求、试验方法及检验规则应符合 GB/T699 或 GB/T3077 的要求，其化学成分和力学性能应遵照附录 K 的规定。要求保证淬透性的锻件的牌号、技术要求、试验方法及检验规则应

符合 GB/T5216 的要求。锻件用钢必须具有出厂合格证书，必要时可提出探伤、低温韧性、晶粒度、夹杂物及金相组织等补充试验要求。

7.2.14 各类锻件的检验项目及数量应符合表 7.2.14 的规定。

表 7.2.14 锻件的检验项目

锻件级别	试验项目及检验数量				组批条件
	化学成分	硬度	拉伸 (σ_b 、 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 、 δ_5 、 Ψ)	冲击 (A_k)	
I	每一炉号	100%	100%	100%	逐件检验
II	每一炉号	100%	每批抽 2%， 但不少于 2 件	每批抽 2%， 但不少于 2 件	同钢号、 同热处理炉次
III	每一炉号	100%	—	—	同钢号、 同热处理炉次
IV	每一炉号	每批抽 5%， 但不少于 5 件	—	—	同钢号、 同热处理炉次
V	每一炉号	—	—	—	同一钢号

注 1: 每批锻件应由同一图样锻成, 也可由不同图样锻造但形状和尺寸相近的锻件组批。
注 2: 按百分比计算检验数量后, 不足 1 件的余数应算为 1 件。
注 3: I、II 级锻件的硬度值不作为验收的依据。

锻件的化学成分允许偏差、锻件的力学性能（纵向）、及锻件径向、横向、切向力学性能允许降低的百分比应遵照附录 L 有关规定。

7.2.15 锻造使用的水压机、锻锤等设备应具有足够的能量，以保证锻透；锻造采用钢锭或钢坯，其主截面部分的锻造比不得小于 3（电渣重熔钢不得小于 2），采用钢棒材，锻造比不得小于 1.6；毛坯的加热、始锻和终锻温度及锻件的冷却应按有关工艺规定执行，并作好技术记录。

7.2.16 锻件的机械加工余量与公差应符合 GB/T15826.1~9 规定或 JB/T9179.1~8 的规定。

7.2.17 锻件表面不应有裂纹、缩孔、折叠、夹层及锻伤等缺陷。需机械加工的表面若有缺陷，其深度不应超过单边机械加工余量的 50%。

7.2.18 发现有白点的缺陷应予报废，且与该锻件同一熔炉号、同炉热处理的锻件均应逐个进行检查。

7.2.19 I、II类锻件应按照 GB/T6402 进行内部质量检验和评定，I类锻件关键部位的质量等级应符合 2 级标准，II类锻件关键部位应符合 3 级标准。

7.3 埋件制造

7.3.1 除本标准另有规定外，预埋在各类闸室中的钢结构件，包括底槛、主轨、副轨、反轨、止水座板、门楣、侧轮导板、侧轨、铰座钢梁和具有止水要求的胸墙及钢衬制造公差应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 具有止水要求的埋件公差 mm

序号	项 目	公 差	
		构件表面未经加工	构件表面经过加工
1	工作面直线度	构件长度的 1/1500 且不大于 3.0	构件长度的 1/2000,且不大于 1.0
2	侧面直线度	构件长度的 1/1000 且不大于 4.0	构件长度的 1/2000,且不大于 2.0
3	工作面局部平面度	每米范围内不大于 1.0,且不超过 2 处	每米范围内不大于 0.5,且不超过 2 处
4	扭 曲	长度小于 3.0m 的构件,应不大于 1.0;每增加 1.0m,递增 0.5,且最大不大于 2.0	
注 1:工作面直线度,沿工作面正向对应支承梁腹板中心测量。 注 2:侧向直线度,沿工作面侧向对应焊有隔板或筋板处测量。 注 3:扭曲系指构件两对角线中间交叉点处不吻合值。			

7.3.2 没有止水要求的胸墙和钢衬制造公差应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 没有止水要求的埋件公差 mm

序号	项 目	公 差
1	工作面直线度	构件长度的 1/1500,且不大于 3.0

序号	项 目	公 差
2	侧面直线度	构件长度的 1/1500,且不大于 4.0
3	工作面局部平面度	每米范围内不大于 3.0
4	扭曲	长度小于 3.0m,应不大于 2.0,每增加 1.0m,递增 0.5,且不大于 3.0
注:同表 7.3.1。		

7.3.3 平面链轮闸门主轨承压凹槽及承压板加工应不低于 GB/T1800 标准 IT8 级精度要求,凹槽底面的直线度应符合表 7.3.3 的规定。

当设计要求对主轨承压板进行表面热处理时,热处理工艺不但应满足表面硬度要求,同时应满足硬度分布要求。

承压板装配在主轨上之后,接头的错位应不大于 0.1mm,主轨承压面的直线度公差应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 主轨凹槽底面和承压面公差 mm

主轨长度	公 差	
	主轨凹槽底面	主轨承压面
≤1000	0.15	0.20
>1000~2500	0.20	0.30
>2500~4000	0.25	0.40
>4000~6300	0.30	0.50
>6300~10000	0.40	0.60

7.3.4 高水头弧门(包括采用液控伸缩式和偏心铰压紧式止水的弧门)采用突扩式门槽时,侧轨上止水座基面的曲率半径允许偏差为±2.00mm,其偏差方向应与门叶面板外弧的曲率半径偏差方向一致;一般弧形闸门门槽上侧止水板和侧轮导板的中心曲率半径允许偏差为±3.0mm。

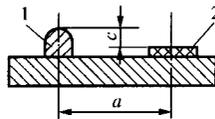
7.3.5 底槛和门楣的长度允许偏差为 $\begin{matrix} +0 \\ -4.0 \end{matrix}$ mm,如底槛不是嵌于其他构件之间,

则允许偏差为 $\pm 4.0\text{mm}$ ；胸墙的宽度允许偏差为 $\begin{matrix} +0 \\ -4.0 \end{matrix}\text{mm}$ ，对角线相对差应不大于 4.0mm 。

7.3.6 焊接主轨的不锈方钢、止水板与主轨面板组装时应压合，局部间隙应不大于 0.5mm ，且每段长度不超过 100mm ，累计长度不超过全长的 15% 。铸钢主轨支承面（踏面）宽度尺寸允许偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。

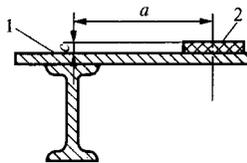
7.3.7 当止水板布置在主轨上时，任一横断面的止水板与主轨轨面的距离 c 的允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，止水板中心至轨面中心的距离 a 的允许偏差为 $+2.0\text{mm}$ ，止水板与主轨轨面的相互关系见图 7.3.7。

7.3.8 当止水板布置在反轨上时，任一横断面的止水板与反轨工作面的距离 c 允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，止水板中心至反轨工作面中心距离 a 允许偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，止水板与反轨工作面的相互关系见图 7.3.8。



1—主轨轨面（承压加工面）；
2—止水板（加工面）

图 7.3.7 止水板与主轨面的相互关系

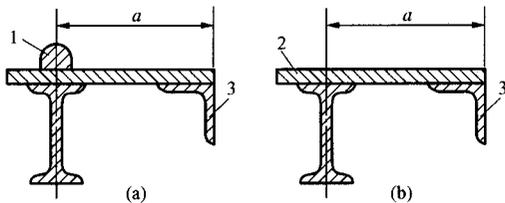


1—反轨工作面（指与反轮接触部位，系非加工面）；2—止水板（加工面）

图 7.3.8 止水板与反轨工作面的相互关系

7.3.9 护角如兼作侧轨，其与主轨轨面（或反轨工作面）中心距离 a 允许偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，其与主轨轨面（或反轨工作面）的垂直度公差应不大于 $\pm 1.0\text{mm}$ （见图 7.3.9）。

7.3.10 支铰的铰链和铰座平面的平面度公差、铰链轴孔和铰座轴孔的同轴度公差



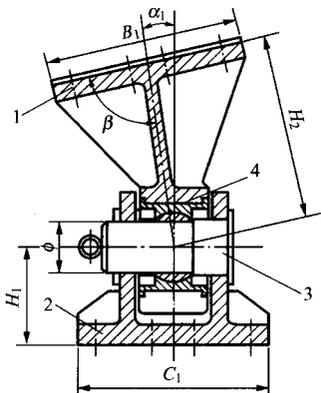
1—主轨轨面；2—反轨；3—护角

图 7.3.9 护角与主轨（反轨）的相互关系

应符合 GB1184 中 B 级精度要求，其表面粗糙度 $Ra \leq 25\mu\text{m}$ ；铰链与支臂的连接螺孔宜采用模板套钻。

斜支臂的铰链平面应与支臂夹角角平分线垂直，支臂夹角角平分线的倾斜角应符合设计图样要求。

采用自润滑关节轴承时，支铰轴和铰链孔的尺寸精度应满足轴承配合的要求。球形支铰如图 7.3.10 所示。



1—铰链；2—铰座；3—轴；4—关节轴承

图 7.3.10 球形支铰

7.3.11 分节制造的埋件，应在制造厂进行预组装，预组装可以立拼，也可以卧拼，但必须符合下列规定：

- 1 各构件之间的装配关系、几何形状应符合设计图样。
- 2 整体几何尺寸及公差应符合本标准第 8 章有关规定。
- 3 转铰式止水装置应转动灵活，无卡阻现象。

4 相邻构件组合件的错位应符合下列规定：

- 1) 链轮门主轨承压面应不大于 0.1mm。
- 2) 其他经过加工的应不大于 0.5mm。
- 3) 未经加工的应不大于 2.0mm。

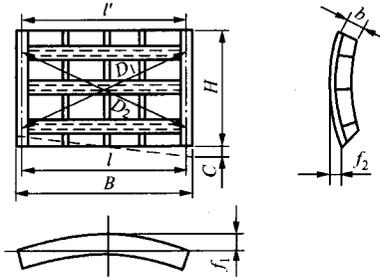
5 预组装检验合格后，应在埋件的工作面和止水面显著标记中心线，应在节间组合面两侧 150mm 处标定检查线，必要时应设置定位装置，并按本标准有关规定进行编号和包装。

7.4 平面闸门制造

7.4.1 除本标准另有规定外，平面闸门门叶制造、组装的公差或极限偏差应符合表 7.4.1 的规定。

表 7.4.1 平面闸门的公差或极限偏差 mm

序号	项目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备注
1	门叶厚度 b	≤ 1000 $> 1000 \sim 3000$ > 3000	± 3.0 ± 4.0 ± 5.0	
2 ^a	门叶外形高度 H 门叶外形宽度 B	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	± 5.0 ± 8.0 ± 10.0 ± 2.0 ± 5.0	



水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范

3	对角线相对差 $ D_1 - D_2 $	取门高或门宽中尺寸较大者： ≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	3.0 4.0 5.0 6.0 7.0	
序号	项目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备注
4	扭曲	≤ 10000 > 10000	3.0 4.0	
5 ^b	门叶横向直线度 f_1		B/1500, 且不大于 6.0	
6 ^b	门叶竖向直线度 f_2		H/1500, 且不大于 4.0	
7	两边梁中心距	≤ 10000 $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	± 3.0 ± 4.0 ± 5.0 ± 6.0	
8	两边梁平行度 $ l' - l $	≤ 10000 $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	3.0 4.0 5.0 6.0	
9	纵向隔板错位		3.0	
10	面板与梁组合面的 局部间隙		1.0	
11	面板局部平面度	面板厚度 δ : ≤ 10 $> 10 \sim 16$ ≥ 16	每米范围内不大于 5.0 4.0 3.0	
12	门叶底缘直线度		2.0	
13	门叶底缘倾斜值 $2C$		3.0	
14	两边梁底缘平面 (或承压板)平面度		2.0	
15	节间止水板平面度		2.0	

16	止水座面平面度		2.0	
17	止水座板至 支承座面的距离		± 1.0	
18	侧止水螺孔中心 至门叶中心距离		± 1.5	
19	顶止水螺孔中心至 门叶底缘距离		± 3.0	
序号	项目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备注
20	底水封座板高度		± 2.0	
21	自动挂钩定位孔 (或销)中心距		± 2.0	
注 a: 门叶宽度 B 和高度 H 的对应边之差应不大于相应尺寸公差的一半, (本规定适用于其他形式的闸门)。				
注 b: 门叶横向直线度通过各横梁中心线测量, 竖向直线度通过两边梁中心线测量。门叶整体弯曲应力求凸向迎水面, 如出现凸向背水面时, 其直线度公差应不大于 3.0mm ; 但图样有规定时, 应符合图样规定。				

7.4.2 平面链轮闸门门叶焊接完毕之后, 为了保证门叶整体形状和几何尺寸的稳定, 宜进行消除应力处理。

当设计图样要求对门叶进行机加工时, 应满足下列要求:

- 1 相应平面之间距离允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。
- 2 门叶两侧与承载走道相接触的表面平面度应不大于 0.3mm 。
- 3 平行平面的平行度公差应不大于 0.3mm 。
- 4 各机械加工面的表面粗糙度 $Ra \leq 25\mu\text{m}$ 。经加工后的梁系翼缘板板厚应符合设计图样尺寸, 局部允许偏差为 -2.0mm 。

7.4.3 平面链轮闸门的主要零部件 (滚轮、承载走道、非承载走道) 的制造应满足下列要求:

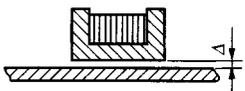
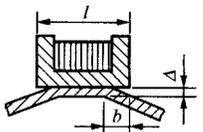
- 1 主要零部件的毛坯材料应满足本标准有关规定。
- 2 主要零部件尺寸公差可参照 GB1800 按 IT6~IT8 级精度选用, 其表面粗糙度 $Ra \leq 3.2\mu\text{m}$ 。
- 3 当设计要求对承载走道进行表面热处理时, 热处理工艺不但应满足表面硬度要求, 同时应满足硬度分布要求。

7.4.4 滚轮和轴套应按图样要求的配合公差加工；轴套内孔公差带按 GB1801 规定应不低于 H8 级精度要求，其圆柱度公差为尺寸公差的 1/2；滚轮组装好后，应转动灵活，无卡滞现象，滚轮踏面圆跳动可按 GB1182 规定应不低于 9 级精度要求。

7.4.5 滑道支承和轴承材料应符合设计图样的规定，常用的压合胶木、增强（填充）四氟板材、铜塑复合材料、自润滑铜合金支承材料的物理机械性能及技术要求参见附录 M。

7.4.6 滑道支承夹槽底面与门叶表面的间隙应符合表 7.4.6 的规定。

表 7.4.6 滑道支承夹槽底面与门叶表面的间隙 mm

序号	间隙性质	间隙数值	
		接触表面未经加工	接触表面经过加工
1	<p>贯穿间隙</p> 	<p>Δ 应不大于 1.0, 每段长度不超过 200, 累计长度不大于滑道全长的 20%</p>	<p>Δ 应不大于 0.3, 每段长度不超过 100, 累计长度不大于滑道全长的 15%</p>
2	<p>局部间隙</p> 	<p>$\Delta \leq 0.5, b \leq l/10$ (累计长度不大于滑道全长的 50%)</p>	<p>$\Delta \leq 0.3, b \leq l/10$ (累计长度不大于滑道全长的 25%)</p>

7.4.7 闸门的主支承行走装置或反向支承装置组装时，应以止水座面为基准面进行调整。所有滚轮或支承滑道应在同一平面内，其平面度允许公差为：当滚轮或滑道的跨度小于或等于 10m 时，应不大于 2.0mm；跨度大于 10m 时，应不大于 3.0mm。每段滑道至少在两端各测一点，同时滚轮对任何平面的倾斜应不超过轮径的 2/1000。

7.4.8 滑道支承与止水座基准面的平行度允许公差为：当滑道长度小于或等于 500mm 时，应不大于 0.5mm；当滑道长度大于 500mm 时，应不大于 1.0mm。相邻滑道衔接端的高低差应不大于 1.0mm。

7.4.9 滚轮或滑道支承跨度的允许偏差应符合表 7.4.9 的规定，同侧滚轮或滑道的中心线极限偏差应不大于 2.0mm。

表 7.4.9 支承跨度极限偏差 mm

序号	跨 度	极限偏差	
		滚轮	滑道支承
1	≤ 5000	± 2.0	± 2.0
2	$> 5000 \sim 10000$	± 3.0	± 2.0
3	> 10000	± 4.0	± 2.0

7.4.10 在同一横断面上，滚轮或主支承滑道的工作面与止水座面的距离允许偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$ ；反向支承滑块或滚轮的工作面与止水座面的距离允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

7.4.11 闸门吊耳应以门叶中心线为基准，单个吊耳允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，双吊点闸门两吊耳中心距允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ 。闸门吊耳孔的纵向、横向中心线允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，吊耳、吊杆的轴孔应各自保持同心，其倾斜度应不大于 $1/1000$ 。

7.4.12 平面闸门的整体组装：

1 一般平面闸门不论整体或分节制造，出厂前应进行整体组装（包括主支承装置、反向支承装置、侧向支承装置及充水装置的组装），组装应在自由状态下进行，如节间系焊接连接的，则节间允许用连接板连接，但不得强制组合。检查结果应符合本节中有关规定，且其组合处的错位应不大于 2.0mm 。

2 平面链轮闸门承载走道跨度极限偏差应符合表 7.4.12 规定。

表 7.4.12 承载走道跨度极限偏差 mm

跨 距	极限偏差
≤ 5000	± 1.0
$> 5000 \sim 10000$	± 2.0
> 10000	± 3.0

链条组装好后，应活动灵活、无卡滞现象。门叶水平放置时，每个链轮与承载走道面应接触良好，接触长度应不小于链轮长度的 80% ，局部间隙应小于 0.10mm 。门叶处在工作位置时，应检查链轮与下部端走道之间的距离（下弛度）并满足设计的要求。

反轮、侧轮及橡胶水封的组装应以承载走道上的链轮所确定的平面和中心为基准进行调整与检查，检查结果应符合本节有关规定，且其组合处的错位应不大于 1.0mm 。

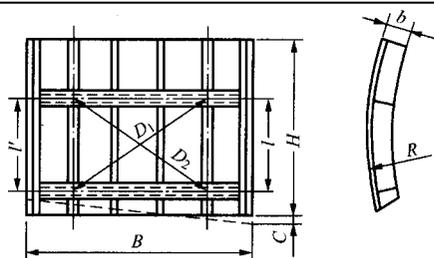
3 检查合格后，应明显标记门叶中心线、边柱中心线及对角线测控点，在组合处两侧 150mm 作供安装控制的检查线，设置可靠的定位装置并进行编号和标志。

7.5 弧形闸门制造

7.5.1 除本标准另有规定外，弧形闸门门叶制造、组装的公差与极限偏差应符合表 7.5.1 的规定。

表 7.5.1 弧形闸门公差与极限偏差 mm

序号	项 目	门叶尺寸	公差或极限偏差		备 注
			潜孔式	露顶式	
			1	门叶厚度 b	
2	门叶外形高度 H 和外形宽度 B	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ $> 10000 \sim 15000$ > 15000	± 5.0 ± 8.0 ± 10.0 ± 12.0	± 5.0 ± 8.0 ± 10.0 ± 12.0	
3	对角线相差 $ D_1 - D_2 $	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	3.0 4.0 5.0	3.0 4.0 5.0	在主梁与支臂组合处测量
4	扭 曲	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	2.0 3.0 4.0	2.0 3.0 4.0	在主梁与支臂组合处测量
		≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	3.0 4.0 5.0	3.0 4.0 5.0	在门叶四角测量



5	门叶横向直线度	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	3.0 4.0 5.0	6.0 7.0 8.0	通过各主、次横梁或横向隔板的中心线测量
6	门叶纵向弧度与样尺的间隙		3.0	6.0	通过各主、次纵梁或纵向隔板的中心线,用弦长 3.0m 的样尺测量
序号	项 目	门叶尺寸	公差或极限偏差		备 注
			潜孔式	露顶式	
7	两主梁中心距		± 3.0	± 3.0	
8	两主梁平行度 $ l'-l $		3.0	3.0	
9	纵向隔板错位		2.0	2.0	
10	面板与梁组合面的局部间隙		1.0	1.0	
11	面板局部与样尺的间隙	板厚 δ :	每米范围不大于		
		$> 6 \sim 10$	5.0	6.0	
		$> 10 \sim 16$	4.0	5.0	
		> 16	3.0	4.0	
12	门叶底缘直线度		2.0	2.0	
13	门叶底缘倾斜值 $2C$		3.0	3.0	
14	侧止水座面平面度		2.0	2.0	
15	顶止水座面平面度		2.0	2.0	
16	侧止水螺孔中心至门叶中心距离		± 1.5	± 1.5	
17	顶止水螺孔中心至门叶底缘距离		± 3.0	± 3.0	
注:当门叶宽度、两边梁中心距及其直线度与侧止水有关时,其偏差值应符合图样规定。					

7.5.2 在高水头下运行,采用突扩式门槽的弧门或有局部开启要求的弧门,当弧门面板、门叶与支臂组合面、支臂与铰链组合面需进行机加工时,门叶除按表 7.5.1 中潜孔式弧门各项要求从严控制进行制造和检查之外,加工后的门叶面板外弧的曲率半径允许偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$,其偏差方向应与侧轨止水座基面的曲率半径

偏差方向一致；加工后的板厚应符合设计图样尺寸，局部允许偏差 -2.0mm 。其表面粗糙度 $Ra \leq 25\mu\text{m}$ ，经机加工后弧门形状公差应符合表 7.5.2 的规定。

表 7.5.2 形状公差 mm

序 号	项 目	尺 寸	公 差
1	门叶横向直线度	≤ 1000	0.5
		$> 1000 \sim 1600$	0.8
		$> 1600 \sim 2500$	1.0
		$> 2500 \sim 4000$	1.2
		$> 4000 \sim 6300$	1.5
		$> 6300 \sim 10000$	2.0
2	各组合面的平面度	≤ 630	0.25
		$> 630 \sim 1000$	0.3
		$> 1000 \sim 1600$	0.4
		$> 1600 \sim 2500$	0.5

7.5.3 弧门吊耳的位置偏差及吊耳孔纵向、横向中心线的偏差应符合第 7.4.11 条的规定。

7.5.4 支臂（见图 7.5.4）组装的极限偏差应符合下列规定：

1 臂柱下料时，应留有焊接收缩量 and 调整余量，在弧门整体组装时再修正，保证其长度最后能满足铰链轴孔中心至面板外缘半径的要求。

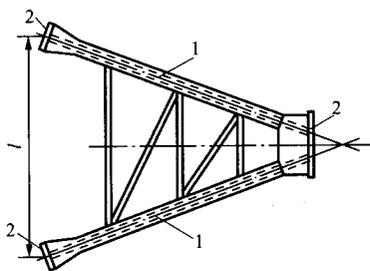


图 7.5.4 支臂

1—臂柱；2—连接板

- 2 臂柱作为单个构件制造的极限偏差应符合表 7.1.7 的规定。
- 3 支臂开口处弦长 l 的极限偏差应符合表 7.5.4 的规定。

表 7.5.4 支臂开口处弦长极限偏差 mm

序号	支臂开口处弦长 l	极限偏差
1	≤ 4000	+2.0
2	$> 4000 \sim 6000$	+3.0
3	> 6000	± 4.0

4 直支臂的侧面扭曲，应不大于 2.0mm。反向弧门支臂两侧对水平面的垂直度应不大于 1/1000。

5 斜支臂组装应以臂柱中心线夹角平分线为基准线，臂柱腹板应与门叶主梁腹板形成水平连接，支臂连接板应与基准线垂直，上、下臂柱腹板在垂直于基准线的剖面的扭角应用样板检查，样板间隙应不大于 2.0mm，臂柱补强板应根据计算扭角大小预折成形，不得强制装配。

