

重庆市工程建设标准

钢结构桥梁施工技术标准

Technical standard for steel structure bridge construction

DBJ50/T-557-2026

主编单位：中交二航局第二工程有限公司

重 庆 交 通 大 学

批准部门：重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期：2 0 2 6 年 1 0 月 1 日

2026 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标[2026]20号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《钢结构桥梁施工技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建设局、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《钢结构桥梁施工技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-557-2026,自 2026 年 10 月 1 日起施行。标准文本可在标准备案后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,中交二航局第二工程有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2026 年 6 月 23 日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2023 年度重庆市工程建设标准制定修订项目立项计划的通知》(渝建标〔2023〕31 号)文件要求,标准编制组在近年来国内外钢结构桥梁施工技术研究成果及实践经验基础上,经广泛调查、总结,参考有关国家、行业标准,结合重庆市的地方特点,在充分征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要技术内容包括:总则,术语与符号,基本规定,材料,制造,包装、存放与运输,安装,工地连接,施工监控。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,由中交二航局第二工程有限公司负责技术内容解释。本标准的实施、应用过程中,各单位将发现的问题和意见函告中交二航局第二工程有限公司(地址:重庆市北部新区星光五路 10 号附 1 号土星商务中心 C4,邮编:401120,电话:023-88708999,传真:023-88708870,邮箱:csnec@csnec.cn),以便今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人：

主 编 单 位：中交二航局第二工程有限公司

重庆交通大学

参 编 单 位：重庆市住房和城乡建设工程质量安全总站

中铁宝桥集团有限公司

中交第二航务工程局有限公司

重庆路航工程检测有限公司

中铁九桥工程有限公司

中国铁建大桥工程局集团有限公司

重庆宏远质量检测有限公司

中铁山桥集团有限公司

重庆市奉节县住建委质安站

重庆天眼工程质量检测有限公司

中冶建工集团有限公司

重庆南州建设项目管理股份有限公司

重庆冉阳机械有限公司

重庆国际物流枢纽园区建设有限责任公司

重庆渝智矩科技有限公司

主要起草人：刘小勇 向中富 沈治宇 王晓夫 宋庆仁

黄厚卿 张剑峰 应 杰 陈金强 樊树兵

鄢 飞 陈 鸣 刘景红 康 龙 郭继涛

赵烈秋 范 波 陈兵山 杨 勇 张 燕

汤生虎 赵 丹 王卫红 周 平 赵冬晓

聂 飞 刘 志 许 贺 田 力 陈爱东

徐巧成 刘茂娜 许 波 史绍明 邹 晖

王 鹏 胡阳阳 张 梁 吴 巍 毛德涵

袁思宇 刘国庆 文成需 枚 龙 董 伟

陈 良 尹华东 李生海 陈贤俊 张艳阳

冷平生 龚志鹏 文 成 唐永盛

主要审查人：朱自立 唐文喜 周尚永 彭禹铭 吴国雄

黄 刚 张 群

目 次

1	总则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	材料	6
4.1	一般规定	6
4.2	钢材	6
4.3	焊接材料	7
4.4	圆柱头焊钉	8
4.5	高强度螺栓连接副	8
4.6	高强度环槽铆钉连接副	9
4.7	涂装材料	9
4.8	密封材料	9
5	制造	10
5.1	一般规定	10
5.2	下料与加工	10
5.3	组装	26
5.4	焊接、焊接检验及矫正	38
5.5	试拼装和预拼装	62
5.6	成品尺寸检验与验收	70
5.7	涂装	83
6	包装、存放与运输	89
6.1	一般规定	89

6.2	包装	89
6.3	存放	90
6.4	装卸	90
6.5	运输	91
7	安装	94
7.1	一般规定	94
7.2	支架法安装	94
7.3	悬臂拼装法安装	97
7.4	提升法安装	101
7.5	顶推法安装	105
7.6	转体法安装	110
7.7	大节段安装	114
8	工地连接	117
8.1	一般规定	117
8.2	焊接连接	117
8.3	高强度螺栓连接副连接	118
8.4	高强度环槽铆接	121
9	施工监控	123
9.1	一般规定	123
9.2	施工监控计算	123
9.3	施工现场监测	123
9.4	施工反馈控制	124
附录 A	原材料复验	125
附录 B	钢板、加工及焊缝外观缺陷的修补	131
附录 C	钢材焊接工艺评定	132
附录 D	圆柱头焊钉焊接工艺评定	138
附录 E	焊接接头超声检测方法及其质量分级	141
附录 F	焊接接头射线检测质量评定	143
附录 G	摩擦面抗滑移系数试验方法	145

附录 H U 形肋全熔透焊缝检测及验收	148
附录 J 高强度螺栓安装施拧工艺细则	150
附录 K 高强度环槽铆钉安装铆接工艺细则	158
本标准用词说明	164
引用标准名录	165
条文说明	167

重庆工程建设

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements	5
4	Materials	6
4.1	General provisions	6
4.2	Steel	6
4.3	Welding materials	7
4.4	Round headed studs	8
4.5	High-strength bolt assemblies	8
4.6	High-strength ring groove rivet assemblies	9
4.7	Coating materials	9
4.8	Sealing materials	9
5	Manufacturing	10
5.1	General provisions	10
5.2	Cutting and fabrication	10
5.3	Assembly	26
5.4	Welding, welding inspection, correction	38
5.5	Trial assembly and pre-assembly	62
5.6	Finished product dimensional inspection and acceptance	70
5.7	Painting	83
6	Packaging, storage and transportation	89

6.1	General provisions	89
6.2	Packaging	89
6.3	Storage	90
6.4	Loading and unloading	90
6.5	Transportation	91
7	Installation	94
7.1	General provisions	94
7.2	Installation by support method	94
7.3	Installation by cantilever erection method	97
7.4	Installation by lifting method	101
7.5	Installation by incremental launching erection	105
7.6	Installation by rotational erection	110
7.7	Large segment installation	114
8	Site connection	117
8.1	General provisions	117
8.2	Welded connection	117
8.3	High-strength bolt assembly connection	118
8.4	High-strength lockbolt riveting	121
9	Construction monitoring and control	123
9.1	General provisions	123
9.2	Construction monitoring calculation	123
9.3	On-site construction monitoring	123
9.4	Construction feedback control	124
Appendix A	Re-inspection of raw materials	125
Appendix B	Repair of appearance defects in steel plates, fabrication, and welds	131
Appendix C	Welding procedure qualification for steel	132
Appendix D	Welding procedure qualification for round headed studs	138

Appendix E	Ultrasonic testing method and quality grading for welded joints	141
Appendix F	Quality assessment for welded joints with radiographic testing	143
Appendix G	Test method for slip-resistance coefficient of friction surfaces	145
Appendix H	Inspection and acceptance of full-penetration welds for U-shaped ribs	148
Appendix J	Installation and tightening detailed rules for high-strength bolts	150
Appendix K	Installation and riveting detailed rules for high-strength lockbolts	158
	Explanation of Wording in this standard	164
	List of quoted standards	165
	Explanation of provisions	167

重庆工程建设

1 总 则

1.0.1 为规范钢结构桥梁施工,保障工程质量与施工安全,特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市钢结构桥梁的制造与安装施工。

1.0.3 钢结构制造与安装施工应积极推广应用智能建造技术。

1.0.4 钢结构桥梁施工除应符合本标准规定外,还应符合现行国家、行业及地方相关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 钢结构桥梁 steel structure bridge

钢结构桥梁指主体结构由钢构件组成的各类桥梁,包括钢梁桥、主拱圈为钢结构的拱桥、主梁为钢结构的斜拉桥、加劲梁为钢结构或钢混组合梁的悬索桥和钢混组合结构桥梁。

2.1.2 零件 part

组成桥梁钢结构的最小单元。其中主要零件包括钢梁及钢拱主要杆件的盖板、腹板、节点板、接头板,钢板梁主要杆件的盖板、腹板、接头板,钢箱梁的顶板、底板、腹板、横纵隔板,钢箱拱的盖板、腹板,钢管拱的弦管、腹板(杆、管)、横撑、法兰,钢锚梁的拉板、底板,钢牛腿的壁板、上承板、托架板,钢锚箱的拉板、底板、壁板、腹板,钢塔的壁板、腹板,正交异性板单元的桥面板、纵向加劲肋,横梁的盖板、腹板,各种结构中的支座或吊点处隔板、拼接板,锚固板件等。其余为次要零件。

2.1.3 构件 assembly

由若干零件或杆件组合而成的可独立安装的结构单元。

2.1.4 部件 component

由若干构件组合而成的可独立安装的结构单元。

2.1.5 施工临时构件 temporary construction member

钢结构安装需要的临时固定或加固构件。

2.1.6 工艺详图设计 fabrication detailing

以设计图为依据,结合工厂加工条件、构件运输及现场安装工艺等要素进行的加工工艺图转换设计。

2.1.7 节段 segment

根据钢结构安装需要而划分的结构单元,可以是单个部件,也可以是由多个部件组成。

2.1.8 试拼装 test assembly

在散拼安装钢桁梁、钢桁拱、钢板梁等结构批量制造前,为验证图纸准确性、装备可靠性以及制造工艺合理性,选取典型杆件进行的拼装。

2.1.9 预拼装 trial assembly

非散拼安装钢桁梁的主桁桁片、桥面块体、节段,以及钢箱梁、钢箱拱、钢锚梁、钢锚箱、钢塔等节段的连续匹配拼装制造。

2.1.10 大节段钢梁 large segment of steel girder

节段安装长度不小于 50m 或吊装质量不小于 1000t 的钢梁。

2.1.11 主要角焊缝 primary Fillet Weld

主要零件之间的连接角焊缝。

2.1.12 施工监控 construction monitoring

在施工过程中针对结构安全以及成桥几何、内力(应力)目标状态的实现而实施的监测与控制措施,主要包括施工模拟控制计算、施工现场监测、控制值(理论值)与监测值(实际值)比较、跟踪反馈控制分析以及施工过程状态控制。

2.1.13 智能建造 intelligent construction

融合信息技术、先进制造技术与工业化建造技术的建造方式,目的在于通过提高钢结构桥梁设计、施工、养管工业化、数字化、智能化水平,优化建造过程,提升工程质量。

2.2 符 号

α ——角度,包括结构几何角度、焊缝坡口角度;

H ——高度,包括截面高度、焊缝坡口深度;

b ——焊缝坡口根部间隙;

T_c —— 高强度螺栓终拧扭矩；

T_0 —— 高强度螺栓初拧扭矩；

μ —— 抗滑移系数；

l —— 长度、跨度、对角线；

B —— 宽度；

d —— 直径；

r —— 半径；

t —— 厚度；

s —— 间距；

f —— 拱度、弯曲矢高；

h_f —— 焊脚尺寸；

Δ —— 偏差、增量。

3 基本规定

3.0.1 钢结构桥梁施工应建立健全质量、安全保证体系,实施全过程质量、安全管理与控制。

3.0.2 钢结构桥梁施工前应编制专项施工方案。

3.0.3 钢结构桥梁制造与安装施工应使用经计量检定合格的计量器具进行检验。

3.0.4 施工单位和制造厂应对设计文件进行工艺性复查。当需要修改设计时,应取得原设计单位同意,并办理相关设计变更文件。

3.0.5 钢结构桥梁施工应进行全过程监测与控制。

3.0.6 钢结构制造与安装宜建立以建筑信息模型(BIM)为核心的数字化协同工作平台,并采用基于 BIM 的设计、深化设计、制造、运输及现场安装一体化施工。

3.0.7 钢结构制造与安装宜采用自动化下料、焊接、切割、喷涂等智能装备及基于物联网的构件追溯、基于智能传感的施工监控等技术。

3.0.8 钢结构桥梁施工组织设计应包含污染控制、废弃物管理、资源节约、环境保护、数字化管理等内容。

4 材 料

4.1 一般规定

4.1.1 钢结构桥梁制造所用的材料应符合设计文件及国家现行有关标准的规定。

4.1.2 进场材料应具有质量证明文件,并应按本标准附录 A 及相关标准的规定进行抽样复验,合格后方可使用。

4.1.3 对各种材料的存放、使用和回收均应制定相应的管理制度,并应保证其性能稳定、可靠。

4.2 钢 材

4.2.1 钢板及型材的材质、规格、性能等均应符合设计文件和现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《桥梁用结构钢》GB/T 714、《耐候结构钢》GB/T 4171 及《碳素结构钢》GB/T 700 等标准的规定。

4.2.2 有 Z 向性能要求的钢板应符合设计文件和现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。

4.2.3 钢板的尺寸、外形、重量等应符合设计文件和现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 的规定。

4.2.4 钢板的表面质量应符合现行国家标准《热轧钢板表面质量的一般要求》GB/T 14977 的规定。

4.2.5 钢材的存放应符合下列规定:

- 1 应远离酸、碱、盐等侵蚀性介质;

2 应按品种、牌号和规格分类存放,钢板应设置明显的色带标识,材料码垛应设置标识牌;

3 钢材宜存放在仓库内,最底层应设置垫木或其他适宜的支垫物,存放时应安放平直;

4 露天存放时,场地应有完善的排水设施,型钢的开口侧不得向上。

4.3 焊接材料

4.3.1 焊条质量应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117、《高强钢焊条》GB/T 32533 等标准规定和合同技术要求。

4.3.2 气体保护焊实心焊丝质量应符合现行国家标准《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110、《气体保护电弧焊用高强钢实心焊丝》GB/T 39281 等标准规定和合同技术要求。

4.3.3 气体保护焊药芯焊丝质量应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《高强钢药芯焊丝》GB/T 36233、《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853 等标准规定和合同技术要求。

4.3.4 埋弧焊丝和焊剂质量应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 5293、《埋弧焊用高强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 36034、《埋弧焊和电渣焊用焊剂》GB/T 36037 等标准规定和合同技术要求。

4.3.5 焊接材料应存放在专用仓库内,并应按种类、牌号、规格和批号分类保管存放。

4.3.6 陶质衬垫应保持干燥,高湿环境应选用防水型陶质衬垫。

4.4 圆柱头焊钉

4.4.1 圆柱头焊钉和焊接瓷环的质量及检验应符合现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433 的规定。

4.4.2 圆柱头焊钉和焊接瓷环应按种类、牌号、规格和批号分类保管存放,存放场所应干燥、通风良好。受潮瓷环使用前应在 $120^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内烘焙 1h~2h 方可使用。

4.5 高强度螺栓连接副

4.5.1 高强度螺栓连接副的质量及检验应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 以及《钢结构用耐候钢高强度螺栓连接副》GB/T 43151 的规定。

4.5.2 高强度螺栓连接副的包装、标志和验收应符合下列规定:

1 高强度大六角头螺栓连接副应随箱带有出厂检验报告。扭剪型高强度螺栓连接副应随箱带有紧固轴力(预拉力)检验报告;

2 高强度螺栓连接副应按包装箱配套供货。包装箱上应标明批号、规格、有效期限及生产日期,螺栓、螺母、垫圈外表面应进行保护,不应出现锈蚀和沾染污物,螺纹不应有损伤,并按包装箱数的 5% 抽查,且不少于 3 箱。

4.5.3 高强度螺栓连接副的保管应符合下列规定:

1 螺栓连接副在运输、存放保管过程中应防雨防潮,并应轻装、轻卸,且不得损坏密封包装及损伤螺纹;

2 材料应根据品种、规格、批号等分类存放,不得混批存储;

3 高强度螺栓连接副存放超过 6 个月时,应在不破坏出厂状态情况下按不低于原验收批次 20% 抽样,重新进行扭矩系数和紧固轴力的检测,合格后方可使用。

4.6 高强度环槽铆钉连接副

4.6.1 高强度环槽铆钉连接副的质量及检验应符合现行国家标准《环槽铆钉连接副技术条件》GB/T 36993 的规定。

4.6.2 高强度环槽铆钉、锁紧环等连接副原材料应具有出厂质量证明书和材质检验报告,钢材牌号、力学性能、化学成分应符合设计及规范要求。

4.6.3 高强度环槽铆钉连接副在运输、存放保管过程中应防雨防潮,并应轻装、轻卸,且不得损坏密封包装及损伤环槽。

4.7 涂装材料

4.7.1 涂装材料应符合设计及现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的规定。

4.7.2 涂装材料应按产品说明书的要求储存在专用库房内,按照类别和批次有序存放,应在保质期限内使用。

4.7.3 涂装材料存放库房应远离水源区域。储存环境应通风良好、干燥,避免阳光直射。

4.8 密封材料

4.8.1 密封材料应符合设计文件和相关产品标准的规定。

4.8.2 密封材料应在库房内存放,并在保质期内使用。

5 制 造

5.1 一般规定

5.1.1 钢结构制造应编制专项施工方案,并按施工图、工艺详图设计及制造工艺文件执行,制造前应进行技术安全交底。

5.1.2 钢结构在加工前,制造单位应对设计文件进行工艺性复查,当需要修改设计时,应履行设计变更程序。

5.1.3 钢结构制造前应进行切割、焊接、涂装等工艺性试验,设计或合同文件中有特殊要求时,还应进行相应的试验。

5.1.4 钢结构主要构件加工应进行首件验证,合格后方可批量生产。

5.1.5 相同构件的制造精度宜满足互换性要求。

5.2 下料与加工

5.2.1 预处理应符合下列规定:

1 钢板下料前应进行辊平、抛丸除锈、除尘及喷涂车间底漆等预处理;

2 车间底漆干膜厚度宜为 $20\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$;

3 预处理完成后,应及时将钢板原有的牌号、规格、炉批号等信息移植到经处理后的钢板上。

5.2.2 下料应符合下列规定:

1 钢材的下料应按施工图和工艺文件执行,并留工艺余量。余料应进行追溯性管理,应标记材料牌号、规格、炉批号等信息;

2 根据零件的形状和精度要求选择数控、自动或半自动等

方式精密切割下料；

3 H 型钢、钢管、角钢及槽钢等型材宜采用机械切割和数控切割。相贯连接的钢管应采用相贯线切割机进行切割，并同步切割出焊接坡口；

4 主要零件下料应使钢材的轧制方向与主要应力方向一致。当钢板的纵横向力学性能相近，且均大于设计标准值时，可不受此限制；

5 切割面不应有分层、裂纹、夹渣等缺陷，并应清除熔渣和毛刺；

6 板件切割后其质量应符合下列规定：

1) 切割面质量应符合表 5.2.2 的规定；

2) Q370 及以下级别钢材切割面的硬度应不超过 350HV10；耐候钢和 Q370 级别以上的钢材切割面的硬度应不超过 380HV10。

表 5.2.2 切割面质量

序号	名称	主要零件	次要零件	备注
1	表面粗糙度	25 μ m	50 μ m	按 GB/T 10610 用样块检测
2	崩坑	不允许	1000mm 长度内允许 有 1 处 1mm	
3	塌角	圆角半径 ≤ 2 mm		
4	切割面垂直度	$\leq 0.05t$ (t 为板厚)，且 ≤ 2 mm		

7 剪切仅可用于次要零件或剪切后仍需要加工的零件，且钢板厚度不宜大于 12mm，剪切边缘应平整，无毛刺、反口、缺肉等缺陷。剪切的尺寸允许偏差应为 ± 2 mm，边缘缺棱应不大于 1mm，型钢端部垂直度应不大于 2mm；

8 手工焰切仅可用于工艺特定或焰切后仍需再加工的零件，其尺寸允许偏差应为 ± 2 mm。手工焰切后不再加工的零件应修磨匀顺；

9 对切割边缘的缺口或崩坑等缺陷,应按本标准附录 B 的规定进行修补;

10 切割完毕后,应对主要零件进行标识并记录。

5.2.3 矫正应符合下列规定:

1 零件的矫正宜采用冷矫,矫正后的零件表面不应有明显的凹痕和损伤;

2 零件冷矫时的环境温度不宜低于 -12°C ;

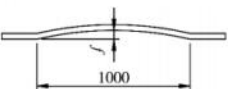
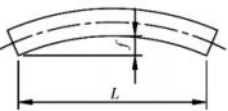
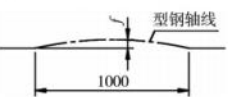
3 热矫工艺要求应符合表 5.2.3-1 的规定。矫正后的零件应自然冷却,降至室温前,严禁保温、锤击和用水急冷;

表 5.2.3-1 热矫温度要求

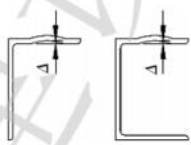
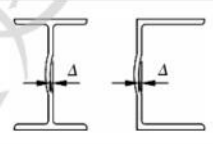
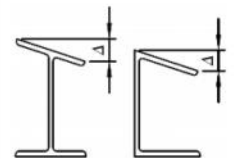
序号	牌号	工艺要求
1	Q370 及以下级别钢材	$\leq 800^{\circ}\text{C}$
2	Q390、Q420、Q460	$\leq 750^{\circ}\text{C}$
3	Q500 及以上级别钢材	$\leq 700^{\circ}\text{C}$

4 零件矫正的允许偏差应符合表 5.2.3-2 的规定。

表 5.2.3-2 零件矫正允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差		简图
1	钢板平面度	$f \leq 1$		
2	钢板直线度	$f \leq 2$	$L \leq 8\text{m}$	
		$f \leq 3$	$L > 8\text{m}$	
3	型钢直线度	$f \leq 1$		

续表5.2.3-2

序号	名称	允许偏差		简图
4	角钢肢垂直度	$\Delta \leq 1$	栓接部位(角度不得大于 90°)	
		$\Delta \leq 2$	其余部位	
5	角钢肢、槽钢肢平面度	$\Delta \leq 1$		
6	工字钢、槽钢、H型钢腹板平面度	$\Delta \leq 1$		
7	工字钢、槽钢、H型钢翼缘垂直度	$\Delta \leq 1$	栓接部位	
		$\Delta \leq 2$	其余部位	

5.2.4 零件机加工应符合下列规定：

1 加工面的表面粗糙度应不大于 $Ra\ 25$ ，零件边缘的加工深度应不小于 3mm ，但零件边缘硬度不超过本标准第 5.2.2 条规定时，加工深度可不受此限；

2 顶紧传力面的表面粗糙度应不大于 $Ra\ 12.5$ ；顶紧加工面与板面垂直度的偏差应小于 $0.01t$ (t 为板厚)，且不得大于 0.3mm ；

3 加工后零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使端面光滑匀顺。

5.2.5 零件成型应符合下列规定：

1 钢管成型宜采用钢板卷制工艺，并应符合下列规定：

- 1) 钢管卷制时，不得采用锤击方法矫正钢板；
- 2) 钢管纵缝焊接完成后，应进行复圆；

- 3) 复圆钢管应采用样板检查弧度,样板与管内壁的间隙应符合表 5.2.5 的规定。

表 5.2.5 样板与管内壁的允许偏差(mm)

序号	钢管直径 d	样板弦长	样板与管内壁的允许间隙
1	$d \leq 1000$	$d/2$ (且不小于 500)	1.0
2	$d > 1000$	$d/2$ (且不小于 1500)	1.5

2 钢板折弯加工应符合下列规定:

- 1) 主要零件冷作弯曲时,环境温度宜不低于 -5°C ,弯曲后的零件边缘不得有裂纹;
- 2) 主要零件采用热煨成型时,热煨的加热温度、高温停留时间和冷却速率应与所加工钢材的性能相适应。且零件热煨温度应符合本标准 5.2.3 条的规定,弯曲成型后的零件边缘不得有裂纹。

5.2.6 制孔应符合下列规定:

1 钢结构零件、部件及构件制孔应符合下列规定:

- 1) 高强度螺栓孔、环槽铆钉孔应采用钻孔或激光切孔。当采用激光切孔时,应进行工艺试验;
- 2) 同类孔群较多的零件、部件或构件不具备数控钻孔时应采用钻孔样板制孔;
- 3) 当孔径大于 50mm,用于非连接用途时,可采用切割的方式制孔,切割面粗糙度不应大于 Ra 50,孔径允许允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$;
- 4) 制孔应在零件或构件矫正后进行。

2 螺栓孔应为正圆柱形,孔缘应平顺、无损伤、无刺屑。孔壁表面的粗糙度应不大于 Ra 25,孔的圆度允许偏差为 0.5mm;

3 主要零件上高强度螺栓孔、环槽铆钉孔的孔径允许偏差应符合表 5.2.6-1 的规定;

表 5.2.6-1 主要零件上高强度螺栓孔、环槽铆钉孔的孔径允许偏差 (mm)

序号	螺栓、铆钉直径	螺栓、铆钉孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
1	M12	14	+0.5, 0	板厚 $t \leq 30$ 时, 不大于 0.3 板厚 $t > 30$ 时, 不大于 0.5
2	M16	18	+0.5, 0	
3	M18	20	+0.7, 0	
4	M20	22	+0.7, 0	
5	M22	24	+0.7, 0	
6	M24	27	+0.7, 0	
7	M27	30	+0.7, 0	
8	M30	33	+0.7, 0	
9	>M30	> $d+3$ (d 为螺栓直径)	+1.0, 0	

注:在 U 形肋和板肋上孔径可比表中值大 2mm,但其拼接板孔径应采用表中值。

4 高强度螺栓孔、环槽铆钉孔的孔距允许偏差应符合表 5.2.6-2 的规定;设计文件对孔距偏差有特殊要求的,应符合其规定。

表 5.2.6-2 高强度螺栓孔、环槽铆钉孔和主要零件上
螺栓孔的孔距允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差					
			主要构件					次要 构件
			钢箱梁	钢桁梁	钢板梁	钢塔	钢箱拱	
1	两相邻孔距离		±0.5	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4
2	同一孔群任意两孔距		±0.8	±0.8	±0.8	±0.8	±0.8	±1.0
3	多组孔群两相邻孔群中心距		—	±0.8	±1.5	±0.8	±0.8	±1.0
4	两端孔群 中心距	$L\leq 11\text{m}$	±1.5 ^①	±0.8	± 0.8 (±4.0) ^②	±1.5	±0.8	±1.5
		$L>11\text{m}$	±2.0 ^①	±1.0	± 1.0 (±8.0) ^②	±2.0	±1.0	±2.0

续表 5.2.6-2

序号	名称		允许偏差				
			主要构件				
			钢箱梁	钢桁梁	钢板梁	钢塔	钢箱拱
5	孔群中心线与构件中心线的横向偏移	腹板不拼接	—	2.0	2.0	2.0	2.0
		腹板拼接	—	1.0	1.0	1.0	1.0
6	构件任意两面孔群纵、横向错位		—	1.0	—	1.0	1.0
7	孔与自由边距 ^③		±2.0				

注：①连接采用特配拼接板时两端孔群中心距不受表中限制；

②括号内参数值为连接支座的孔群中心距允许偏差；

③拼接板安装后，不与其余构件相连的，正差不受此限；

④钢箱梁仅指 U 肋和板肋连接孔的孔距，组合梁箱体之间、横梁与箱体之间孔群参照钢板梁孔距。

5.2.7 零件尺寸允许偏差应符合下列规定：

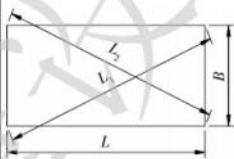
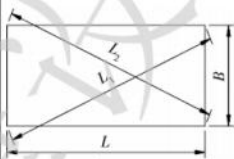
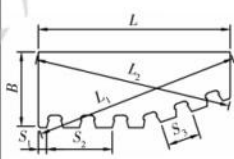
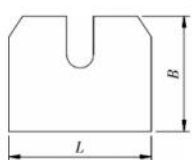
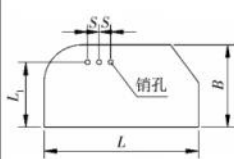
1 U 形肋零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-1 的规定；

表 5.2.7-1 U 形肋尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	长度 L	±2	
2	上宽 B_1	+3, -1	
3	下宽 B_2	0, -1.5	
4	高度 H_1 、 H_2	±1.5	
5	两肢差 $ H_1 - H_2 $	≤2	
6	旁弯、竖弯	≤ $L/1000$ 且 ≤6	

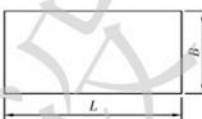
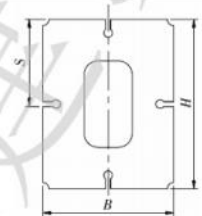
2 钢箱梁零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-2 的规定；

表 5.2.7-2 钢箱梁零件尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	顶板、底板	长度 L	按工艺文件	
		宽度 B	± 1	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
2	腹板	长度 L	按工艺文件	
		宽度 B	$+2, 0$	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
3	横隔板	长度 L 、宽度 B	± 2	
		槽口位置尺寸偏差 S_1	$+2, 0$	
		任意两槽口中心距 S_2	± 2	
		相邻两槽口中心距 S_3	± 1	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 5 (与理论差值相比)	
4	锚箱承力板	长度 L	± 2	
		宽度 B	± 2	
5	吊索锚固耳板	长度 L 、宽度 B	± 2	
		至焊接边间距 L_1	± 2	
		孔间距 S	± 2	

3 钢桁梁、钢板梁零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-3 的规定。钢桁梁桥面板零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-2 的规定；

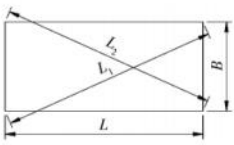
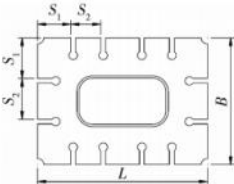
表 5.2.7-3 钢桁梁、钢板梁零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称			允许偏差	简图
1	钢桁梁的弦杆、腹杆、横梁,纵梁,连接系杆件,钢板梁主梁	翼缘板、腹板长度 L		按工艺文件	
		翼缘板宽度 B ①	栓接	± 1	
			焊接	± 2	
		腹板宽度 B		按工艺文件	
2	箱形杆件内隔板	宽度	$B \leq 1000$	$+0.5, 0$	
			$B > 1000$	$+1, 0$	
		高度 H		$+1, 0$	
		板边垂直度	$H \leq 1000$	≤ 0.5	
			$H > 1000$	≤ 1	
		槽口尺寸偏差 S		± 1	
3	拼接板	长度、宽度		± 2	/

注:①预留工艺量时,应按工艺执行。

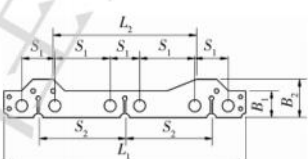
4 钢索塔零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-4 的规定;

表 5.2.7-4 钢索塔零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	壁板和腹板、横梁翼缘板和腹板	长度 L	按工艺文件	
		宽度 B	± 2	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
		板边直线度	≤ 2	
2	隔板	长度 L 、宽度 B	± 2	
		槽口尺寸偏差 S_1	± 1	
		槽口间距 S_2	± 1	
		对角线差	≤ 3	

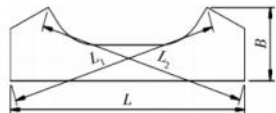
5 钢壳混凝土索塔零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-5 的规定；

表 5.2.7-5 钢壳混凝土索塔零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	内外壁板	长度 L_1, L_2	按工艺文件	
		宽度 B_1, B_2	± 2	
		对角线 $ D_1 - D_2 $	≤ 3	
		板边直线度	≤ 2	
2	肋板	长度 L_1	± 2	
		长度 L_2	± 1	
		宽度 B_1, B_2	± 2	
		槽口尺寸偏差	$+2, 0$	
		钢筋孔距 S_1	± 2	
		加劲肋孔距 S_2	± 1	
		旁弯	≤ 3	
3	角钢	长度	± 2	/
4	钢筋	长度	± 2	/

6 钢锚梁、钢牛腿零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-6 的规定；

表 5.2.7-6 钢锚梁、钢牛腿零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	钢锚梁腹板	长度 L	± 2	
		宽度 B	± 2	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3 (与理论差值相比)	

续表 5.2.7-6

序号	名称		允许偏差	简图
2	钢锚梁底板	长度 L	± 2	
		宽度 B	± 2	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 2 (与理论差值相比)	
3	承力板	长度	$+1, 0$	/
		宽度	$+2, 0$	
4	锚垫板、承压板	长度、宽度	± 2	
		平面度	≤ 0.2 (加工)	
		孔径	± 2	
5	钢锚梁盖板	长度 L	± 2	
		宽度 B	$0, -2$	
6	横隔板	宽度 L	$+1, 0$	
		高度 H	$+1, 0$	
7	钢牛腿壁板、上承板、腹板	长度	± 2	/
		宽度	± 1	/
8	钢锚梁、钢牛腿	索孔位置偏差	± 2	/
		锚管长度	± 3	/

7 索塔钢锚箱零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-7 的规定；

表 5.2.7-7 索塔钢锚箱零件尺寸允许偏差 (mm)

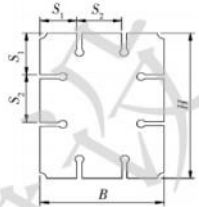
序号	名称		允许偏差	简图
1	钢锚箱拉板	长度 L	± 2	
		宽度 B	$+6, +5$	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 2	
2	锚箱隔板	长度 L	± 2	
		宽度 B	$+1, 0$	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 2	
3	锚箱壁板	长度 L	± 2	
		宽度 B	± 1	
		椭圆孔轴线角度 α	$\pm 0.15^\circ$	
		椭圆孔定位尺寸 L_1, B_1	± 1	

8 钢箱拱拱肋零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-8 的规定；

表 5.2.7-8 钢箱拱拱肋零件尺寸允许偏差 (mm)

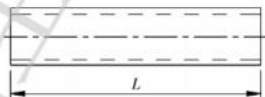
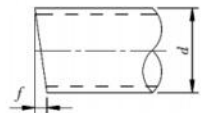
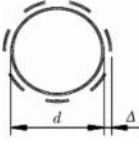
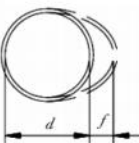
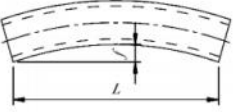
序号	名称		允许偏差	简图
1	顶板、底板、腹板	长度 L	按工艺文件	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 2	
2	顶板、底板宽度 B		± 2	
3	腹板	宽度 B	$+2, 0$	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 2	
		矢高 f	≤ 3	

续表5.2.7-8

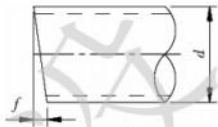
序号	名称		允许偏差	简图
4	隔板	宽度 B 、高度 H	± 1	
		槽口定位尺寸 S_1 、 S_2	± 1	
		对角线差	≤ 3	

9 管结构零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-9 的规定；

表 5.2.7-9 管结构零件尺寸允许偏差 (mm)

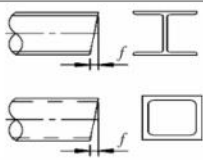
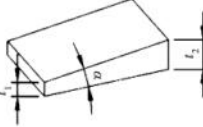
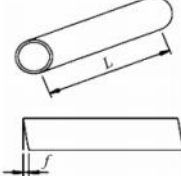
序号	名称		允许偏差	简图
1	卷管成型	长度 L	± 2	
		管端垂直度 f	$\leq d/500$ 且 ≤ 3	
		外径 d	$\leq \pm d/500$ 且 $\leq \pm 2$	
		椭圆度 f	$\leq d/500$ 且 ≤ 3	
2	钢管弯曲成型	长度 L	± 3	
		纵向弯曲 f	$\leq L/1000$ 且 ≤ 5	

续表5.2.7-9

序号	名称		允许偏差	简图
2	钢管弯曲成型	管端垂直度 f	$\leq d/500$ 且 ≤ 3	
3	相贯线钢管	长度	± 1.5	
		端面对管轴线垂直度	$0.002d$ 但不大于 3	
		管口曲线	< 1.5 , 局部 ≤ 3.0	
		切割面	光顺过渡, 无凹凸缘	

10 其他零件尺寸的允许偏差应符合表 5.2.7-10 的规定。

表 5.2.7-10 其他零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	检查车轨道	长度 L	± 2	
		端面垂直度 f	≤ 2	
2	楔形板 (支座垫板等)	厚度 t_1, t_2	± 1	
		长度、宽度	± 2	
		斜角 α	$\leq 0.05^\circ$	
3	索导管	长度 L	± 3	
		端面垂直度 f	≤ 2	

续表5.2.7-10

序号	名称	允许偏差	简图
4	相邻两螺栓孔的间距 S	± 0.5	
	螺栓孔中心圆直径 D	$D \leq 1500$ ± 1.0	
		$D > 1500$ ± 1.5	
	地脚法兰螺栓孔中心圆直径 D	± 2	
	法兰外径 D_1	± 2	
	法兰内径 D_2	$+1.0$	

5.2.8 零件尺寸检验应符合下列规定：

1 下料应符合本标准第 5.2.2 条规定：

- 1) 钢材切割面应无裂纹、夹渣、分层和大于 1mm 的缺棱；
检验方法：目视检查，有异议时做磁粉检查。
- 2) 崩坑缺陷的修补应符合本标准附录 B 规定；
检验方法：目视检查，有异议时做磁粉检查。
- 3) 精密切割质量应符合该条第 6 款规定；
检验方法：目视检查，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、样块检查。
- 4) 剪切的允许偏差应符合该条第 7 款规定；
检验方法：目视检查，用钢卷尺、直角尺、钢板尺、样块检查。
- 5) 手工焰切应符合该条第 8 款规定；
检验方法：目视检查，用钢卷尺、直角尺、钢板尺、样块检查。

2 零件矫正应符合本标准第 5.2.3 条规定：

- 1) 矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕或损伤；
检验方法：目视检查。

2) 零件矫正的允许偏差应符合该条第 4 款规定;

检验方法:目视检查,用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查。

3 零件机加工应符合本标准第 5.2.4 条规定:

1) 顶紧传力面的表面粗糙度、顶紧加工面与板面垂直度应符合该条第 2 款的规定;

检验方法:目视检查,比照样块检查。

2) 零件应磨去边缘的飞刺、挂渣,使端面光滑匀顺;

检验方法:目视检查。

4 零件成型应符合本标准第 5.2.5 条规定:

1) 样板与管内壁的间隙应符合该条第 1 款的规定;

检验方法:目视检查,用平尺、塞尺检查。

2) 弯曲后的零件边缘不得有裂纹,应符合该条第 2 款的规定;

检验方法:目视检查。

5 制孔应符合本标准第 5.2.6 条规定:

1) 螺栓孔、环槽铆钉孔的成形、孔壁表面粗糙度、孔缘应符合该条第 2 款的规定;

检验方法:目视检查,比照样块检查。

2) 螺栓孔、环槽铆钉孔的孔径允许偏差、孔壁垂直度应符合该条第 3 款的规定;

检验方法:用游标卡尺、试孔器检查实物。

3) 螺栓孔、环槽铆钉孔的孔距允许偏差应符合该条第 4 款的规定;有特殊要求的孔距允许偏差应符合设计文件的规定;

检验方法:用游标卡尺、钢板尺、钢卷尺、拉力器检查实物。

6 U 形肋、钢箱梁、钢桁梁、钢板梁、钢索塔、钢壳混凝土索塔、钢锚梁、钢牛腿、索塔钢锚箱、钢箱拱、管结构零件尺寸应符合

本标准第 5.2.7 条第 1 款、第 2 款、第 3 款、第 4 款、第 5 款、第 6 款、第 7 款、第 8 款、第 9 款规定；

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺检查。

5.3 组 装

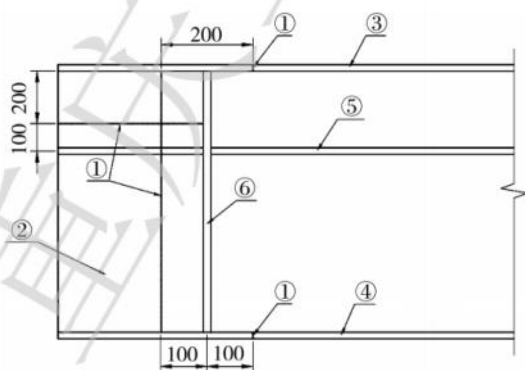
5.3.1 构件组装应符合制造工艺文件规定，且在组装前应按图纸核对零件编号、外形尺寸、坡口方向及尺寸。

5.3.2 钢板接料应符合下列规定：

1 钢桁梁、钢板梁翼缘板、腹板的接料长度宜不小于 1000mm，宽度均不得小于 200mm，横向焊缝轴线距孔中心线宜不小于 100mm。钢箱梁顶板、底板、腹板接料的纵向焊缝与 U 形肋、板肋焊缝间距不得小于 100mm；