7.5.5 弧门出厂前，应进行整体组装和检查，检查的部位见图 7.5.5，其偏差除应符合本节中有关规定外，并应符合下列要求：

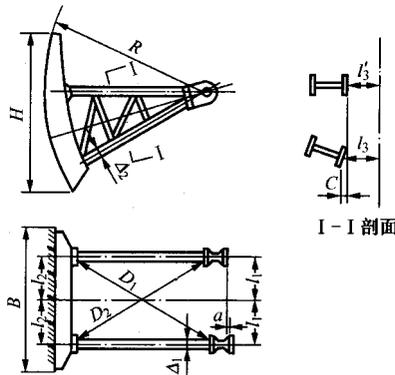


图 7.5.5 弧门整体组装检查的部位

- 1 两个铰链轴孔的同轴度公差 a 应不大于 1.0mm，每个铰链轴孔的倾斜度应不大于 1/1000。
- 2 铰链中心至门叶中心距离 l_1 的极限偏差为 ± 1.0 mm。
- 3 臂柱中心与铰链中心的不吻合值 Δ_1 ，应不大于 2.0mm；臂柱腹板中心与主梁腹板中心的不吻合值 Δ_2 ，应不大于 4.0mm。
- 4 支臂中心至门叶中心距离 l_2 （在支臂开口处）的允许偏差为 ± 1.5 mm。
- 5 支臂与主梁组合处的中心至支臂与铰链组合处的中心对角线相对差 $|D-$

D_2 | 应不大于 3.0mm。

6 在上、下两臂柱夹角平分线的垂直剖面上，上、下臂柱侧面的位置度公差 $C = |l_3 - l'_3|$ ，应不大于 5.0mm。

7 铰链轴孔中心至面板外缘的半径 R 的偏差：露顶式弧门极限偏差 $\pm 7.0\text{mm}$ ，两侧相对差应不大于 5.0mm；潜孔式弧门极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，两侧相对差应不大于 2.0mm；采用突扩式门槽的高水头弧门极限偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，其偏差应与门槽侧轨止水座基面内弧曲率半径偏差方向一致，两侧相对差不大于 1.0mm。

8 臂柱两端与门叶、铰链连接板组合面之间应平整密贴，接触面应不少于 75%；连接螺栓紧固后，用 0.3mm 塞尺检查，连续可插入部位应不大于 100mm，累计长度应不大于周长的 75%；极少数点的最大间隙应不大于 0.8mm。

9 组合处错位应不大于 2.0mm。

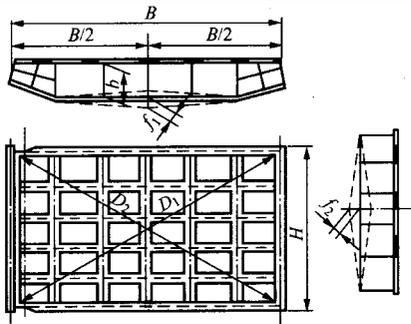
10 组装检查合格后，应明显标记门叶中心线，对角线测控点，在组合处两侧 150mm 作供安装控制的检查线，设置可靠的定位装置，并进行编号和标志。

7.6 人字闸门制造

7.6.1 人字闸门的门叶制造、组装的公差或极限偏差，应符合表 7.6.1 的规定。

表 7.6.1 人字闸门公差或极限偏差 mm

序号	项 目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备 注
1	门叶厚度 b	≤ 1000 $> 1000 \sim 3000$ > 3000	± 3.0 ± 4.0 ± 5.0	



第五篇 水利水电工程验收标准

序号	项 目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备 注
2	门叶外形高度 H	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	± 5.0 ± 8.0 ± 12.0 ± 16.0 ± 20.0	
3	门叶外形半宽 $B/2$	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	± 2.5 ± 4.0 ± 5.0	
4	对角线相对差 $ D - D_2 $	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ $> 10000 \sim 15000$ $> 15000 \sim 20000$ > 20000	3.0 4.0 5.0 6.0 7.0	按门高或门宽 尺寸较大者选取
5	门轴柱 正面 直线度 斜接柱	≤ 5000 $5000 \sim 10000$ > 10000	2.5 4.0 5.0	
6	门轴柱 侧面 直线度 斜接柱		5.0	
7	门叶横向直线度 f_1		$B/1500$, 且不大于 4.0	
8	门叶竖向直线度 f_2		$H/1500$, 且不大于 6.0	
9	顶、底主梁的 长度相对差	≤ 5000 $> 5000 \sim 10000$ > 10000	2.5 4.0 5.0	
10	面板与梁组合面 的局部间隙		10	

序号	项 目	门叶尺寸	公差或极限偏差	备 注
11	面板局部 凹凸平面度	面板厚度 δ ≤ 10 $> 10 \sim 16$ > 16	每米范围内 6.0 5.0 4.0	
注 1: 门叶横向直线度通过各横梁中心线测量。竖向直线度通过左、右两侧两根纵向隔板中心线测量。 注 2: 门叶纵向隔板错位, 门叶底缘倾斜度 C , 止水座面平面度符合表 7.4.1 中序号 9、13、15 的规定。				

7.6.2 支、枕垫块出厂前应逐对配装研磨, 使其接触紧密, 局部间隙应不大于 0.05mm, 其累计长度应不超过支、枕垫块长度的 10%。

7.6.3 除设计另有规定外, 底枢蘑菇头与底枢顶盖轴套应在厂内组装研刮, 并满足下列要求:

- 1 在加工时, 定出蘑菇头的中心位置并予以标记。
- 2 应转动灵活, 无卡阻现象。
- 3 蘑菇头与轴套接触面应集中在顶部 $20^\circ \sim 120^\circ$ 范围内, 接触面上的接触点数, 在每 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 面积内应不少于 1~2 个点。

7.6.4 人字闸门出厂前应进行整体组装检查, 其偏差应符合表 7.6.1 的规定外, 并应符合下列要求:

- 1 人字闸门整体组装时, 应以门叶中心线 (垂直线) 和底横梁中心线 (水平线) 为基准线。
- 2 底枢顶盖中心位置偏差应不大于 2.0mm, 底枢顶盖与底横梁中心线的平行度公差应不大于 1.0mm。
- 3 分节制造的人字闸门顶枢轴孔应在工地完成了门叶拼装、焊接之后再行镗孔或扩孔。整体组装时应作出顶、底枢轴线和顶枢轴孔控制线, 并用仪器校验, 顶、底枢中心同轴度公差应不大于 0.5mm, 顶、底枢中心线与门叶中心线平行度公差应不大于 0.5mm。
- 4 整体制造的人字门可在工厂对顶枢进行镗孔, 顶、底枢中心同轴度公差应不大于 0.5mm, 顶、底枢中心线与门叶中心线平行度公差应不大于 0.5mm。
- 5 检查合格后, 应明显标记门叶和端板中心线及底横梁中心线, 在距离节间

组合面约 150mm 作供安装控制的检查线，设置可靠的定位装置，并予编号和标志。

8 闸门和埋件安装

8.1 埋件安装

8.1.1 预埋在一期混凝土中的锚板（栓），应按设计图样制造，由土建施工单位预埋。土建施工单位应根据施工图在模板上划线并固定锚板（栓），锚板应与模板密贴，在混凝土开仓浇筑之前应通知监理及安装单位对预埋的锚板（栓）位置进行检查、核对。

8.1.2 埋件安装前，门槽中的模板等杂物必须清理干净。一、二期混凝土的结合面应全部凿毛，二期混凝土的断面尺寸及预埋锚板（栓）的位置应符合图样要求。

8.1.3 除本标准中另有规定外，平面闸门埋件安装的公差或极限偏差应符合表 8.1.3 的规定。

8.1.4 平面链轮闸门埋件安装除满足 8.1.3 条规定外，主轨承压面接头处的错位应不大于 0.2mm，并应作缓坡处理；孔口两侧主轨承压面应在同一平面之内，其平面度公差应符合表 8.1.4 的规定。

表 8.1.4 主轨承压面平面度公差 mm

主轨长度	公差
≤1000	0.4
>1000~2500	0.5
>2500~4000	0.6
>4000~6300	0.8
>6300~10000	1.0

8.1.5 弧门铰座的基础螺栓中心和设计中心的位置偏差应不大于 1.0mm。

8.1.6 除本标准另有规定外，弧形闸门埋件安装的公差或极限偏差应符合表 8.1.6 的规定。

8.1.7 在高水头下运行采用突扩式门槽的弧门，侧轨上止水座基面中心线至孔口

中心线的距离极限偏差为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，侧轨上止水座基面的曲率半径极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，其偏差方向应与门叶面板外弧面的曲率半径偏差方向一致；侧轨上止水座基面至弧门外弧面间隙尺寸极限偏差应不大于 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

表 8.1.3 平面闸门埋件安装的公差或极限偏差

序号	埋件名称		底槛	门楣	主轨				护角兼作侧轨	胸墙				
					加工		侧轨	反轨		止水板	兼作止水		不兼作止水	
					加	不加工					上部	下部	上部	下部
	简图													
1	对门槽中心线 <i>a</i>	工作范围内 工作范围外	± 5.0	$+2.0$ -1.0	$+2.0$ -1.0	$+3.0$ -1.0	± 5.0	$+3.0$ -1.0	$+2.0$ -1.0	± 5.0	$+5.0$ -0.0	$+2.0$ -1.0	$+8.0$ -0.0	$+2.0$ -1.0
2	对孔口中心线 <i>b</i>	工作范围内 工作范围外	± 5.0		± 3.0 ± 4.0	± 3.0 ± 4.0	± 5.0 ± 5.0	± 3.0 ± 5.0	± 3.0 ± 5.0	± 5.0				
3	高程	∇	± 5.0											
4	门楣中心对底槛面的距离 <i>h</i>			± 3.0										
5	工作表面一端对另一端的高差	$L < 10000$ $L \geq 10000$	2.0 3.0											
	工作表面平面度	工作范围内 工作范围外	2.0	2.0	2.0			2.0			2.0	2.0	4.0	4.0
7	工作表面组合处的错位	工作范围内 工作范围外	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
					1.0	2.0	2.0	2.0		2.0				

8	表面扭曲值 f	简图									
		工作范围 内表面宽度	$B < 100$	1.0	1.0	0.5	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0
			$B = 100 \sim 200$	1.5	1.5	1.0	2.0	2.5	2.5	1.5	2.5
			$B > 200$	2.0		1.0	2.0	3.0	3.0		3.0
		工作范围外 允许增加值				2.0	2.0	2.0	2.0		2.0

注 1: 构件每米至少应测一点;
 注 2: 胸墙下部系指和门楣组合处;
 注 3: 门槽工作范围高度: 静水启闭闸门为孔口高; 动水启闭闸门为承压主轨高度;
 注 4: 侧轮如为预压式弹性装置, 则侧轨偏差按图样规定;
 注 5: 组合处错位应磨成缓坡。

8.1.8 弧门铰座钢梁单独安装时, 钢梁中心的里程、高程和对孔口中心线距离的极限偏差为 $\pm 1.5\text{mm}$ 。铰座钢梁的倾斜 (见图 8.1.8), 按其水平投影尺寸 L 的偏差值来控制, 要求 L 的偏差应不大于 $L/1000$ 。

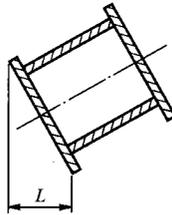


图 8.1.8 铰座钢梁的倾斜

8.1.9 水平钢衬高程极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$, 侧向钢衬至孔口中心线距离极限偏差为 $+6.0$
 -2.0 mm, 表面平面度公差为 4.0mm , 垂直度公差为高度的 $1/1000$ 且不大于 4.0mm , 组合面错位应不大于 2.0mm 。

8.1.10 埋件安装调整后, 应按设计图样将调整螺栓与锚板 (栓) 焊牢, 确保埋件在浇筑二期混凝土过程中不发生变形或移位。

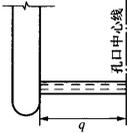
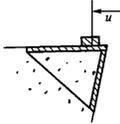
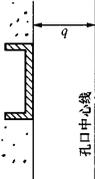
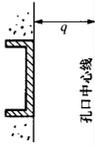
8.1.11 埋件工作面对接接头的错位均应进行缓坡处理, 过流面及工作面的焊疤和焊缝余高应铲平磨光, 凹坑应补焊平并磨光。

8.1.12 埋件安装完, 经检查合格, 应在 $5d \sim 7d$ 内浇筑二期混凝土。如过期或有

碰撞，应予复测，复测合格，方可浇筑混凝土。混凝土一次浇筑高度不宜超过5.0m，浇筑时，应注意防止撞击埋件和模板，并采取措捣实混凝土。

表 8.1.6 弧形闸门埋件安装公差或极限偏差 mm

序号	埋件名称		底槛	门楣	侧止水板		侧轮导板	
	简图				潜孔式	露顶式		
1	里程		±5.0	+2.0 -1.0				
2	高程		±0.5					
3	门楣中心至底槛面的距离 h			±3.0				
4	对孔口中心线 b	工作范围内	±5.0		±2.0	+3.0 -2.0	+3.0 -2.0	
		工作范围外			+4.0 -2.0	+6.0 -2.0	+6.0 -2.0	
5	工作表面一端对另一端的高差	$L \geq 10000$	3.0					
		$L < 10000$	2.0					
6	工作表面平面度		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
7	工作表面组合处的错位		1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	
8	侧止水板和侧轮导板中心线的曲率半径				±5.0	±5.0	±5.0	
9	表面扭曲值 f	简图						
		工作范围表面宽度	$B < 100$	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
			$B = 100 \sim 200$	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5
			$B > 200$	2.0		2.0	2.0	3.0
			工作范围外允许增加值			2.0	2.0	2.0

序号	埋件名称	底槛	门楣	侧止水板		侧轮导板
				潜孔式	露顶式	
	简图					

- 注 1: L 为闸门宽度;
 注 2: 安装时门楣一般为最后固定, 故门楣位置宜按门叶实际位置进行调整;
 注 3: 工作范围指孔口高度;
 注 4: 构件海米至少测一点;
 注 5: 潜孔式侧止水板如为不锈钢, 其组合错位为 0.5mm;
 注 6: 组合处错位应磨成缓坡。

8.1.13 埋件的二期混凝土拆模后, 应对埋件进行复测, 并作好记录。同时检查混凝土结构尺寸, 清除遗留的钢筋和杂物, 以免影响闸门启闭。

8.1.14 工程挡水前, 应对全部检修门槽和共用门槽进行试槽。

8.2 平面闸门安装

8.2.1 整体闸门在安装前, 应按设计图样对各项尺寸进行复测, 并符合本标准有关规定的要求。

8.2.2 分节闸门在组装成整体后, 除应按本标准有关规定对其各项尺寸进行复测外, 并应满足下列要求:

- 1 节间如采用螺栓连接, 则应按螺栓连接有关规定紧固螺栓。
- 2 节间如采用焊接, 则应按已经评定合格的焊接工艺, 遵照本标准有关焊接的规定进行焊接和检验, 焊接时应采取措施控制变形。

8.2.3 充水阀的尺寸应符合设计图样, 其导向机构应灵活可靠, 密封件与座阀应接触均匀, 并满足止水要求。

8.2.4 橡胶水封的物理机械性能参见本标准附录 N 有关规定。

8.2.5 橡胶水封的螺孔位置应与门叶及水封压板上的螺孔位置一致; 孔径应比螺栓小 1.0mm, 应采用专用空心钻头掏孔并严禁烫孔, 均匀拧紧螺栓后, 其端部至少应低于橡胶水封自由表面 8.0mm。

8.2.6 橡胶水封表面应光滑平直, 橡塑复合水封应保持平直运输, 不得盘折存放。其厚度极限偏差为 $\pm 1.0\text{mm}$, 截面其他尺寸的允许偏差为设计尺寸的 2%。

8.2.7 橡胶水封接头宜采用生胶热压硫化胶合方法，胶合接头处不得有错位、凹凸不平和疏松现象；若采用常温粘接剂胶合，抗拉强度应不低于附录 N 中橡胶水封抗拉强度的 85%。

8.2.8 橡胶水封安装后，两侧止水中心距离和顶止水至底止水底缘距离的极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，止水表面的平面度公差为 2.0mm 。闸门处于工作状态时，橡胶水封的压缩量应符合设计图样规定，并进行透光检查或冲水试验。

8.2.9 平面闸门应作静平衡试验，试验方法为：将闸门吊离地面 100mm ，通过滚轮或滑道的中心测量上、下游与左、右方向的倾斜，一般单吊点平面闸门的倾斜不应超过门高的 $1/1000$ ，且不大于 8.0mm ；平面链轮闸门的倾斜应不超过门高的 $1/1500$ ，且不大于 3.0mm ；当超过上述规定时，应予配重。

8.3 弧形闸门安装

8.3.1 圆柱铰、球铰及其他型式支铰铰座安装公差或极限偏差应符合表 8.3.1 的规定。

表 8.3.1 弧形闸门铰座安装公差或极限偏差 mm

序号	项 目	公差与极限偏差
1	铰座中心对孔口中心线的距离	± 1.5
2	里程	± 2.0
3	高程	± 2.0
4	铰座轴孔倾斜	$1/1000$
5	两铰座轴线的同轴度	1.0

注：铰座轴孔倾斜系指任何方向的倾斜。

8.3.2 分节制造的弧门门叶组装成整体后，应按设计图样对各项尺寸进行复测，并满足本标准有关规定。当门叶节间采取焊接连接时，应按已经评定合格的焊接工艺、遵照有关焊接规定进行焊接和检验；当门叶节间采取螺栓连接时，应遵照螺栓连接有关规定进行紧固和检验。

8.3.3 弧门、支臂与支铰铰链的安装应符合以下规定：

1 支臂两端的连接板若需在安装时焊接，焊接时应采取有效措施减少变形，确保焊后连接板与主梁或铰链的组合面接触良好，互相密贴。

2 连接螺栓应遵照螺栓连接有关规定进行紧固和检验，并按本标准第 7.5.5 条规定对连接面间隙进行检测，抗剪板应与连接板侧面顶紧并按设计要求施焊。

3 铰轴中心至弧门面板外缘半径只的极限偏差：露顶式弧门为 $\pm 8.0\text{mm}$ ，两侧相对差应不大于 5.0mm ；潜孔式弧门为 $\pm 4.0\text{mm}$ ，两侧相对差应不大于 3.0mm ；采用突扩式门槽的高水头弧门（包括采用偏心铰压紧式或液控伸缩式止水弧门）为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，其偏差方向应与侧轨上止水座基面的曲率半径偏差方向一致，侧轨上止水座基面至弧门外弧面的间隙公差应不大于 3.0mm ，同时两侧半径的相对差应不大于 1.5mm 。

4 橡胶水封的质量应符合国家或行业有关技术标准的规定，顶、侧止水安装应符合 8.2.4~8.2.8 条有关规定。

8.4 人字闸门安装

8.4.1 底枢装置（见图 8.4.1）安装应符合下列规定：

1 底枢轴孔或蘑菇头中心的极限偏差应不大于 2.0mm ，左、右两蘑菇头高程极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ ，其相对差应不大于 2.0mm 。

2 底枢轴座的水平倾斜度应不大于 $1/1000$ 。

8.4.2 门叶安装应以底横梁中心线为水平基准线，以门体中心线为垂直基准线，并在门轴柱和斜接柱端板及其他必要部位悬挂铅垂线进行控制与检查。

门叶安装应按照吊装对位、焊接并检验合格之后再吊装下一节的程序进行。焊接应采用已经评定合格的焊接工艺，并采取有效的防止和监视焊接变形措施，遵照本标准有关焊接规定进行焊接与检验，门叶整体几何尺寸及形位公差应符合表 7.6.1 的规定。

8.4.3 顶枢装置（见图 8.4.3）安装应符合下列规定：

1 顶枢埋件应根据门叶上顶枢轴座板的实际高程进行安装，拉杆两端的高差应不大于 1.0mm 。

2 两拉杆中心线的交点与顶枢中心应重合，其偏差应不大于 2.0mm 。

3 顶枢轴线与底枢轴线应在同一轴线上，其同轴度公差为 2.0mm 。

4 顶枢轴孔的同轴度和垂直度应符合 GB 1184 标准 9 级精度，表面粗糙度 $Ra \leq 25\mu\text{m}$ 。

8.4.4 支、枕座安装时，以顶部和底部支座或枕座中心的连线检查中间支、枕座的中心，其对称度公差应不大于 2.0mm ，且与顶枢、底枢轴线的平行度公差应不

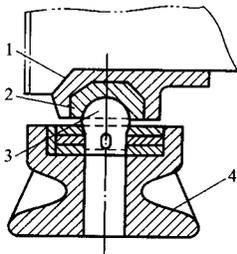


图 8.4.1 底枢装置

1—底枢顶盖；2—轴套；3—蘑菇头；4—底枢轴座

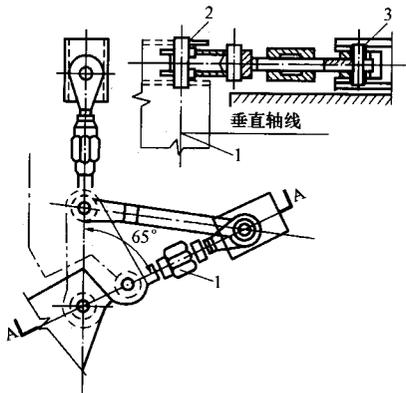


图 8.4.3 顶枢装置

大于 3.0mm。

8.4.5 支、枕垫块（见图 8.4.5）安装和调整，应符合下列规定：

1 支、枕垫块安装应以枕垫块安装为基准，枕垫块的对称度公差为 1.0mm，垂直度公差为 1.0mm。

2 不作止水的支、枕垫块间不应有大于 0.2mm 的连续间隙，局部间隙不大于 0.4mm；兼作止水的支、枕垫块间，不应有大于 0.15mm 的连续间隙，局部间隙不大于 0.3mm；间隙累计长度应不超过支、枕垫块长度的 10%。

3 每对互相接触的支、枕垫块中心线的对称度公差 C ：不作止水的应不大于 5.0mm，兼作止水的应不大于 3.0mm。

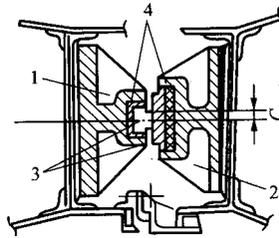


图 8.4.5 支、枕座垫块

8.4.6 支、枕垫块与支、枕座间浇注填料应符合下列规定：

- 1 如浇注环氧填料，则其成分和配制比例参见附录 O，环氧垫层的厚度应不小于 20.0mm。
- 2 如浇注巴氏合金，则当支、枕垫块与支、枕座间的间隙小于 7.0mm 时，应将垫块和支、枕座均匀加热到 200℃ 后方可浇注，加热时禁用氧气—乙炔火焰加热。

8.4.7 旋转门叶从全开到全关过程中，斜接柱上任意一点的最大跳动量：当门宽小于或等于 12m 为 1.0mm；门宽大于 12m 小于或等于 24m 时为 1.5mm；门宽大于 24m 时为 2.0mm。

8.4.8 人字门背拉杆调整应在自由悬挂状态下进行，调整背拉杆应符合下列要求：

- 1 背拉杆宜分步参照设计预应力值进行调整。
- 2 门轴柱和斜接柱的正面直线度、门叶横向直线度不得超过表 7.6.1 有关规定。
- 3 门叶底横梁在斜接柱下端点的位移：顺水流方向 $\pm 2.0\text{mm}$ ，垂直方向 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

8.4.9 关闭单扇门叶，检查门轴柱支、枕垫块（侧水封与侧止水板）、底水封与底止水板是否均匀接触；关闭两扇门叶，检查斜接柱支垫块间（中间水封与止水板）是否均匀接触。

8.4.10 在无水状态下调试人字闸门时，应充分考虑到环境温差的影响，正确处理门体有关几何尺寸及相互位置的变化。

8.5 闸门试验

8.5.1 闸门安装好后，应在无水情况下作全行程启闭试验。试验前应检查挂钩脱钩是否灵活可靠；充水阀在行程范围内的升降是否自如，在最低位置时止水是否严

密，同时还须清除门叶上和门槽内所有杂物并检查吊杆的连接情况。启闭时，应在橡胶水封处浇水润滑。有条件时，工作闸门应作动水启闭试验，事故闸门应作动水关闭试验。

8.5.2 闸门启闭过程中应检查滚轮、支铰及顶、底枢等转动部位运行情况，闸门升降或旋转过程有无卡阻，启闭设备左右两侧是否同步，橡胶水封有无损伤。

8.5.3 闸门全部处于工作部位后，应用灯光或其他方法检查橡胶水封的压缩程度，不应有透亮或间隙。如闸门为上游止水，则应在支承装置和轨道接触后检查。

8.5.4 闸门在承受设计水头压力时，通过任意 1m 长止水范围内漏水量每秒钟不应超过 0.1L。

9 拦污栅制造和安装

9.1 拦污栅制造

9.1.1 拦污栅构件制造公差应符合表 9.1.1 的规定。

表 9.1.1 拦污栅构件制造公差 mm

序号	项目	公差
1	工作面直线度	构件长度的 1/1000,且不大于 6.0
2	侧面直线度	构件长度的 1/750,且不大于 8.0
3	工作面局部平面度	每米范围不大于 2.0
4	扭曲	3.0

9.1.2 拦污栅单个构件制造的允许偏差应符合表 7.1.7 的规定。

9.1.3 拦污栅栅体制造的公差与极限偏差应符合下列规定：

- 1 栅体宽度和高度的极限偏差为 $\pm 8.0\text{mm}$ 。
- 2 栅体厚度的极限偏差为 $\pm 4.0\text{mm}$ 。
- 3 栅体对角线相对差应不大于 6.0mm ；其扭曲应不大于 4.0mm 。
- 4 各栅条应互相平行，其间距极限偏差为设计间距的 $\pm 5\%$ 。
- 5 栅体的吊耳孔中，心线的距离极限偏差为 $\pm 4.0\text{mm}$ ，当拦污栅与检修门共用启闭设备时，则应符合第 7.4.11 条的规定。

6 栅体的滑道支承或滚轮应在同一平面内，其工作面的平面度公差应不大于 4.0mm。

7 滑块或滚轮跨度极限偏差为 $\pm 6.0\text{mm}$ ，同侧滑块或滚轮支承的中心线极限偏差为 $\pm 3.0\text{mm}$ 。

8 两边梁下端的承压板应在同一平面内，其平面度公差应不大于 3.0mm。

9.2 拦污栅安装

9.2.1 活动式拦污栅埋件安装公差或极限偏差应符合表 9.2.1 的规定。倾斜设置的拦污栅埋件，其倾斜角度允许偏差为 $\pm 10'$ 。

表 9.2.1 活动式拦污栅埋件安装公差或极限偏差 mm

序号	项目	底槛	主轨	反轨
		公差或极限偏差		
1	里程	± 5.0		
2	高程	± 5.0		
3	工作表面一端对另一端的高差	3.0		
4	对栅槽中心线		+3.0 -2.0	+5.0 -2.0
5	对孔口中心线	± 5.0	± 5.0	± 5.0

9.2.2 固定式拦污栅埋件安装时，各横梁工作表面应在同一平面内，其工作表面最高点和最低点的差值应不大于 3.0mm。

9.2.3 栅体吊入栅槽后，应作升降试验，检查栅槽有无卡滞情况，检查栅体动作和各节的连接是否可靠。

使用清污机清污的拦污栅，其栅体结构与栅槽埋件应满足清污机的运行要求。

10 验收

10.1 总则

10.1.1 闸门和埋件制造安装验收是工程验收的一部分，应服从工程验收的需要，并满足工程验收要求。

10.1.2 验收工作由项目法人或委托监理单位主持，各阶段验收的时间、地点及参加验收工作的人员应遵照合同有关规定。

10.1.3 验收主要工作：

- 1 检查闸门和埋件制造安装是否符合设计要求。
- 2 检查闸门和埋件制造安装质量是否符合本标准和有关技术标准的要求。
- 3 对遗留问题提出处理意见。

10.1.4 验收工作程序：

- 1 审查验收大纲。
- 2 听取有关闸门和埋件制造安装质量管理工作报告，查阅质量检查记录、文字及声像资料。
- 3 检查和检测验收项目几何尺寸精度和技术指标。
- 4 召开验收成员会议，协调处理有关问题，讨论并通过“验收鉴定书”。

10.2 阶段验收

10.2.1 在闸门和埋件制造安装过程中的关键时刻，根据需要可分为若干阶段进行验收。

10.2.2 闸门和埋件制造可分为以下阶段验收：

- 1 主要钢材、焊材及防腐材料的验收。
- 2 铸钢件和锻钢件及外协件的验收。
- 3 闸门和埋件主体焊接结构件的验收。
- 4 闸门和埋件组装检测和验收。
- 5 闸门和埋件金属防腐蚀质量检查。
- 6 包装与运输及交货验收。

10.2.3 闸门和埋件安装可分为以下阶段验收：

- 1 单元工程质量检查与评定。
- 2 分部工程质量检查与评定。
- 3 单位工程质量检查与评定。

闸门和埋件安装还应根据工程建设需要，参与并满足工程截流前验收、工程蓄水验收、机组启动验收和工程竣工验收等工程阶段验收的要求。

10.3 验收资料

验收资料包括：

- 1 验收申请报告和验收大纲。
- 2 设计图样、设计文件及有关会议纪要。
- 3 监理文件、指令和通知单。
- 4 焊接工艺评定报告、制造工艺文件或安装技术措施。
- 5 主要材料、标准件及外协加工件的质量证明书。
- 6 焊缝质量检验报告。
- 7 表面防腐蚀质量检验报告。
- 8 对不合格品或重大缺陷处理记录和报告。
- 9 闸门和埋件组装检测记录。
- 10 闸门和埋件制造质量合格证。
- 11 闸门和埋件安装检测记录。
- 12 闸门平衡试验、充水试验及静、动水启闭试验报告。
- 13 试运行记录和资料。

附录 A

(资料性附录)

常用金属材料性能

A.1 碳素结构钢和低合金结构钢

碳素结构钢和低合金结构钢的性能应符合表 A.1~表 A.6 的规定。

表 A.1 碳素结构钢的化学成分 (摘自 GB/T 700—1988)

牌号	等级	化学成分%					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q2350	A	0.14~0.22	0.30~0.65 ^①	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70 ^①		0.045		F、b、Z
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		

注①: Q235A、B级沸腾钢锰含量上限为 0.60%, 含硅量不大于 0.07%。

表 A.2 碳素结构钢的力学性能 (摘自 GB/T700—1988)

牌号	等级	位伸试验								冲击试验		180°冷弯试验, b=2a					
		屈服点 σ_s MPa				抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ_5 %				温度 $^{\circ}\text{C}$	V型冲击功 (纵向) J	试样方向	钢板厚度 mm			
		钢板厚度 mm					钢板厚度 mm							>4	>60	>100	
		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100				~60	~100	~200	
不小于				不小于				弯心直径 d									
Q215	A	215	205	195	185	335~410	31	30	29	28	—	—	纵	0.5a	1.5a	2a	
	B										20	≥27		横	a	2a	2.5a
Q235	A	235	225	215	205	375~460	26	25	24	23	—	≥27	纵	a	2a	2.5a	
	B										20			横	1.5a	2.5a	3a
	C										0						
	D										-20						
Q255	A	255	245	235	225	410~510	24	23	22	21	—	≥27	纵	2a	3a	3.5a	
	B										20						

牌号	等级	位伸试验						冲击试验		180°冷弯试验, $b=2a$				
		屈服点 σ_s MPa			抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ_5 %			温度 $^{\circ}\text{C}$	V型冲击功 (纵向) J	试样方向	钢板厚度 mm		
		钢板厚度 mm				钢板厚度 mm						>4 ~60	>60 ~100	>100 ~200
		≤ 16	>16 ~40	>40 ~60		>60 ~100	≤ 16	>16 ~40				>40 ~60	>60 ~100	弯心直径 d
不小于			不小于			不小于			弯心直径 d					

注 1: 牌号表示方法: 钢的牌号由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号和脱氧方法符号等四个部分按序组成。例如: Q235-A、F。

注 2: 符号:

Q—钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母;

A、B、C、D—分别为质量等级;

F—沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母;

b—半镇静钢“半”字汉语拼音首位字母;

Z—镇静钢“镇”字汉语拼音首位字母;

TZ—特殊镇静钢“特镇”两字汉语拼音首位字母。

在牌号组成表示方法中,“Z”与“TZ”符号予以省略。

注 3: 冷弯试验中 B 为宽度, a 为板厚。

注 4: 进行拉伸和弯曲试验时, 钢板应取横向试样。

注 5: 夏比冲击功值按一组三个试样单值的算术平均值计算, 允许其中一个试样单值低于规定值, 但不得低于规定值的 70%。

注 6: 钢材一般以热轧状态交货, 根据需方要求, 经双方协议, 也可以正火状态交货(A 级钢除外)。

注 7: 其他技术要求见 GB700—1988 规定。

表 A.3 低合金高强度结构钢的化学成分 (摘自 GB/T1591—1994)

牌号	等级	化学成分%										备注					
		C \leq	Mn	Si \leq	P \leq	S \leq	V	Nb	Ti	Al \geq	Cr \leq		Ni \leq				
Q295	A	0.16	0.80~	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	—	—					
	B		1.50		0.040	0.040	~ 0.15	~ 0.060	~ 0.20	—	—	—					
Q345	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	—	—	相当于 GB1591— 1988 中 16Mn 钢、 10Mnq 钢、 16MnR 钢				
	B				0.040	0.040				~	~	~		—	—	—	
	C	~	0.035		0.035	~	~	~	0.015	—	—						
	D	0.18	1.60		0.030	0.030	0.15	0.060	0.20	0.015	—	—					
E			0.025	0.025					0.015	—	—						
Q390	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	0.30	0.70	相当于 GB1591— 1988 中 15MnV 钢、 15MnTi 钢				
	B				0.040	0.040				—	0.30	0.70					
	C				~	0.035				0.035	~	~		~	0.015	0.30	0.70
	D				1.60	0.030				0.030	0.20	0.060		0.20	0.015	0.30	0.70
	E					0.025				0.025					0.015	0.30	0.70

水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范

牌号	等级	化学成分%											备注				
		C≤	Mn	Si≤	P≤	S≤	V	Nb	Ti	Al≥	Cr≤	Ni≤					
Q420	A	0.20	1.00	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	—	0.40	0.70					
	B				0.040	0.040				—	0.40	0.70					
	C				~	0.035				0.035	~	~		0.015	0.40	0.70	
	D				1.70	0.030				0.030	0.20	0.060		0.20	0.015	0.40	0.70
	E					0.025				0.025					0.015	0.40	0.70
Q460	C	0.20	1.00	0.55	0.035	0.035	0.02	0.015	0.02	0.015	0.70	0.70					
	D		~		0.030	0.030	~	~	—	0.015	0.70	0.70					
	E		1.70		0.025	0.025	0.20	0.060	0.20	0.015	0.70	0.70					

表 A.4 低合金高强度结构钢力学性能 (摘自 GB/T1591—1994)

牌号	等级	屈服点 $\sigma_s \geq \text{MPa}$				抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 $\sigma_s \% \geq$	冲击功, A_{KV} (纵向) J				备注	
		厚度(直径、边长)mm						+20℃	0℃	-20℃	-40℃		
		≤16	>16~ 35	>35~ 50	>50~ 100								
Q295	A B	295	275	255	235	390~570	23 23	34					
Q345	A	345	325	295	275	470~630	21	34	34	34	34	27	相当于 GB1591—1988 中 16Mn 钢, 16Mnq 钢、 16MnR 钢
	B						21						
	C						22						
	D E						22						
Q390	A	390	370	350	330	490~650	19	34	34	34	34	27	相当于 GB1591—1988 中 15Mnv 钢、 15MnTi 钢
	B						19						
	C												
	D E												
Q420	A	420	400	380	360	520~680	18	34	34	34	34	27	
	B						18						
	C						19						
	D E						19						

牌号	等级	屈服点 $\sigma_s \geq MPa$				抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 $\sigma_5 \% \geq$	冲击功, A_{KV} (纵向) J				备注		
		厚度(直径、边长)mm						+20℃	0℃	-20℃	-40℃			
		≤ 16	>16~ 35	>35~ 50	>50~ 100									
Q460	C D E	460	440	420	400	550~720	17 17 17		34		34		27	

注 1:夏比(V 型缺口)冲击试验的冲击功和试验温度应符合表 A.4 规定。冲击功值按一组三个试样算术平均值计算,允许其中一个试样值低于表 A.4 规定值,但不得低于规定值的 70%;

注 2:A 级钢应进行弯曲试验,其他质量级别钢,如供方能保证弯曲试验结果符合表 A.4 规定要求,可不作试验;

注 3:原标准 GB1591—1988 中 16Mn 钢牌号改为 GB/T1591—1994 标准中的 Q345 钢;15MnV、15MnTi 改为 Q390 钢。

表 A.5 压力容器用钢板的化学成分 (摘自 GB6654—1996)

牌号	化学成分%								
	C	Mn	Si	V	Mo	Nb	Cr	S	P
								不大于	
20R	≤ 0.20	0.40~0.90	0.15~0.30	—	—	—	—	0.030	0.035
16MnR	≤ 0.20	1.20~1.60	0.20~0.55	—	—	—	—	0.030	0.035
15MnVR	≤ 0.18	1.20~1.60	0.20~0.55	0.04~0.12	—	—	—	0.030	0.035

表 A.6 压力容器用钢板的力学性能、工艺性能 (摘自 GB6654—1996)

牌号	交货状态	钢板厚度 mm	抗拉强度 σ_b MPa	屈服点 σ_s MPa	伸长率 δ_5 MPa	V 型冲击功		180°冷弯 试验 $d=2a$
				\geq		温度 ℃	A_{KV} (横 向)J	
20R	热轧、 控轧或 正火	6~16	400~510	245	25	20	31	$d=2a$
		>16~36		235				
		>36~60	390~510	225	24			
		>60~100		205				
16MnR		6~16	510~640	345	21	20	31	$d=2a$
		>16~36	490~620	325				
		>36~60	470~600	305	20	31	$d=3a$	
		>60~100	460~590	285				
	>100~120	450~580	275					
15MnVR	6~16	530~665	390	19	20	31	$d=3a$	
	>16~36	510~645	370					
	>36~60	490~625	350					

注 1: 所有牌号的钢都是镇静钢;

注 2: 钢板的拉伸试验,夏比(V 型缺口)冲击试验、冷弯试验结果应符合表 A.6 的规定,其中厚度大于 60mm 的钢板仅在合同中注明才做冷弯试验;

注 3: 夏比(V 型缺口)冲击功,按三个试样的算术平均值计算,允许其中一个试样的单个值比表 A.6 规定值低,但不得低于规定值的 70%。

A.2 不锈钢及不锈钢复合钢板性能

不锈钢及不锈钢复合钢板性能应符合表 A.7~表 A.10 的规定。

表 A.7 奥氏体不锈钢的化学成分 (摘自 GB/T4237—1992)

牌号	化学成分%							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0Cr18Ni9	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~13.00	18.00~20.00	—
1Cr18Ni9	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~10.00	17.00~19.00	—

牌号	化学成分%							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0Cr18Ni10Ti	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~13.00	17.00~19.00	—
1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	9.00~13.00	17.00~19.00	—

表 A.8 奥氏体不锈钢经固溶处理的力学性能 (摘自 GB/T4237—1992)

牌号	拉力试验			硬度试验		
	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ MPa	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ_5 %	HB	HRB	HV
0Cr18Ni9	205	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200
1Cr18Ni9	≥205	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200
0Cr18Ni10Ti	≥205	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200
1Cr18Ni9Ti	≥205	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200

表 A.9 不锈钢复合钢板复层、基层材料标准 (摘自 GB/T8165—1997)

复层材料		基层材料	
标准号	GB/T3280 GB/T4237	标准号	GB3274 GB713 GB3531 GB6654 YB(T)40 YB(T)41
典型钢号	0Cr13 0Cr13Al 0Cr17 0Cr17Ti 0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti 00Cr19Ni10 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni12Mo2 00Cr18Ni5Mo3Si2	典型钢号	Q235—A Q235—B 20 20R 20g 16MnR 15CrMoR

表 A.10 不锈钢复合钢板面积结合率 (摘自 GB/T8165—1997)

界面结合级别	类别	结合率 %	未复合状态
I 级	B I BR I R I	100	不允许有未结合区存在
II 级	B II BR II R II	≥ 99	单个未结合区长度不大于 50mm, 面积不大于 20cm ²
III 级	B III BR III R III	≥ 95	单个未结合区长度不大于 75mm, 面积不大于 45cm ²

注 1: 不锈钢复合钢板的复合率达不到表 A.10 规定时, 允许对复合缺陷的复层进行熔焊修补, 这种修补应满足以下要求。

注 2: 按未结合面积与总面积的比率, 以及单个未结合面积的大小和个数将复合钢板分为 I 级、II 级和 III 级, I 级复合钢板适用于不允许有未结合区存在的、加工时要求严格的结构件上, II 级复合钢板适用于可允许有少量未结合区存在的结构件上。III 级复合钢板适用于复层材料只作为抗腐蚀层来使用的一般结构件上。

注 3: 代号 B 为爆炸法、R 为轧制法、BR 为爆炸和轧制。

表 A.11 不锈钢复合钢板力学性能

性能级别	界面抗剪切强度 J_b MPa \geq	屈服点 σ_s MPa	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ %	冲击功 A_{KV} J
I 级 II 级	210	不小于基层 钢板标准值 ^①	不小于基层 钢板标准下 限值, 且不 大于上 限值 35MPa ^②	不小于基层 钢板标准值 ^③	应符合基层 钢板的 规定 ^④
III 级	200				

性能级别	界面抗剪切强度 J_b MPa \geq	屈服点 σ_s MPa	抗拉强度 σ_b MPa	伸长率 δ %	冲击功 A_{KV} J
<p>注①:复合钢板和钢带的屈服点下限值亦可按公式(A. 1)计算:</p> $\sigma_s = \frac{t_1\sigma_{s1} + t_2\sigma_{s2}}{t_1 + t_2} \quad (A. 1)$ <p>式中:σ_{s1}——复层钢板的屈服点下限值,MPa; σ_{s2}——基层钢板的屈服点下限值,MPa; t_1——复层钢板的厚度,mm; t_2——基层钢板的厚度,mm。</p> <p>注②:复合钢板和钢带的抗拉强度下限值亦可按公式(A. 2)计算:</p> $\sigma_b = \frac{t_1\sigma_{b1} + t_2\sigma_{b2}}{t_1 + t_2} \quad (A. 2)$ <p>式中: σ_{b1}——复层钢板的抗拉强度下限值,MPa; σ_{b2}——基层钢板的抗拉强度下限值,MPa; t_1——复层钢板的厚度,mm; t_2——基层钢板的厚度,mm。</p> <p>注③:当复层伸长率标准值小于基层标准值、复合钢板伸长率小于基层、但又不小于复层标准值时,允许剖去复层仅对基层进行拉伸试验,其伸长率应不小于基层标准。</p> <p>注④:复合钢板复层不做冲击功试验。</p>					

表 A. 12 不锈钢复合钢板弯曲性能

厚度 mm	试样宽度 mm	弯曲 角度	弯芯直径 d		试验结果	
			内弯	外弯	内弯	外弯
≤ 25	$b=2a$	180°	$a < 20\text{mm } d=2a$ $a \geq 20\text{mm } d=3a$	$a < 20\text{mm } d=2a$ $a \geq 20\text{mm } d=3a$	在弯曲部分的外侧不得产生裂纹;复合界面不允许分层	
> 25	$b=2a$	180°	加工基层厚度至 25mm,弯芯直径 按基层钢板标准	加工基层厚度至 25mm,弯芯直径 按基层钢板标准		

注:a为复合钢板厚度。

A. 3 普通碳素钢和低合金钢热轧厚钢板表面质量

普通碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板表面质量应符合下列规定 (摘自

GB/T3274—1988):

1 钢板表面不得有气泡、结疤、拉裂、折叠、夹杂和压入的氧化皮。钢板和钢带不得分层。

2 钢板表面允许有不妨碍检查表面缺陷的薄层氧化皮铁锈,由于压入氧化铁皮脱落所引起的不显著的粗糙、划痕、轧辊造成的网纹及其他局部缺陷,但凹凸度不得超过钢板厚度公差之半,对低合金钢板并应保证不超过钢板允许的最小厚度。

3 钢板表面的缺陷不允许焊补和堵塞,应用凿子和砂轮清理。清理处应平缓无棱角,清理深度不得超过钢板厚度负偏差的范围,对低合金钢板并应保证不超过钢板允许的最小厚度。

4 切边钢板的边缘不得有锯齿形凹凸,但允许有深度不大于 2mm、长度不大于 25mm 的个别发纹。

5 根据供需双方协议,厚度大于 10mm 的钢板可逐张进行超声波检验,检验方法由双方明确规定。

注 1: 钢板的尺寸、外形、重量及其允许偏差应符合 GB709 的规定。

注 2: 适用于 4mm~200mm 的普通碳素钢和低合金结构热轧厚钢板。

附录 B

(规范性附录)

不锈钢复合钢焊接工艺评定

B.1 总 则

B.1.1 本工艺评定规定适用于轧制法、爆炸轧制法、爆炸法和堆焊法生产的不锈钢制品。

B.1.2 不锈钢复合钢的焊接工艺评定除遵守本规定外,尚应遵守本规范 4.1 “焊接工艺评定”条文中有关规定。

B.2 焊接工艺评定规则

B.2.1 试件应以不锈钢复合钢(包括基层和复层)制备。

B.2.2 经评定合格的焊接工艺适用于焊件(包括母材和焊缝金属)厚度有效范

围，应按试件的复层和基层厚度分别计算。

B. 2.3 经评定合格的焊接工艺适用于焊件复层焊缝金属厚度有效范围的最小值，为试件复层焊缝金属厚度。

B. 2.4 试样进行拉伸和弯曲试验时，不锈钢复合钢焊接接头（包括基层、过渡焊缝和复层）都应得到检验，冲击试验只检验基层部分的焊接接头。

1 拉伸试样应包括复层和基层的全厚度。

2 当过渡焊缝和复层焊缝焊接工艺评定重要因素不同时应取 4 个侧弯试样；当过渡焊缝和复层焊缝焊接工艺评定重要因素相同时尽量取侧弯试样，也可以取 2 个背弯试样和 2 个面弯试样。背弯试验时基层焊缝金属受拉伸。

弯曲试验尺寸见表 B.1。

3 只在基层焊缝区及热影响区做冲击试验。

表 B.1 弯曲试验尺寸

弯曲试样类别	试样厚度 S mm	弯心直径 mm	支座面距离 mm	弯曲角度
侧弯试样	10	40	63	180°
面弯、背弯试样	S	4S	6S+3	

B. 2.5 力学性能试验的合格指标

1 拉伸试验：每个试样的抗拉强度 σ_b 应满足附录 A 中表 A.11 “复合钢板力学性能” 附注中公式 (A.2) 的计算结果。

2 弯曲试验：试样弯曲到规定的角度后，拉伸面上任何方向不得有长度大于 3mm 的任一裂纹或缺陷，试样的棱角开裂不计。对轧制法、爆炸轧制法、爆炸法生产的不锈钢复合钢侧弯试样复合界面未结合缺陷的分层，裂纹允许重新取样试验。

3 冲击试验：每个区 3 个试样为一组的常温冲击吸收功平均值应符合图样或相关技术文件规定，且不小于 27J，至多允许有 1 个试样的冲击吸收功低于规定值，但不低于规定值的 70%。

附录 C

(规范性附录)

焊接工艺评定力学性能试板的制备、
试样尺寸、试验方法及合格标准

C.1 对接接头试件制备

C.1.1 板状对接接头试件尺寸应满足切取所需试样，试样切取部位见图 C.1。



图 C.1 试验切取部位

C.1.2 试件焊完后应作外观检查、X射线探伤，合格后再作力学性能试验。

C.1.3 外观检查应符合表 4.4.1 有关规定。

C.1.4 试件的射线探伤按 GB/T3323 的规定、射线照相的质量应不低于 AB 级，焊缝质量不低于 II 级；试件的超声波探伤应按 GB/T11345 的规定，检验等级为 B 级，焊缝质量不低于 I 级。

C.1.5 硬度测定应按图 C.2 所示位置测定。

C.2 对接接头力学性能试样的形状和尺寸

C.2.1 拉伸试样

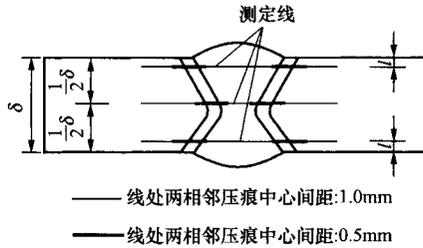
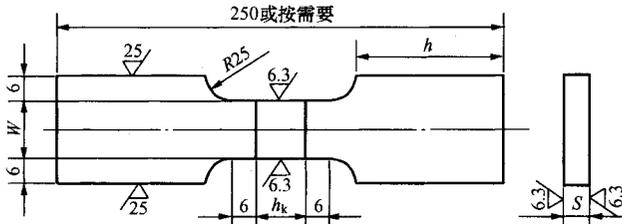