2 钢板梁的腹板和钢箱梁的顶、底、腹板接料焊缝可为十字形或 T 字形，T 字形交叉点的间距不得小于 200mm；腹板接料的纵向焊缝宜布置在受压区；

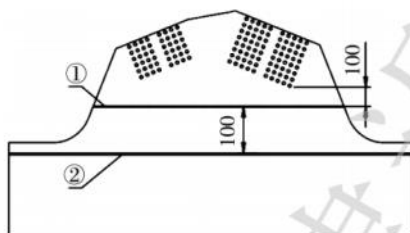
3 组装时应将相邻焊缝错开，错开的最小距离应符合图 5.3.2-1 的规定；



图注：①焊缝；②腹板；③上翼缘；④下翼缘；⑤水平肋或纵肋；⑥竖肋或横肋

图 5.3.2-1 焊缝错开的最小距离 (尺寸单位: mm)

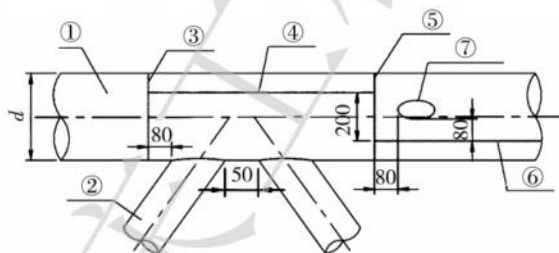
4 节点板不宜接长或接宽。当需要接宽时,不应纵向、横向同时拼接。焊缝错开的最小距离应符合图 5.3.2-2 的规定;



图注: ①焊缝; ②盖板

图 5.3.2-2 节点板焊缝错开的最小距离(尺寸单位:mm)

5 钢管拱拱肋的接料长度应不小于 1000mm。相邻管节或管段的纵向焊缝应错开,错开的最小距离(沿弧长方向)不应小于 5 倍的钢管壁厚,且不小于 200mm。主管拼接焊缝与相贯的支管焊缝间的距离不应小于 80mm,如图 5.3.2-3 所示。



图注: ①弦杆; ②支管; ③环焊缝; ④纵焊缝; ⑤环焊缝; ⑥纵焊缝; ⑦相贯线焊缝

图 5.3.2-3 钢管拱弦管焊缝错开的最小距离(尺寸单位:mm)

5.3.3 热轧型钢可采用直口全熔透焊接拼接,其拼接长度不应小于 2 倍截面高度且不应小于 600mm。

5.3.4 组装前应清除待焊接区的有害物,使其表面露出金属光泽。清除范围应符合图 5.3.4-1 的规定。

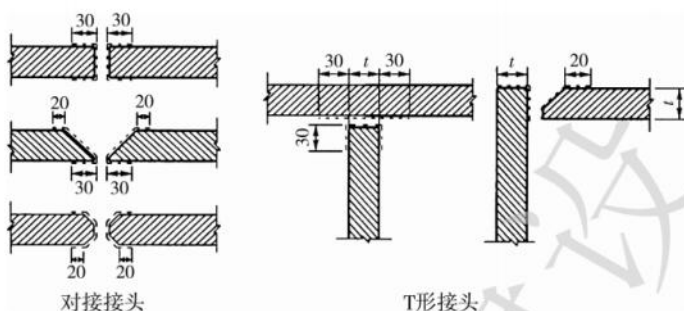


图 5.3.4-1 组装前的清除范围(尺寸单位:mm)

5.3.5 采用先孔法制造的构件组装应以孔定位;采用胎架组装时,每一孔群所用的定位冲钉不得少于 3 个,且冲钉直径不应小于设计孔径 0.1mm。

5.3.6 组装应符合下列规定:

1 构件应在专用胎架或平台上进行组装,胎架或平台应具有足够的强度、刚度和稳定性;

2 焊接接头的端部宜设置焊缝引弧板、引出板,引板的材质、厚度和坡口应与所焊的焊件相同。焊条电弧焊和气体保护电弧焊焊缝引出长度应大于 30mm,埋弧焊缝引出长度应大于 80mm。对于钢板厚度大于 60mm 的引熄弧板可采用图 5.3.6-1 的形式。当焊缝端部受限时可不组装引板;

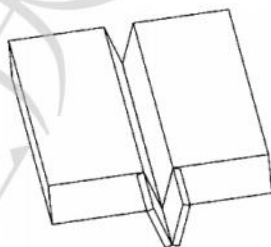


图 5.3.6-1 厚板用引熄弧板连接代用形式

3 利用钢衬垫焊接应符合下列规定:

1) 钢衬垫应与接头母材金属贴合良好,其间隙不应大于

1.5mm;

2) 钢衬垫在整个焊缝长度内应保持连续,钢管桥位环缝可分段组装;

3) 钢衬垫应有足够的厚度以防止烧穿。用于焊条电弧焊、气体保护焊的衬垫板厚度不应小于 4mm,用于埋弧焊的衬垫板厚度不应小于 6mm。

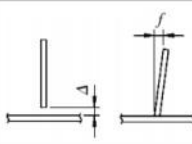
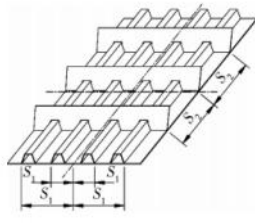
4 部件、构件组装时应以纵横基准线或构件上的孔为基准进行组装,焊接完成后应对纵横基线进行修正;

5 构件组装完成后,应按规定进行编号标识,并应做好记录,对其加以保护,防止损坏;

6 构件的隐蔽部位应在验收合格后方可封闭;

7 板单元组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-1 的规定;

表 5.3.6-1 板单元组装尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称			允许偏差	简图
1	U 形肋组装间隙 Δ			≤ 0.5	
2	板肋组装间隙 Δ			≤ 1	
3	板肋垂直度 f			≤ 1	
4	顶板 底板 腹板	U 形肋板肋 与纵基线 间距	端部及 横隔板处	± 1	
			其余部位	± 2	
5		横隔板接板至横 基线间距 S_2		± 1	

续表 5.3.6-1

序号	名称		允许偏差	简图
6	横隔板、横梁、横肋与桥面板组装间隙 Δ		压紧 且 $\Delta \leq 1$	
	横隔板与 U 形肋的组装间隙 Δ		≤ 2	
7	吊索锚固耳板	补强板组装间隙	≤ 0.5	

8 钢箱梁节段组装时,应按照设计及施工监控的要求设置预拱度;大型扁平钢箱梁、板桁组合的正交异性钢桥面块体、桥面横梁等组装时,宜在横桥向设置工艺拱度;

9 钢箱梁节段宜采用连续匹配法组装,胎架外应设置独立的测量控制网,测量时应避免日照的影响,轴线和主要定位尺寸应采用全站仪或更高精度的仪器进行测量;

10 钢箱梁节段在专用胎架上组装时,宜采用工艺板对其进行固定。工艺板的焊接应符合定位焊的要求,解除工艺板时不得伤及母材,解除后应对工艺板定位焊的位置按工艺要求进行处理;

11 钢箱梁节段组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-2 的规定;

表 5.3.6-2 钢箱梁节段组装尺寸允许偏差(mm)

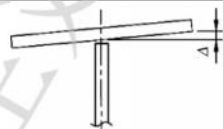
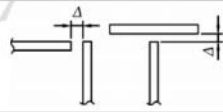
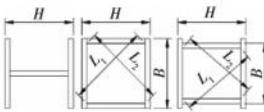
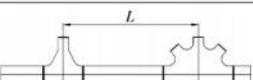
序号	名称	允许偏差		简图
1	钢板接料、板单元拼接 对接板错边 Δ	≤ 0.5	当 $t < 25$ 时	
		≤ 1	当 $t \geq 25$ 时	
	平底板与斜底板 对接错边量 Δ	≤ 1		
2	对接板间隙 a	$+6, -2$		

续表5.3.6-2

序号	名称		允许偏差		简图
3	钢衬垫或陶质衬垫 对接焊接接头组装		Δ	≤ 0.5	
4	箱型梁高度 h		$+2.0$	$h \leq 2\text{m}$	
			$+4.0$	$h > 2\text{m}$	
	箱型梁宽度 b		± 2		
	横断面对角线差 $ L_1 - L_2 $		≤ 3		
	旁弯 f		≤ 5		
5	顶、底板单元 定位偏差 Δ		≤ 2	板单元定位 线与理论线 的偏差	
6	梁宽 L_1		± 3		
	梁高 H		± 4		
	腹板中心距 L_2		± 3		
7	横隔板	垂直度 Δ	≤ 1	上下对接	
			≤ 3	其他形式	
		至横基线间距 S	± 1	上下对接	
			± 3	其他形式	
8	对角线差 $ L_1 - L_2 $		≤ 4	梁端横断面	
9	吊点高度差 Δ		≤ 4	左、右吊点 高低差	
10	纵桥向中心线偏差 Δ		≤ 2		
11	旁弯 f		$3 + 0.1L_m$, 且 ≤ 10	中心线与理 论线的偏差, L_m 为节段 长度, 单位 以 m 计	

12 钢桁梁、钢板梁杆件组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-3 的规定；

表 5.3.6-3 钢桁梁、钢板梁杆件组装尺寸允许偏差(mm)

序号	名称			允许偏差	简图
1	翼缘板中心与腹板中心线偏移 Δ			≤ 1	
2	组合角钢肢高低差 Δ	连接部位	≤ 0.5		
		其余部位	≤ 1		
3	翼缘板倾斜 Δ			≤ 0.5	
4	组装间隙 Δ			≤ 1	
5	钢桁梁斜杆、竖杆、横肋、横联杆件	高度 H	拼接部位	插入式 $0, -1.5^{\text{①}}$	
				对拼式 $+1.5, 0^{\text{②}}$	
			其余部位	± 2	
		宽度 B	拼接部位	± 1	
			其余部位	± 2	
			箱形构件对角线差 $ L_1 - L_2 $		
6	双节点弦杆腹板组装 L			$+11, +7$	
7	整体节点节点板垂直度 Δ			≤ 1.5	

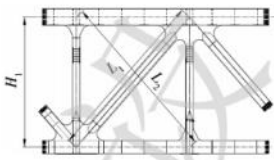
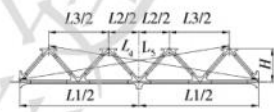
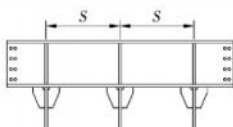
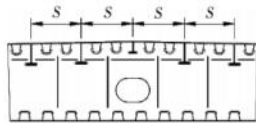
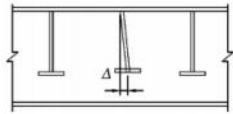
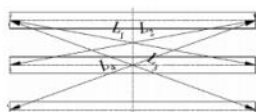
续表5.3.6-3

序号	名称		允许偏差	简图
8	宽度 B_1, B_2	栓接弦杆节点板处 B_1	$+2.5, +0.5$	
		焊接弦杆节点板处 B_1	± 1	
		接口处 B_2	$+1.5, 0$	
	构件接头板组装尺寸 L_1		$+1.5, 0$	
	高度 H, H_1, H_2		$+1.5, 0$	
	箱形杆件横隔板间距		± 2	
9	加劲肋	拼接部位	± 1	
		其余部位	± 2	
10	整体节点内斜杆、竖杆接头板位置	与斜杆、竖杆中心线 偏离 Δ	≤ 0.5	
		斜杆、竖杆接头板 内距 B	$+1.0$	
11	钢板梁主梁、纵梁、横梁、 联结系构件高度 H		$+1.5, 0$	
12	磨光 顶紧	局部缝隙	≤ 0.2	/

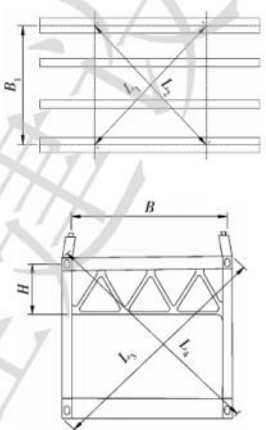
注：①可根据坡口深度、焊脚尺寸及工艺方法调整。

13 钢桁梁节段组装尺寸的允许偏差、桥面板块中未表示的内容应符合表 5.3.6-4 的规定；

表 5.3.6-4 钢桁梁节段组装尺寸允许偏差 (mm)

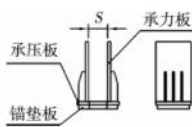
序号	名称		允许偏差		简图
1	主桁桁片	桁高 H_1	$+4, +3$		
		节点对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3		
2	横联桁片	高度 H	$+4, +3$		
		宽度 L_1	$+8, +6$		
		宽度 L_2	$+4, +3$		
		宽度 L_3	$+6, +5$		
		斜杆翼缘板接口 横向错位	≤ 2		
		桁片平面外弯曲	≤ 3		
		节点对角线差 $ L_4 - L_5 $	≤ 3		
3	横梁间距 S	± 1	连接部位		
		± 2	其余部位		
4	纵梁间距 S	± 1	连接部位		
		± 2	其余部位		
5	横梁、纵梁 垂直度 Δ	≤ 1	连接部位		
		≤ 2	其余部位		
6	横梁平面对 角线差		$ L_1 - L_2 \leq 2$ $ L_3 - L_4 \leq 3$		

续表5.3.6-4

序号	名称	允许偏差	简图
7	桁梁节段	平面对角线差 $ L_1 - L_2 $ ≤ 5	
8			
9		主桁中心距 B_1 $+3, +1$	
10		锚点间距 B $+5, -2$	
11		端面对角线差 $ L_3 - L_4 $ ≤ 3	
12		横联高度 H ± 5	
13		桁片垂直度 ≤ 3	上下弦杆中心线横向偏移

14 钢锚梁、钢锚箱节段组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-5 的规定；

表 5.3.6-5 钢锚梁、钢锚箱节段组装尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	锚箱单元	承力板间距 S $+1.0$	
		承力板与承压板的垂直度 ≤ 2	
		锚垫板与锚下承压板同心度 ≤ 1	
		承力板与承压板组装间隙 顶紧且 ≤ 0.2	

续表5.3.6-5

序号	名称		允许偏差	简图
2	锚箱位置组装	锚箱位置 L_1, L_2	± 1	
		承力板角度 α, β	$\pm 0.1^\circ$	
		锚点坐标	± 2	
3	钢锚箱拉板倾斜偏差		± 2	

15 钢箱拱拱肋组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-6 的规定；

表 5.3.6-6 钢箱拱拱肋组装尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	宽度 B	± 2	
2	高度 H	$+2, 0$	
3	对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
4	箱形梁隔板间距	± 3	
5	旁弯	≤ 3	
6	锚拉板孔中心、吊点隔板间距	± 1	
7	吊杆锚箱中心线	± 2	

16 钢管拱节段组装尺寸的允许偏差应符合表 5.3.6-7 的规定。钢管墩组装尺寸的允许偏差可按表 5.3.6-7 的规定执行。

表 5.3.6-7 钢管拱节段组装尺寸允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	拱肋 对接 及拱肋 哑铃形 节段	对接管口错边量 Δ	≤ 2	注: ΔL_1、ΔL_2 分别是 L_1、L_2 的理论值与实际值的差值
		拱肋中心高度 H 、 哑铃宽度 B	$+4, +2$	
		纵向对角线差 $ \Delta L_1 - \Delta L_2 $	≤ 4	
		拱肋腹杆间距、平联间距	± 3	
		拱肋旁弯 (横向偏位)	$L \leq 4000$	
			$4000 < L \leq 16000$	
			$L > 16000$	
		节点板垂直度	1.5	
2	拱肋 吊装 节段	节段断面对角线	≤ 4	
		高度方向偏差 Δ_1	$\leq H/1000$	
		宽度方向偏差 Δ_2	$\leq B/1000$	

注: ①钢管拱肋采用弧形钢管拼接时, 每节弧形钢管的轴线不应出现 S 形;

②钢管拱肋采用分段直线代替曲线时, 折点应在计入预拱度后的拱轴线上, 由制造误差引起的钢管弯曲的方向应与拱轴的弯曲方向一致。

5.3.7 组装尺寸检验应符合下列规定：

1 钢板接料应符合本标准第 5.3.2 条规定；

检验方法：目视检查，用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查。

2 组装前应按本标准第 5.3.4 条规定对焊接区域进行处理；

检验方法：目视检查，用钢卷尺检查。

3 采用先孔法的构件，组装时应符合本标准第 5.3.5 条规定；

检验方法：目视检查。

4 板单元、钢箱梁节段、钢桁梁、钢板梁、钢桁梁节段、钢锚梁、钢锚箱节段、钢箱拱拱肋、钢管拱节段组装尺寸允许偏差应符合本标准第 5.3.6 条第 7 款、第 11 款、第 12 款、第 13 款、第 14 款、第 15 款、第 16 款规定；

检验方法：目视检查，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

5.4 焊接、焊接检验及矫正

5.4.1 焊接前，应进行焊接工艺评定试验。焊接工艺评定可按本标准附录 C 执行。

5.4.2 焊接工艺文件应根据焊接工艺评定报告编制。

5.4.3 焊接材料应通过焊接工艺评定确定。焊条、焊剂应按产品说明书的要求烘干使用，烘干后的焊接材料应随用随取，当从烘干箱取出的焊接材料超过 4h 时，应重新烘干后使用；焊剂在现场宜采用保温桶存储，焊剂中的脏物、焊丝上的油锈等应清除干净；所使用的 CO_2 气体的纯度应不低于 99.5%，氩气的纯度应不低于 99.95%；陶质衬垫、栓钉焊瓷环保存时应有防潮措施，受潮的瓷环和衬垫在使用前应在 150℃ 的烘箱中烘干 2h。

5.4.4 焊接宜采用自动焊或半自动焊，焊接时应控制焊接变形。

5.4.5 对封闭式的钢箱梁，焊接前可在适当的位置设置临时人孔、通风孔，但开孔的大小和位置应得到设计认可。

5.4.6 对于与免涂装的耐候钢连接的引板、工艺板、吊耳及其他临时焊接件,应采用与母材同等级的耐候钢,并使用与母材相匹配的焊接材料焊接。

5.4.7 对焊缝的检验应包括外观检查、无损检测和产品试板检验。无损检测宜采用超声波、射线、磁粉及渗透等方法进行。

5.4.8 焊接应符合下列规定:

1 持证焊工应在其焊工合格证书规定的认可范围内施焊,严禁无证焊工施焊;

2 焊接作业环境应符合下列规定:

1) 焊接作业宜在室内进行,构件组装后宜在 24h 内焊接完成;

2) 焊接作业区的相对湿度不应大于 80%,当作业区相对湿度大于 80%时,施焊前应采取加热去湿除潮措施,并按规定预热后,方可施焊;

3) 环境温度宜不低于 5℃,低于 5℃仍要进行焊接作业时,应采取焊前预热、保温和焊后缓冷等工艺措施,并应通过专项试验确定相应的焊接工艺参数;

4) 焊接作业区应采取防风措施;

5) 在室外焊接时,除应满足上述规定外,尚应采取防雨措施;在大风、大雨、降雪、严寒等恶劣气候条件下,严禁在室外进行焊接作业。室外焊接宜在构件组装后 12h 内完成;

6) 现场高空焊接作业应搭设稳固的操作平台和防护棚。

3 焊接前应彻底清除待焊区域内的有害物;焊接时严禁在母材的非焊接部位引弧,焊接后应清理焊缝表面的熔渣及两侧的飞溅物;

4 焊接前应检查并确认所使用的设备、工具和仪表状态良好,齐全可靠;

5 焊工施焊时应做焊接记录,记录的内容宜包括构件号、焊

缝部位、焊缝编号、焊接参数、操作者和焊接日期等；

6 需预热的构件，应在焊道两侧各 1.5 倍板厚且不小于 100mm 范围内均匀预热；当为非封闭空间构件时，预热温度的测定宜在焊件受热面的背面离焊接坡口两侧不小于 75mm 处；当为封闭空间构件时，预热温度的测定宜在正面离焊接坡口两侧不小于 100mm 处；

7 定位焊的焊接应符合下列规定：

- 1) 所采用焊接材料的型号应与母材相匹配。施焊前应按施工图及工艺文件检查坡口尺寸、根部间隙等；
- 2) 定位焊焊缝距设计焊缝端部应不小于 30mm，其长度宜为 50mm～100mm，间距宜为 400mm～600mm。当板厚小于 8mm 或大于 50mm 时，可调整定位焊间距。定位焊焊缝的焊脚尺寸宜不大于设计焊脚尺寸的 1/2，且不小于 4mm；
- 3) 定位焊焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷，弧坑应填满。对开裂的定位焊焊缝，应先查明原因，然后再清除开裂的焊缝，并应在保证构件尺寸正确的条件下补充定位焊；
- 4) 在焊缝交叉处和焊缝方向急剧变化处不应进行定位焊，焊缝的起弧点应避开焊缝相交处或转角处 50mm 以上；
- 5) 采用钢衬垫的焊接接头，定位焊应在接头坡口内焊接，间距可适当缩短；
- 6) 定位焊的预热温度应高于正式施焊预热温度 20℃ 及以上。

8 多层多道焊接时应连续施焊，且应控制道间温度；

9 埋弧焊应在距设计焊缝端部 80mm 以外的引板上引、熄弧，手工焊、气体保护焊应在距设计焊缝端部 30mm 以外的引板上引、熄弧；

10 U形肋与顶板、底板之间的焊接应采用自动化或半自动化焊接设备。在施焊过程中,应保证焊接的连续性;

11 钢管拱弦杆与腹杆的连接焊缝,当相贯线钢管所成角度不小于 60° 时,应沿相贯线全周连续全熔透焊接;当相贯线钢管所成角度小于 60° 时,应按图 5.4.8-1 所示,从趾部的全熔透角焊缝匀顺过渡到鞍部的部分熔透焊缝和跟部的角焊缝;

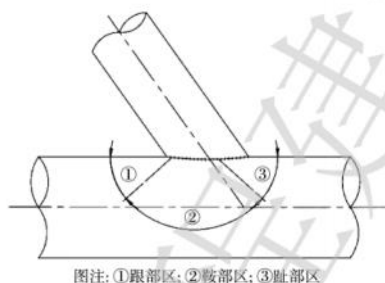


图 5.4.8-1 钢管相贯线焊接示意

12 圆柱头焊钉的焊接应符合下列规定:

- 1) 圆柱头焊钉应采用电弧螺柱焊进行焊接,并按本标准附录 D 进行焊接工艺评定;
- 2) 圆柱头焊钉应采用专用焊接设备平位施焊,焊接前应检查所用的焊接设备和工具,保证其能正常工作。焊接过程中在焊缝金属完全凝固前不得移动焊枪;
- 3) 焊接工作应由经过圆柱头焊钉焊接培训并考试合格的焊工担任;
- 4) 瓷环应按产品的规定烘干使用;
- 5) 焊接前应清除待焊部位的铁锈、氧化皮和油污等有害物,使钢板表面显露出金属光泽;
- 6) 焊接前或更改焊接条件时,应试焊 2 个焊钉,并进行外观和弯曲 30° 检验,合格后方可进行正式焊接;
- 7) 当采用手工电弧焊进行少量特殊部位焊接时,可免于

焊接工艺评定,且焊接接头的最小焊脚尺寸应符合表 5.4.8-1 的规定。

表 5.4.8-1 采用电弧焊的圆柱头焊钉焊接接头最小焊脚尺寸(mm)

序号	圆柱头焊钉直径	角焊缝最小焊脚尺寸
1	10、13	6
2	16、19、22	8
3	25	10

13 焊缝的修磨和返修焊应符合下列规定：

- 1) 焊接完成后,应将焊缝两端设置的引板、产品试板或工艺板等采用气割方式切除,并磨平切口,但在切割和磨平时不得损伤母材;
- 2) 工艺板切割位置应距母材 3mm 以上。切割后应将附着在母材上的部分打磨平顺;
- 3) 对焊脚尺寸、焊波或余高等超出规定上限值的焊缝,应修磨匀顺。主要焊缝表面的修磨应沿主要受力方向进行,且应使磨痕平行于主要受力方向;
- 4) 对焊缝的缺陷,应采用碳弧气刨或其他机械方法进行清除,焊缝裂纹的清除长度应从裂纹端各外延 50mm。在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口,并应采用砂轮磨除坡口表面的氧化皮,露出金属光泽;
- 5) 返修焊采用直径不小于 2mm 的焊丝时,应将焊缝清除部位的两端刨成 1 : 10 的斜面;采用直径小于 2mm 的焊丝时,应将焊缝清除部位的两端刨成 1 : 5 的斜面。搭接 50mm 再引弧施焊,焊后搭接处应修磨匀顺;
- 6) 缺焊焊缝长度超过周长的 1/4 或因其他指标不合格的圆柱头焊钉,应将其切除,予以更换并重新进行焊接;缺焊长度未超过周长的 1/4 时可采用小直径低氢焊条进行手工焊补焊,补焊时应预热 50℃~80℃或满

足手工焊要求的预热温度,并应从缺焊焊缝端部 10mm 外引、熄弧,焊脚尺寸应不小于 6mm;

- 7) 返修焊缝应按原焊缝的质量要求进行检验,同一部位的返修焊不宜超过两次;超过时应查明原因,并制定返修工艺措施;
- 8) 焊缝缺陷的修补方法可按本标准附录 B 执行;
- 9) 免涂装耐候钢结构,焊缝余高影响排水时应将其磨平。

14 产品试板应符合下列规定:

- 1) 首件制造中应进行产品试板制作,其数量应符合表 5.4.8-2 的规定;

表 5.4.8-2 产品试板数量

序号	焊缝类型	产品试板数量
1	受拉横向对接焊缝	1 组
2	正交异性桥面板横向对接焊缝	1 组
3	正交异性桥面板纵向对接焊缝	1 组
4	箱形梁全断面对接焊缝	每种焊接位置各 1 组
5	桁梁、板梁杆件全断面对接焊缝	每种焊接位置各 1 组

- 2) 产品试板的材质、厚度、轧制方向及坡口应与所焊对接板材相同。对不等厚板的产品试板,可利用薄板进行对接试验;
- 3) 制作产品试板时,应在焊缝端部加装试板;当焊缝端部不具备加装试板条件时可单独施焊,但应采用与构件焊接相同的工艺和设备,并应在同一地点施焊;
- 4) 产品试板制作完成后,应先对供取样用的焊接试板做出标记,并记录所在产品部位,再进行切割、送检;
- 5) 产品试板的焊缝经外观和无损检测合格后,应进行接头拉伸、侧弯和焊缝金属低温冲击试验,试样数量和试验结果应符合本标准附录 C 的规定;

- 6) 产品试板的试验结果不合格时,可在原试板上重新取样再做试验;如试验结果仍不合格,则应先查明原因,然后对该试板代表的接头进行处理,并重新进行检验。

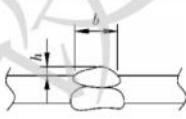
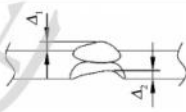
5.4.9 焊缝检验应符合下列规定:

1 焊接完毕且待焊缝冷却至室温后,应对所有焊缝进行全长范围内的外观检查。焊缝不得有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等以及超出表 5.4.9-1 的缺陷;

表 5.4.9-1 焊缝外观质量标准(mm)

序号	名称	焊缝种类	质量标准		简图
1	气孔	横向对接焊缝	不允许		
		纵向对接焊缝、 主要角焊缝	直径小于 1	每米不多于 3 个,间距 ≥ 20	
		其余焊缝	直径小于 1.5		
2	咬边	受拉构件横向对接焊缝、桥面板与弦杆角焊缝、横梁接头板与弦杆角焊缝、桥面板与 U 形肋角焊缝(桥面板侧)、竖向加劲肋角焊缝(腹板侧受拉区)	不允许		
		受压构件横向对接焊缝及竖向加劲肋角焊缝(腹板侧受压区)	≤ 0.3		
		纵向对接焊缝、 主要角焊缝	≤ 0.5		
		其余焊缝	≤ 1		
3	焊脚尺寸	主要角焊缝 K	+2,0		
		其余角焊缝 K	+2,0		
			手工焊角焊缝全长的 10% 允许	+3,1	

续表5.4.9-1

序号	名称	焊缝种类	质量标准	简图
4	焊波	对接焊缝和角焊缝	≤ 2 (任意 25mm 范围高低差)	
5	余高	不铲磨余高的对接焊缝	≤ 2 焊缝宽度 $b \leq 20$ ≤ 3 ① 焊缝宽度 $b > 20$	
6	余高 铲磨 后的 表面	横向对接焊缝 (桥面板除外)	$\Delta_1 \leq 0.5$ $\Delta_2 \leq 0.3$ 粗糙度 $50 \mu\text{m}$	
7	有效 厚度	T 形角焊缝 ②	凸面角焊缝有效厚度应不大于规定值 2mm, 凹面角焊缝应不小于规定值 0.3mm	

注:①钢箱梁桥面板顶面在相应行车道处的焊缝余高宜不大于 2mm,超过时宜进行打磨;

②对不开坡口的角焊缝,当采用船位埋弧自动焊时,焊缝的有效厚度(喉厚)允许比规定值小 1mm。

2 圆柱头焊钉的焊缝检验应符合下列规定:

- 1) 圆柱头焊钉焊接完成后,应进行外观检验。焊钉底角应在 360° 周边挤出焊脚;焊缝应饱满,无气孔、夹渣、裂纹等缺陷;咬边深度应不大于 0.5mm,且最大长度应不大于一倍的焊钉直径;
- 2) 焊缝外观检验合格后,应随机抽取各部位圆柱头焊钉总数的 1% 进行 30° 弯曲检验。弯曲后圆柱头焊钉的焊缝和热影响区不得有肉眼可见的裂纹,检验合格的圆柱头焊钉可保留其弯曲状态;出现检验不合格时应加倍取样检验。

3 焊缝经外观检测合格后方可进行无损检测;

4 焊缝无损检测的质量等级应符合现行国家标准《钢的弧

焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418 的规定；

5 焊缝无损检测的检测等级和验收等级应符合下列规定：

- 1) 超声波检测等级和验收等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 和《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》GB/T 29712 的规定。距离一波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合本标准附录 E 的规定。质量等级、检测等级和验收等级的对应关系应符合表 5.4.9-2 的规定；

表 5.4.9-2 超声检测质量等级、检测等级和验收等级的关系

序号	按 GB/T 19418 的质量等级	按 GB/T 11345 的检测等级 ^①	按 GB/T 29712 的验收等级
1	B	至少 B	2
2	C	至少 A	3
3	D	至少 A	3 ^②

注：①当需要评定显示特征时，应按 GB/T 29711 评定；

②不推荐做超声波检测，但可在规范中规定后使用（与 C 级焊缝质量要求一致）。

- 2) 射线检测等级和验收等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测 第 1 部分：X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1 和《焊缝无损检测 射线检测验收等级 第 1 部分：钢、镍、钛及其合金》GB/T 37910.1 的规定，缺陷评定应符合本标准附录 F 的规定。质量等级、检测等级和验收等级的对应关系应符合表 5.4.9-3 的规定；

表 5.4.9-3 射线检测质量等级、检测等级和验收等级的关系

序号	按 GB/T 19418 的质量等级	按 GB/T 3323.1 的检测等级	按 GB/T 37910.1 的验收等级
1	B	B	1
2	C	B ^①	2
3	D	A	3

注：①环焊缝检测最少曝光次数按 GB/T 3323.1 的 A 级要求执行。

- 3) 对于板厚大于 30mm 且要求进行射线检测的对接焊缝,当对接焊缝为不等厚对接时按薄板计算厚度,宜采用检测等级为 C 级、验收等级为 2 级的超声检测代替 X 射线检测,此时焊缝余高应磨平,使用的探头折射角应有一个为 45° ,检测范围应为焊缝两端各 500mm。焊缝长度大于 1500mm 时,中部应加探 500mm;焊缝长度小于 1000mm 时,应对焊缝的全长进行超声检测;
- 4) 磁粉检测等级和验收等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951 和《焊缝无损检测 磁粉检测 验收等级》GB/T 26952 的规定。

6 钢箱梁焊缝的质量等级和无损检测方法应按设计要求执行。当设计图无规定时,无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-4 的规定:

表 5.4.9-4 钢箱梁焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	顶板、底板、腹板横向对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 1 级	焊缝全长
			X 射线	5%	GB/T 3323.1 B 级	GB/T 37910.1 1 级	焊缝两端各 250~300mm(横向对接焊缝长度大于 6000mm 时,中部加探 250~300mm,顶板十字或 T 形交叉处 100%纵横各 250~300mm)
2	顶板、底板、腹板纵向对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	端部 1m 范围为 2 级,其余部位为 3 级
			X 射线	5%	GB/T 3323.1 B 级	GB/T 37910.1 1 级/2 级	顶板焊缝中间 250~300mm; 底板、腹板焊缝两端各 250~300mm; 两端 1 级,中间 2 级

续表5.4.9-4

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
3	梁段间对接焊缝(环焊缝)	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			X射线	顶板 100%	GB/T 3323.1 B级	GB/T 37910.1 1级	十字交叉或T形处 焊缝纵向各250~ 300mm
				底板 10%			
4	锚拉板对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			X射线	10%	GB/T 3323.1 B级	GB/T 37910.1 1级	焊缝两端各250~ 300mm
5	横隔板、纵隔板立位对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
6	横隔板、纵隔板横位对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝两端各1m
7	腹板与顶板、底板熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
8	腹板与顶板、底板部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 3级	焊缝两端各1m
9	连接锚箱或吊耳板的熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
10	吊索耳板与补强板外侧角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长

续表5.4.9-4

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
11	锚拉板与顶板熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
12	非支座横隔板与顶板、底板间角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	两端各 1m
13	非支座横隔板与腹板间角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝两端各 500mm
14	支座横隔板与顶板、底板、腹板熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
15	支座横隔板与顶板、底板、腹板间部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长
16	纵隔板与顶板、底板、横隔板间部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝两端各 500mm
17	U形肋(坡口)角焊缝 ^①	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝两端各 1m
18	行车道部位桥面板上板肋或T形肋角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝两端各 1m

续表5.4.9-4

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
19	U形肋、板肋嵌补段对接焊缝及角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
20	拆除临时连接件(含工艺板)的部位	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	拆除临时连接件后焊缝磨平的部位
21	产品试板	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长

注:①U形肋熔透角焊缝探伤按照附录H执行,超声检测的比例和检测范围可根据焊接设备的自动化水平和稳定性在此基础上适当调整。

7 钢桁梁、钢板梁焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表5.4.9-5的规定;

表5.4.9-5 钢桁梁、钢板梁焊缝无损检测等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	主要杆件受拉横向、纵向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			X射线 ^①	10%	GB/T 3323.1 B级	GB/T 37910.1 1级	焊缝两端各250~300mm,焊缝长度大于6m时,中部加探250~300mm
2	主要杆件受压横向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长

续表5.4.9-5

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
3	主要杆件受压纵向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	两端各1m
4	工地环缝对接焊	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
5	桥面系顶板、底板纵向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			射线 ^①	10%	GB/T 11345 B级	GB/T 37910.1 1级	焊缝中间 250~300mm
6	桥面系顶板、底板横向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			射线 ^①	顶板 100% 底板 30%	GB/T 11345 B级	GB/T 37910.1 1级	十字(T字)交叉处 焊缝横纵向各 250~300mm
7	弦杆整体节点板穿出水平板围焊熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝端部圆弧段并 延长 500mm, 围焊 端部母材中心
8	接头板处T型熔透角焊缝 ^②	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
9	接头板处T型部分熔透角焊缝 ^③	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长

续表 5.4.9-5

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
10	主桁杆件弦杆、腹杆箱型、钢板梁主梁及纵横梁主要角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 A 级	GB/T 29712 3 级	两端各 1m 有栓孔的杆件部位并延长 500mm; 板梁、主梁、桁梁的纵横梁跨中加探 1m; 整体节点板范围全长
11	U 形肋与顶板坡口角焊缝 ^①	C 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝两端各 1m
12	钢桁梁横梁熔透	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
	梁腹板与顶、底板部分熔透	C 级	超声	100%	GB/T 11345 A 级	GB/T 29712 3 级	焊缝两端各 1m
	不开坡口板角焊缝	C 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝两端各 1m
13	产品试板	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
14	拆除工艺板的部位	C 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	拆除临时连接件后焊缝磨平部位

注:①当板厚大于 30mm(不等厚对接按薄板厚度计)时,应采用超声波检测替代,检测等级为 C 级,验收等级为 I 级;

②接头板检测范围不包括圆弧区范围,斜拉桥锚拉板与顶板的焊缝,板梁顶板对接区域的圆弧区域仍需要进行超声波探伤检测;

③U 形肋与顶板熔透角焊缝探伤按照附录 H 执行,超声检测的比例和检测范围可根据焊接设备的自动化水平和稳定性在此基础上适当调整;

④锚箱、耳板、锚拉板等焊缝参照“钢箱梁焊缝无损检测质量等级及检测范围”执行。

8 钢塔焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-6 的规定;

表 5.4.9-6 钢塔焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	壁板、腹板纵向、横向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
2	钢塔节段棱角部分熔透坡口焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝两端各 1m
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	
3	钢塔节段锚箱熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
4	钢塔节段间壁板、腹板横向对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
5	钢塔节段纵肋嵌补对接焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
6	隔板与壁板角焊缝	C级	磁粉	10%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
7	连系梁对接隔板处角焊缝	C级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X级	焊缝全长
8	产品试板	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
9	其他结构熔透角焊缝	B级	超声	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长

9 钢锚梁、钢锚箱焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-7 的规定；

表 5.4.9-7 钢锚梁、钢锚箱焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位		质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
						检测标准/级别	验收标准/级别	
1	钢锚梁	拉板与锚下承压板、承力板间熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
磁粉				100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝全长	
2		牛腿托架板与壁板间的熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
				磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝全长
3		牛腿托架加劲板、上承板与壁板之间熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
				磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝全长
4		拉板与顶板间部分熔透角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 A 级	GB/T 29712 3 级	焊缝全长
5		拉板与底板间部分熔透角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 A 级	GB/T 29712 3 级	焊缝全长
6	牛腿托架加劲板与上承板间部分熔透角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 A 级	GB/T 29712 3 级	焊缝全长	
7	钢锚箱	端面连接板之间的对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
8		拉板与锚箱之间的熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
	磁粉			100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝全长	

续表5.4.9-7

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
9	承力板与锚下承压板之间的部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长
10	承力板与壁板之间的部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长
11	节段间端面连接板与拉板、壁板之间的棱角部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长
12	腹板与锚下承压板之间的坡口角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长
13	节段间连接板与拉板之间的部分熔透角焊缝	C级	超声	100%	GB/T 11345 A级	GB/T 29712 3级	焊缝全长

10 钢箱拱拱肋焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-8 的规定；

表 5.4.9-8 钢箱拱拱肋焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	拱肋对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			X 射线 ^①	10%	GB/T 3323.1 B 级	GB/T 37910.1 1 级	焊缝两端探 250mm~300mm, 焊缝长度大于 6m 时, 中部加探 250~300mm
2	产品试板焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
3	拱肋顶底板与腹板、拱肋吊点隔板与拱肋壁板熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
4	其余对接焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 3 级	焊缝全长
5	坡口角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 3 级	焊缝两端各 1m

注:①仅针对厂内焊缝进行 X 射线,桥位现场对接焊缝仅采用超声波检测即可。

11 钢管拱焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-9 的规定。钢管墩焊缝无损检测不作射线检测要求,其质量分级、检测方法、检测部位和等级可按表 5.4.9-9 的规定执行;

表 5.4.9-9 钢管拱焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	拱肋钢管管节纵缝对接	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			X 射线 ^①	5%	GB/T 3323.1 B 级	GB/T 37910.1 1 级	焊缝两端各 250~300mm
2	拱肋间钢管环缝对接	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			X 射线 ^①	5%	GB/T 3323.1 B 级	GB/T 37910.1 1 级	T 形交叉处焊缝横纵向各 250~300mm
3	横撑、斜撑纵环缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
4	腹板对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
5	钢管相贯熔透缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
6	钢管相贯部分熔透缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
7	钢管相贯贴角焊缝	C 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝全长
8	腹板与拱肋坡口角焊缝	C 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952 2X 级	焊缝两端各 1m

注：①当板厚大于 30mm(不等厚对接按薄板厚度计)时，应采用超声波检测替代，检测等级为 C 级，验收等级为 I 级。仅针对厂内焊缝进行 X 射线，桥位现场对接焊缝仅采用超声波检测即可。

12 钢箱墩、钢盖梁焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和等级应符合表 5.4.9-10 的规定；

表 5.4.9-10 钢箱墩、钢盖梁焊缝无损检测质量等级及检测范围

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例(接头数量)	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	盖板、腹板对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
2	全熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
3	坡口角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 3 级	焊缝两端各 1m

13 对开坡口且部分熔透焊接的角焊缝进行无损检测时,其检测深度应比设计坡口深度小 2mm;