图 C.2 硬度测定位置

- 1 对接接头的试样可选用带肩板状试样；
- 2 带肩板状试样如图 C.3 所示；



S—试样厚度，mm；W—试样受拉伸平行侧面宽度，大于或等于25mm；
 h_k —焊缝最大宽度，mm；h—夹持部分长度，根据试验机夹具而定，mm。

图 C.3 对接接头带肩板状试样图

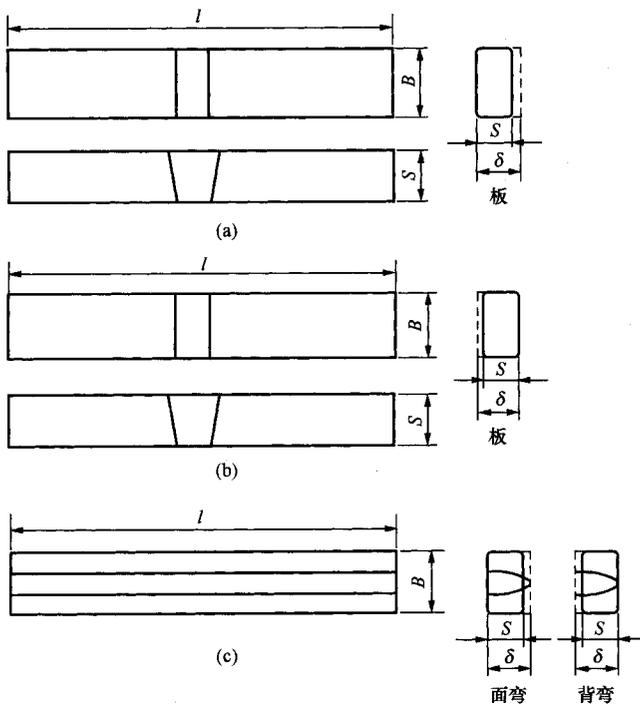
- 3 试样的焊缝余高应以机械方法去除，使之与母材齐平，试样厚度应等于或接近试件母材厚度 δ ；
- 4 厚度小于或等于 30mm 的试件，采用全厚度试样进行试验。

C.2.2 弯曲试样

- 1 纵、横、向面弯、背弯试样尺寸和表面粗糙度应符合图 C.4 规定，横向侧弯试样尺寸见图 C.5 规定；
- 2 纵、横、向面弯、背弯试样长度 $l = D + 2.5s + 100\text{mm}$ （式中 D ——弯心直径 mm），横向侧弯试样长度 $l = D + 105\text{mm}$ ，最小为 150mm；
- 3 试样宽度 $B = 38\text{mm}$ ，横向侧弯试样宽度此时为试件厚度方向；
- 4 试样拉伸面棱角 $R < 2$ 。

C.2.3 冲击试样

- 1 以 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 带有 V 型缺口的试样为标准试样，试样的尺寸及



(a) 板材横面向弯试验；(b) 板材横向背弯试验；(c) 板材纵面向弯和背弯试验

图 C.4 板材纵、横面向弯及背弯试样

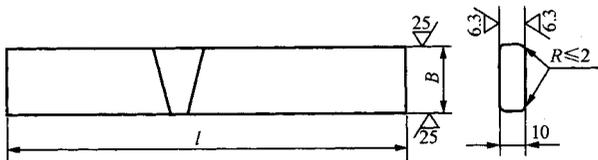


图 C.5 板材横向侧弯试样

偏差应符合图 C.6 的规定，试样缺口底部应光滑，不得有与缺口轴线平行的明显划痕；

2 试样应采用机械加工或磨削方法制备，应防止加工表面的应变硬化或材料过热；

3 试样缺口按试验要求可分别在焊缝及热影响区，试样的缺口轴线应当垂直焊缝表面、取样位置见图 C.7 所示；

4 试样缺口处若发现有肉眼可见的气孔、夹渣等缺陷时，则不能用该试样进

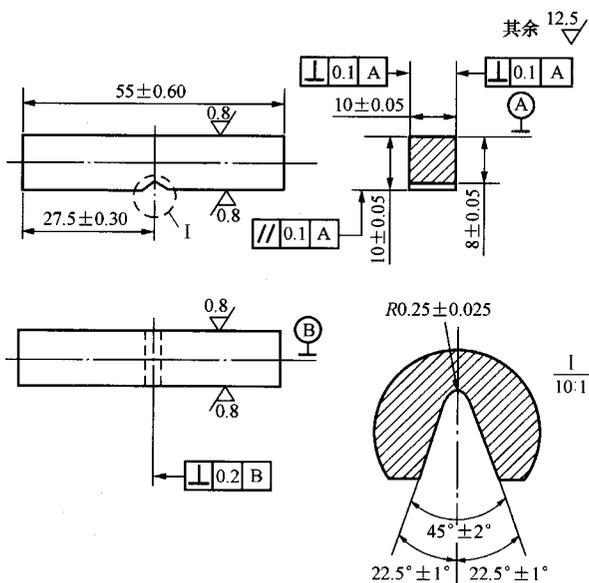
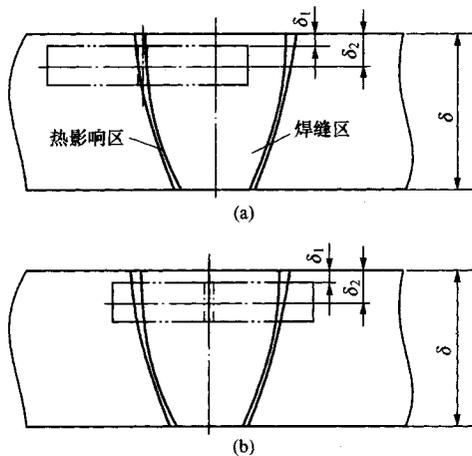


图 C.6 V型缺口冲击试样



(a) 热影响区冲击试样位置；(b) 焊缝区冲击试样位置

图 C.7 冲击试样切取位置

注 1：当 $\delta \leq 60\text{mm}$ 时， $\delta_1 = 1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ ；当 $\delta > 60\text{mm}$ 时， $\delta_2 = T/4$ 。

注 2：双面焊时， δ_2 从后焊面的钢材表面测量。

行试验。

C.3 力学性能试验方法和合格标准

C.3.1 拉伸试验

- 1 拉伸试验按 GB/T228 的规定进行。
- 2 试样母材为同种钢号时，每个试样的抗拉强度应不低于母材钢号标准规定值的下限。
- 3 试样母材为两种钢号时，每个试样的抗拉强度不应低于两种钢号标准规定值下限的较低值。

C.3.2 弯曲试验

- 1 弯曲试验按 GB/T232 的规定进行。
- 2 试样的焊缝中心应对准弯心轴线。侧弯试验时，若试样表面存在缺陷，则以缺陷较严重一侧作为拉伸面。
- 3 弯曲试样按表 C.1 规定的角度进行弯曲，其拉伸面上沿任何方向不得有单条长度大于 3mm 的裂纹或缺陷，试样的棱角开裂一般不计，但由夹渣或其他焊接缺陷引起的棱角开裂长度应计入。

表 C.1 弯曲试验尺寸的规定

试件厚度 S mm	弯心直径 D mm	支座间距离 mm	弯曲角度
<10	4S	6S+3	180°
10	40	63	

注 1:衬垫焊接接头弯曲角度按双面焊规定;

注 2:异种钢接头弯曲角度按低塑性一侧钢种的规定。

C.3.3 冲击试验

- 1 冲击试验按 GB/T229 的规定进行。
- 2 每个区 3 个试样为一组的常温冲击吸收功平均值应符合图样或相关技术文件规定，且不得小于 27J，且至多允许有一个试样的冲击功低于规定值，但不低于规定值的 70%。

C.4 角焊缝试件制备

C.4.1 角形焊缝试件尺寸及试样见图 C.8 及表 C.2。

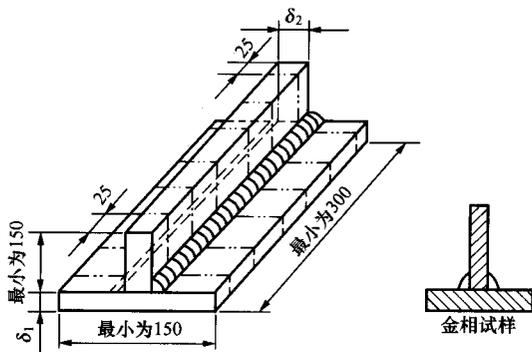


图 C.8 角形焊缝试件及试样 (单位: mm)

表 C.2 角形焊缝试件厚度组成

mm

翼板厚度 δ_1	腹板厚度 δ_2
≤ 3	δ_1
> 3	$\leq \delta_1$, 但不小于 3

C.4.2 板材组合焊缝试件尺寸及试样见图 C.9 及表 C.3。

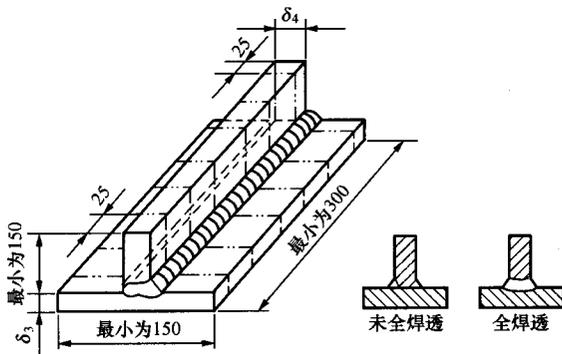


图 C.9 板件组合焊缝试件及试样 (单位: mm)

表 C.3 板材组合焊缝试件厚度组成

mm

翼板厚度 δ_3	腹板厚度 δ_4	适用于焊件母材厚度的有效范围
< 20	$\leq \delta_3$	翼板和腹板厚度均小 20
≥ 20	$\leq \delta_3$, 且 ≥ 20	翼板和腹板的厚度中任一或全部不小于 20

C.4.3 角焊缝及板材组合焊缝的评定试件焊完后，需经外观检查和磁粉渗透探伤。合格后，将试件两端各弃去 25mm 后五等分切开，如图 C.8、图 C.9 所示。

- 1 角焊缝合格标准：焊缝金属和热影响区不得有裂纹、未熔合；
- 2 板材组合焊缝合格标准：焊缝金属和热影响区不得有裂纹、未熔合，焊缝根部焊透程度应符合 4.4.9 的规定。

附 录 D

(资料性附录)

焊接工艺指导书和焊接工艺评定报告推荐格式

表 D.1 焊接工艺指导书推荐格式

单位名称：_____
焊接工艺指导书编号：_____ 日期：_____ 焊接工艺评定报告编号：_____
焊接方法：_____ 机械化程度(手工、半自动、自动)_____
焊接接头：_____ 简图：(接头形式、坡口形式与尺寸、焊层、焊道布置及顺序)
坡口形式：_____
衬垫(材料及规格)：_____
其 他：_____
母材：
类别号_____ 组别号_____ 与类别号_____ 组别号_____ 相焊及
标准号_____ 钢 号_____ 与标准号_____ 钢 号_____ 相焊
厚度范围：
母材：对接焊缝_____ 角焊缝_____
焊缝金属厚度范围：对接焊缝_____ 角焊缝_____
其 他：_____

焊接材料:

焊条牌号 _____ 焊条规格 _____ 型号 _____ 钨极型号规格 _____

焊丝牌号 _____ 焊丝规格 _____ 型号 _____ 焊剂牌号 _____

焊条烘干参数 _____ 焊剂烘干参数 _____

保护气体 _____ 流量 _____ 其他 _____

焊材标准 _____ 填充金属尺寸 _____

焊缝(焊丝)熔敷金属化学成分(%)

焊材 牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Nb			

焊接位置:

对接焊缝位置 _____ 焊接方向 _____

角焊缝位置 _____

预热、层间、后热温度:

预热温度(允许最低值) _____ °C 保持预热时间 _____ min

层间温度(允许最高值) _____ °C 加热方式 _____

后热温度 _____ °C 后热保温时间 _____ min

焊后消除应力热处理:

温度范围 _____ °C 保温时间 _____ min

电特性:

电流种类: _____ 极性: _____

焊接电流范围 _____ A 电弧电压 _____ V

焊接工艺规范参数要求: (按所焊位置和厚度分别列出电流和电压范围,记入下表)

焊接 层次	焊接 方法	焊条(丝)		焊接电流		电弧 电压 V	焊接 速度 cm/min	保护气体		焊接线 能量 kJ/cm
		牌号	直径	极性	电流 A			种类	流量 L/min	

操作技术要求：

摆动焊或不摆动焊_____ 摆动参数_____

喷嘴直径_____ 导电嘴至工件距离_____

焊前清理_____ 层间清根_____

清根方式_____ 清根要求_____

单道焊或多道焊_____ 其他_____

对焊接接头的基本要求：

1. 外观检验 检验评定标准_____
2. 无损检验 检验方式_____ 检验评定标准_____
3. 力学性能

抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ MPa	弯曲角度 (°)	冲击试验		
			缺口类型	缺口位置	试验温度 C

4. 其他检验

编制	日期	审核	日期	批准	日期
----	----	----	----	----	----

表 D.2 焊接工艺评定报告推荐格式

单位名称：_____ 焊接工艺指导书编号：_____

焊接工艺评定报告编号：_____ 机械化程度(手工、半自动、自动)_____

焊接方法：_____

接头简图：（坡口形式、焊接层次及顺序）

母材：
材料标准_____ 钢号_____

类组别号_____ 与类、组别号_____ 相焊

填充金属： 焊材标准 _____ 焊材牌号 _____ 焊材规格 _____ 焊缝金属厚度 _____										
焊接位置：对接焊缝位置 _____ 方向：(向上向下)角焊缝位置 _____ 方向：(向上向下)										
预热、层间、后热温度： 预热温度：_____℃ 层间温度：_____℃ 消氢温度：_____℃ 消氢时间：_____ min 焊后热处理： 热处理温度：_____℃ 保温时间：_____ min										
保护气体： 种类和比例 _____ 流量 _____ L/min										
电特性： 电流种类 _____ 极性 _____ 焊接电流 _____ A 电弧电压 _____ V 其他 _____										
技术措施： 焊接速度 _____ cm/min 摆动或不摆动 _____ 摆动参数 _____ 多道焊或单道焊(海面) _____ 多丝焊或双丝焊 _____ 其他 _____										
焊接工艺参数										
焊接层次	焊接方法	焊条(丝)		焊接电流		电弧电压 V	焊接速度 cm/min	保护气体		焊接线能量 kJ/cm
		牌号	直径 mm	极性	电流 A			种类	流量 L/min	

水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范

操作技术：											
外观检验结论：											
试样编号	外观发现缺陷情况						评定结果				
检验单位						检验报告编号					
无损探伤结论：											
试样编号	探伤方法	焊接缺陷	评定等级	评定结果	金相宏观检查	接头硬度					
						母材	焊缝				
检验单位					检验报告编号						
拉伸试验						试验报告编号_____					
试样编号	试样宽度 mm	试样厚度 mm	横截面积 mm ²	断裂负荷 kN	抗拉强度 MPa	断裂部位和特征					
弯曲试验						试验报告编号_____					
试样编号	试样类型	试样厚度 mm	弯心直径 mm	弯曲角度 (°)	试验结果						

冲击试验					试验报告编号_____		
试样 编号	试样尺寸	缺口类型	缺口位置	试验温度 ℃	冲击吸收 功 J	备 注	
硬度试验结果(HB)					试验报告编号_____		
焊 缝		热影响区			母 材		
金相检验结果					试验报告编号_____		
宏 观		微 观			其他检验		
其他检验项目结论:							
结论:本评定按_____规定焊接试件,检验试样、测定性能,确认试验记录正确。 评定结果: (合格、不合格)							
焊工姓名		焊工代号		施焊日期			
编制	日期	审核	日期	批准	日期		
第三方检验							

附 录 E

(资料性附录)

高强度螺栓连接面无机富锌漆配方

- | | |
|-------------------|-------|
| 1.5%海藻酸钠溶液 | 3~4 份 |
| 锌粉 (320 目) | 21 份 |
| 水玻璃 (模数 3.1) | 4 份 |
| 防风化剂 | 4.2 份 |
| 摩擦剂 | 0.7 份 |
| 氯化镁固化剂溶液 (浓度 28%) | |

注 1: 海藻酸钠液配方——将工业用海藻酸钠 1g 加入 100g 水中, 稍加热搅拌使其溶解, 再加入

1/10 水杨酸酒精溶液 1g, 搅拌均匀后静置 12h, 待溶液均匀后即可使用;

注 2: 无机富锌漆涂刷后经数小时待其充分干燥 (用手指甲刮, 出现金属光泽), 再刷氯化镁固化溶液;

注 3: 氯化镁溶液是将 28g 氯化镁溶解于 72g 水中, 用相对密度计加减水调整其相对密度至 1.116 即成;

注 4: 无机富锌漆含锌量较高, 易于沉淀, 使用时要经常搅拌, 无机富锌漆的涂层厚度为 $100\mu\text{m}$ ~ $200\mu\text{m}$ 。

附录 F

(规范性附录)

高强度螺栓抗滑移系数和紧固力矩检测

F.1 高强度螺栓摩擦面抗滑移系数检测规定

F.1.1 抗滑移系数试验用的试件应由制造厂加工, 试件与所代表的钢结构部件应为同一材质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺, 使用同一性能等级, 同一直径的高强度螺栓连接副。

F.1.2 抗滑移系数试验应采用双摩擦面的二栓拼接的拉力试件。

F.1.3 抗滑移系数 μ 按公式 (F.1) 计算:

$$\mu = \frac{N}{nf \times \sum P_t} \quad (\text{F.1})$$

式中:

N ——由试验测得的滑动荷载 (kN);

nf ——传力摩擦面板, 取 $nf=2$;

$\sum P_t$ ——与试件滑动荷载一侧对应的高强度螺栓预拉力实测值之和 (kN)。

F.1.4 现场处理的连接部件摩擦面, 抗滑移系数应按 F.1.2 和 F.1.3 规定进行检测, 并应符合设计要求。

F.2 高强度螺栓紧固力矩检测规定

高强度螺栓规定的紧固力及紧固力矩计算见表 F.1。

表 F.1 高强度螺栓规定的紧固力及紧固力矩表

公称直径 d mm	高强螺栓平均扭矩系数	施工预拉力 P_c kN		施工扭矩 T_c N·m	
		螺栓性能等级		螺栓性能等级	
		8.8S	10.9S	8.8S	10.9S
M12	0.130	45.0	60.0	70.2	93.6
M16	0.130	75.0	110.0	156.0	228.8
M20	0.130	120.0	170.0	312.0	442.0
M22	0.130	150.0	210.0	429.0	600.6
M24	0.130	170.0	250.0	530.4	780.0
M27	0.130	225.0	320.0	789.8	1123.2
M30	0.130	275.0	390.0	1072.5	1521.0

注 1:高强度大六角头螺栓的初拧扭矩宜为终拧施工扭矩的 50%;

注 2:大六角头高强度螺栓施工扭矩可由公式(F.1)计算确定:

$$T_c = k \cdot P_c \cdot d \quad (F.2)$$

式中:

T_c ——施工扭矩(N·m);

k ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值应在 0.110~0.150 范围内,其标准偏差应小于 0.010;

P_c ——高强螺栓施工预拉力(kN);

d ——高强度螺栓直径(mm)。

注 3:大六角头高强度螺栓检查扭矩可由公式(F.3)计算确定:

$$T_{ch} = k \cdot P \cdot d \quad (F.3)$$

式中:

T_{ch} ——检查扭矩(N·m),将已拧紧的高强度螺栓副抽查 10%,将螺母松开约 60°,再重新拧紧,此时测得的扭矩应在 $0.9T_{ch} \sim 1.1T_{ch}$ 范围内;

P ——高强度螺栓设计预拉力($P_c = 1.1P$)。

附 录 G

(规范性附录)

涂装前钢材表面除锈等级

GB/T8923—88 标准中订有四个除锈等级，其规定如下：

Sa1 轻度的喷射或抛射除锈

钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。参见照片 BSa1、CSa1 和 DSa1。

Sa2 彻底的喷射或抛射除锈

钢材表面应无可见的油脂和油污，并且氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物已基本消除，其残留物应是牢固附着的。参见照片 BSa2、CSa2 和 DSa2。

Sa2 $\frac{1}{2}$ 非常彻底的喷射或抛射除锈

钢材表面应无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。参见照片 ASa2 $\frac{1}{2}$ 、BSa2 $\frac{1}{2}$ 、CSa2 $\frac{1}{2}$ 和 DSa2 $\frac{1}{2}$ 。

Sa3 使钢材表面观洁净的喷射或抛射除锈

钢材表面应无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，该表面应显示均匀的金属色泽。参见照片 ASa3、BSa3、CSa3 和 DSa3。

注 1：照片见 GB 8923—1988。

附录 H

(资料性附录)

大气露点计算表

环境温度 C 相对湿度 %	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
95	-6.5	-1.3	3.5	8.2	13.3	18.3	23.2	28.0	33.0	38.2
85	-7.2	-2.0	2.6	7.3	12.5	17.4	22.0	27.0	32.0	37.1
80	-7.7	-2.8	1.9	6.5	11.5	16.5	21.0	25.9	31.0	36.2
75	-8.4	-3.6	0.9	5.6	10.4	15.4	19.9	24.7	29.6	35.0
70	-9.2	-4.5	-0.2	4.6	9.1	14.2	18.5	23.3	28.1	33.5
65	-10.0	-5.4	-1.0	3.3	8.0	13.0	17.4	22.0	26.8	32.0
60	-10.8	-6	-2.1	2.3	6.7	11.9	16.2	20.6	25.3	30.5
55	-11.5	-7.4	-3.2	1.0	5.6	10.4	14.8	19.1	23.0	28.0
50	-12.8	-8.4	-4.4	-0.3	4.1	8.6	13.3	17.5	22.2	27.1
45	-14.3	-9.6	-5.7	-1.5	2.6	7.0	11.7	16.0	20.2	25.2
40	-15.9	-10.3	-7.3	-3.1	0.9	5.4	9.5	14.0	18.2	23.0
35	-17.5	-12.1	-8.6	-4.7	-0.8	3.4	7.4	12.0	16.1	20.6
30	-19.9	-14.3	-10.2	-6.9	-2.9	1.3	5.2	9.2	13.7	18.0

附录 I

(资料性附录)

金属涂层厚度和结合性能的检查

I.1 金属涂层厚度检查

金属涂层厚度检查方法如下：

1 当有效面积在 1m^2 以上时用磁性测厚仪，在一个面积为 1dm^2 的基准面上测量 10 点涂层厚度，取 10 个值的算术平均值为该基准表面的局部平均厚度值，测点分布图见图 I.1 所示。当有效面积在 1m^2 以下时，在一个面积为 1cm^2 的基准面

上测量五点涂层厚度，取五个值的算术平均值为该基准面的局部厚度，测点分布见图 I.2。

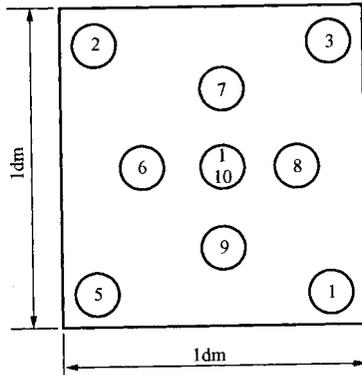


图 I.1 十点法测点布置图

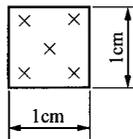


图 I.2 五点法测量布置图

2 根据工件大小和结构复杂程度的不同，按照分布均匀，具有代表性的原则，一般在平整的表面上，每 10m^2 不少于三个基准表面，结构复杂的表面可适当增加基准表面。

3 实测涂层的最小局部厚度不得小于设计规定的厚度。

I.2 金属涂层结合性能检查

金属涂层结合性能检查方法如下：

1 用图 I.3 所示硬质刃口刀具，将涂层切割成方形格子，尺寸见表 I.1；

表 I.1 涂层切格尺寸表

检查的涂层厚度 μm	切格区的近似面积 $\text{mm} \times \text{mm}$	划痕间的距离 mm
< 200	15×15	3
> 200	25×25	5