14 弱磁性材料焊缝渗透检测应符合现行国家标准《无损检测 渗透检测》GB/T 18851 和《焊缝无损检测 渗透检测 验收等级》GB/T 26953 的规定;

15 进行局部超声检测、射线检测、磁粉检测或渗透检测的焊缝,当发现有裂纹或其他超标缺陷时,应加倍检测,仍不合格时应将该条焊缝的检测范围延至全长;

16 同一条焊缝采用超声、射线、磁粉和渗透等多种方法检测的结果均应符合各自的质量要求。

5.4.10 杆件矫正方法和温度应符合设计要求。当设计文件无要求时,可按下列规定执行:

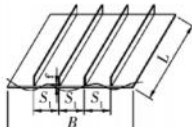
1 冷矫的环境温度应不低于 5℃,矫正时应缓慢加力,冷矫总变形量不应大于 2%;

2 热矫加热温度应符合本标准第 5.2.3 条第 3 款的规定;

3 矫正后的板单元和梁段表面不应有凹痕和其他损伤;

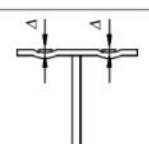
4 板单元矫正的允许偏差应符合表 5.4.10-1 的规定;

表 5.4.10-1 板单元矫正的允许偏差(mm)

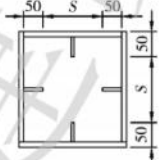
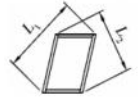
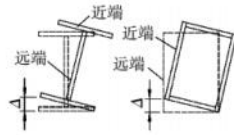
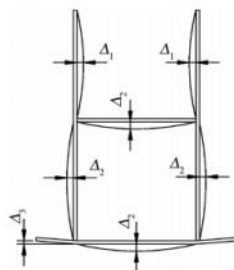
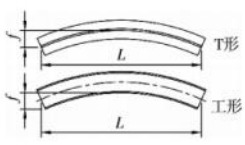
序号	名称		允许偏差	简图
1	顶板 底板	横向平面度	$S_1/250$	
		纵向平面度	≤ 5	
		板边直线度	≤ 3	
		接板垂直度	≤ 2	
2	横隔板	平面度 f	≤ 5	
		板边直线度 f	≤ 2	
3	纵隔板	平面度 f	≤ 5	
		板边直线度 f	≤ 2	
4	腹板风嘴	横向平面度 f	$S_1/250$	
		纵向平面度 f	≤ 6	
		板边直线度	≤ 3	

5 钢桁梁、钢板梁构件矫正的允许偏差应符合表 5.4.10-2 的规定；

表 5.4.10-2 钢桁梁、钢板梁构件矫正的允许偏差(mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	翼缘板对 腹板的垂 直度 Δ	有孔部位	当 $b \leq 600$ 时	
			当 $b > 600$ 时	
		其余部位	≤ 2	
2	翼缘板 平面度	有孔部位	≤ 0.5	
		其余部位	≤ 2	

续表5.4.10-2

序号	名称		允许偏差	简图
3	腹板平面度		$\leq H/500$ 且 ≤ 5	
4	箱形构件 盖腹板平面度	工地孔部位	$S/750$ 且 ≤ 1	 S:孔群部位宽度
		其余部位	$S/250$	
		纵向	$L/500$ 且 ≤ 5 L 为纵向长度	
5	箱形构件 对角线差 $ L_1 - L_2 $	边长 < 1000	≤ 2	
		边长 ≥ 1000	≤ 3	
6	工形、箱形构件的扭曲		≤ 3	
7	整体节点构件节点板 平面度		$\Delta_1 \leq 1$ $\Delta_2 \leq 1$ $\Delta_3 \leq 1.5$ (栓孔部位)	
8	T形、工形、 箱形构件 的弯曲:纵 梁、横梁的 旁弯 f	$L \leq 4000$	≤ 2	
		$4000 < L \leq 16000$	≤ 3	
		$L > 16000$	≤ 5	

续表5.4.10-2

序号	名称	允许偏差	简图
9	节点板、接头板垂直度	$\Delta_1 \leq 1.5$ $\Delta_2 \leq 1$ $\Delta_3 \leq 1$	
	插入式连接节点板间距 S	+1.5, 0	
	整体节点下翼缘板平面度 Δ_5	≤ 2	

6 钢塔构件矫正的允许偏差应符合表 5.4.10-3 的规定；

表 5.4.10-3 钢塔构件矫正的允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差	简图
1	壁板平面度 Δ	纵向	$S/500$ (S 为隔板间距)	
		横向	$W/300$ (W 为纵肋间距)	
2	横隔板	弯曲度 f	≤ 2	

7 钢箱梁、钢板梁、钢锚梁、钢锚箱、钢箱拱、钢管拱、钢管墩、钢箱墩和钢盖梁等构件矫正的允许偏差应符合其成品尺寸允许偏差的规定。

5.4.11 构件加工应符合下列规定：

- 1 构件的加工应在构件组装、焊接完成且检验合格后进行；
- 2 构件的加工应根据基准面(线)进行,大型节段断面加工基准线宜采用三维测量仪器测量；
- 3 加工面的表面粗糙度应不大于 $Ra25$,构件的加工深度应不小于 3mm；
- 4 顶紧传力面的表面粗糙度应不大于 $Ra12.5$ 。顶紧的接触

面应有 75% 以上的面积密贴,且边缘最大间隙不应大于 0.3mm;

5 加工完成后,外露的加工面应有防腐保护措施。

5.4.12 焊接及矫正尺寸检验应符合下列规定:

1 焊缝检验应符合本标准第 5.4.8、5.4.9 条规定;

检验方法:按本标准规定及设计要求,采用无损检测设备、测温计、焊脚检测器、样块、目测、放大镜、钢板尺、钢卷尺等检查。

2 矫正应符合本标准第 5.4.10 条规定:

1) 矫正应符合该条第 1、2 款规定;

检验方法:目视检查,采用测温计检查。

2) 矫正后的构件表面应符合该条第 3 款规定;

检验方法:目视检查。

3) 构件矫正应符合该条第 4~7 款规定;

检验方法:采用直角尺、钢板尺、钢平器、塞尺、平尺、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查。

3 构件加工应符合本标准第 5.4.11 条规定;

检验方法:目视检查、比照样块检查、三维测量仪器、钢板尺、钢卷尺等检查。

5.5 试拼装和预拼装

5.5.1 栓焊钢桁结构、钢板梁结构应在批量制造前进行试拼装;钢箱梁、板桁组合钢桁梁、钢塔、钢箱拱和钢管拱等节段在安装前应进行预拼装。

5.5.2 试拼装和预拼装应在专用的平台或胎架上进行,平台或胎架应具有足够的强度、刚度和稳定性,基础和地基应有足够的承载力。

5.5.3 试拼装和预拼装测量应在无日照影响的条件下进行,并应有详细的检查记录。

5.5.4 试拼装应符合下列规定:

1 试拼装应按试拼装图的要求在制造厂内进行。首批制造杆件、改变工艺装备或工艺装备大修时,均应选取有代表性的杆件进行试拼装;成批连续生产的杆件,每生产 15 孔梁应试拼装一次;

2 试拼装应在测平的平台或胎架上进行,并应解除杆件与胎架之间的临时连接,使其处于自由状态。用于试拼装的零件、板单元和杆件等均应经检验合格;

3 钢板梁应整孔试拼装,钢桁梁宜采用平面卧式试拼装。连续钢桁梁的试拼装杆件应包含所有节点类型。每轮试拼装的数量宜不少于 3 个节段;

4 试拼装时应使板层密贴,冲钉宜不少于栓孔总数的 10%,螺栓宜不少于栓孔总数的 20%;

5 试拼装过程中,应对杆件的拼接处有无干涉以及螺栓不易施拧等情况进行检查;

6 试拼装时,应采用试孔器检查所有栓孔。对钢桁梁主桁弦杆竖板平面内和主桁间连接的栓孔,以及钢板梁主梁腹板平面内的栓孔,应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器;其他栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.5mm 的试孔器;

7 有磨光顶紧要求的杆件,应有 75%以上面积密贴,采用 0.2mm 塞尺检查时,其塞入面积应不超过 25%;

8 钢桁梁试拼装尺寸允许偏差应符合表 5.5.4-1 的规定;

表 5.5.4-1 钢桁梁试拼装的主要尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	桁高	± 2	上下弦杆节点中心间距
2	节间长度	± 2	
3	旁弯	$\leq L/5000$	桥面系中线与其试拼装全长 L 的梁段中心所连直线的偏差
4	试拼装长度	± 5	$L \leq 50000$
		$\pm L/10000$	$L > 50000$

续表 5.5.4-1

序号	名称	允许偏差	备注
5	拱度	$+10, -3$	f 为计算拱度
6	对角线差	≤ 3	每个节间主桁节点中心对角线差、 每个节间上平面弦杆节点中心对角尺寸差
7	主桁中心距	± 5	
8	桥面板对接错边	≤ 1.5	弦杆桥面板接头盖板与桥面板、桥面板与桥面板之间

9 钢板梁试拼装尺寸允许偏差应符合表 5.5.4-2 的规定。

表 5.5.4-2 钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	整跨试拼装跨度 L	± 8	支座中心至中心
2	全长	± 15	简支梁试拼装整跨长度
3		± 5	悬索桥、斜拉桥试拼装长度
4	相邻两主梁中心距	± 3	
5	最外侧两主梁中心距	± 5	
6	拱度	$+10, -3$	与计算拱度相比
7	两片梁相对拱度差	≤ 4	
8	旁弯	$\leq L/5000$	桥梁中心线与其试拼装全长 L 的两端 按中心所连直线的偏差
9	两相邻梁段错边量	≤ 2	焊接连接
		≤ 1	栓接连接
10	相邻两主梁对角线差	≤ 4	
11	最外侧两主梁对角线差	≤ 4	
12	平联节间对角线差	≤ 3	—
13	主梁倾斜	≤ 5	—
14	支点处高低差	≤ 3	三个支座处水平时,另一支座处翘起高度

5.5.5 预拼装应符合下列规定：

1 桥梁钢结构架设前，钢桁梁桥节段制造、箱型梁桥节段制造、钢管拱桥的节段制造应在加工厂或桥位现场进行预拼装，预拼装应按施工图纸规定的连接顺序进行；

2 预拼装应设置三纵一横的控制基准线，梁段平面位置应以地胎上的控制基准线为基准进行组拼。竖向预拼装时，胎架顶面（梁底面）的线形应与设计或施工监控要求的梁底线形相吻合；侧卧式预拼装的胎架顶面应与侧面腹板面线形一致。预拼装的测量应在构件处于自由状态下进行；

3 钢箱梁预拼装可采用水平模拟预拼装和实桥线形预拼装，钢箱梁节段的每轮预拼装数量宜不少于 3 个节段，预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-1 的规定；

表 5.5.5-1 钢箱梁节段预拼装主要尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	预拼装长度	± 4	
2	顶板宽 B	2 车道	测梁段两端口宽度
		4 车道	
		6 车道	
		8 车道	
3	两相邻吊点纵距	± 3	测锚箱或吊点间距
4	梁段中心线错位	≤ 2	梁段中心线与桥轴中心线偏差
5	左右支点高度差(吊点)	≤ 5	左右高低差
6	竖曲线或预拱度	$+10, -5$	测横隔板处桥面高程
7	旁弯	$3+0.1L_m$ 且 ≤ 6	测桥面中心线的平面内偏差。 L_m 为任意 3 个预拼装梁段长度，以 m 计
8	两相邻梁段接口错边量	≤ 1.5	梁段匹配接口处安装匹配件后
9	纵肋直线度	≤ 2	梁段匹配接口处

4 钢箱梁大节段宜先通过钢箱梁小节段的拼装并经检查合

格后,再进行环缝焊接或栓接连接。小节段预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-1 的规定,大节段总拼后的成品尺寸应符合表 5.6.5-2 的规定;

5 钢混组合梁桥节段拼装宜采用长线法实桥线形预拼装,每轮预拼节节段数量宜不少于 3 段,预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-2 的规定;

表 5.5.5-2 钢混组合梁节段预拼装主要尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	节段长度	± 4	单个节段的长度
2	跨度	± 8	测量两支座之间的距离
3	梁宽	± 5	测梁段两端口宽度
4	错边量	≤ 1	栓接连接
		≤ 1.5	焊接连接
5	梁段中心线错位	≤ 2	梁段中心线与桥轴中心线偏差
6	两箱梁中心距	± 5	测两侧腹板中心距
7	竖曲线或预拱度	$+10, -3$	测横隔板处桥面高程
8	旁弯	$L/5000$	桥梁中心线与其拼装全长 L 两端中心所连直线的偏差
9	对角线差	单箱 ≤ 4	测两端断面对角线差
		双箱 ≤ 8	
10	纵肋直线度 f	≤ 2	梁段匹配接口处

6 钢桁梁节段的每轮预拼装数量宜不少于 3 段,预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-3 的规定;

表 5.5.5-3 钢桁梁节段预拼装主要尺寸允许偏差(mm)

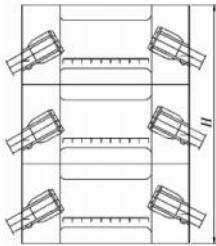
序号	名称	允许偏差	备注
1	预拼装长度	± 5	$L \leq 50000$
		$L/10000$ 且 ≤ 10	$L > 50000$
2	桁高	± 2	

续表5.5.5-3

序号	名称	允许偏差	备注
3	梁宽	± 3	测梁段主桁纵基线间距
4	主桁中心距	± 5	
5	节间长度	± 3	两相邻节点纵向间距
6	两相邻锚点间距	± 3	两相邻节段的相邻锚箱锚点纵向间距
7	主桁中心线直线度(旁弯)	≤ 10	主桁中心线与预拼装全长两端中心连线的偏差,测节点处
8	桁片纵向偏移	≤ 2	下弦同一节点编号处节点位置与横基线的距离差
9	两端横断面对角线差	≤ 5	
10	上下平面对角线差	≤ 5	
11	预拱度	$+10, -3$	各节点位置的下弦杆下水平板处
12	节段间对接错边	焊接 ≤ 1.5	节段焊接接口处安装匹配临时件后
		栓接 ≤ 1.0	
13	两端支座连接孔中心距离	± 15	对于整孔吊装的梁段,支座中心至中心的距离

7 钢锚箱可采用立式或卧式预拼装,每轮预拼装的数量宜不少于3段,预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表5.5.5-4的规定;

表5.5.5-4 钢锚箱预拼装主要尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	预拼装高度 H	$\pm 2n$ 且 ≤ 20 n 为梁段数	 钢锚箱示意图
2	壁板垂直度	$\leq 1/5000$	
3	预拼装箱体整体扭曲	≤ 4	
4	钢锚箱端面接触率 ^①	$\geq 40\%$ 不考虑竖向加劲肋	
5	顶节和底节锚点间距	± 15 12节段累计	
6	节段间壁板错边量	≤ 2	

注:①钢锚箱端面接触率指端面有机加工要求的钢锚箱。

8 钢箱拱节段的每轮预拼装数量宜不少于 3 段,预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-5 的规定;

表 5.5.5-5 钢箱拱节段预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	长度	$\pm 2n$ 且 ≤ 20	n 为节段数
2	相邻两节段吊点距离	± 5	
3	纵向线形曲线度	$+10, -3$	
4	旁弯	$L/5000$	L 为试拼装长度
5	相邻节段横基线间距	± 2	
6	匹配件位置错边量	≤ 1	
7	支点高度差	≤ 5	

9 钢管拱拱肋节段宜采用卧式预拼装,每轮预拼装的数量宜不少于 3 段。预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 5.5.5-6 的规定;

表 5.5.5-6 钢管拱拱肋节段预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	预拼装总长度	$\pm 2n$ 且 ≤ 20	n 为节段数
2	节段水平长度	± 5	
3	内弧偏离设计弧线	≤ 8	
4	节段端口环缝对接错边量	≤ 2	
5	旁弯	≤ 10	成拱后横向偏位
6	拱肋间距	± 5	适用于一次性组装的双排拱肋

10 钢塔预拼装应符合下列规定:

- 1) 钢塔节段的预拼装宜在工厂的厂房内进行。钢塔节段可采用卧式预拼装或立式预拼装,其主要尺寸允许偏差应符合本标准表 5.5.5-7 的规定。用于定位端面间隙的匹配件应在预拼装合格后安装,且匹配件承压

面应密贴；

2) 预拼装的检测应在温度恒定时进行。

表 5.5.5-7 钢塔节段预拼装主要尺寸允许偏差(mm)

序号	项目	允许偏差	条件	检测方法
1	预拼装长度或高度	$\pm 2n$	n 为预拼装节段数量	钢盘尺、弹簧秤
2	环缝对接错边	≤ 1.5		钢板尺
3	节段间板肋错边	≤ 1 (栓接) ≤ 2 (焊接)		
4	垂直度	$\leq h/4000$	h 为预拼装高度	钢板尺、经纬仪、紧线器

5.5.6 试拼装及预拼装检验应符合下列规定：

1 焊缝检验应符合本标准第 5.4.8 条规定；

检验方法：按本标准规定及设计要求，采用无损检测设备、测温计、焊脚检测器、样块、目测、放大镜、钢板尺、钢卷尺等检查。

2 试拼装应符合本标准第 5.5.4 条规定：

1) 试拼装时，应使板层密贴，冲钉及螺栓数量应符合该条第 4 款的规定；

检验方法：目视检查，采用塞尺检查。

2) 试拼装过程中应检查拼接处有无干涉情况，有无不易施拧螺栓处；

检验方法：目视检查。

3) 试拼装时，栓孔的通过率应符合该条第 6 款的规定；

检验方法：目视检查，采用试孔器检查。

4) 磨光顶紧处应符合该条第 7 款的规定；

检验方法：目视检查，采用塞尺检查。

5) 钢桁梁、钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差应分别符合该条第 8 款、第 9 款的规定；

检验方法：目视检查，采用直角尺、钢板尺、钢平尺、塞尺、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查。

3 预拼装应符合本标准第 5.5.5 条规定。钢箱梁、钢混组合梁、钢桁梁、钢锚梁、钢锚箱、钢箱拱、钢管拱、钢塔节段预拼装的主要尺寸允许偏差应分别符合该条第 3 款、第 4 款、第 5 款、第 6 款、第 7 款、第 8 款、第 9 款、第 10 款的规定；

检验方法：采用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺、直角尺、塞尺、钢丝线、弹簧秤、紧线器、拉力器、线垂、经纬仪、水准仪检查。

5.6 成品尺寸检验与验收

5.6.1 钢结构构件制造完成后应进行检验，出厂前应进行验收。

5.6.2 对钢结构构件进行验收时，应具备下列文件：

- 1 合格证明书；
- 2 钢材、焊接材料、高强度螺栓连接副、高强度环槽铆钉连接副和涂装材料的出厂质量证明书及复验资料；
- 3 焊接工艺评定报告；
- 4 栓接结构工厂高强度螺栓或环槽铆钉摩擦面抗滑移系数试验报告；

5 焊缝无损检验报告；

6 焊缝存在重大修补时的修补记录；

7 产品试板试验报告；

8 试拼装或预拼装检查记录；

9 涂装检测记录。

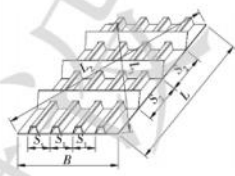
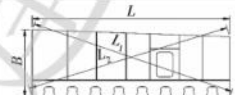
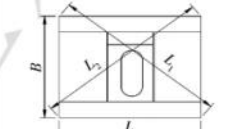
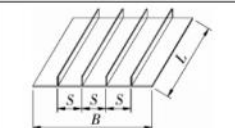
5.6.3 对钢结构进行计量时，钢板应按矩形计算，但大于 0.1m^2 的缺角及开孔应扣除。

5.6.4 产品试板、抗滑移系数试件、吊耳、加固件、临时连接件等构件应纳入计量。

5.6.5 成品尺寸应符合下列规定：

1 板单元作为成品发运时，出厂前成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-1 的规定；

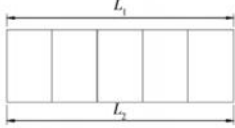
表 5.6.5-1 板单元成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差		简图
1	顶板 底板	长度 L	$\pm 2^{\text{①}}$		
		宽度 B	± 2		
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 4		
		U 形肋与纵 基线间距、 U 形肋间距 S_1	端部及 横隔板处	± 1	
		其余部位	± 2		
	横隔板接板间距 S_2	± 1			
2	横隔板	长度 L 、宽度 B	± 2		
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 5		
3	纵隔板	长度 L 、宽度 B	± 2		
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 5		
4	腹板 风嘴	长度 L 、宽度 B	± 2		
		加劲肋与纵基线 间距、加劲肋 中心距 S	端部及 横隔板处	± 1	
			其余部位	± 2	

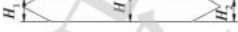
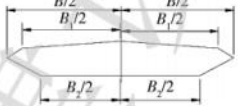
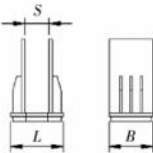
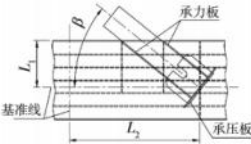
注：①板单元长度方向留二次配切量时，按工艺文件执行。

2 钢箱梁梁段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-2 的规定；

表 5.6.5-2 钢箱梁梁段成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差		简图
1	梁长 L	$L \leq 20\text{m}$	± 2	以梁段两端 检查线为基 准，合龙段长 度根据实测 结果确定	
		$20\text{m} < L$	$\pm L / 10000$		

续表5.6.5-2

序号	名称		允许偏差		简图
2	梁高	梁段中心处 H	± 4	测量两端口, 以底部为基准	
		边高 H_1, H_2	± 4		
3	梁半宽 $B/2$	2 车道	± 2.5	在梁段两端 口测量宽度	
	顶板半宽 $B_1/2$	4 车道	± 3		
	底板半宽 $B_2/2$	6 车道	± 4		
		8 车道	± 6		
4	端口 尺寸	对角线差 $ \Delta L_1 - \Delta L_2 $	≤ 6		
		顶板与底板 中心重合度	≤ 2		
5	锚箱 单元	长度 L 、宽度 B	± 2		
		承力板间距 S	± 1		
		承力板与承压 板的垂直度	≤ 2		
		锚垫板与承压 板同心度	≤ 1		
6	锚箱 位置	同一梁段两 锚箱高差	≤ 5		
		锚箱位置 L_1, L_2	± 2		
		承力板角度 β	$\pm 0.1^\circ$		
		承压板角度 ($90^\circ - \beta$)	$\pm 0.1^\circ$		
7	吊点位置	横向中心距 S_1	± 4		
		纵向中心距 S_2	± 3		
		两吊点纵向 错位 Δ	2		
		相对高差	≤ 5		

续表5.6.5-2

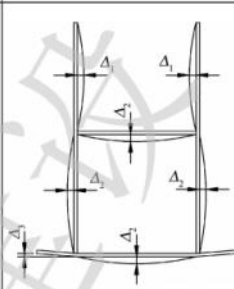
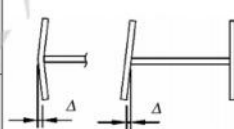
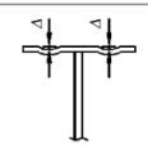
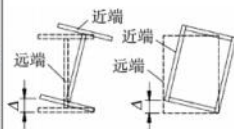
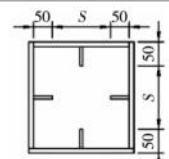
序号	名称		允许偏差	简图
8	顶板	1/2 对角线差 $ L_1 - L_2 $ $ L_3 - L_4 $	≤ 8	
9	板面 平面度	横桥向 f	$S_1/250$	
		纵桥向 f	$S_2/500$	
10	桥面横坡		$\pm 0.1\%$	
11	旁弯 f		$L/2000$, 且不大于 5.0	
12	扭曲	$L \leq 20\text{m}$	≤ 10	
		$20\text{m} < L < 50\text{m}$	$10 + 0.2L$	
		$L \geq 50\text{m}$	≤ 20	
13	竖曲线或预拱度 (高程控制点)		$+10, -5$	
14	两端支座连接孔中心距		± 20	对于整孔吊装的梁段， 支座中心至中心

3 钢桁梁杆件成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-3 的规定；

表 5.6.5-3 钢桁梁杆件成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差		简图
1	主桁构件	高度 H	插入式: $-0.5, -2$ 对拼式: ± 1	测量两端腹板处高度
2		宽度 B	± 1 (箱形腹板有拼接) ± 2 (工型及箱形腹板无拼接)	每 2m 测一次
3		长度 L	± 4	测量全长
4		箱形构件对角线差	≤ 2 (边长 < 1000) ≤ 3 (边长 ≥ 1000)	测量两端箱口处两对角线
5		弯曲	≤ 2 ($L \leq 4000$) ≤ 3 ($4000 < L \leq 16000$) ≤ 5 ($L > 16000$)	拉线测量
6		整体节点弦杆节点板内侧宽度 B (涂装后的尺寸)	插入式 $+1.5, 0$ 对拼式 ± 1	测孔群部位
7		整体节点弦杆端口高度 H	± 1	测量两端腹板高度
8		整体节点弦杆横梁接头板高度 H_1, H_2	± 1.5	接头板外端腹板处高度
9		整体节点弦杆节点板内侧中心线距横梁接头板外侧孔的距离 L	± 1.5	

续表5.6.5-3

序号	名称		允许偏差		简图
10		整体节点构件 节点板平面度	$\Delta_1 \leq 1$ $\Delta_2 \leq 1$ $\Delta_3 \leq 1.5$ (栓孔部位)		
11	主桁构件	翼缘板对腹板的垂直度 Δ	≤ 0.5 (有孔部位)	翼缘板宽度 ≤ 600	
≤ 2 (其余部位)					
≤ 1 (有孔部位)			翼缘板宽度 > 600		
≤ 2 (其余部位)					
12		翼缘板平面度	≤ 0.5	有孔部位	
≤ 2			其余部位		
13	扭曲	≤ 3	构件置于平台上,四角中有三角接触平台,悬空一角与平台间隙		
14	箱形构件盖板 腹板平面度	$S/750$ 且 ≤ 1	工地孔部位		
		$S/250$	其余部位		

续表5.6.5-3

序号	名称		允许偏差		简图
15	纵梁、横梁、连接系杆件	长度 L	$L_1: \pm 1$	测量腹板板边孔距	
$L_2: \pm 5$			测量横梁长度		
16		旁弯 f	$L \leq 4000$	≤ 2	
			$4000 < L \leq 16000$	≤ 3	
			$L > 16000$	≤ 5	
17		上拱度 f	$+3, 0$		
18		腹板平面度 Δ	$h/500$ 且 ≤ 5		

4 主桁桁片、横联桁片、桥面板块、桁梁节段(含大节段)成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-4 的规定;

表 5.6.5-4 主桁桁片、横联桁片、桥面板块、桁梁节段成品尺寸允许偏差(mm)

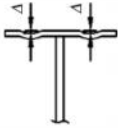
序号	名称		允许偏差	简图
1	主桁桁片	主桁桁高 H_1	± 3	
2		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
3		节间长度	± 3	
4		弦杆端部孔与节点中心距	± 1	

续表5.6.5-4

序号	名称		允许偏差	简图
5	横联桁片	桁高 H	± 2	
6		全长 L	± 3	
7		节点间距 L_0, L_1	± 2	
8	桥面板块	节间长度 L	± 2	
9		宽度 B	± 2	
10		高度 H	± 2	
11		横梁、横肋、横隔板间距 S_1	± 2	
12		纵梁中心距 S_2	± 2	
13		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3	
14		桥面横坡	$\pm 0.1\%$	
15	桥梁节段	桁高 H	± 3	
16		极边孔距 L	± 1	
17		锚管间距 B	± 3	
18		主桁中心线直线度(旁弯)	≤ 3	
19		桁片纵向偏移 Δ	≤ 2	
20		平面对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 5	
21		主桁中心距 B_1	± 5	
22		锚点间距 B_2	± 5	
23		端面对角线差 $ L_3 - L_4 $	≤ 5	
24		桁片垂直度	≤ 5	

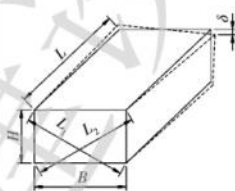
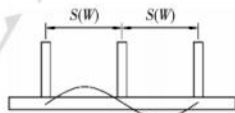
5 钢板梁节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-5 的规定；

表 5.6.5-5 钢板梁节段成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差		备注
1	跨度 L		± 8		测量两支座中心距离
2	全长		± 15		测量全桥长度
3	主梁高度	$H \leq 2\text{m}$	± 2		测量两端腹板处高度
		$H > 2\text{m}$	± 4		
4	纵梁长度		± 1		测量两端极边孔距
5	横梁长度		± 1.5		
6	纵梁高度		$+0.5, -1.5$		测量两端腹板处高度
7	横梁高度		± 1.5		
8	纵梁、横梁旁弯		≤ 3		梁立置时在腹板一侧距主焊缝 100mm 处拉线测量
9	纵梁、横梁拱度		$+3, 0$		梁卧置时在下翼缘板外侧拉线测量
10	主梁拱度 f		$+5.0$	不设拱度	梁卧置时在下翼缘板外侧拉线测量
			$+10, -3$	设拱度	
11	两片主梁拱度差		≤ 4		分别测量两片主梁拱度,求差值
12	主梁腹板平面度		$h/350$ 且 ≤ 8		用平尺测量(h 为梁高或纵向加劲肋至下翼缘板间距离)
13	纵、横梁腹板平面度		$h/500$ 且 ≤ 5		
14	主梁、纵横梁翼缘板对腹板的垂直度		≤ 0.5	有孔部位	用直尺测量
			≤ 1.5	其余部位	
15	翼缘板平面度		≤ 0.5	有孔部位	
			≤ 2	其余部位	
16	钢板梁、纵梁、横梁腹板平面度 Δ		$H/500$ 且 ≤ 5		
17	错边量		≤ 2	焊接	
			≤ 1	栓接	

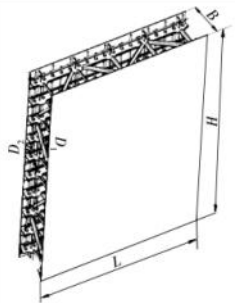
6 钢塔节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-6 的规定；

表 5.6.5-6 钢塔节段成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称		允许偏差		简图
1	长度 L 、高度 H		± 4		
2	宽度 B		± 4		
3	端口对角线相对差 $ L_1 - L_2 $		≤ 3		
4	扭曲 δ		≤ 3	测点在两端横隔板与外壁板交点上	
5	旁弯		≤ 3		
6	壁板平面度	纵向	$S/500$	W 为纵肋中心距 S 为隔板中心距	
		横向	$W/300$		
		栓接部位	≤ 2		

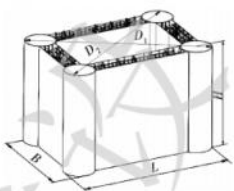
7 钢壳塔块体单元成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-7 的规定；

表 5.6.5-7 钢壳塔块体单元成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	内外壁间距 B	± 2	
2	高度 H	± 2	
3	长度 L	± 2	
4	横断面对角线差 $ D_1 - D_2 $	≤ 3	
5	外壁板旁弯	≤ 3	
6	扭曲	$1/1000$	
7	曲线失高 f	± 3	

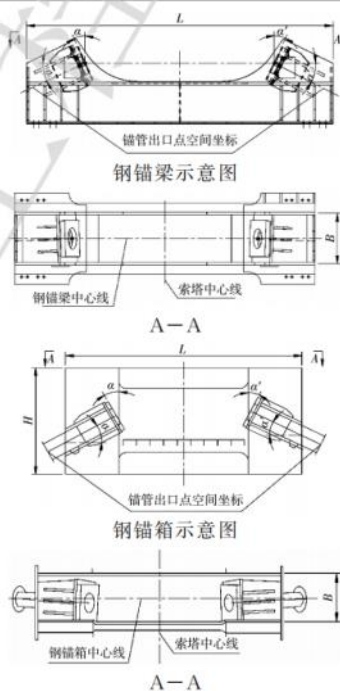
8 钢壳塔节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-8 的规定；

表 5.6.5-8 钢壳塔节段成品尺寸允许偏差 (mm)

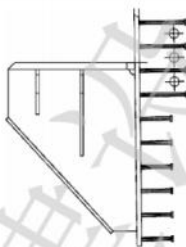
序号	项目		允许偏差	简图
1	节段高度 H		± 2.0	
2	箱口尺寸	宽度 B	± 3.0	
3		长度 L	± 3.0	
4	横断面对角线差 $ D_1 - D_2 $		4.0	
5	外壁板垂直度		3.0	

9 钢锚梁节段、钢锚箱节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-9 的规定；

表 5.6.5-9 钢锚梁节段、钢锚箱节段成品尺寸允许偏差 (mm)

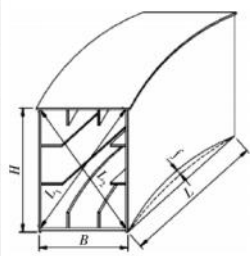
序号	名称	允许偏差	简图
1	长度 L	± 2	 钢锚梁示意图 钢锚箱示意图 A-A
2	拉板中心距 B	± 2	
3	高度 H	± 2	
4	锚垫板角度	$\pm 0.15^\circ$	
5	锚点坐标	± 3	
6	箱口对角线偏差	≤ 3	
7	旁弯	≤ 3	
8	箱体扭曲	≤ 3	
9	底板下表面平面度(与牛腿顶面接触范围内)	≤ 0.5	

续表 5.6.5-9

序号	名称	允许偏差	简图
10	牛腿顶面垂直度	≤ 1	
11	牛腿顶面平面度	≤ 0.5	

10 钢箱拱拱肋成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-10 的规定；

表 5.6.5-10 钢箱拱拱肋节段成品尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	长度 L	± 4	
2	宽度 B	± 4	
3	高度 H	± 4	
4	对角线偏差 $ L_1 - L_2 $	≤ 4	
5	曲线度 f	± 3	
6	扭曲	≤ 3	
7	锚拉板孔中心	± 2	
8	吊杆锚箱中心线	± 2	
9	平面度	腹板横向	≤ 4
		腹板纵向	$b_2/500$ 且 不大于 5
		翼缘板横向	≤ 4

11 钢管拱节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-11 的规定；

表 5.6.5-11 钢管拱节段成品尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	宽度 B	± 5	
2	高度 H	± 5	
3	横向对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 4	
4	拱肋内弧长度 L	$0, -10$	注: $\Delta L_4, \Delta L_5$ 分别是 L_4, L_5 的理论值与实际值的差值
5	节点间距 L_3	± 3	
6	纵向对角线差 $ \Delta L_4 - \Delta L_5 $	≤ 4	
7	内弧偏离设计弧线 f	≤ 8	
8	节段平面度 Δ_3	≤ 3	
9	吊杆位置与设计位置的偏差	≤ 5	
10	扭曲	≤ 8	

12 钢管墩节段成品尺寸的允许偏差宜符合表 5.6.5-11 的规定;

13 钢箱墩节段、钢盖梁节段成品尺寸的允许偏差应符合表 5.6.5-12 的规定。

表 5.6.5-12 钢箱墩节段、钢盖梁节段成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	长度 L 、高度 H	± 2	
2	宽度 B	± 2	
3	对角线差 $ D_1 - D_2 $	≤ 4	
4	扭曲 δ	≤ 4	
5	旁弯	≤ 5	

5.6.6 成品尺寸检验应符合下列规定：

1 成品尺寸检验应符合本标准第 5.6.5 条规定；

检验方法：采用直角尺、钢板尺、钢平尺、塞尺、游标卡尺、平台、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查。

2 构件的内外表面不得有超标的凹痕、划痕、焊瘤、擦伤等缺陷，边缘应无毛刺；

检验方法：目视检查。

5.7 涂 装

5.7.1 涂装施工应符合下列规定：

1 钢结构桥梁的涂装应符合设计文件及现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的规定；

2 涂装前应编制专项施工方案，并应依据专项施工方案编制工序作业指导书；

3 涂装前应对施工人员进行涂装施工的专业培训和技术安全交底；

4 涂装施工所使用的设备和工具应保持良好状况、安全可靠；

5 涂装前，应对构件自由边的双侧倒弧，倒弧的半径应不小于 2mm；

6 密闭箱形构件的内部宜采用密闭防腐，不进行涂装作业，

构件出厂前应确保周圈过焊孔等工艺孔封堵完整；

7 涂装完成后应对构件进行标识，且应待涂层干燥后再进行构件的存放。

5.7.2 表面处理应符合下列规定：

1 在喷砂除锈前，应对构件进行必要的处理，并应符合下列规定：

- 1) 应将粗糙的焊缝打磨光滑，对焊接所产生的飞溅物应清除干净；
- 2) 切割边的峰谷差超过 1mm 时，应打磨到 1mm 以下；
- 3) 表面有层叠、裂缝或夹杂物时，应对其进行打磨处理，必要时应先补焊并再打磨。

2 构件的表面有油污时，可采用专用清洁剂对其进行低压喷洗或软刷刷洗，并应采用淡水枪将喷洗或刷洗后的所有残余物冲洗干净；亦可采用碱液、火焰等进行处理，但在处理完成后应采用淡水将残留的碱液冲洗至中性。小面积的油污可采用有机溶剂擦洗；

3 涂装前，应对构件的表面进行喷砂除锈，清洁度等级和表面粗糙度应符合设计文件或现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的规定；

4 喷砂除锈的磨料应采用清洁、干燥的钢砂、钢丸或其混合物或铜矿砂，其粒度和形状均应满足对表面粗糙度及清洁度的要求；

5 喷砂除锈完成后，应清除喷砂后产生的表面残渣，并应采用真空吸尘器或无油、无水的压缩空气，清理构件钢材表面的灰尘，清理后的表面清洁度应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验第 3 部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）》GB/T 18570.3 的规定；

6 表面处理工序完成后，底漆宜在 4h 内进行涂装；当采用金属热喷涂防腐，且构件所处环境相对湿度不大于 60% 时，涂装施工的时间可适当延长，但最长应不超过 12h；雨天、潮湿、有盐雾

的气候条件下不应超过 2h。在上述规定的时限内,如果钢材的表面已出现返锈现象,则应重新进行除锈处理。

5.7.3 工厂涂装应符合下列规定:

- 1 工厂涂装应在室内封闭条件下进行;
- 2 涂装施工的环境条件应与涂料产品说明书的要求一致,并应符合下列规定:
 - 1) 对溶剂型涂料,施工环境温度应为 $5^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度应不大于 85%,且钢材表面温度应高于露点 3°C ;
 - 2) 对水性涂料,施工环境应为 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度应不大于 80%。
- 3 涂料的配制和使用时间应符合下列规定:
 - 1) 涂料宜采用动力搅拌装置经充分搅拌均匀后方可用于施工;对双组分或多组分涂料,应先将各组分分别搅拌均匀后,再按比例配制并搅拌均匀;
 - 2) 混合好的涂料应按产品说明书的要求进行熟化;
 - 3) 涂料的使用时间应符合产品说明书规定的适用期。
- 4 对已涂无机硅酸锌、无机富锌等车间底漆的构件外表面,在涂装底漆前,应采用喷砂方法进行二次表面处理;
- 5 涂装施工应符合下列规定:
 - 1) 涂装时构件表面不应有雨水或结露,且不得出现返锈;
 - 2) 大面积喷涂应采用高压无气喷涂工艺;滚涂或刷涂仅可用于预涂或修补;无机富锌涂料应采用空气喷涂或无气喷涂,不得采用滚涂或刷涂;
 - 3) 小面积、细长以及复杂形状构件的涂装可采用空气喷涂或刷涂;
 - 4) 边角、焊缝、螺栓头、垫圈等不易喷涂部位应先预涂;
 - 5) 当涂装材料对工艺有特殊要求时,应按其规定执行;
 - 6) 各道涂层的涂装施工宜在 4h 内完成;当所处环境的

相对湿度小于 60% 时,涂装施工时间不宜超过 12h;

7) 各道涂层的涂装间隔时间应符合材料的技术要求;

8) 涂装施工完成后的 4h 内应对涂层的表面采取保护措施。

6 对于局部损伤部位,应先按本标准第 5.7.2 条的规定进行表面处理。当原涂层的底漆为环氧富锌涂料时,可直接作为新的底漆;当原涂层的底漆为无机富锌涂料时,应先补涂环氧富锌涂料作为新的底漆,再按原设计涂层补涂各层涂料。

5.7.4 工地现场涂装应符合下列规定:

1 工地现场涂装的环境条件应符合本标准第 5.7.3 条第 2 款规定外,构件接头的涂装和涂层的修补应在临时作业棚内进行,并应采取措施避免对空气、水源等的污染;

2 构件或梁段现场对接焊缝两侧应预留探伤区域。对预留区域进行涂装时,应对与之连接的各层漆面进行阶梯状打磨,每层涂层的重叠长度应不小于 20mm,末道面漆的涂装范围宜为焊缝两侧各 150mm;

3 高强度螺栓外表面涂装前应先将螺栓、螺母和垫片用有机溶剂清除油污,然后用钢丝刷打磨其表面,再按主体结构涂装体系进行涂装。栓接点外露的铝表面、无机富锌防锈防滑涂层表面应拉毛,然后涂中间漆和面漆;

4 构件栓接后拼接板周围板缝不大于 0.5mm 时应采用油漆进行密封,大于 0.5mm 时应采用密封胶进行密封;拼接板连接位置拼接缝应采用密封胶进行密封;

5 在运输和安装过程中损伤的涂层应进行修复,并应符合下列规定:

1) 未损伤至底材的区域,应去除油污,并对损坏区域进行打磨形成坡度,刷涂或滚涂至相应涂层厚度;

2) 焊缝或损伤至底材区域,应打磨至 St3 级,周围涂层打磨成宽度不小于 30mm 的过渡坡,并根据所在位置相应涂装体系进行补涂;

- 3) 当涂层有大面积损伤时,应对其进行重新喷砂、逐层修复。
- 6 工地现场最后一道面漆涂装应符合下列规定:
- 1) 待涂表面采用淡水、清洗剂等进行清洁和拉毛处理;
 - 2) 应对涂层的相容性和附着力进行试验,合格后方可进行整体大面积施工,涂装施工过程中有异常情况时应及时处理。
- 7 工地现场的风力大于四级时,不得进行涂装施工作业。
- 5.7.5 摩擦面处理应符合下列规定:
- 1 在工地以高强度螺栓和高强度环槽铆钉连接的构件,其连接部位的摩擦面可采用无机富锌防滑涂料或热喷铝进行涂装处理;
 - 2 耐候钢连接摩擦面宜采用生赤锈的方式进行处理;
 - 3 摩擦面处理后的抗滑移系数应符合设计规定,设计未规定时,摩擦面涂层的初始抗滑移系数应不小于 0.55,在工地安装前的复验应不小于 0.45。摩擦面抗滑移系数试验方法可按本标准附录 G 执行;
 - 4 栓接部位摩擦面采用铝涂层或无机富锌防锈防滑涂料涂层的抗滑移性能的保证期为 6 个月;超过保质期时应重新检验其抗滑移系数。
- 5.7.6 检验应符合下列规定:
- 1 涂装前构件的自由边应符合本标准第 5.7.1 条第 5 款规定;
检验方法:目视检查。
 - 2 涂装前构件表面的除油应符合本标准第 5.7.2 条第 2 款规定;
检验方法:目视检查。
 - 3 涂装前构件表面的清洁度及粗糙度应满足设计条件;
检验方法:表面清洁度采用图谱对照检查,表面粗糙度采用粗糙度比较样板或粗糙度测量仪检查。
 - 4 涂料品种、施工环境应符合设计要求及所用涂装材料产

品说明书的要求；

检验方法：采用温度计、湿度计或摇表、露点仪等检查施工环境。

5 涂料涂层的表面应平整、均匀一致，无漏涂、起泡、裂纹、气孔和返锈等现象，允许有轻微桔皮和局部轻微流挂。金属涂层表面应均匀一致，不允许有漏涂、起皮、鼓泡、大熔滴、松散粒子、裂纹和掉块等，允许有轻微结疤和起皱；

检验方法：目视检查，采用涂层附着力拉拔仪检查。

6 涂层厚度应符合设计及标准要求。每个测量单元应至少选取 3 处基准表面，每个基准表面应按 5 点法进行测量。干膜厚度可采用“85—15”规则判定，即允许有 15% 的读数低于规定值，但每一单独读数不得低于规定值的 85%。对于结构主体外表面，可采用“90—10”规则判定。涂层厚度达不到设计要求时，应增加涂装道数，直至合格为止。漆膜厚度测定点的最大值不得超过设计厚度的 3 倍，当采用冷喷锌涂层时，漆膜厚度测定点的最大值不得超过设计厚度的 1.5 倍；

检验方法：采用湿膜对比卡检查涂层湿膜厚度，采用漆膜测厚仪检查涂层干膜厚度。

7 防护涂层体系涂层附着力检验应在复合涂层喷涂完干燥后进行，宜采用拉开法进行检测。抽检频次以每 500t 为一批，每个体系至少抽检 3 次。附着力应不小于 5MPa（无机富锌底漆涂层体系附着力不小于 4MPa）。对于底涂层、中间涂层和面涂层体系，应同时采用划格试验测试面涂层与中间涂层的附着力，切割间距为 2mm，划格试验附着力应不大于现行国家标准《防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护涂层附着力/内聚力（破坏强度）的评定和验收准则第 2 部分：划格试验和划叉试验》GB/T 31586.2 中规定的 1 级；

检验方法：划格法，拉开法等。

8 涂装完成后，构件的标识、编号应清晰完整；

检验方法：目视检查。

6 包装、存放与运输

6.1 一般规定

- 6.1.1 构件在制造或涂装完成后应进行包装。
- 6.1.2 构件在包装、存放、转运、绑扎、装卸和运输过程中不得出现永久变形、损伤、散失、污染与其他安全隐患。

6.2 包 装

- 6.2.1 构件包装应在涂装的涂层干燥后进行。
- 6.2.2 应根据构件的类型和特点选择适宜的包装材料和包装形式。
- 6.2.3 构件的包装应符合下列规定：
 - 1 大截面的工形和箱形构件、桥面板单元等可采用裸装，并标出构件中心位置和重量；
 - 2 细长构件应采用框架捆装，构件之间应加设垫层；
 - 3 拼接板应采用盘装，板件之间应加设垫层；
 - 4 螺栓、铆钉、螺母和垫圈等较小零件应分类装箱，箱内应装塞紧密，并应采取防雨措施；
 - 5 包装时应对连接部位的摩擦面进行保护，不得污染和损伤；
 - 6 当设计对构件的包装有特殊要求时，应符合设计规定。
- 6.2.4 栓合发运的拼接板应采用螺栓拧紧，且每个孔群应不少于2个螺栓。
- 6.2.5 对U形肋端口、锚管孔以及构件上的吊耳孔、工艺孔等敞开部位宜采用适宜的材料封闭，防止水和杂物进入构件内部。
- 6.2.6 构件或其重要部位的包装应有醒目标识，标识不应形成

其表面污染,亦不应影响其性能。重量超过 5t 的杆件应标出重心位置和重量。

6.3 存 放

6.3.1 构件存放应提前进行场地规划,存放布置应满足存放、移运及架设安装时的作业要求。大型或大节段构件存放场地布置应结合移运通道和出运码头设置进行总体综合规划;山区钢构件工地临时存放场地布置应根据现场实际情况与其他设施综合规划。

6.3.2 构件存放场地应平整、坚实、稳定、通风,应根据地基情况和气候条件采取防排水设施。存放台座应坚固,地基应有足够的承载力和稳定性,且不得产生不均匀沉降。

6.3.3 存放构件之间的空间或空隙应满足设备作业和人员活动的要求。

6.3.4 构件存放时,支撑点应设在自重作用下不致产生永久变形的位罝,且宜使构件处于自重弯矩最小状态。

6.3.5 构件应按照移运或安装的先后顺序编号存放,且应分类码放整齐。

6.3.6 构件存放支点处应采用垫木或其他适宜的柔性支垫材料进行支承,应避免其涂层受到损伤。

6.3.7 构件多层叠放各层之间应以垫木或其他适宜的支垫材料隔开,各层支垫位置应设在设计规定的支点处,上下层的支垫应在同一垂直面上;叠放高度应按构件强度、台座地基的承载力、支垫材料的强度及叠放的稳定性等经计算确定,并不得出现构件倾覆或变形损坏。

6.4 装 卸

6.4.1 装卸构件应根据其结构形式、外形尺寸、质量以及装卸地

点的地形特点等因素,确定适宜的装卸方式和装卸设备。

6.4.2 大型构件或大节段应针对装卸方式对构件进行相应的结构验算,起重设备应满足装卸起重性能和安全要求。

6.4.3 构件装卸起吊位置应符合设计规定;当需要在构件上设置临时吊点进行起吊装卸时,应对构件进行局部结构验算。

6.4.4 构件装卸作业应符合下列规定:

1 现场应具备足够的安全作业空间,并不得出现构件碰撞、刮擦;

2 构件起吊应在设计规定的吊点位置设置吊耳;利用螺栓孔进行装卸起吊时应对其受力安全进行验算;

3 起吊构件时宜采用吊具和专用吊带,不得采用钢丝绳或钢爪直接接触构件进行起吊;

4 在运输设备上起吊或放置构件时,应保持其平稳和受力均匀;

5 装卸作业过程中应对构件涂层采取保护措施。

6.5 运 输

6.5.1 构件运输应符合下列规定:

1 构件运输应编制专项方案,并应根据构件的形状、种类、质量以及桥位处地形和水域特点,确定适宜的运输方式、运输路线和运输工具;

2 构件车辆运输或船舶运输装载应符合下列规定:

1) 运输过程中构件的支承应牢固、可靠,支承点的设置应考虑运输振动对构件产生的不利影响,必要时应采取加密支点或对构件进行局部加固的措施。同时支承点位置应避开高强度螺栓连接摩擦面;

2) 高宽比较大的工形梁和不规则异形构件装载应采用辅助稳定的撑架;

- 3) 钢梁宜按自然状态装载放置;
- 4) 构件的焊钉连接件装载应采取保护措施;
- 5) 宜对装载完成后的构件采用钢丝绳或其他适宜的材料将其固定牢靠,且应在钢丝绳下加设柔性垫层。

3 构件在运输中采取措施避免任何形式的损伤及永久变形。

6.5.2 厂内转运应符合下列规定:

1 构件可采用桥门式起重机或液压平板车在制造厂内进行转运;

2 转运通道的高度和宽度应满足安全要求;转运通道的道路应平整、顺畅,地基应有足够的承载能力;

3 采用多台液压平板车拼车转运大型构件或大节段时,顶升脱离胎架中应多点同步加载,且应避免单车超载或单点超载使构件产生局部永久变形;

4 起吊和转运中构件及辅助件总质量不得超过起重机或转运设备额定承载能力。

6.5.3 公路运输应符合下列规定:

1 构件采取公路运输方式时,应提前对运输路线进行现场实地踏勘,确认运输车辆能顺利通行;当有障碍时,应采取相应措施予以处置;

2 构件运输所采用的运输设备应额定承载能力相符合;

3 构件的尺寸与质量应符合道路、桥梁使用要求,超重、超长、超宽构件或节段运输应编制专项方案。

6.5.4 水上运输应符合下列规定:

1 构件采取水上运输方式时,应提前对运输船舶需经过水域的特点及通航规则进行调查,并应据此确定运输船舶的类型和吨位;

2 应针对各种工况对运输船舶的强度进行核算或加固计算;同时应对船舶的稳定性进行安全验算;

3 运输中船舶的抗倾覆稳定系数应不小于 1.5, 并应采取措施防止船体摆动。

6.5.5 钢构件运输到桥位现场后, 应对其结构外观质量、涂层表面质量进行进场检查。

7 安 装

7.1 一般规定

7.1.1 钢结构桥梁的安装方法应根据桥梁的结构形式、施工特点、环境条件及工期要求等因素进行合理选择。施工前须编制专项施工方案,并按规定进行论证和审批。

7.1.2 桥梁钢结构构件运输及吊装作业,应提前开展风险评估与现场勘察,严控作业流程,防范构件损坏及安全事故。

7.1.3 安装施工前的技术准备与现场准备工作应满足钢结构安装施工要求。

7.1.4 应根据施工环境条件、安装工艺等选定设备及机具,并应符合特种设备、起重设备相关法律法规、标准规范要求。特种设备、专用起重设备、专用起重吊装装置、非标吊具使用前应进行试运行或试吊验收。试吊应以现场构件最大起重量作为额定起重量。

7.1.5 安装用临时结构或大型临时设施应进行专项设计。

7.1.6 安装施工工艺宜通过数字模拟验证其可靠性,提前排查工艺缺陷、优化施工流程、预判施工风险,复杂工况需做工艺试验。

7.1.7 安全防护措施宜采用标准化设计,并与施工方案同步进行设计、实施、使用及维护。

7.1.8 安装施工中应对已成结构采取保护措施。

7.2 支架法安装

7.2.1 支架法可用于简支梁、连续梁、主拱圈、拱上结构、钢盖梁及斜拉桥索塔区梁、悬索桥无吊索区梁等结构的安装施工。

7.2.2 支架法安装所用设备、机具的选择应综合考虑安装工艺、地形地貌、地质条件以及现场施工环境等因素,并应符合下列规定:

1 采用的汽车起重机、履带起重机、门式起重吊、卷扬机、千斤顶、提升/顶升系统、移位器、滑靴、轨道梁、滑道等设备、机具应满足施工工况及安全要求;

2 起重设备性能应满足起吊高度、作业半径、吊装荷载要求,作业场地地基承载力和周边环境需符合设备作业条件;

3 采用卷扬机、千斤顶构建的提升/顶升系统应进行专项设计,控制系统、动力系统与提升系统应相互匹配。系统应设置过载、限位、紧急制动等安全防护措施。

7.2.3 安装支架应符合下列规定:

1 支架可采用跨越式支架、定型钢管脚手架等,安装支架应进行专项设计;

2 支架宜采用标准化设计,使用前按规范进行检查验收。应依据设计预拱度、支架变形、地基沉降量、温度变形等因素,计算确定支架顶部预设拱度及标高,保证各支点均匀受力。支撑杆件、分配梁受力及构件局部应力,均应控制在材料设计强度允许范围内。支点与构件接触面需设防滑、减震垫。支架应具备构件平面纠偏、高程及纵横坡精确调整等功能;

3 支架基础承载能力与抗变形性能应满足施工荷载要求,非岩石地基宜采用桩基、混凝土垫层形式,土体地基应进行预压、换填、强夯处理,消除非弹性变形并实测弹性变形,据此精准调整支架顶面标高。支架预压需符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的相关规定,预压荷载宜为施工总荷载的1.05~1.10倍,预压荷载的分布宜模拟需承受的结构荷载及施工荷载;

4 构件安装过程中应实时监测支架变形、地基沉降、杆件受力情况,超过允许值时,应立即停工整改,隐患消除后方可继续施工;

5 定型钢管脚手架的设计、搭设、验收、拆除,应符合钢管脚

手架相关规范、标准的要求,严禁违规搭设、超载使用;

6 支架计算荷载应计入施工机具、材料堆放、人员、风荷载,满堂支架宜与桥塔、桥墩等永久结构进行临时连接;

7 跨路、跨航道、跨铁路支架应采取防坠、防撞、隔离措施,并设置规范交通警示和导流标志。

7.2.4 支架法安装施工应符合下列规定:

1 安装应按照设计工艺、施工方案组织施工,设计无明确要求时,应按照审批通过的施工方案实施,严禁擅自更改;

2 钢梁构件安装前应进行预拼装,宜拼装成扩大单元后再进行安装;

3 构件安装过程中应采取可靠措施保证自身结构稳定,后安装节段应及时与已安装节段完成连接,形成稳定结构;

4 安装过程中应实时监测结构线形和应力变化,发现偏差及时纠偏。全部梁段安装完成、桥面系施工前,应复测全线线形、高程、轴线,实测值与理论值误差超出允许范围时,应分析原因并在后续工序(如桥面铺装层厚度调整)中予以修正;

5 在支架上移动钢梁时应使用千斤顶、移位器、滑靴、轨道梁或滑道等专业工具,滑移过程中保持各点位步调一致、速度均匀,并采取防倾覆措施;

6 在支架上栓接钢构件时,冲钉不宜少于螺栓孔总数的20%,螺栓不宜少于螺栓孔总数的10%,其余栓孔应布置高强度螺栓并先行初拧,再逐步替换冲钉和普通螺栓。冲钉直径应比栓孔设计直径小0.3mm,普通螺栓直径应比栓孔设计直径小1.0mm,长度均应大于拼装板束厚度;

7 在支架上焊接钢构件时,应先调整构件线形至设计要求并临时固定。对接环口和缝宽符合设计要求时,应设置码板进行临时连接,焊接完成后拆除码板、修补处理;

8 落架与体系转换作业应严格按照设计文件和施工方案执行,连续梁结构宜采用集中统一落架方式;

9 支架拆除应按“先搭后拆、后搭先拆”的顺序,分级卸载、分步拆除,严禁大面积推倒拆除,拆除过程做好防护与监测;

10 雷雨、大雪、高温、5级以上大风、能见度小于100m的强浓雾等恶劣天气不得进行支架安装、钢梁吊装作业,雨后复工需检查支架沉降情况。

7.3 悬臂拼装法安装

7.3.1 悬臂拼装法可用于梁桥、斜拉桥、拱桥等结构的安装施工。

7.3.2 悬臂拼装法施工设备、机具的选择应综合考虑桥梁跨径、结构形式、工期要求及现场条件等因素,并应符合下列规定:

1 采用的桥面吊机、缆索起重机、悬臂起重机、起重船、桥门式起重机、履带起重机、汽车起重机等设备应满足悬臂吊装工况及安全规范要求;

2 起重设备性能应满足构件吊装荷载、作业半径及起升高度要求,所有吊装工况需进行安全性验算。配套卷扬机、滑轮组、钢丝绳等辅具性能应满足安全使用要求;

3 桥面吊机应符合下列规定:

- 1) 应能适配首末节梁段架设、桥梁不同分段长度、纵(横)向坡度、抗风能力、环境温度等施工要求;
- 2) 桥面吊机结构变形限值应符合现行规范要求,工作与行走状态下抗倾覆稳定系数均不得小于1.5;
- 3) 行走宜采用液压驱动方式,配备限位、防溜、制动措施。移动过程中确保多点同步操作。桥面吊机前移至预定位置后,其尾部应采取可靠的锚固措施。在拱肋顶面移动时,应采取反拉钢丝绳、止推块、防滑垫等防滑措施,防止吊机滑落失稳;
- 4) 构件吊装宜一次性到位,行走作业应保持连续性。吊装或行走中途停滞时,应采取临时锚固措施。

4 缆索起重机应符合下列规定：

- 1) 缆索起重机设计应结合工程实际情况,宜采用标准化结构与配件,且应满足强度、刚度、稳定性要求；
- 2) 塔架宜采用钢管格构柱组拼,分为固结式、铰接式两种形式,可利用永久桥墩、桥塔作为基础,顶部需安装避雷装置,接地电阻应符合规范；
- 3) 塔顶分配梁与塔身应可靠连接,索鞍分为固定式、移动式,移动式可沿塔顶轨道横向移动。移动式索鞍宜采用液压驱动并配备锁定和限位装置；
- 4) 起重跑车在跨中起吊额定载荷时,承重索垂度应控制在跨度的 $3\%\sim 8\%$,跨度大时取较大值。跨度两端应设置非正常工作区,范围为跨度的 $1/12\sim 1/8$,跨度小、垂度大、使用频繁时宜取较大值。两端非正常工作区域可不对称；
- 5) 主缆钢丝绳直径和数量应根据吊重计算确定,安全系数应不小于3.0,每根主缆受力应均匀。地锚的设置应满足主缆可靠锚固的要求,抗拔、抗滑、抗倾安全系数应不小于2.0,采用岩锚时,安全系数应不小于3.0。主缆与地锚水平夹角宜控制在 $25^\circ\sim 35^\circ$ ；
- 6) 起升、牵引钢丝绳安全系数应按跨度和机构工作级别选取,见表7.3.2；

表 7.3.2 工作钢丝绳安全系数

类型	起重机跨度			
	$\leq 800\text{m}$		$> 800\text{m}$	
	$\leq \text{M4}$	$> \text{M4}$	$\leq \text{M4}$	$> \text{M4}$
起升绳	4.0	5.0	4.0	5.0
牵引绳	4.0	4.5	4.0	