2 切割时刀具的刃口与涂层表面约保持 90° 角（见图 I.4），切割后，涂层至基体表面必须完全切断：

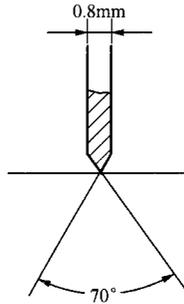


图 I.3 切割刀具刃口的形状

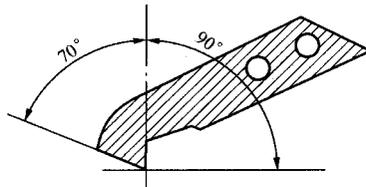


图 I.4 刀具切割角度

3 在格子状涂层表面，贴上宽度为 25mm 的布胶带，用 500g 负荷的辊子或用手指压紧，然后按图 I.5 所示方法，以手持粘胶带的一端，按与涂层表面垂直的方向，以迅速而突然的方式将粘胶带拉开，检查涂层是否被胶带粘起而剥离；

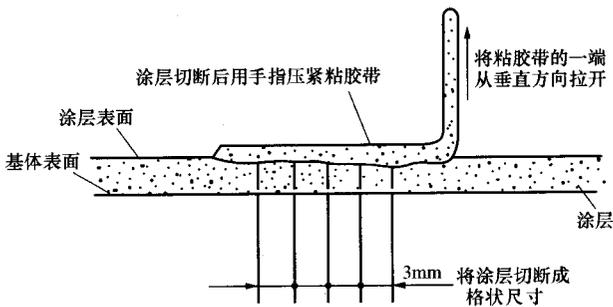


图 I.5 粘胶带拉开方式示意图

4 涂层的任何部位都未与基体金属剥离为合格，如果胶带上有所破断的涂层粘附，但破断部分发生在涂层间，而不是涂层与基体的表面上，基体未裸露，亦认为

合格。

附录 J

(资料性附录)

一般工程与结构用铸钢件

J.1 GB/T11352《一般工程用铸造碳钢件》摘录

J.1.1 一般工程用铸造碳钢件化学成分应符合表 J.1 的规定。

J.1.2 一般工程用铸造碳钢件力学性能应符合表 J.2 的规定。

表 J.1 铸造碳钢件的化学成分

牌 号	元素最高含量 %									
	C	Si	Mn	S	P	残 余 元 素				
						Ni	Cr	Cu	Mo	V
ZG200—400	0.02	0.50	0.80	0.04	0.04	0.30	0.35	0.30	0.20	0.05
ZG230—450	0.30		0.90							
ZG270—500	0.40	0.60		0.90	0.04	0.04	0.30	0.35	0.30	0.20
ZG 310—570	0.50									
ZG 340—640	0.60									

注 1:对上限减少 0.01%的碳,允许增加 0.04%的锰,对 ZG 200—400 的锰最高至 1.00%,其余四个牌号锰最高至 1.20%。

注 2:残余元素总量不超过 1.00%,如需方无要求,残余元素可不进行分析。

注 3:当使用酸性炉生产铸件时,S、P 含量由供需双方商定。

表 J.2 铸造碳钢件的力学性能

牌 号	最小值					
	屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ N/mm ² (kgf/mm ²)	抗拉强度 σ_b N/mm ² (kgf/mm ²)	延伸率 δ %	根据合同选择		
				收缩率 ψ %	冲击韧性	
					A_{kv} J	α_K kgf·m/cm ²
ZG200—400	200 (20.4)	400 (40.8)	25	40	30	6.0
ZG230—450	230 (23.5)	450 (45.9)	22	32	25	4.5
ZG270—500	270 (27.6)	500 (51.0)	18	25	22	3.5
ZG310—570	310 (31.6)	570 (58.2)	15	21	15	3
ZG340—640	340 (34.6)	640 (65.4)	10	18	10	2

J.2 GB/T 14408 《一般工程与结构用低合金铸钢件》摘录

J.2.1 一般工程与结构用低合金铸钢件的硫、磷含量应符合表 J.3 的规定。

J.2.2 一般工程与结构用低合金铸钢件力学性能应符合表 J.4 的规定。

表 J.3 低合金铸钢件化学成分中的硫、磷含量

牌 号	最 高 含 量 %	
	S	P
ZGD270—480	0.040	0.040
ZGD290—510		
ZGD345—570		
ZGD410—620		
ZGD535—720		
ZGD650—830	0.035	0.035
ZGD730—910		
ZGD840—1030		

表 J.4 低合金钢铸件的力学性能

牌号	最小值			
	屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ MPa	抗拉强度 σ_b MPa	延伸率 δ %	收缩率 ψ %
ZGD270—480	270	480	18	35
ZGD290—510	290	510	16	35
ZGD345—570	345	570	14	35
ZGD410—620	410	620	13	35
ZGD535—720	535	720	12	30
ZGD650—830	650	830	10	25
ZGD730—910	730	910	8	22
ZGD840—1030	840	1030	6	20

注:表中力学性能值取自 28mm 厚标准试块。

附 录 K

(资料性附录)

优质碳素结构钢和合金结构钢

K.1 GB/T699《优质碳素结构钢》摘录

K.1.1 优质碳素结构钢的牌号、统一数字代号及化学成分(熔炼分析)应符合表 K.1 的规定。

表 K.1 优质碳素结构钢的化学成分

序号	统一数字代号	牌号	化学成分 %					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
						不大于		
1	U20252	25	0.22~0.29	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
2	U20302	30	0.27~0.34	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
3	U20352	35	0.32~0.39	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
4	U20402	40	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
5	U20452	45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25

注:表中所列牌号为优质钢,如果是高级优质钢,在牌号后面加“A”(统一数字代号最后一位数字改为“3”);如果是特级优质钢,在牌号后面加“E”(统一数字代号最后一位数字改为“6”);对于沸腾钢,牌号后面为“F”(统一数字代号最后一位数字为“0”);对于半镇静钢,牌号后面为“b”(统一数字代号最后一位数字为“1”)。

K.1.2 优质碳素结构钢的磷、硫含量应符合表 K.2 的规定。

表 K.2 优质碳素结构钢的磷、硫含量

组 别	P	S
	不 大 于 %	
优质钢	0.035	0.035
高级优质钢	0.030	0.030
特级优质钢	0.025	0.020

K.1.3 优质碳素结构钢用热处理(正火)毛坯制成的试样测定钢材的纵向力学性能应符合表 K.3 的规定。

表 K.3 优质碳素结构钢的力学性能

序号	牌号	试样 毛坯 尺寸 mm	推荐热处理温度 ℃			σ_b MPa	σ_s MPa	δ_5 %	ψ %	A_{ku2} J	钢材交货状态 硬度 HBS10/ 3000 不大于	
			正火	淬火	回火						不小于	未热 处理
1	25	25	900	870	600	450	275	23	50	71	170	
2	30	25	880	860	600	490	295	21	50	63	179	
3	35	25	870	850	600	530	315	20	45	55	197	
4	40	25	860	840	600	570	335	19	45	47	217	187
5	45	25	850	840	600	600	355	16	40	39	229	197

注:表中所列正火推荐保温时间不少于 30min;淬火推荐保温时间不少于 30min;回火推荐保温时间不少于 1h。

K.2 GB/T3077《合金结构钢》摘录

K.2.1 低合金结构钢的牌号、统一数字代号及化学成分(熔炼分析)应符合表 K.4 的规定。

K.2.2 低合金结构钢中硫、磷及残余铜、镍、钼的含量应符合表 K.5 的规定。

K.2.3 低合金结构钢的力学性能应符合表 K.6 的规定。

表 K.4 低合金钢的化学成分

序号	统一数字代号	牌号	化学成分 %					
			C	Si	Mn	Cr	No	Ni
1	A00352	35Mn2	0.32~0.39	0.17~0.37	1.40~1.80			
2	A10272	27SiMn	0.24~0.32	1.00~1.40	1.10~1.40			
3	A10352	35SiMn	0.32~0.40	1.10~1.40	1.10~1.40			
4	A20402	40Cr	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10		
5	A20502	50Cr	0.47~0.54	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10		
6	A30352	35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25	

序号	统一数字代号	牌号	化学成分					
			%					
			C	Si	Mn	Cr	No	Ni
7	A30422	42CrMo	0.38~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.90~1.20	0.15~0.25	
8	A42302	30CrNi3	0.27~0.33	0.17~0.37	0.30~0.60	0.60~0.90		2.75~3.15
9	A411372	37CrNi3	0.34~0.41	0.17~0.37	0.30~0.60	1.20~1.60		3.00~3.50
10	A50202	20CrNiMo	0.17~0.23	0.17~0.37	0.60~0.95	0.40~0.70	0.20~0.30	0.35~0.75
11	A50403	40CrNiMoA	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.60~0.90	0.15~0.25	1.25~1.65

注 1:本标准中规定带“A”字标志的牌号仅能作为高级优质钢订货,其他牌号按优质钢订货。
注 2:统一数字代号系根据 GB/T17616 规定列入,优质钢尾部数字为“2”,高级优质钢(带“A”钢)尾部数字为“3”,特级优质钢(带“E”钢)尾部数字为“6”。

表 K.5 低合金结构钢中硫、磷及残余铜、铬、镍、钼的含量 %

钢 类	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
	不 大 于					
优质钢	0.035	0.035	0.30	0.30	0.30	0.15
高级优质钢	0.025	0.025	0.25	0.30	0.30	0.10
特级优质钢	0.025	0.015	0.25	0.30	0.30	0.10

表 K.6 低合金结构钢的力学性能

序号	牌号	试样 毛坯 尺寸 mm	热处理				力学性能					钢材退火或高温回火状态布氏硬度 HB100/3000 不大于
			淬火		回火		抗拉强度 σ_b MPa	屈服点 σ_s MPa	断后伸长率 δ_5 %	断后收缩率 ψ %	冲击吸收功 A_{kv} J	
			加热温度 $^{\circ}C$	冷却剂	加热温度 $^{\circ}C$	冷却剂						
1	35Mn2	25	840	水	500	水	835	685	12	45	55	207
2	27SiMn	25	920	水	450	水、油	980	835	12	40	39	217
3	35SiMn	25	900	水	570	水、油	885	735	15	45	47	229

序号	牌号	试样 毛坯 尺寸 mm	热处理				力学性能					钢材退 火或高 温回火 状态布 氏硬度 HB100/ 3000 不 大于
			淬火		回火		抗拉 强度 σ_b MPa	屈服 点 σ_s MPa	断后 伸长 率 δ_5 %	断后 收缩 率 ψ %	冲击 吸收功 A_{kv} J	
			加热 温度 ℃	冷却剂	加热 温度 ℃	冷却剂						
			不小于									
4	40Cr	25	850	油	520	水、油	980	785	9	45	47	207
5	50Cr	25	830	油	520	水、油	1080	930	9	40	39	229
6	35CrMo	25	850	油	550	水、油	980	835	12	45	63	229
7	42CrMo	25	850	油	560	水、油	1080	930	12	45	63	217
8	30CrNi3	25	820	油	500	水、油	980	785	9	45	63	241
9	37CrNi3	25	820	油	500	水、油	1130	980	10	50	47	269
10	20CrNiMo	25	850	油	200	空	980	785	9	40	47	197
11	40CrNiMoA	25	850	油	600	水、油	980	835	12	55	78	269

注 1:表中所列热处理温度允许调整范围:淬火 $\pm 15^\circ\text{C}$,低温回火 $\pm 20^\circ\text{C}$,高温回火 $\pm 50^\circ\text{C}$ 。

注 2:拉伸试验时试样钢上不能发现屈服,无法测定屈服点 σ_s 情况下,可以规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.02}$ 。

附 录 L

(规范性附录)

锻件通用技术条件

L.1 优质碳素结构钢和低合金结构钢锻件的化学成分

L.1.1 锻件应按 GB/T 223《钢铁及合金化学分析方法》取样进行成品分析。

L.1.2 锻件的化学成分允许偏差应符合 L.1 的规定。

表 L.1 锻件的化学成分允许偏差

%

元素	规定化学成分范围 %	截面积 cm ²					
		≤650	>650~ 1300	>1300~ 2600	>2600~ 5200	>5100~ 10420	>10420
C	≤0.25		±0.03	±0.03	±0.04	±0.05	±0.05
	>0.25~0.50	±0.03	±0.04	±0.04	±0.05	±0.06	±0.06
	≥0.50		±0.05	±0.05	±0.06	±0.07	±0.07
Si	≤0.35	±0.02	±0.03	±0.04	±0.04	±0.05	±0.06
	>0.35	±0.05	±0.06	±0.06	±0.07	±0.07	±0.09
Mn	≤0.90	±0.03	±0.04	±0.05	±0.06	±0.07	±0.08
	>0.90	±0.06	±0.06	±0.07	±0.08	±0.08	±0.09
P	≤0.050	+0.008	+0.008	+0.010	+0.010	+0.015	+0.015
S	≤0.030	+0.005	+0.005	+0.005	+0.005	+0.006	+0.006
	>0.030	+0.010	+0.010	+0.010	+0.010	+0.015	+0.015
Cr	≤0.90	±0.03	±0.04	±0.04	±0.05	±0.05	±0.06
	>0.90~2.10	±0.05	±0.06	±0.06	±0.07	±0.07	±0.08
	>2.10~10.00	±0.10	±0.10	±0.10	±0.14	±0.15	±0.16
Ni	≤1.00	±0.03	±0.03	±0.03	±0.03	±0.03	±0.03
	>1.00~2.00	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05
	>2.00~5.30	±0.07	±0.07	±0.07	±0.07	±0.07	±0.07
Mo	≤0.20	±0.01	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.03
	>0.20~0.40	±0.02	±0.03	±0.03	±0.03	±0.04	±0.04
	>0.40~1.15	±0.03	±0.04	±0.05	±0.06	±0.07	±0.08

L.2 优质碳素结构钢和低合金结构钢锻件的力学性能

L.2.1 锻件的纵向力学性能应符合表 L.2 的规定。

表 L.2 锻件的纵向力学性能

序号	钢号	热处理类型	截面尺寸 mm	力学性能 \geq					硬度 HB	
				σ_b (或=)	σ_s ($\sigma_{0.2}$)	δ_5	ψ	A_{ku2}		A_{kv}
				MPa		%		J		
1	25	正火 + 回火	≤ 100	420~570	235	22	50	39	126~170	
			$> 100\sim 250$	390~530	215	20	48	31		
			$> 250\sim 500$	380~520	205	18	40	31		
			$> 500\sim 1000$	380~520	205	17	35	27		
2	35	正火 + 回火	≤ 100	480~670	270	19	43	27	143~187	
			$> 100\sim 250$	460~650	245	17	40	24		
			$> 250\sim 500$	460~610	245	17	37	24		
			$> 500\sim 1000$	460~610	245	17	30	20		
		调质	≤ 100	550~700	320	20	45	47	196~241	
			$> 100\sim 250$	490~640	295	22	40	39	187~229	
			$> 250\sim 500$	490~640	275	21			163~219	
3	45	正火 + 回火	≤ 100	580~770	305	17	38	24	163~217	
			$> 100\sim 250$	560~750	275	15	35	20		
			$> 250\sim 500$	560~720	275	15	32	20		
			$> 500\sim 1000$	560~720	275	15	30	16		
		调质	≤ 100	630~780	370	17	40	31	207~302	
			$> 100\sim 250$	590~740	345	18	35	31	197~286	
			$> 250\sim 500$	590~740	325	17			187~255	
4	35Mn2	正火 + 回火	≤ 100	620	315	18	45	24	207~241	
			$> 100\sim 300$	580	295	18	43	24		
		调质	≤ 100	745	590	16	50	47	229~269	
			$> 100\sim 300$	685	490	16	40	47		
5	120SiMn	正火 + 回火	≤ 120	540	335	32	72	63		
			$> 120\sim 250$	530	315	30	68	63		
			$> 250\sim 400$	490	275	16	35	47		
			$> 400\sim 600$	470	265	15	30	39		
			$> 600\sim 900$	450	255	14	30	39		
			$> 900\sim 1200$	440	245	14	30	39		

第五篇 水利水电工程验收标准

序号	钢号	热处理类型	截面尺寸 mm	力学性能 \geq						硬度
				σ_b (或=)	σ_s ($\sigma_{0.2}$)	δ_5	ψ	A_{ku2}	A_{kv}	HB
				MPa		%		J		
6	35SiMn	调质	≤ 100	785	510	15	45	47		229~286
			$>100\sim 300$	735	440	14	35	39		247~269
			$>300\sim 400$	685	390	13	30	36		217~255
			$>400\sim 500$	640	375	11	30	32		196~255
			$>500\sim 800$	600	345	10	28	24		
7	40Cr	调质	≤ 100	735	540	15	45	39		241~286
			$>100\sim 300$	690	490	14	45	31		241~186
			$>300\sim 500$	640	440	10	35	24		229~269
			$>500\sim 800$	590	345	8	30	16		217~255
8	50Cr	调质	≥ 100	835	540	10	40			255~286
			$>100\sim 300$	785	490	10	40			241~286
9	35CrMo	调质	≤ 100	735	540	15	45	47		209~269
			$>100\sim 300$	690	490	15	45	39		
			$>300\sim 500$	640	440	15	35	31		
			$>500\sim 800$	590	390	12	30	24		
10	42CrMo	调质	≤ 100	900~1100	650	12	50			35
			$>100\sim 160$	800~950	550	13	50			35
			$>160\sim 250$	750~900	500	14	55			35
			$>250\sim 500$	690~840	460	15				
			$>500\sim 750$	590~740	390	16				
			11	30Cr2Ni2Mo	调质	≤ 100	1100~1300			900
$>100\sim 160$	1000~1200	800				11	50	45		
$>160\sim 250$	900~1100	700				12	50	45		
$>250\sim 500$	830~980	635				12				
$>500\sim 1000$	780~930	590				12				

序号	钢号	热处理类型	截面尺寸 mm	力学性能 \geq					硬度	
				σ_b (或=)	σ_s ($\sigma_{0.2}$)	δ_5	ψ	A_{ku2}	A_{kv}	HB
				MPa		%		J		
12	34CrNiMo	调质	≤ 100	1000~1200	800	11	50		45	
			$> 100 \sim 160$	900~1100	700	12	55		45	
			$> 160 \sim 250$	800~950	600	13	55		45	
			$> 250 \sim 500$	740~890	540	14				
			$> 500 \sim 1000$	690~840	490	15				
13	34CrNi2Mo	调质	≤ 100	900	785	14	40	54	269~319	
			$> 100 \sim 300$	855	735	14	38	47	262~312	
			$> 300 \sim 500$	805	685	13	35	31	241~291	
			$> 500 \sim 1000$	755	640	12	32	31	241~291	

L. 2.2 锻件的径向、横向、切向力学性能降低的百分数应符合表 L. 3 的规定。

表 L. 3 径向、横向、切向力学性能降低的百分数

力学性能指标	力学性能允许降低的百分数 %			
	横向试样	径向试样	切向试样	
			直径 ≤ 300 mm 的锻件	直径 > 300 mm 的锻件
σ_b MPa	10	10	5	5
σ_s MPa	10	10	5	5
δ_5 %	50	35	25	30
ψ %	40	35	20	25
A_K J	50	40	25	30

附录 M

(资料性附录)

支承滑道常用材料

M.1 压合胶木

M.1.1 压合胶木的物理机械性能应符合表 M.1 的规定。

表 M.1 压合胶木的物理机械性能

序号	性能	压合胶木(短层积板)	
		MCS-2	MCS-2-2
1	密度 g/cm ³	≥1.3	≥1.3
2	水分和挥发物质 %	≤7	≤6
3	24h 吸水率 %	≤5	≤3
4	极限吸水率 %	≤20	≤8
5	极限膨胀率 %	≤22	≤10
6	顺纹拉伸极限强度 MPa	≥260	≥200
7	顺纹压缩极限强度 MPa	≥160	≥150
8	静曲极限强度 MPa	≥280	≥250
8	冲击强度 J/cm ²	≥8	≥9
10	胶缝极限剪切强度	≥15	≥15
11	端面布氏硬度 MPa	≥2.5	≥2.0

M.1.2 压合胶木在加工前应在 70℃ 的石蜡溶液中干燥,使其含水率(包括挥发物)降低到 5% 以下,干燥后端部裂纹不大于 0.2mm。

M.1.3 压合胶木应顺木纹方向的端面受压,其过盈量为夹槽宽度的 1.6%~2.0%。压合胶木与滑道夹槽应紧密接触,在两端部检查局部间隙应小于 0.2mm,深度不超过 30.0mm,宽度不超过 20.0mm。

M.1.4 压合胶木压入夹槽后的机加工表面粗糙度为 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ 。

M.2 增强(填充)四氟板材

M.2.1 增强(填充)四氟材料的物理机械性能参见表 M.2。

表 M.2 增强(填充)四氟板材的物理机械性能

序号	性能	单位	指标	备注
1	密度	g/cm^3	1.20~1.50	
2	抗压强度	MPa	120~180	
3	缺口冲击强度	J/cm^2	>0.7	
4	球压痕硬度	MPa	≥ 100	GB3398—1982
5	许用线压强	kN/cm	≤ 80	
6	线胀系数	$1/^\circ\text{C}$	$\leq 7.0 \times 10^{-5}$	
7	吸水率	%	≤ 0.6	
8	热变形温度	$^\circ\text{C}$	185	

M.2.2 增强四氟材料滑块的宽度尺寸宜大于夹槽宽度 1%。

M.2.3 滑块表面粗糙度 $Ra \leq 3.2\mu\text{m}$ 。

M.3 钢背铜塑复合材料

M.3.1 钢背铜塑复合材料的物理机械性能参见表 M.3。

表 M.3 钢背铜塑复合材料的物理机械性能

序号	性能	单位	复合材料	
			铜球/聚甲醛	铜螺旋/聚甲醛
1	复合层厚度	mm	1.2~1.5	≥ 3.0
2	抗压强度	MPa	≥ 250	≥ 160

序号	性能	单位	复合材料	
			铜球/聚甲醛	铜螺旋/聚甲醛
3	布氏硬度	MPa	≥ 300	≥ 120
4	允许线压强	kN/cm	60	80
5	线胀系数	1/°C	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-5}
6	工作温度	°C	-40~+100	-40~+100

M.3.2 钢基聚甲醛复合材料的表层应均匀一致，无未溶化的塑料，无裂纹等缺陷。

M.4 自润滑铜合金支承材料

M.4.1 常用自润滑铜合金支承材料的铜合金应符合 GB/T 13819 《铜合金铸件》有关规定的要求，其力学性能应满足表 M.4 的规定。

表 M.4 铜合金力学性能

铜合金	力学性能			
	抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ MPa	伸长率 δ_5 %	硬度 HB
锡青铜	≥ 200	≥ 90	≥ 13	≥ 60
铝青铜	≥ 630	≥ 250	≥ 16	≥ 157
高强黄铜	≥ 740	≥ 400	≥ 7	167

M.4.2 铜基体应无夹杂物、砂眼、缩孔等缺陷，表面粗糙度 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ 。

M.4.3 固体润滑剂的化学成分应符合图样规定，表面应颜色一致，无缺损、无剥离、无裂纹。

附录 N

(资料性附录)

橡胶水封的物理机械性能

N.1 橡胶水封的物理机械性能应符合表 N.1 的规定。

表 N.1 橡胶水封的物理机械性能

序号	性能	指标值			高水头橡胶水封
		I		II	
		SF6674	SF6474	SF6574	
1	密度 g/cm ³	1.2~1.5	1.2~1.5	1.2~1.5	1.2~1.5
2	含(新)胶量 %	≥60	≥60	≥60	≥60
3	拉伸强度 MPa	≥18	≥13	≥14	≥22
4	邵氏硬度 A	60±5	60±5	60±5	70±5
5	拉断伸长率 %	≥450	≥450	≥400	≥400
6	拉伸弹性模量 MPa 当 100% 当 200%	1.6~2.0	1.6~2.0	1.6~2.0	2.0~4.0
		1.8~2.5	1.8~2.5	1.8~2.5	2.5~5.0
7	压缩弹性模量 MPa 当 20% 当 30% 当 40%	5.5~6.0	5.5~6.0	5.5~6.0	5.5~7.5
		5.6~6.0	5.6~6.0	5.6~6.0	5.8~8.0
		6.2~6.8	6.2~6.8	6.2~6.8	6.0~9.0
8	在-40~+40℃ 温度环境下工作	不发生冻裂或硬化			

N.2 橡塑复合水封聚四氟乙烯薄膜厚度应大于 1.0mm，聚四氟乙烯薄膜与橡胶材料的粘合强度，当试样宽度为 25.0mm 时，应不小于 10kN/m。

附录 O

(资料性附录)

闸门高强度环氧垫料配制与特性

O.1 环氧垫料配方 (重量比)

环氧树脂 6101 号 (主剂)	100
二丁脂 (增塑剂) 含量 99%以上	12
多乙烯多胺 (固化剂)	12
42.5 号水泥	12

O.2 配制工艺

先将 6101 号环氧树脂用隔水均匀加热到 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。按配方依次加入二丁脂、多乙烯多胺,最后加入水泥搅匀。浆液温度控制在 $35^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$,否则强度降低不能浇灌。

O.3 基本物理性能

抗压强度 (7 天平均值)	89MPa
抗压强度 (15 天平均值)	93~108MPa
硬度 (平均值)	HB=61~100
初凝时间	2h
终凝时间	24h
流动性能	适中
收缩率	纵向收缩量大,横向收缩小
比重	1.25~1.6

O.4 补充要求

高强度环氧垫料进行物理性能试验的试样 (块),应尽可能模拟现场环境、条件及浇灌工艺制备。

水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范

DL/T 5018—2004

条文说明

1 范围

本标准按照电力行业标准体系表属于“施工、安装、调试及验收”类专业标准，规定了闸门制造安装及验收的总体技术要求。

本标准按照 GB201—1994《防洪标准》规定，大、中型水利水电工程为装机容量 50MW 以上，总库容 1000 万 m^3 以上，保护城镇及工厂区为中等以上城市、工矿区，保护农田面积 30 万亩以上，灌溉面积 5 万亩以上的工程。小型水利水电工程闸门不乏高水头工作条件，因此也可参照执行。

2 规范性引用文件

本标准按 GB1.1 和 DL600 规定，列出了规范性引用文件共 48 项，其中有 25 项标准等效或非等效采用国际、国外先进标准。

3 一般规定

3.1 技术资料

3.1.2 为了方便闸门安装施工，制造厂应提供闸门门体及门体附件的装配编号图，随发货清单一齐发运。

3.1.3 随着水利水电建设管理体制的改革，大、中型工程都实行了工程建设项目法人负责制，工程设计修改应按合同规定的程序进行审查和批准。

3.2 材料

3.2.3 近十年来我国焊接材料开发取得了较大进步，除与碳素钢及低合金钢配匹

使用的药芯焊丝尚需从国外进口外，其余焊材都已逐步形成产品体系。随着焊材产品体系建立，与其相应的焊材标准有的已经取消，或者将类似标准进行合并。因此本条规定了碳素钢与低合金钢各种焊接材料应遵循的有关标准。

3.3 基准点和测量工具

3.3.1 为了提高水电站钢闸门安装测量的效率和精度，根据科学技术的发展及工程测量仪器的改善，本条补充精度为万分之一的全站仪、天顶仪及天底仪。

3.4 标志、验收、包装及运输

3.4.1 随着我国工程管理体制的改革，闸门和埋件制造安装一般由项目法人主持或委托监理工程师主持，有设计、安装、运行单位代表参加的联合验收形式进行验收。

3.4.2 将原标准 3.4.2 中标志的四项内容中增加“闸门重心位置”，这样使闸门成品的标志更趋完善。

3.4.3 目前由于高水头水电站逐渐增多，闸门和埋件的精度也越来越高，在产品发运时应根据合同要求，将闸门门体和埋件相应的工作表面用软性衬垫垫平牢固后，再用辅助夹具将埋件夹紧后成对发运或用集装箱长途发运。

3.4.4 此条将原标准 3.4.4 的“标出构件重心位置”改为“闸门重心位置”，已将其移至 3.4.2 条。原条文中“闸门运输吊装时应采取措施、防止构件损坏和变形”要求不够具体，现修改为“包装牢固”，使广大施工人员更易理解。

4 焊 接

4.1 焊接工艺评定

4.1.1 为了保证焊接接头与母材等强度，必须采用正确的焊接工艺。因此在焊接施工前，都应由施焊单位编制完整的钢闸门组装焊接工艺规程。为了保证焊接工艺设计的正确性，施焊单位应根据焊接性试验资料，按本标准规定的焊接工艺评定规则对组成钢闸门重要的焊缝进行焊接工艺评定，并按本标准附录 C 检测焊接工艺评定“试验方法和合格标准”提出报告。焊接工艺规程是为焊工和焊机操作人员提供指导的焊接文件之一。

本条参照我国 JB4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》及美国 ASME 锅炉及压力容器标准第九卷《焊接和钎焊评定》的对于编制焊接工艺的指导要求，对原标准 4.1.1 进行了修改。

4.1.2 焊接工艺评定是编制焊接工艺规程的依据，施焊单位不准将焊接工艺评定的关键工作，如拟定焊接工艺指导书、试板焊接与无损检验等工作委托其他单位完成。但因本企业设备不够，可将试件加工、力学性能试验或其他试验委托有资质的单位完成。

拟定焊接工艺指导书，要以钢材的焊接性试验为依据。焊接性试验的主要内容为：

- 1 基础试验（母材理化试验）；
- 2 主要焊接性试验（包括裂纹敏感性、焊缝塑性及缺口韧性）；
- 3 接头试验（包括无损检测与力学性能试验）。

焊接性试验是焊接技术基础，除了自身生产技术积累之外，也可由科研单位或供货方提供有效的钢材焊接性资料。

这次修订时将“应以可靠的钢材焊接性试验为依据”的内容删除，以免误解为任何一个施焊单位必须做焊接性试验。

4.1.3 本标准的焊接工艺评定过程与国内外其他行业的焊接工艺评定过程是一致的。目的都是为了验证施焊单位已拟定的焊接工艺正确性及评定施焊单位焊制焊接接头的使用性能符合设计要求的能力，这次在修改标准时对原条款进行补充，使焊接工艺评定全过程更加完整，也更便于操作。

4.1.4 焊接工艺评定中的钢材及焊材必须符合相应的国家标准及行业标准，这样才能代表闸门焊接接头的真实性。条文规定的“本单位技能熟练的焊接人员”、“使用本单位焊接设备”和 4.1.3 中规定的“验证施焊单位拟定的焊接工艺”这三条限定并强调焊接工艺评定必须在施焊单位进行，不能请其他施焊单位代做或引用其他施焊单位企业的焊接工艺评定结果，以保证本施焊单位真实地验证焊接工艺的可靠性。

4.1.6 为了简化施焊单位分析施工条件变化而对焊缝影响程度，将焊接的工艺因素分为重要因素、补加因素及次要因素。重要因素改变将影响焊接接头机械性能，原已完成的焊接工艺评定无效，必须重做焊接工艺评定。补加因素改变将影响焊缝的冲击韧性，因此对钢闸门重要的一、二类焊缝，应视焊缝接头是否要求冲击试验来决定。当规定要做冲击试验时，补加因素应当作重要因素对待；当不规定进行冲击试验时，补加因素作次要因素对待。故这次在标准修改时在原补加因素后增加“当规定进行冲击试验时，需增加补加因素”的补充条文，这样修改后对补加因素

更好理解执行。次要因素不会改变焊缝力学性能和冲击韧性值，所以次要因素改变不会影响原施焊单位的工艺评定结果，可不必重做焊接工艺评定。

当前影响焊缝质量的条件日益增多，因原标准制订时，闸门的制造与安装以采用手工电弧焊为主要焊接方法，但随着焊接技术迅速发展，目前在闸门制造与安装时广泛采用气体保护焊。为了指导施焊单位更好地掌握哪些工艺因素变化将会影响焊缝的质量，这次标准修订时，将在 4.1.16、4.1.17、4.1.18 中分别列出重要因素、补加因素及次要因素的工艺因素项目。

4.1.8 在原标准 4.1.8 的基础上增加了当采用两种或两种以上的组合焊接方法或重要因素、补加因素不同的焊接工艺时，可以采用分别评定或组合评定。

在组合评定合格后，规定每种焊接方法或焊接工艺所评定的焊件厚度和熔敷金属的厚度的有效范围。原标准仅规定适用于焊件的熔敷金属厚度，现修改为除焊缝的熔敷金属厚度外，更规定了适用于焊件的母材厚度范围。

4.1.9 随着我国高水头水电站建设逐渐增多，有些泄洪孔口流态非常复杂，在闸门孔口流道接近 40m/s 的高速水流并夹有横向紊流冲刷，因此流道的混凝土过流面已不能满足高速水流冲刷及抗空蚀的要求。正在建设中的三峡深孔泄洪孔口从进水口护角直至弧门的门槽间的孔口通道全部采用不锈钢复合钢板作钢衬，同时根据钢闸门的结构的发展要求，采用不锈钢的部件越来越多，为了降低施工成本，采用不锈钢复合钢板也是钢闸门及门槽预埋件制造的发展要求。由于不锈钢复合钢板刚开始采用，因此新增此条规定及焊接工艺评定的规则和评定合格标准。根据附录 B “不锈钢复合钢板焊接工艺评定”及附录 A 中从表 A.9 至 A.12 有关不锈钢复合钢板的基本组成、组合性能、力学性能及弯曲性能测试就能满足实施不锈钢复合钢板的焊接工艺评定的基本要求。

4.1.10 根据水工钢闸门用材特点，仍按原标准的分类，分组原则将水工钢闸门常用材料分为碳素钢、低合金结构钢及不锈钢三类。但为了与我国通用的“钢制压力容器焊接工艺评定”标准相符合，将原标准材料分类表中的级别改为组别。每种钢号并增加相应的标准号，以便更充分地鉴别母材的焊接性能。

4.1.11 随着我国加入世界贸易组织后在水电水利工程中将进一步使用品种繁多的国外钢种。由于国外钢材系列繁多，在表 4.1.10 中不能详细列出。因此为保证一、二类受力焊缝的焊接质量，对种类繁多的国外钢材在首次使用时必须进行焊接工艺评定，以引起施焊单位对焊接质量的重视。当国外系列钢材经过大量焊接性试验并

对国外钢材的性能已经充分掌握后，已能对等国内某种钢号，如果该国内钢号在施焊单位已做过焊接工艺评定时，该施焊单位就可免做同等性能的国外钢号的焊接工艺评定。

4.1.14 随着我国大型高水头电站不断增加，闸门制作的材料也逐步向高强度型合金结构钢发展。因此，按美国 ASME《钢炉及压力容器规范》中“焊接及钎焊评定表” QW-45“坡口焊缝拉伸试验和横向弯曲试验”及我国 JB4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》的规定将碳素结构钢与高强度合金结构钢分开处理。这样可对使用普通碳素结构钢的焊接工艺评定，经焊接工艺评定后的试件对焊件母材及焊件焊缝金属有更大的适应范围。

4.1.16 仍保留原标准中 4.1.14 的基本规定。但目前钢闸门焊接施工逐步推广气体保护焊，而熔化极气体保护焊接过程中，不同的焊丝熔化过渡模式将影响焊缝的力学性能，故补充规定焊丝过渡模式为影响焊缝质量的重要因素。

4.1.17 基本保留原标准 4.1.15 中的焊接工艺评定中补加因素。但将原 4.1.15 中的 1 更改焊条牌号中第三位数字强调为用非低氢型药皮焊条代替低氢型药皮焊条，使其更便于执行；将原标准 4.1.15 中的 4 除增加焊道线能量外，再规定单位长度焊道熔敷体积，便于更直观地评定线能量的增加，此款应指出的是焊接工艺评定具有一定的局限性，它仅是一种对拟订焊接工艺的验证，因此焊接工艺评定采用的线能量或确定的单位长度焊道熔敷体积都应严格控制在各钢厂推荐或设计单位规定的焊接线能量范围以内；新标准 4.1.17 的 2 对使用药芯焊丝要求具有较高的冲击吸收功。取消原标准 4.1.15 中的 8，因为钨极气体保护焊中电极摆动幅度、频率和两端行留时均属于次要因素不会影响焊缝质量及冲击韧性。

4.7.18 主要说明什么焊接条件属于次要因素。原标准实施以来，对影响焊接接头力学性能的重要因素和补加因素都已比较熟悉，对提高水工钢闸门焊接质量起到很好的作用。但是实际焊接施工中影响焊接质量的条件很多，有些因素介于两种因素的边缘，使施焊单位焊接人员较难判断。为此在修改标准时将焊接时属于次要因素的焊接条件也在此条中详细列出，以便于执行。

坡口形式对各种焊接方法都为次要因素，它的变更对焊接接头力学性能和弯曲性能无明显影响。焊条及焊丝直径的变化可由线能量控制，所以也不会影响焊接接头的性能。焊接位置变更对广大焊接工作者也有疑义，由于焊接工艺评定都在平焊位置进行，其他位置除向上立焊由于熔池的重力影响会降低焊接速度，线能量就要

比平焊位置增加，故有冲击韧性要求的焊接接头需要增焊冲击韧性试件。至于其他焊接位置的变化及取消单面焊的钢垫板只能由焊接技能予以保证。

9 在电特性变更中，单独的变更电流值或电压值只是次要因素，如将电流与电压值结合后再考虑焊接速度的焊接线能量就成了补加因素。

11、12 都属于正式焊接前的准备工作，对焊接接头的影响较小，故也属于次要因素。

15 为施工焊接操作技能，是在同一种已评定的焊接方法下改变施焊操作技能。虽然较成熟的半自动或自动焊接其质量总要优于手工焊，但有高超的手工焊技能也能保证焊接质量，与焊接工艺评定与否无关。

明确了焊接条件变动属于次要因素的范围时，仅为不需要重复评定焊接工艺，而不是不要评定焊接工艺，但需要重新编制或修改已进行过焊接工艺评定的指导书，如 4.1.15 中规定的在“重要因素、补加因素没有改变时对接焊缝试件评定合格的工艺可用于角焊缝”，即可理解为用对接焊缝试件的焊接工艺评定报告重新编制角焊缝试件的焊接工艺指导书，也可理解为角焊缝试件的焊接工艺已由对接焊缝试件评定过了不需重复进行焊接工艺评定，但不能理解为不需要焊接工艺评定。故新标准修改为“需修改编制焊接工艺指导书”以引起广大施工焊接人员对焊接工艺评定的重视。

4.1.19 将原条文表 4.1.17 增加附注说明。

4.2 焊工资格

4.2.1 原标准 4.2.1 中由电力部签发的焊工考试合格证由于政府体制改革，现改由水利部或国家电力系统焊工资格审定主管单位签发。如采用锅炉压力容器焊工考试合格证也可由各省的质量技术监督局签发。这是基于我国水利水电水工金属结构制作与安装施工实际情况与压力容器制作与安装实行两个行业的双规制，我国锅炉压力容器焊工的考试规则及结构特点都沿用了美国的 ASW 及 ASME 考试规范。为了使我国广大焊工能更好的参与国际水利水电开发工作；也可使焊工除了承担闸门的焊接工作外，还可参与压力钢管、各类启闭机及水电站厂房的各种压力管道焊接工作，故仍保留由我国各级质量技术监督局签发的焊工合格证书。

4.3 焊接的基本规定

4.3.1 将一类焊缝中的“闸门、拦污栅吊耳板、吊杆的对接焊缝”归并为同一款。将原标准中一类焊缝中第 3 款“闸门主梁与边梁腹板连接的角焊缝”将其中的“角

焊缝”修改为“组合焊缝及角焊缝”。并增加“主梁腹板与边梁翼缘板的组合焊缝或角焊缝”。从闸门受力分析，如闸门启闭时阻力过大，该处焊缝将受到巨大剪力及弯矩，从焊接工艺分析，只有将此处焊缝完全焊透使焊缝与母材等强度才能承受外加巨大载荷，故将此处焊缝规定为一类焊缝。由于长期行业上工艺习惯，此处焊缝在设计上多考虑采用角焊缝形式，因此对角焊缝也要加强外观检验与无损检测。

这次规范修编中注意到人字闸门端柱承受巨大水推力，端柱是由端柱推力板、主梁与端板组合后由焊缝连接成整体的刚性部件，故增加此款为一类焊缝。此外，原规范中对拦污栅的吊耳板定为一类焊缝，拦污栅的主梁对接焊缝定为二类焊缝。但拦污栅的边梁在多节拦污栅节间连接中也承受相当于局部吊耳作用，故这次修编时补充“拦污栅边梁的腹板、翼缘板对接焊缝为二类焊缝”。

由于水工闸门品种繁多，随着高水头水电站增多，各种新型门体不断涌现，因此如按闸门设计水头、运行工况及焊缝重要性将闸门焊缝详细分类比较困难，而且分得太细广大水利水电施工人员也不好执行。故此次标准修编仍以传统的按闸门中具有代表性的典型焊缝作为分类依据，仅对条款作局部修改调整。

4.3.2 由于编制原标准 4.3.2 时闸门制造及安装中尚未使用药芯焊丝气体自保护焊接，随着焊接技术发展，有的闸门制作及安装中开始使用药芯焊丝气保护焊接，故在表 4.3.2 中增加药芯焊丝与所焊母材的匹配介绍。

4.3.4 原标准中关于风速的限制未明确规定限制何种焊接方法，随着气体保护焊在闸门焊接中的比重逐年增加，在进行气体保护焊时，限制其风速不超过 2m/s ，其他焊接方法仍按原标准风速不超过 8m/s 。原标准在焊接时控制环境温度为 -5°C 以下禁止施焊，考虑我国北方地区冬季低温时间较长，因此将控制环境温度根据不同母材适当降低，但规定要设置可靠的防护屏障和保温措施，并按钢材焊接时的预热规定施工，可以满足焊接的要求。

4.3.7 3 增加定位焊起始控制点，防止在起焊线端部定位焊造成母材损坏。

4.3.9 虽然焊缝产生裂纹与材料性能、化学成分、板厚、焊接接头的拘束程度及焊接方法等综合因素有关，但是适当预热在工程实践中证明是防止裂纹的有效且简便的手段，所以仍采用原标准 4.3.9 的有关规定。

在闸门结构上，虽然不锈钢为止水的水封座板一般都用薄的不锈钢板，但在使用不锈钢复合钢板的闸门及埋件也有用较厚的不锈钢复合钢板，也有多层焊接问题。此外不锈钢板类别较多，有的类别不希望预热温度太高，以防高温脆性，考虑

到闸门结构中奥氏体不锈钢使用得较多，故仅提出作低温预热。试验也证明：当奥氏体不锈钢预热到 100°C 时裂纹率大大降低，同时预热温度太高也易造成不锈钢复合钢板基层与复层脱离的危险。

为了防止焊接时产生裂纹，本条对施工场地温度与预热温度提出了规定，以提高广大施焊人员对焊接现场温度控制的重视。

4.3.14 本条是在闸门组装过程临时特殊措施。随着焊接技术的提高，当碰到闸门和埋件的对装间隙过大时，采用背面加陶瓷衬垫，正面逐层堆焊、逐层表面探伤并采取严格的预热、保温及消应措施也能处理到正常对装间隙，经砂轮修磨到原坡口尺寸是可以做到的，也不会影响焊接质量。故此次修编时将焊件组装后局部间隙放大为 8mm ，但长度仍控制在该焊缝长度的 15% 。但这条规定仅指特殊部位的临时应急施工措施，如果局部间隙过大，会放松对闸门或埋件拼装的质量要求；也会造成对坡口附近母材反复加热引起材质的变迁与组装尺寸的变化。因此，在这次修改时，根据实际施工调查后，将焊件组装后局部间隙放大至 8mm 。其他部位施工焊接时仍应按每项施工项目的装焊工艺设计控制焊接质量。

4.4 焊缝检验

4.4.1 原标准表 4.4.1 的角焊缝焊脚 K 值规定为正公差，在焊接时如有少量负值一定要修补到规定值才能达到焊缝的外观检验标准，少量焊脚高不足修补比较困难，故根据实际施工工况修改为 K 值允许负值 1mm ，这样更能满足实际焊接施工工况，而又不影响焊缝质量。同时角焊缝一般属结构焊缝，受力条件比组合焊缝好，所以从设计上不会对焊接结构的安全性带来危害。

4.4.2 为了明确无损检测人员的认证资格，将原标准条文“国家有关部门”的规定修改为水利电力系统或我国的无损检测专业协会的无损检测人员资格认证才能从事闸门制造或安装施工时执行焊缝的无损检测工作。

4.4.9 本条是针对水工闸门主梁、边梁及弧门臂柱等封闭箱形断面，因焊接施工困难而制订的特殊条款。但似与设计图纸要求存在差距，按一般焊接工艺要求此处应予焊透。根据多方专家意见，将此条规定得再具体一些，缩小设计与施工的差距，而且形成规定以解决水工钢闸门施工中的难题。故这次修改为：当设计要求全焊透时，应在图纸技术要求上予以规定。如无特殊全焊透要求，也应按传统的设计作焊透要求，其未焊透偏差仍规定为 25% 板厚及最大不超过 4mm 。并将原条文中“允许”二字去掉，意即此处焊缝不是允许未焊透，而是未焊透的偏差不允许超过

上述规定值。以便引起广大施焊人员重视。

4.4.10 本条是针对一、二类焊缝中厚板的组合焊缝及角焊缝，特别是施焊比较困难的而组成焊缝接头的钢板又比较厚的部位。如闸门主梁腹板与边梁腹板及组成闸门主梁、边梁、臂柱的翼缘板与腹板的组合焊缝及角焊缝往往容易产生表面裂纹，根据接头的重要程度，应增加适当比例的表面检测，以确保焊缝工作的安全。

4.6 焊后消除应力热处理

4.6.1 原标准条文中规定闸门和埋件的板厚超过规定值后要进行消除应力热处理。闸门和埋件通过焊后热处理可以松弛焊接残余应力、软化淬硬区、改善组织、减少焊缝扩散氢含量、提高耐蚀性，尤其是提高某些钢种的冲击韧性、改善力学性能及蠕变性能，在机加工后稳定几何尺寸及减小对接焊缝的焊接残余应力效果更为显著。但在实际施工中由于闸门结构复杂及体积庞大，因此往往仍由设计图纸或合同文件规定是否对其进行消除应力热处理。现修改为为了满足闸门和埋件使用要求，由设计根据结构重要性予以决定是否进行消除应力热处理。

4.6.3 由于闸门及其埋件目前仍以碳素钢与低合金钢为主，设计规范中也未推荐使用高强度调质钢。因此取消原条文中有关高强度调质钢的消除应力热处理加热温度有关规定。

5 螺栓连接

5.1 螺孔制备

5.1.4 高强度螺栓连接面接头、抗滑移的阻力，随接头母材的处理状态而不同。根据国内外高强度螺栓连接表面处理大量试验成果表明：采用金属喷涂的涂层或涂刷无机富锌漆都能达到较大的且比较稳定的抗滑移系数值。

5.1.5 作为摩擦连接的主要目的是传递活动承载力，虽然可以用抗滑移系数和高强度螺栓轴力的乘积求得，但是摩擦抗滑移系数是个复杂的变数。它与部件接头母材接触面的状态、螺栓轴力、接头母材强度、接头形式、荷载种类、螺孔的错位及施工时的温度都有关系。在上述诸多影响因素中很难找到简单的线性关系来确定抗滑移系数，因此规定统一的抗滑移系数是有困难的。但抗滑移系数又是高强度螺栓连接的至关重要的设计参数之一，往往直接影响构件承载力，因此在施工前必须用不少于3套的同材料、同处理方法的试板对抗滑移系数进行检测，检测的抗滑移系数最小值应符合设计要求。

本条为新增条文。

5.2 螺栓制备

5.2.4 为确保高强度螺栓连接副施工质量可靠，施工单位应按出厂批号对高强度螺栓的扭矩系数进行复验。高强度大六角头螺栓连接副每批号随机抽检 8 套，复检其扭矩系数与标准扭矩系数的偏差值。如果抽查后高强度螺栓扭矩系数达不到设计规定的扭矩系数，那会造成要达到同值扭矩时必需加大高强螺栓的轴向预紧力，这对结构安全是不利的。因此使用高强度螺栓连接的闸门，在安装施工前必须根据钢闸门受力工况，对所选择的高强度螺栓使用带应力传感器或应变片的测力器来检测高强度螺栓的轴力能否满足设计要求。在附录 F 中，将高强螺栓副应达到的终拧扭矩按规定的扭矩系数平均值列表供广大施工人员参考，其中施工预拉力数值为 1.1 倍的设计预紧力、施工扭矩按扭矩系数平均值 0.13 计算，所列表中的最终施工扭矩即可符合国家规定检查扭矩的 0.9 倍~1.1 倍控制范围内。

5.3 螺栓紧固

5.3.2 原规范中初拧扭矩为规定力矩值的 60%，现修改为规定力矩值的 50%，并应使用可以控制调节扭矩值的扭矩测力扳手进行施工。

5.3.3 在现场施工的扭矩测力扳手，由于每天使用会造成一定误差，如该施工扭矩测力扳手的扭矩值与设计规定的扭矩值误差超过 $\pm 5\%$ 时就不能继续使用。因此，闸门安装施工单位要配备由当地法定计量检测机构检定合格的扭矩测力校正扳手，对将要参加施工的扭矩测力扳手的扭矩值进行检测，经其校正合格后才能参加高强度的螺栓安装施工。

5.3.4 由于闸门长期在露天或半浸式水流中工作，长期运行后原始的连接副接触面的接触状态因金属表面腐蚀而发生变迁。为了保证高强度螺栓轴力的恒定值，因此对高强度螺栓连接的螺栓、螺母及垫圈按设计要求予以涂料防腐处理，并在连接处一切缝隙处用涂料腻子予以封闭，防止运行后由于高强度轴力损失而造成的连接处缝隙增大而造成湿气浸入。

6 表面防腐蚀

6.1 表面预处理

6.1.3 原标准对除锈后表面粗糙度的评定参数未予明确，为了区别于机械加工粗糙度的概念，选择轮廓最大高度 R_y 值，即量取在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷

底线之间的距离，这样更便于解释涂料与母材的结合率。

近年来，随着防腐要求的不断提高，有些在水下长期工作的钢闸门采用厚浆型重防腐涂料或采用金属热喷涂，对原标准规定的粗糙度 $40\mu\text{m}\sim 70\mu\text{m}$ 似嫌太小，故提高其粗糙度轮廓最大高度值为 $60\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ ，而对一般水面以上闸门的涂料仍为 $40\mu\text{m}\sim 70\mu\text{m}$ ，这样对各种涂料采取区别对待方法处理。

6.1.4 原标准对闸门预埋件除锈后在埋入混凝土一侧涂刷苛性钠水泥浆，但苛性钠水泥浆保持时间不长。随着科学技术的发展，涌现出不少改性水泥胶浆，其性能比传统的苛性钠水泥浆结合率更高，保持时间较长。今后在埋件安装施工中可根据设计规定要求由制造厂选配使用。

6.2 表面涂装

6.2.4 原规范规定闸门出厂时由制造厂完成底漆，而面漆待安装工作完成后在竣工前由安装施工单位完成，目的是为了将一扇全新的闸门移交给工程建设单位。但是随着防腐涂料及金属喷涂复合保护系统的健全，如果仍按原来条文规定进行分工，很多中间涂层无法保证施工质量。因此，总结施工经验后，尽量加大制造厂的防腐工作，而使施工现场的涂层工作尽量减少，这样才能保证涂层耐久的工作。

6.2.5 将原标准中钢材表面的规定温度修改为“钢材表面温度低于大气露点以上 3°C ”，修改后的规定使广大施工人员更好理解。

6.3 涂料涂层质量检查

6.3.2 原标准 7.3.2 要求涂装涂料后金属“表面光滑，颜色一致。”现修改为“涂层均匀一致”，这样既可保证涂料厚度，也可控制涂层表面的色泽与光滑。涂装后的表面缺陷增加针孔及裂纹检测，以保证厚浆型涂层的质量控制。

6.3.3 此条为涂料涂层质量检验的主要质量控制指标。涂料施工除控制固化漆膜的厚度外，随着闸门工程厚浆型涂层逐步增加，因此补充厚浆型漆膜针孔检测。漆膜的附着力检查，按漆膜厚度的差异，而采用不同的检测方法，这样能更准确地测定已涂装漆膜的附着力。

6.4 金属喷涂

6.4.1 由于金属热喷涂技术不断发展，除传统的锌和铝作为喷涂金属材料外，最近又开发了混合金属丝，故在原标准 7.4.1 的基础上增加了混合金属丝的内容。

6.4.2 近年金属热喷涂防腐系统不断改进，除金属热喷涂层外，尚有后续涂料封闭层及最终涂覆表面漆。由于金属喷涂涉及工作环境的化学腐蚀问题，喷涂金属

层的厚度除与金属丝本身化学属性及水质的 pH 值有关外，尚应考虑闸门所处淹深水深及水温环境等因素。因此，热喷涂层的最终厚度、金属涂层的封闭涂料及面漆配套的种类及厚度宜由设计单位根据闸门工作条件及水质予以确定。在此只能按我国目前各行业中金属结构专业及美国钢结构油漆协会（SSPC）的标准推荐的各种金属喷涂层的厚度及在不是最严重腐蚀介质中的最小金属喷涂层厚度。

6.4.6 原标准 7.4.6 规定“金属涂层完成后进行涂料封闭”，在已施工的大型闸门工程中除涂料封闭外，尚需在外层表面涂装面漆。但在国际闸门工程施工中按美国钢结构油漆协会（SSPC）规定：闸门表面如仅喷涂金属涂层，在运行中能得到良好的维护可达到 15 年以上的防腐效果。但如果闸门在恶劣的环境及水质 pH 值呈酸性或碱性的水库或水利工程中使用时，除了水质中有化学腐蚀性能，泥砂冲刷或水位反复变化的情况下或水库是城市的饮水水源吸取口处为了保证金属涂层达到设计防腐寿命及饮水卫生要求，可在金属涂层外再加涂料封闭。如表面有美观装饰要求的闸门在涂料封闭金属涂层外表面后再涂装面漆。通过调查分析，有的水电站对闸门金属防腐要求偏高，安全度较大，这就增加了工程成本。

故本条修改为根据使用要求由工程设计单位最终确定在金属喷涂层的表面是否需要增加涂料封闭及涂装表面面漆。

6.5 金属涂层质量检查

6.5.3 将原标准中金属喷涂层的厚度测量由新标准的 6.5.2 规定，而结合性能测定由新标准 6.5.3 单独的予以规定。

7 闸门和埋件制造

7.1 零件和单个构件制造

7.1.1 制订工艺方案时，应严格遵守以下原则：

- (1) 尽可能使焊接所产生的热量均匀分布，使得焊接变形和收缩量最小。
- (2) 根据结构特点，按照最大自由度原则，制订组装和焊接程序，使得结构的约束应力最小。
- (3) 保证有足够的收缩量和机械加工部位的切削余量，保证构件的几何形状和尺寸满足设计要求。

7.1.2 表 7.1.2 中所规定的极限偏差是下料过程中对工艺尺寸的精度要求，是保证零件和构件几何尺寸的基础，使用数控气割机或对钢板边缘进行刨削加工，比较

容易达到要求，若使用其他下料方法，则严格按此要求控制，才能有效地保证钢闸门制造质量。

7.1.3 钢板、型钢的切断口作为待焊接边缘时，切断面的形状、表面粗糙度将直接影响到焊接接头质量，本标准参照 ANSI/AWS D1.1《钢结构焊接规范》作出一些规定。

当切断面为非焊接边缘时，切断面形状、表面的粗糙度一般仅只影响产品外观质量，因此，可将其技术要求适当降低。

7.1.4 GB/T3375—1994《焊接术语》对坡口、接头、焊缝已经明确定义：

坡口——根据设计或工艺需要，在焊件的待焊部位加工并装配成一定几何形状的沟槽。

接头——由两个或两个以上的零件要用焊接组合或已经焊合的接点。检验接头性能应考虑焊缝、熔合区、热影响区甚至母材等不同部位的互相影响。

焊缝——焊件经焊接后所形成的结合部位。

原标准中“焊缝坡口”这种表述方法存在着概念性错误，予以修正。但 GB985 和 GB986 标准从 1988 年发布至今未修编，其标题中类似错误只能保留，有待于该标准修订时自行更正。

7.1.7 单个构件制造过程至少包括拼装、焊接、矫正三道重要工序。为保证制造过程中的质量，必须对每道工序进行控制和检查，并要求提供工序质量检测记录：除焊接质量另有规定之外，拼装工序应按表 7.1.7 第 1、2、3、4、5 项标准进行控制与检查，矫正工序应满足表 7.1.7 中第 4、6、7、8、9 项的要求。表 7.1.7 实际上是拼装和矫正这两道工序的质量标准。原标准中统称“构件制造”应符合有关规定，明显过于笼统，不够明确，因此予以修正，按拼装工序与矫正工序分别叙述，这样层次清楚，便于理解和执行。

表 7.1.7 中有关要求与美国 ANSI/AWS 标准相比较，前者严于后者：

例如：翼缘板对腹板的垂直度 a ，本标准要求 $a \leq b_1/150$ 且不大于 2.0mm，而 ANSI/AWS 要求 $a \leq b_1/50$ 且不大于 1/4in。

又如：腹板对翼缘板的中心位置的偏移 e ，本标准要求小于 2.0mm，而 ANSI/AWS 要求小于 1/4in。

这主要因为：

(1) 闸门有挡水要求，水压力是通过面板传递给翼缘板及梁系，不希望面板与

翼缘板之间存在较大间隙，因此要求翼缘板角变形尽可能小。

(2) 闸门的梁系承受重荷载，偏移 e 过大会产生偏心弯矩，造成焊缝不良受力。另外从结构的整体装配精度考虑，也不宜偏移 e 值过大。

通过比较，一方面说明水工金属结构制造在这些方面的要求与指标，已经相当于或高于国外先进标准的有关要求；另一方面也说明这些要求或指标已经是较高的了，除非设计另有要求，不宜轻易抬高要求，否则会大大提高制造成本。

7.1.8 长期以来，火焰矫正方法凭借操作方便、经济实用的优点在国内外广为采用，但是由于标准未对加热温度提出控制要求，导致实际操作过程中加热温度偏高（少量出现过烧现象）、迅速冷却（浇冷水冷却）的不良现象时有发生，严重的造成材料韧性和综合力学性能下降，因此有必要增加相关规定：

钢在加热过程中结构组织和特性要发生变化，当钢加热到 AC_1 温度时，原始组织中的珠光体已变成细奥氏体晶粒；当温度继续升高，铁素体也逐步转变为奥氏体，与此同时奥氏体晶粒随着温度进一步升高而长大；而钢中含有的碳和锰元素能促进奥氏体晶粒的长大，提高钢的过热敏感性，即温度稍高，晶粒明显长大。奥氏体晶粒长大对冷却后钢的组织 and 性能产生不良影响，因为冷却时奥氏体虽然转变为珠光体，但原奥氏体晶界仍遗留着明显影响，粗晶粒的奥氏体形成粗大的珠光体团，导致钢材韧性或综合力学性能下降。因此国内外同行都认识到火焰矫正加热温度应严格控制在钢材“铁—碳合金状态图” AC_3 线以下。

由于我国自然资源条件所决定，国产钢材中均是以 Mn 元素为强化基本元素，Q235 中含 Mn 一般约 0.6%，Q345 中含 Mn 约为 1.6%，Mn 元素的加入不仅如上所述增加了钢材的过热敏感性，即温度稍高，奥氏体晶粒长大明显，同时还扩大了奥氏体存在的范围，使得含有 Mn 钢的“铁—碳合金状态图”的 AC_3 下降。

针对上述情况，美国 ANSI/AWS1.1《钢结构焊接规范》第 3.7.3 条规定，一般钢材加热温度不应超过 650°C （暗红色）。参照 ANSI/AWS 标准，我们亦规定加热温度不应超过 650°C 。

如果加热温度偏高，又采取浇水或环境温度过低，造成冷却迅速，则可能获得马氏体。马氏体组织具有很高硬度，并且随着含碳量的增加而提高，冲击韧性很低，脆性很大。因此应防止在奥氏体区快速冷却，严禁浇水冷却。

7.2 铸钢件和锻件

7.2.1 本标准参照英国 BS3100《一般工程用铸钢件》和 GB/T12363《锻件功能

分类》，对铸钢件和锻件按质量特性重要度进行分类。

质量特性重要度分类既关系到产品质量，也影响到产品的生产成本，为保证分类宽严适度，设计人员应对铸钢件和锻件的受力情况、工作条件及功能特性进行分析，按失效后的严重性和失效发生概率，对质量特性重要度作出判断，并征求有关工艺技术部门的意见予以确定。质量特性重要度分类的标注方法可参照 GBJ190—1986 有关规定。

7.2.2 各类铸钢件技术标准，对检验项目和验收标准未予硬性规定，一般要求供需双方协商并在合同中予以规定。原规范也未对此作出规定，执行过程中不够明确，本标准根据铸钢件分类，推荐必检项目、可检项目、不检项目，以利于操作执行。

7.2.3 原标准仅引用了 GB/T11352 (neq ISO3775 : 1975) 和 GB/T5680 两项国家标准，这次补充了 GB/T14408、GB/T7659 (neq ASTM A216 : 1982) 及 GB/T6253 (eqv ISO4991 : 1994) 三项国家标准：

(1) 近年来，高水头闸门设计广泛选用低合金铸钢件，因此需补充 GB/T14408 标准。

(2) 铸钢牌号按强度表示，标准中主要规定了铸件的力学性能与硫、磷等有害元素含量，其他合金元素的含量是不作验收依据的。由于合金元素的含量对铸件的焊接性影响较大，因此对于铸焊结构有必要按 GB/T7659 有关规定，注意控制碳当量 (CE)。

(3) 过去在小型水电工程中使用铸钢闸门，尺寸小，水头低。近年来有所发展，大型工程中也使用铸钢闸门，例如五强溪三级船闸反弧门 $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ 最大工作水头为 42.5m ，门体采取整体铸钢件，既受力又受压，既要满足强度要求又要满足密致要求，因此补充 GB/T16253 标准。

7.2.4 GB/T11352、GB/T14408 及 GB/T7659 都规定“炼钢方法和铸造工艺由供方自行确定”，这样规定既缺乏科学性、技术性，同是也有悖于国家质量管理法规。

GB/T16253 对此提出了不同看法，规定首次铸造承压钢铸件时应得到有关“认可”，包括冶炼方法等技术要求及检验规则应经双方协商并在合同中予以规定。

铸钢支铰、主轮及主轨由于长尺寸、大面积、高结构，特别是当选用低合金铸钢时，铸造难度是很大的。工程实践中并不少见个别工厂屡铸屡裂，造成巨大经济损失（一个支铰价格十多万元），不得不转厂生产的情况。调查几家铸件质量比较

稳定的工厂，他们在冶炼和工艺上均有自己的独到之处，例如采用炉外精炼；进行计算机模拟浇铸工艺试验，另有特别选用从南非进口的铬铁矿砂作型（芯）砂，并对粘结剂的涂料进行精心选配，从而确保铸件质量。总结正反两方的经验教训，因此提出对重要铸钢件的炼钢方法和铸造工艺作出规定。

7.2.5 原规范 8.2.4~8.2.10 条基本上都是在谈允许焊补的范围，这些条款源自于 1964 年研究班定稿《水工金属结构制造安装与交接验收规程》，基于当时焊接技术和检验水平。

日本 JISG511—1978《结构用高强度碳钢和低合金钢铸件》标准在编制说明中明确指出：近年来焊接技术和检验水平已经有了很大提高，铸钢件的焊补已被视为制造工程的一部分。ISO/DP4990《铸钢件通用交货技术条件》、美国 ANSI/ASTMA148《高强度铸钢件》、ANSI/ASTM A27《一般工程用碳钢铸件》、英国 BS3100《一般工程用铸钢件》均已将焊补作为铸钢件生产过程中的一道工序。这次修订，将名为“允许焊补”实为限制焊补的条款去掉，提出可以焊补。

有关重大焊补的界定指标，也是目前国内外一致认定的界面条件，本标准为了保证焊补和重大焊补质量，考虑到个别工厂焊接技术和检验水平，另行补充了若干焊补的规定，供使用时掌握。

7.2.6 退火：将铸件加热完全奥氏体化后缓慢冷却，获得接近平衡组织的退火。

正火：铸件加热奥氏体化后在空气中冷却的热处理工艺。

水韧处理：为改善某些奥氏体钢的组织以提高材料韧度，将铸件加热到高温使过剩相溶解，然后水冷的热处理。例如，高锰钢（Mn13）加热到 1000℃~1100℃保温后水冷，以消除沿晶界或滑移带析出的碳化物，从而得到高韧度和高耐磨性。

7.2.7 GB/T6060.1（eqv ISO 2632/Ⅲ：1979）提供了通过视觉和触觉评定铸造表面粗糙度的工具，GB/T15056 规定了评定铸造表面粗糙度的方法，只有联合使用两者，才能对表面粗糙度作出评定。

7.2.8 原标准仅 7.2.2 提出了要执行 GB/T6414，参照 ISO 8062 已将 GB/T6414 与 GB/T11350 合并修订为新的 GB/T6414《铸件尺寸公差与机械加工余量》标准；并补充 GB/T11351 配套使用。

7.2.9 原标准对铸件表面质量是按轨道、滚轮、滑道及支铰等零件分别叙述，显得琐碎。这次修订提出铸件表面质量的统一要求。

7.2.10 原标准对铸件的内部质量未作规定。这次修订明确规定铸件内部质量采用

GB/T7233 (neq BS6208, 1982) 标准进行检验和评定。GB7233 标准按平面型缺陷和非平面型缺陷划分, 将铸钢件的内部质量分为五级。铸钢件的关键部位是指与安全功能关系重大的部位, 由使用条件和受力情况所决定的。

7.2.11 原标准对铸件的标志未作规定, 这次修订根据国内外通用作法对铸件的标志予以规定。

7.2.12 原标准对铸件的质量证明书未作规定。这次修订对铸件的质量证明书予以规定。

7.2.13 镇静钢脱氧完全, 性能较半镇静和沸腾钢优良。沸腾钢脱氧不完全, 化学成分不均匀, 内部杂质多, 抗腐蚀性和力学性能差, 冲击韧性较低, 冷脆倾向及时效敏感较大。

某工程弧门液压启闭机悬臂吊轴在 1996 年 3 月 27 日初次调试启动时突然断裂, 断口处轴径 $\phi 439\text{mm}$ 。经断裂失效原因进行分析认为:

(1) 引起吊轴断裂的主要原因, 是在吊轴上部张应力区预先存在有较大的裂纹分布, 当启闭机启动施加外载时, 垂直张应力走向的主裂纹尖端产生应力集中, 引起断裂裂纹快速扩展所致。

(2) 有害裂纹的主要来源:

1) 钢中超量的非金属夹杂物, 有的本身就可以视为裂纹, 有的在应力应变的诱发下, 发展成为有害裂纹。

2) 吊轴在制造加工过程中, 由于某道工序 (如: 锻造或热处理) 控制不当而造成的。

对夹杂物作扫描电镜能谱分析, 表明组成夹杂物的元素以硅、钙、铝为主, 还含有硫、钾、锰等元素, 这些夹杂物属于冶金过程中从外部来的非金属夹杂, 而非钢中应当存在的化合物。

通过断轴事故分析告诉我们, 要保证锻件的质量, 首先必须确保冶金熔炼过程的质量, 即保证锻造用钢的质量, 冶金缺陷在锻造工艺过程中是无法消除的。

7.2.14 本标准参照 JB/T4385.1 和 JB/T9178.2 标准对各类锻件的试验项目和检验数量予以规定。

GB/T699 所规定的钢的力学性能是按厚 25mm 试件给出的; GB/T3077 所规定的钢的力学性能试件尺寸为 15mm~30mm; DL/T5039 也明确说明机械零件的允许应力只适应于尺寸为 25.0mm 的; 这些技术标准均未反映零件随尺寸变化力学性

能随之变化的实际情况，这给我们同行带来诸多不便。特别是闸门和埋件锻件委托加工工厂又覆盖机械、冶金、造船、电力等诸多行业，更加难于统一和执行。我们采集了 13 种锻件常用材料（正火+回火或调质热处理）的力学性能指标，截面尺寸按 $\leq 100\text{mm}$ 、 $> 100\text{mm} \sim 250\text{mm}$ 、 $> 250\text{mm} \sim 500\text{mm}$ 、 $> 500\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ 分段，作为资料性附录首次推出。

7.2.15 某工程断轴断口显微组织为片状珠光体及铁素体，铁素体分布不均匀，带三角形特征，呈网状分布，断口表面层组织比较细小，显示锻造后又经一定形式热处理之后的显微组织特征，但轴的内部（仅距表面约 $25\text{mm} \sim 30\text{mm}$ ）则保留了铸造组织的特点。断裂分析结论证实，对如此重要的锻件连最基本的锻造工艺要求都未能得到保证，终于给国家重点工程留下了终身隐患，这是值得引以为鉴的！

考虑到锻造专业较窄，锻造工艺知识不普及，国家又无统一的锻造工艺通用标准，因此参照机械行业有关标准，起草几条有关锻造工艺的基本技术要求，增加在条文中。

7.2.16 闸门和埋件所需锻件一般为小批量，多数采用锤上或水压机自由锻，锤上自由锻可执行 GB/T15826.1~9 标准，水压机自由锻可参照执行或执行机械行业标准 JB/T9178.1~8 有关规定。

7.2.17 锻件表面质量要求。

7.2.18 白点：锻件中的氢呈气态析出引起的一种缺陷。在纵向断口上表现为接近园形或椭圆形的银白色斑点；在侵蚀后的宏观磨片上表现为发裂，白点将导致断裂强度降低，是不允许存在的缺陷。

7.2.19 GB/T6402 主要采用当量法对缺陷进行判定，按平底孔直径大小分为 4 个质量等级。GB/T6402 同时也规定，锻件的质量等级应符合相关的技术标准。

对某工程断轴断裂分析结果反映：

(1) 断轴原始断面虽然存在较多非金属杂夹物，但其中最大者仅为 0.2mm 。

(2) 在断轴多个截面切取 11 个试样进行拉伸和冲击试验，发现其中一个试样中有 $\phi 3.0\text{mm}$ 的夹杂物，其冲击韧性比规定值下降了 87%。

由此说明锻件对缺陷尺寸大小是十分敏感的，必须对锻件的内部质量进行 UT 检验。

锻件的关键部位是指与安全 and 功能关系重大的部位，由使用条件和受力情况所决定的。

7.3 埋件制造

7.3.1 美国 ANSI/AWS D1.1—88 对焊接结构的尺寸公差是按照桁架或板梁分类予以规定，其中板梁按预设反挠度或不预设反挠度提出不同要求，对于预设反挠度板梁又按是否埋入混凝土中予以区别，同时对承受静载的建筑物和承受动载的桥梁提出了补充规定。该标准中尺寸允许偏差并未给出具体数值，而是规定各种情况下的允许偏差计算公式，公式中包括基本偏差和系数，基本偏差一般为 $1/8\text{in}$ （即 3.175mm ），系数为构件长度英尺数与常数 10 的比值（大于 1）。经测算，当构件长度为 $6.0\text{m}\sim 18.0\text{m}$ 时，构件直线度允许偏差为构件长度的 $1.2/1000\sim 0.8/1000$ ；除埋入混凝土中构件规定极限偏差不应大于 $1/4\text{in}$ （即 6.35mm ），一般未规定极限偏差。

本标准埋件类型已有明确规定，包括底槛、主轨、副轨等，一般长度约为 6.0m ，规定工作面直线度 $1/1500$ （即 $0.67/1000$ ），侧面直线度 $1/1000$ ，与美国 ANSI/ANS 标准基本一致；但由于埋件工作面有止水要求，规定最大极限偏差不大于 3.0mm ，严于 ANSI/AWS 标准是必须的。多年实践证实，只要工艺合理，措施得力，也是能够做到的。如果设计根据使用条件，提出更高的要求，那就只有依靠机械加工了。

原标准表 8.3.1 的注 (1)、(2) 不够明确，予以修订。

7.3.3 平面链轮闸门的主要特点是将闸门所承受的巨大荷载，通过多个链轮均匀地传递给门槽轨道，大大降低轮压，因此链轮承载是否均匀是体现这种闸门特性的关键。事实上由于制造和安装误差的积累，链轮承载不可能均匀。目前，国内设计参照其他国家经验，取不均匀承载系数 $1.5\sim 2.0$ 。当考虑不均匀承载时，链轮轮压即大大增加，设计计算接触应力往往大于 $1200\text{N}/\text{mm}^2$ 。面对如此严酷的使用条件，需要采取一系列技术措施：要求主承压轨道和闸门门体为了消除铸造或焊接过程中产生的内应力，必须进行整体退火处理（见本标准 7.4.2）；要求零部件热处理不但应保证表面硬度，同时应保证硬化层深度（见本标准 7.4.3）；同时也希望整体尺寸和形状位置精度要尽可能提高。由于钢闸门及其埋件属于大型重型结构件，其精度稍一提高，制造安装的难度和成本会急骤上升。本标准修订过程中，对链轮受压条件下的应力和应变进行了分析，并依据大量的轮压试验成果，结合国内水工行业装备状况，制订了有关技术要求，经多年执行，切实可行，符合科学、先进、协调、统一的原则，满足了工程建设的要求。

现将确立有关技术条件的依据和方法介绍如下：

(1) 理论分析链轮在轮压作用下弹性变形情况，认定弹性变形有利于克服不均匀承载或脱空现象，将链轮在不均匀承载条件下发生的理论变形量，设定为轨道承压平面不平度的基本允许偏差。当链轮与主轨承压面（或承载走道表面）相接触时，接触表面的初始几何条件为线接触，由于轮压作用，接触处发生变化，接触变形为一矩形接触面。根据徐灏主编《机械设计手册》（机械工业出版社，1991年）表 4.13-3 中所提供计算公式，当圆柱与平面接触时，接触面的半宽度 b 为

$$b = 1.131 \frac{PR}{L} \sqrt{\left(\frac{1+\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)} \quad (1)$$

式中： P ——链轮轮压；

R ——链轮半径；

L ——接触长度；

μ_1 、 μ_2 ——材料泊松比；

E_1 、 E_2 ——材料弹性模量。

若 $E_1 = E_2 = E$ ， $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$ ，则接触面的半宽度为

$$b = 1.526 \sqrt{\frac{PR}{LE}} \quad (2)$$

链轮的两受压边界之间直径减少量为

$$\Delta D = 1.159 \frac{P}{LE} \left(0.41 + \ln \frac{4R}{b} \right) \quad (3)$$

假定链轮在不均匀承载条件下 $P = 1800\text{kN}$ ，设链轮半径 $R = 100\text{mm}$ ， $L = 240\text{mm}$ ， $E = 202\text{GPa} = 220\text{kN/mm}^2$ ，则

$$b = 2.94\text{mm}$$

$$\Delta D = 0.23\text{mm}$$

由此可见，当链轮按不均匀承载条件承压之后，链轮将发生弹性变形，直径减少了 0.23mm ，这种变形对对偶承载工作表面的形位公差所造成的承载不均匀，将起到一种补偿和调节作用。根据上述承载条件，按链轮中心距 205mm 考虑，即意味着主轨承压面上任意一段 205mm 的范围内只要不存在大于 0.2mm 的不平，只要链轮的制造精度不低于 IT7 级，链轮就不会出现脱空现象，链轮的不均匀承载就控制在设计已经考虑的安全范围内。

为满足这样一个条件，根据 GB1184 要求主轨承压面的直线度相当于 11 级。

(2) 一系列轮压试验结果证明, 链轮承压能力和实际弹性变形量要比理论分析大得多, 也就是说链轮弹性变形对主轨承压面不平度的补偿能力要大得多。东江链轮闸门设计制造过程中, 为验证链轮的承载能力, 在静压情况下进行了轮压试验, 以探求静压的应力、变形和破坏情况, 并用电测法和平面光弹法相互验证。试验结果: 弹性变形量在轮压 2000kN 时为 1.15mm, 在轮压 4000kN 时为 2.13mm, 轮压达 4000kN 后释压, 无塑性变形, 表面无龟裂破坏痕迹。葛洲坝、龙羊峡、三峡等工程先后进行了一系列轮压试验成果, 进一步予以验证。本标准修订时并未依据这些试验成果提出降低轨道承压面不平度要求, 而是将试验成果所反映的事实, 作为链轮抵御不均匀承载的一种安全裕度, 从而保证不会出现超出设计考虑的不均匀承载和脱空现象, 增强链轮承压的可靠度。

(3) 决定允许偏差的前提是满足使用条件, 满足使用条件的允许偏差必须结合工件的结构、工艺过程、加工条件综合考虑并予分解。以链轮门主轨承压面直线度的允许偏差为例, 它是由零件加工误差、工厂装配误差、现场安装误差累积而成的, 必须统筹考虑合理分解。根据《机械设计手册》等资料介绍, 粗铣(刨)加工直线度所能达到的精度等级为 11 级~12 级, 细铣(刨)加工能达到 9 级~10 级, 精铣(刨)能达到 6 级~8 级。由于主轨长度一般为 6000mm~9000mm, 需在重型大型机床上加工, 所能达到的精度等级较低, 但采取一定措施, 达到 9 级以上精度应是可以作到的。表 7.3.3 中主轨承压凹槽的直线度要求就是参照 GB1184 中 9 级精度给出的。承压板长度一般为 800mm~1600mm, 尺寸相对主轨要小, 加工精度可适当提高, 例如富春江水工机械厂考虑到承压板刚度小, 在加工过程中可能由于应力释放难于保证直线度, 而严格控制其等厚度, 这样承压板装配到主轨凹槽之中后, 形位公差不会叠加。表 7.3.3 中承压面直线度公差是按 GB1184 中 10 级精度给出的, 即认为由于装配误差, 精度降低 1 级。若降低等级过多, 在工厂还可考虑已装好承压板的主轨重上机床, 对承压面进行光整加工, 以满足要求。无论是承压板装配到主轨上之后, 再对承压面进行光整加工, 还是保证承压板等厚度和主轨承压板槽底面的直线度, 都需在特重型机床上加工主轨, 从本行业内装备配置情况来看, 要把精度提高许多是困难的, 但采取一定措施保证直线度允许在 10 级精度以上则是可能的。排除因结构设计、制造和运输问题引起的变形, 主轨经现场安装加固之后, 承压面直线度公差将增大, 本标准表 8.1.4 规定主轨安装承压面直线度公差按 GB1184 中 11 级精度要求给出, 即认为经过安装之后精度又降低 1 级。由

于链轮闸门门槽主轨刚度大，机械加工前一般经消除应力热处理，同时门槽工作段不是太长，主轨分节通常为 1~2 节，安装后直线度要求达到 GB1184 中 11 级精度，经过努力也是可以做到的。

7.3.4 高水头弧门若采用突扩式门槽，一般选择液控伸缩式水封或偏心铰预紧式水封，水封布置在门槽上。成凹弧形的门槽的曲率半径偏差方向应与弧门面板外弧曲率半径偏差方向一致，才能保证弧门面板与门槽之间的间隙均匀，才能保证水封伸缩量或预紧量相同，进而保证止水效果。

止水板与水封座板是不相同的，原标准中未明确区分，这次修订特予定义，并按定义在后续文字一一予以更正：

止水板是与橡胶水封相接触，达到止水效果的平板，一般采用不锈钢板焊接在埋件或门体上，经机械加工达到一定的平面度和表面粗糙度。

水封座板是安装橡胶水封的基础板，板上布置有螺孔，通过水封压板并用螺栓将橡胶水封固定的水封座板上。

7.3.6 补充了铸钢主轨支承面（踏面）宽度尺寸允许偏差的要求。

7.3.8 补充了止水板中心至反轨工作面中心距 a 的允许偏差的要求。

7.3.10 原标准中的锥形支铰现在很少采用，根据专家意见选用带关节轴承的支铰代替。铰链平面应注意与支臂夹角角平分线正交，采用 DL/T 5039—1995《水利水电工程钢闸门设计规范》条文说明中推荐的计算公式计算扭角和倾斜角。

自润滑关节轴承早年采用进口件较多，近年来国产的质量也已大大提高，得到了广泛的应用。有关轴和孔的尺寸及配合要求，应参照工厂产品提供的样本参数。

7.3.11 由于闸门门槽孔口尺寸大，要求工厂完全按照闸门的工作状态进行预组装是十分困难的，投入也很大。根据近年来工程监理主持验收工作的经验，标准明确规定预组装可以立拼，也可以卧拼。主要检测项目为：检验装配关系和精度；检测整体几何尺寸和精度；检查各关联接口与接头质量，同时增加了转铰式水封装置的内容，提出在验收合格后应在明显位置标记有关中心线、控制检查线的要求。

7.4 平面闸门制造

7.4.1 修订了原标准表 8.4.1 中序号 1 门叶厚度的门叶尺寸分段。

增加了原标准表 8.4.1 中序号 2、3、7、8 项检测项目的门叶尺寸分段，将最大尺寸分段由大于 15000mm 扩大到大于 20000mm，对应的允许偏差也适当增加。

增加了节间止水板平面度和底水封座板高度的要求。

7.4.2 经机械加工后的板厚应符合设计图样尺寸，在制定工艺时应采取措施予以保证。原标准对弧门面板加工已经规定了，考虑到平面闸门现在加工部位越来越多，因此补充该项规定。

以上条文主要针对承担受力或传力的面板和支承板，但是水封座板和支承滑道垫板等为了找平基面而进行机械加工的部位厚度则不在此例，希望执行时予以区别。

7.4.5 为了满足工程需要，近年来滑道支承和轴承材料发展很快，目前常用的材料主要有：

(1) 压合胶木。水电工程虽然很少采用压合胶木作轴承材料，但在水利工程中仍然采用压合胶木作滑道支承材料。

(2) 增强（填充）四氟板材。增强（填充）四氟板材采用尼龙 66 作基材，加入玻璃纤维和超细四氟乙烯及固体润滑剂和防老化剂等原料注塑而成。

(3) 钢基铜塑复合材料。钢基铜塑复合材料常用有两种：

1) 铜球/聚甲醛复合材料：在钢背上烧结一层粒径为 20 目~30 目的铜球，将聚甲醛注入并渗透到铜球之间的缝隙之中并结合为铜塑复合体。

2) 铜螺旋/聚甲醛复合材料：在钢背上烧结一层铜螺旋和铜球，铜球约占铜螺旋的一半高度，由于铜螺旋限制了聚甲醛的水平流动，强化了向下渗透功能，同时也改变了复合材料表层的性能。

(4) 自润滑铜合金支承材料。自润滑铜合金支承材料实质上是采用固体润滑剂的铜合金支承材料目前常用的有镶嵌式和钉板型两种：镶嵌式是在铜合金基体表面开设一系列孔穴，孔穴中镶嵌并充满含有固体润滑剂的塑料；钉板型是将铜合金轧制成钉板，在钉与钉之间填充含有固体润滑剂的塑料。无论是镶嵌式或钉板型均为铜合金基体受力，因此与传统的铜瓦一样，应按 DL/T5039《水利水电工程钢闸门设计规范》规定：铜合金的力学性能应符合 GB/T 1176 的规定。与传统的铜瓦不同之处在于自润滑支承材料采用固体润滑，无需给油，固体润滑膜较液体润滑膜能承受重荷且不破断，更适宜于重载、低速条件下工作。

油尼龙材料通过工程实践验证，存在不少问题，江苏省水利勘测设计研究院有同志对此进行调研，提出意见，因此将其删除。

7.4.7 平面闸门的主支承行走装置承受闸门全部荷载，并通过主轨将荷载传递到门槽混凝土上，反向支承装置则为保证闸门在门槽内行走起导向作用。无论是主支

承或反向支承装置，在结构上一般为滑道（块）或滚轮。原标准条文中未提及反向支承装置，执行中存在有偏废现象，因此予以补充。

7.4.10 增加反向支承滑道（块）或滚轮的工作面与止水座面的距离允许偏差。

7.4.11 门叶中心线是闸门制造的基准线之一，吊耳的位置应以门叶中心线来控制 and 检查，另外增加双吊耳中心距的允许偏差。

7.4.12 按照 DL/T 600 标准规定，条文中的注释不能包含要求，原标准条文中的注释包含有要求，为此将不允许强制组合的要求并入到条文中去。另外增加了有关明显标记中心线、检查线的要求。

7.5 弧形闸门制造

7.5.1 修订了原标准表 8.5.1 中序号 1 门叶厚度的尺寸分段。

由于面板实际上是弧面，原标准表 8.5.1 中序号 11 项“面板局部平面度”这种提法不妥，改称为“面板局部与样尺的间隙”，样尺检查主要在主梁与隔板间格内，横向用样板直尺、纵向用样板弧尺进行测量。

7.5.2 在高水头下运行且有局部开启要求的弧门，通常要求对弧门面板及相关组合面进行机加工，因此必须按表 7.5.1 从严控制拼装与焊接质量，尽量减少变形，加工前应划线，确保各部分有足够的机加工余量。参照 GB/T709 规定，当钢板厚度为 13.0mm~34.0mm 时，允许钢板板厚负偏差 0.8mm~1.0mm，因此补充规定允许机械加工减薄量一般为 -2.0mm。

加工后弧门面板曲率半径允许偏差虽为 $\pm 2.0\text{mm}$ ，但与 7.3.4 相对应，其偏差方向应与侧止水座面曲率半径偏差方向一致，公差减少一半。

7.5.3 增加弧形闸门吊耳的位置允许偏差要求。

7.5.4 “支腿”是俗称，且与设计标准等称谓不一致。考虑到支臂构件一般按柱设计计算，因此将原标准文中“支臂”改称“臂柱”，“支腿”改为“支臂”。

增加了反弧门两侧垂直度要求。

增加了斜支臂组装的技术要求。

7.5.5 增加了支臂与门叶、铰链连接板组合面的要求，并要求在验收合格后应明显标记中心线、检查线。

7.6 人字闸门制造

7.6.4 人字闸门门叶中心线（垂直线）和底横梁中心线（水平线）是闸门制造的基准线，也是安装的基准线。

分节制造的人字闸门在工地拼焊时，由于拼装错位和焊接变形的积累，可能破坏顶、底枢轴孔的同心和轴线的铅直，因此在全部拼焊完成之后，应采用预先作好的测量控制系统进行校验，若发现顶枢轴孔位置偏移，应予修正，然后按修正位置进行镗孔；镗孔时依靠调整机床的水平，进而保证轴孔中心线的铅直，从而保证闸门顶、底枢最终实际中心线的同心和铅直。

8 闸门和埋件安装

8.1 埋件安装

8.1.1 在二期混凝土中预埋锚栓存在如下缺点：

(1) 锚栓预埋要穿过模板，既破坏了模板，又增加了拆模难度，若不穿过模板则必须将锚栓折弯预埋，拆模后扳直，增加了工人劳动强度。

(2) 预埋锚栓很难与埋件的调整螺栓对正，一般设计要求搭接焊接长度应不少于 50mm，如果预埋错位，则搭接焊接长度就难于保证，即使长度达到了，焊接截面很小，满足不了设计对连接强度的要求。

在二期混凝土中预埋锚板则可克服预埋锚栓的缺点：预埋锚板可以不穿过模板，锚板面积为 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 或 $120\text{mm} \times 120\text{mm}$ ，锚板背后焊一锚钉，由于锚板面积大，允许预埋错位的偏差增加了若干倍，便于与埋件的调整螺栓对接。调整螺栓与锚板对接，既节省了原来要求搭接的材料，同时有利于焊接，连接焊缝为一封闭的环形焊缝，比锚栓搭接的焊缝有效面积大大增加，省工省料，连接更加可靠。

推荐采用锚板的建议在 1992 年 12 月常州召开的钢闸门设计标准审查会上提出并采纳，成都勘测设计研究院在二滩工程设计中广泛采用，收到了很好的效果。成都勘测设计研究院总结经验在 1998 年关于金属结构安装招标文件范本讨论会上极力推广，现在采用锚板的工程已经越来越多。

按照国际工程惯例，锚板与调整螺栓及埋件的装配和调整关系应在埋件设计图中反映，锚板的数量和重量也应统计计入埋件的总工程量中，锚板应由闸门及埋件承制单位制造并首批交货。锚板由土建施工单位预埋，土建施工单位在混凝土开仓之前应通知监理与安装单位检查，检查合格并在开仓证上签字之后才能开仓浇筑混凝土。考虑到设计标准对应条款中仍然按锚板、锚栓规定，因此本标准暂时仍按锚板（栓）叙述，表示推荐锚板但不排斥采用锚栓，希望与设计标准统一修订。

8.1.3 表 8.1.3 中序号 8 “表面扭曲值, f ”, 有人指出: 从简图来看, 为表面倾斜, 应改称“表面倾斜度”。我们知道, 倾斜度与平行度、垂直度都属于位置公差中的定向公差一类, 对于表中埋件来说, 定向问题已经在表列前几项中得到控制; 对于同一件埋件的不同截面来说, f 值可能正向也可能反向, f 值无法靠调整埋件倾斜来解决; 对于钢结构中的扭曲概念, 是多年实践经验在行业内相约俗定的概念, 无论从基准要素、成因机理、检测规定和处理方法等方面来分析, 均不能用机械零件范畴内归纳的 14 种形状位置公差所能完全界定, 扭曲变形是复杂的, 扭曲检测不采用三基面体系, 扭曲检测和处理完全采用一种比较的、经验的方法, 但实践证明都是行之有效的, 因此不予修改。

表 8.1.3 中序号 6 “工作表面平面度”是指底槛、门楣、主轨、止水板、胸墙这些构件经机械加工的表面的平面度, 其中止水板可能设计在主轨上, 也可能设计在反轨上。

8.1.4 平面链轮闸门埋件安装几何尺寸允许偏差, 如, 对门槽中心线的尺寸偏差, 与一般门槽埋件一样, 仍按原标准 9.1.3 规定要求。根据链轮门的承载特性, 为了保证链轮均匀承载, 按本标准条文说明 7.3.3 中关于主轨承压面的公差分配情况, 安装好的主轨承压面平面度按 GB1184 标准 11 级精度要求。

在此需特别说明的一点, 闸门和埋件安装中有关形位公差与尺寸公差的关系一般遵循 GB4249 《公差原则》规定的独立原则, 即给定的形位公差和尺寸公差相互无关, 两者之间不需要共同的理想边界, 控制要素不遵循包容原则。本条文中平面链轮闸门与门槽的尺寸及其配合精度、门槽主轨平面度要求是体现这种独立原则最明显的例证:

一方面由于平面链轮闸门支承磨阻力较大, 其反向支承又非弹性机构, 因此一般要求闸门与门槽配合间隙稍大一点; 考虑到链轮闸门本体尺寸精度高, 则门槽宽度尺寸允许偏差较大一点, 主轨对门槽中心线允许偏差 $+2.0\text{mm}$ 也是可以的。

另一方面, 为了确保链轮均匀承载, 对主轨承压面的平面度要求却是很高的, 表 8.1.4 规定, 当主轨长达 10m 时, 平面度允差仅 1.0mm。

由于实际施工中, 尽管主轨对门槽中心线的距离测量和主轨平面度的检测可能采用同一基准或同一方法, 但控制的要素是不同的, 评价也不一样。

在钢闸门和埋件制造安装过程中也许由于检测方法单调划一, 对尺寸公差与形位公差检查方法不是显而有别, 于是容易造成某些认识上的模糊, 借此予以强调,

提醒人们注意。

8.1.7 高水头弧门若采用突扩式门槽，橡胶水封设在门槽周边上，因此不但要控制侧轨止水座面的曲率半径，同时要控制曲率半径偏差方向与门叶面板外弧面的曲率半径偏差方向一致，否则将造成两者之间间隙偏差太大，最终造成橡胶水封压缩量不一致而影响闸门止水效果。

8.1.9 删除锥形铰座的安装要求，增加钢衬安装的要求。

8.2 平面闸门安装

8.2.3 充水阀是实现闸门平压启闭的重要机构，设计形式也多种多样，如压盖式、柱塞式及子门式，无论采取哪种型式，操作灵活与密封可靠是至关重要的。原标准未涉及该项要求，予以补充，检查可按专项检测。

8.3 弧形闸门安装

8.3.1 在已经投入运行的工程中，仔细观察表孔弧门运行情况，你会发现：尽管弧门采用了先进的同步控制系统，但个别弧门总是自始至终偏斜着运行。为了消除这种状态，不惜工本大大增加了传感器的分辨率，提高了启闭机的同步精度，也难于扭转弧门偏斜的“身驱”。弧门的这种终身残缺反映在速度上，表现为不同步；反映在受力上，承载不均匀。前者是显性的，后者是隐性的，因为人们能观测到启闭机的压力变化仅仅是系统的压力，并非油缸工作腔的压力，对于这种隐性的危害程度暂时无法估测。为什么会发生这种情况？通过对此进行追溯性分析，结论只有一个：安装弧门铰座时，两侧轴孔不同心，造成了弧门运行的跑偏现象。

国内外许多专家针对原标准表 9.3.1 中弧门两侧铰座同轴度公差为 2.0mm 提出异议，认为要求太低，应予提高。

在三峡工程 22 孔导流底孔和 23 孔深孔弧门安装中，采用传统的拉钢丝线的方法控制两铰座同轴度的调整，然后采用全站仪检测验收，铰座同轴度达到了 0.5mm。

因此，根据专家提议，将原标准表 9.3.1 中“两铰座轴线同轴度”公差由 2.0mm 修订为 1.0mm。

8.3.3 弧门支臂与门体和铰链一般采用摩擦型螺栓连接，依靠对螺栓施加预紧力和摩擦面抗滑移来承载。由于铰链连接面、门体组合面的厚度较大，如果支臂连接板焊接变形，则组合面的密贴将受影响，抗滑移能力也会降低，值得特别注意。

8.4 人字闸门安装

8.4.2 调研时发现,部分已投入运行的人字闸门,支、枕座根本不在一条直线上,门体整体尺寸和形状不但偏差较大,多节门体歪歪斜斜,大修时欲寻找一个进行监测的基面都无法找到。经分析,支、枕座可能未按标准要求挂线调整,而是采用双双配对挂装,闸门止水靠超量压缩予以保证。针对这种情况,提出安装时应设置控制基准线,指出应控制的主要部位,并且与制造条文相呼应。

8.4.5 支、枕垫块安装应有一基准,一般情况下以枕垫块为基准,支垫块靠调整与枕垫的间隙来控制,新增了枕垫块安装的要求。

8.4.8 原标准人字门斜接柱下端点的位移值是1963年研究班定稿时规定的,当时主要依据了西津的经验。

40年过去了,人字门设计不断优化,安装经验不断积累,通过计算机对各种不同工况下荷载组合的应力、应变的计算成果,与对许多人字闸门原型观测的检测成果相比较,已经取得了许多成功的经验,背拉杆调整不但能消除门体扭转变形,同时大大提高了门体的刚度。本标准按照对背拉杆施加预应力,门体的变形已经调整,刚度已经增强,对斜拉柱下端点的位移值予以修订。

8.4.9 本条仅适用于采用橡胶水封止水的人字闸门。

8.5 闸门试验

8.5.1 增加了事故闸门应做动水关闭试验一项要求。

10 验收

10.1 总则

10.1.1 SL/T223—1999《水利水电建设工程验收规程》对验收工作的分类、组织和程序及文件资料已经作出了规定,闸门制造安装验收只不过是其中的一子程序。

10.1.2 按SL/T223—1999有关规定引伸而来的规定。

10.1.3 为了使验收工作制度化提出的要求。

10.1.4 为了使验收工作程序化而提出的要求。

10.2 阶段验收

10.2.1 闸门制造也可以视为非标准设备制造,但又是需安装的设备,未经安装的闸门没有独立的使用功能。为了照顾制造和安装各自特点,将制造与安装分开提出验收要求。

10.2.2 在原标准相应条款的基础上增加交货验收。

10.2.3 安装验收完全按照工程验收要求。

10.3 验收资料

增加验收申请报告、检验大纲（制造）和质量评定报告（安装）等资料。