注:M4表示GB/T 3811中规定的机构工作级别为4级。

7) 风缆、地锚与基础应连接牢固,基础承载力满足最不利荷载要求。风缆安全系数应不小于 2.0,地锚抗拔、抗滑、抗倾安全系数应不小于 2.0,采用岩锚时,安全系数应不小于 3.0。钢丝绳扣索安全系数应不小于 3.0,钢绞线扣索安全系数应不小于 2.0。河流区域设置风缆应避开湍急水域和漂浮物密集区域。宜安装传感器实时监测风缆、地锚受力及位移情况;

8) 缆索起重机塔底固接时塔顶最大偏位不得大于塔高的 $1/400$,铰接时塔顶最大偏位不得大于塔高的 $1/150$ 。

5 起重船应根据梁段吊点距离、重心偏离、水流、风浪等参数验算作业安全性。作业区域水文、通航条件需满足施工安全要求,划定作业警戒区。

7.3.3 悬臂拼装法所用的临时结构应符合下列规定:

1 采用的临时结构主要包括斜拉扣挂系统(扣塔、扣索、背索、锚碇)、风缆、地锚、临时拉结、操作平台等,所有临时结构需经专项设计、验算、验收合格后方可使用;

2 斜拉扣挂系统在各种施工工况下,强度、刚度、稳定性均应符合规范及设计要求。扣索、背索及扣塔受力应符合拱肋、主梁受力及线形控制要求;

3 在低应力、动荷载工况下使用夹片式锚具进行锚固时,应具备防松性能并配备防振、防滑措施,防止索力损失。

7.3.4 悬臂拼装法施工应符合下列规定:

1 悬臂拼装施工宜按照对位、调位、监测、临时固定、连接、复检的顺序有序开展,应控制好工序衔接质量,每节段验收合格后方可推进下一节段;

2 双悬臂拼装节段应采取对称平衡施工方式,悬臂拼装节段在最不利工况下的抗倾覆稳定系数应大于 1.3。同一墩(塔)两侧双悬臂拼装应实行对称平衡施工,不平衡重量、不平衡力矩需严格控制在设计允许范围内。钢桁梁杆件拼装顺序及不平衡荷

载控制,应符合设计要求,严禁单侧超负荷施工;

3 悬臂拼装施工前,应对墩顶梁段的标高、轴线及倾角进行精确定位并锚固,作为后续悬拼作业的基准;

4 悬臂拼装线形控制应采用制造线形与安装线形相结合的方式,悬拼节段制造线形应精准可控。安装时可通过调整匹配件(临时码板、冲钉等)、选择温差时段、轻微顶拉等方式,使接口匹配符合无应力状态下的相对关系,当前节段前端标高与理论值保持一致。斜拉桥、悬索桥悬臂拼装时,实行线形与索力协同控制,以标高控制为主、索力控制为辅的“双控”原则,调整索力后同步测量主梁线形变化;

5 钢梁悬臂、半悬臂散件拼装时,冲钉数量应按承受荷载的大小经计算确定,且不得少于孔眼总数的50%,工具螺栓数量应满足板束密贴要求。松吊钩后应尽快安装剩余高强度螺栓并完成初拧,做好初拧标记。大跨度钢梁整桁片、整桁段架设时,松吊钩前冲钉、高强度螺栓数量及施拧状态,应根据计算结果确定;

6 采用栓连接时,冲钉公称直径应比设计孔径小 $0.2\text{mm}\sim 0.3\text{mm}$,并需与制造厂试拼栓孔重合率匹配;

7 采用焊接连接时,应采用匹配的临时连接件,其强度应满足施工安全要求。起吊吊钩应在临时连接完全固定后方可脱钩;

8 栓焊混用接头施工顺序宜在高强度螺栓初拧后进行翼缘板的焊接,然后再进行高强度螺栓终拧;

9 斜拉扣挂系统的扣塔宜安装在墩(台)上,且应在纵横向设置风缆。扣、背索可采用钢绞线或高强钢丝束,扣索和背索宜与拱肋处于同一竖直面内。扣塔强度安全系数应不小于1.7,整体稳定系数应不小于4.0。钢绞线的安全系数应不小于2.0,钢丝绳的安全系数应不小于3.0。锚碇可采用钢筋混凝土桩锚、重力式锚、岩锚等,锚碇安全系数应不小于2.0,岩锚安全系数应不小于3.0,分配梁、锚梁及其连接件强度安全系数应不小于2.5;

10 采用斜拉扣挂系统进行悬臂拼装拱肋时,锚固点、扣索

和风缆的设置应符合设计要求,斜拉扣挂系统强度、刚度、稳定性应满足安全要求。钢梁的安装应先从中支点处开始,依次向跨中分段吊装就位,钢梁各节段的上端头均应通过扣索的调整使线形达到预拱度要求;

11 采用缆索起重机进行悬臂拼装施工,应符合下列规定:

- 1) 斜拉扣挂安装钢梁时,投影面垂直构件应控制扣索角度、索力对称与梁段姿态,确保线形与受力稳定。投影面外构件应重点控制空间偏位、扭转、侧向稳定,须对扣塔、扣索及构件的强度、刚度和稳定性进行专项验算;
- 2) 缆索起重机跨江、跨线、跨铁路安装时需取得航道、海事、交管、铁路部门施工许可;
- 3) 施工中应监测主索垂度、塔顶及锚碇位移、拱肋线形、索力等参数。

12 采用桥面吊机进行悬臂拼装施工时,拱肋横撑宜与拱肋同步安装,并应根据需要加设临时横撑;

13 施工过程中临时荷载的位置、数量、重量、加载时间,应与施工监控方案保持一致。悬臂拼装标高、索力应按施工监控指令执行;

14 合龙施工前应进行悬臂梁、拱的线形测量与调整,合龙口调整方式和合龙时机应在对合龙口进行不少于 48h 环境温度和几何形状监测后确定。合龙段精确配切尺寸应根据现场温度监测和线形观测结果确定,在设计温度及环境温度场稳定时段完成合龙;

15 不应在雷雨、大雪、高温、5 级以上大风、能见度小于 100m 的强浓雾等恶劣天气下进行悬臂拼装施工。

7.4 提升法安装

7.4.1 提升法安装可用于梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥结构的安

装施工。

7.4.2 提升法安装所用设备、机具应符合下列规定：

1 采用的缆载吊机、缆索起重机、塔式起重机、提塔机、专用液压提升设备、桥门式起重机、履带起重机、汽车起重机等设备及配套机具需匹配提升工况及安全要求；

2 缆载吊机应符合下列规定：

- 1) 缆载吊机设计应满足同一桥梁不同节段长度、最大纵向坡度、变宽变高箱梁、抗风能力、环境等施工要求。缆载吊机的主梁宜采用分段式设计，高强度螺栓连接，主梁跨中垂直静挠度不大于设计要求。工作和行走时整机抗倾覆稳定系数不小于 1.5；
- 2) 整体结构应满足特殊钢梁吊装要求，主梁可跟随提升系统纵向偏转一定角度，适配荡移法施工。与主缆接触的最大压力应得到设计方确认；
- 3) 行走宜采用液压驱动方式，液压系统可同时或单独向牵引千斤顶提供动力，两侧行走梁移动应同步，整机偏位应在设计允许范围内；
- 4) 控制系统应自动监测千斤顶工作荷载、伸长量及锚具夹片开启、闭合状态。提升控制和行走控制应能互锁。

2 缆索起重机应符合本标准第 7.3.2 条第 4 款规定；

3 塔式起重机基础、附着装置应符合设计及规范要求，机身垂直度偏差应控制在允许范围。起重臂回转半径、起升高度应满足作业空间要求，严禁超负荷、超幅度、超高度、斜拉提升。吊钩防脱、力矩限制、高度限位、变幅限位等安全装置应齐全有效。多台塔机联合作业时应制定专项防碰撞措施，安全作业距离应符合规范要求，并应错开作业时段；

4 提塔机应符合下列规定：

- 1) 提塔机应进行专项设计，宜具备变截面适应性调节、一体化自爬升、多形态工况转换、可兼顾钢塔节段和

钢横梁安装等功能；

- 2) 大吨位提升前应进行整机载荷验算、自爬升机构可靠性测试和同步控制系统联调,并应进行载荷试验;
- 3) 提升系统锚点、吊具连接可靠,钢绞线排列规整、张力均匀,导向限位装置安装到位、功能完好;
- 4) 提塔机需配备应急锁止、过载保护等安全保护装置。高空作业平台、防护设施应跟随设备主体同步爬升。

5 专用液压提升设备应配套选型,液压泵站、提升油缸、钢绞线、锚具性能匹配、同步性好。各提升吊点应实现压力、位移双闭环同步控制,同步精度满足设计及规范要求。液压系统应配备备用动力源、应急装置,防止突发断电导致提升失控;

6 索具、锚具、控制系统、传感设备等通用配套辅具,应与主机设备性能匹配,校验合格。吊点设置应避开结构应力集中区,必要时对构件局部进行加固、加劲处理,防止局部撕裂、变形。

7.4.3 施工过程中可根据构件特点设置临时加固、支撑、防扭、防风等临时结构,防止构件变形、失稳、晃动。跨线路、跨铁路施工时应设置硬质隔离防护设施、防坠棚,保障线下运营、通行安全。

7.4.4 提升法安装施工应符合下列规定:

1 复核提升点位、吊具安装、构件重心、液压系统及监测设备状态,完成试提升,确认无异常后方可正式提升;

2 提升作业应分级加载、匀速提升,严格控制提升速度和同步精度,吊点受力均衡、构件姿态平稳,严禁快速提升、急停急刹。提升过程中实时监测构件应力、变形、位移及吊点荷载,出现偏差立即暂停调整,严禁带故障作业;

3 构件提升至设计标高附近时,应减速慢行、精准对位,通过微调装置校正轴线、高程及转角,确保对接精度达标。对位完成后及时进行临时固定或永久连接,连接质量验收合格后方可卸载;

4 采用缆载吊机进行悬索桥钢梁提升安装,应符合下列规定:

- 1) 缆载吊机行走作业时,行走滚轮应能跨越索夹等障碍

物,应注意观察滚轮与主缆的摩擦状况,观察吊机与猫道内侧扶手的接触情况,观察吊具与吊索是否存在摩擦碰撞隐患;

- 2) 吊装作业过程中,应做好主缆表面和索夹防护。抱脚与主缆抱箍应紧固且与索夹顶紧,防止滑移。两吊点应同步升降,钢梁应水平且无倾斜;
- 3) 携带吊具行走至吊装位置时,吊具距离水面、地面高度应满足通航、通行净空要求。钢梁运输定位误差不得大于 30cm;
- 4) 钢梁吊装就位后,先完成钢梁顶板临时连接件的螺栓连接;
- 5) 在钢梁吊装初期,当两相邻节段梁底板间下缘张口逐渐减小至计算值时,应立即连接梁段底板临时连接件;
- 6) 梁段继续吊装,闭合梁段数量增加,且钢梁线形基本形成时,应将临时连接件连接拉杆螺栓紧固;
- 7) 梁段吊装阶段,严禁紧固钢梁梁底临时连接件的螺栓;
- 8) 在钢梁吊装期间,应按监控要求对索鞍进行实时顶推;
- 9) 由于主缆线形变化、吊索索夹尺寸差异,起吊时吊装梁段与已吊装梁段间的安全距离应不小于 20cm。

5 采用缆索起重机进行提升法安装施工,应符合本标准第 7.3.2 条第 4 款规定;

6 采用提塔机进行提升法安装施工,应符合下列规定:

- 1) 复核钢塔节段重心及吊点,设置导向、限位装置,防止偏摆扭转;
- 2) 采用多吊点时,应启用多点同步控制功能,确保同步精度满足设计及规范要求,并全程监测设备运行参数。提升、对位、爬升工序应实行分级管控、慢速操作、专人指挥。

7 采用专用液压提升系统进行提升法安装施工,应符合下

列规定:

- 1) 各吊点液压提升千斤顶的额定荷载应不小于对应吊点荷载标准值的 1.25 倍。对受力复杂和不同步较为敏感的提升体系,宜不小于 1.5 倍。钢绞线应无损伤、锈蚀,安全系数宜为 3.0~4.0;
- 2) 采用多吊点时,宜采用同一型号规格、同一厂家的提升千斤顶。

8 采用履带起重机、汽车起重机进行提升法安装施工时,应对地基进行处理并达到地基承载力要求;

9 大吨位、大跨度构件整体提升时,应制定专项抗风、防扭、防撞措施,遇雷雨、大雪、高温、5 级以上大风、能见度小于 100m 的强浓雾等恶劣天气应立即停止作业,并应对已提升构件采取临时锚固措施。

7.5 顶推法安装

7.5.1 顶推法可用于钢箱梁桥、钢桁梁桥、钢拱桥等钢结构桥梁上部结构的安装施工。

7.5.2 顶推法安装所用设备、机具应符合下列规定:

1 采用的顶推千斤顶、三向千斤顶、液压泵站、主控台、保险千斤顶、水平千斤顶、牵引钢绞线、拉杆、导向与限位装置、滑梁、滑道、滑板等设备、机具需匹配顶推施工工况;

2 同一顶推工程宜采用同一型号、同一厂家的顶推设备。多点式顶推时每个支承墩顶应布置 2 台及以上顶推千斤顶。步履式顶推应配备三向千斤顶,千斤顶数量、顶升能力、行程应根据计算结果确定。单台千斤顶承载能力不得小于最大反力的 1.2 倍,步履式顶推系统同步精度误差不得大于 5mm;

3 顶推设备宜采用计算机自动控制系统,实现多点同步顶推、力与位移双控,确保顶推平稳、同步;

4 步履式顶推施工时,液压系统应保证手动、自动模式均可正常运行,自动模式下千斤顶应协调同步作业,故障时可紧急停机;

5 牵引钢绞线数量应根据牵引力确定,下料长度应综合牵引长度、支承墩长度、油缸工作长度、固定端与张拉端预留长度等因素核算,钢绞线不得有损伤、锈蚀。拉杆截面积和根数应满足顶拉力要求,墩顶反力台应牢固可靠,满足顶拉反力承载要求,与墩身连接牢固;

6 滑梁、滑道、滑板应配套使用。滑动装置摩擦系数宜通过现场试验确定。水平千斤顶顶推时,滑道长度应大于水平千斤顶行程与滑块长度之和,宽度宜为滑板宽度的 1.2~1.5 倍,保证滑动空间。

7.5.3 顶推法安装所用临时结构应符合下列规定:

1 采用的临时结构有拼装平台、顶推平台、临时墩、导梁、临时支座、防护设施等,所有临时结构需经专项设计、验算、验收合格后方可使用;

2 拼装平台应具备纵坡、横坡调整功能,台面平整度及承载力应符合要求,并应满足设备布置、人员操作、节段连接施工空间要求;

3 顶推平台应沿桥梁中心线对称布置,长度不小于 2 个梁段长度。平台应配置竖向调节装置、滑梁、横向限位和导向装置,调节精度满足施工要求;

4 临时墩数量和位置应根据顶推跨径、钢梁受力、施工工况设计确定,承载能力、抗推刚度、抗倾覆性能满足施工荷载要求。墩柱体及基础经检验合格后方可使用,临时墩墩顶宜设置保险千斤顶和导向、限位装置;

5 导梁应进行专项设计,可采用分段制造、现场栓接拼装的方式,拼接精度应符合设计要求。导梁长度宜为顶推跨径的 0.6~0.8 倍,刚度宜为主梁的 $1/9 \sim 1/15$ 。导梁与钢梁连接处应保证刚度协调、连接牢固,连接强度满足顶推受力、抗振要求。

7.5.4 顶推法安装施工应符合下列规定：

1 顶推可采用单点顶推、多点顶推、步履式顶推、拖拉法等
方式，并应符合下列规定：

- 1) 应结合工程实际情况、桥梁形式、现场条件，合理选择顶推方式；
- 2) 顶推施工前应根据设计及施工过程分析计算顶推力、拖拉与制动牵引力、各支点反力，以及钢梁的应力、稳定性、悬臂挠度等。钢梁处于竖曲线时，应计入纵坡变化的影响；
- 3) 钢梁应在拼装平台上完成拼装、验收，拼装线形、尺寸、连接质量符合设计及监控要求。竖曲线顶推与平曲线顶推时，应做专项设计；
- 4) 顶推施工前应对顶推设备、液压系统、控制系统、监测系统
进行预顶调试、联动试验，检查设备运行状态、同步性能及安全装置的可靠性，调试合格后方可试顶推；
- 5) 顶推施工前，应在永久墩和临时墩上设置可调节的导向与限位装置，确保钢梁在顶推过程中轴线偏差可控；
- 6) 钢梁与顶推设备之间的支承处宜设置橡胶垫块或其他适宜的缓冲材料，支承处构件局部应力应符合设计要求；
- 7) 顶推作业时梁体应匀速、平稳前移，保证对称施工和各点位顶推同步。及时纠正横向、竖向偏差，钢梁应力和变形不得超过设计及监控允许范围。每完成一个顶推循环，应复测梁体线形，根据监测结果微调后续墩顶滑道标高，纠正线形累积误差；
- 8) 顶推施工时应在不少于 2 个墩上设置保险千斤顶，备用应急。遇故障需用竖向千斤顶顶高梁体时，最大顶升高度不得大于设计规定值或 10mm，起顶反力不宜大于计算反力的 1.1 倍。最后一轮顶推中，千斤顶应采用小行程、慢速工作模式，精准就位；

- 9) 落梁前拆除滑动装置时,梁体各支点应均匀顶起,起顶力按设计支点反力控制,相邻墩各顶点高差不得大于5mm,同墩两侧梁底顶起高差应符合设计要求。落梁时应根据受力情况控制分批落梁次数和顺序,分级、同步卸载,同一墩台千斤顶应同步运行,落梁反力允许偏差为 $\pm 10\%$ 设计反力,落梁到位后应及时固定永久支座;
- 10) 曲线梁落梁时,几何偏心扭转应控制在允许范围,做好纠偏。永久支座应在落梁前安装到位、验收合格后方可落梁;
- 11) 小半径曲线梁顶推施工宜采用差速顶推、分级纠偏方式,适配曲线线形要求,并不得出现梁体扭曲;
- 12) 钢梁顶推过程中抗倾覆稳定系数应始终不小于1.5;
- 13) 采用滑移、拖拉方式进行安装施工的,应遵循本条相关规定,不得简化工序;
- 14) 顶推到位后应及时完成体系转换、永久支座固定,验收合格后方可拆除临时结构。

2 单点/多点顶推应符合本标准第7.5.4条第1款的基本规定外,还应符合下列规定:

- 1) 拼装平台和临时墩顶面应布置滑道,滑道顶面宜涂抹润滑材料减小摩擦系数。滑道应平整、顺直、标高准确。滑道侧面设导向滑轮和横向水平千斤顶,防止钢梁在顶推过程中产生偏移。应严格控制钢梁底部与滑道接触位置的应力,必要时进行局部补强、加劲处理;
- 2) 顶推过程中应保证滑道滑板完好平整、排列紧密,钢梁与滑道之间无脱空、卡阻现象,不得出现局部受力超标、梁体变形;
- 3) 钢梁中线偏位大于40mm时,应及时纠偏;
- 4) 多点顶推施工时,导梁前端支承于前方墩或临时墩

后,该墩千斤顶应及时参与顶推作业,各墩应受力均衡、同步顶推;

- 5) 多点顶推千斤顶同步性应实行集中控制、远程监控,实时监测并预控顶推力、行程、速度突变情况;
- 6) 水平千斤顶顶推时,实际总顶推力不得小于计算顶推力的 2 倍,预留安全余量。拉杆顶拉时,拉杆的截面积和数量应满足顶拉力的要求,设置在各墩顶的反力台应牢固且应满足顶拉反力的要求。各墩水平千斤顶应同步运行,并不得局部过载。

3 步履式顶推除应符合本标准第 7.5.4 条第 1 款的基本规定外,还应符合下列规定:

- 1) 拼装平台的长度不宜小于 3 个钢梁节段的长度,拼装台座的顶面高程应以钢梁的竖向线形为准进行设置;
- 2) 多点步履式顶推施工的设备宜布置在各个顶推点上,桥梁左右幅两侧的每两套顶推装置中间宜布置 1 台液压泵站,主控台宜设置在拼装平台上;
- 3) 顶推设备安装后应进行全面调试、确保手动、自动模式均正常运行,自动模式下千斤顶协调同步。应测量并标定所有千斤顶纵向轴线,不得偏推;
- 4) 顶推作业应遵循“分级调压,集中控制,同步作业”的原则,竖向偏差调整以支点反力控制为主、高程控制为辅,力与位移双控;
- 5) 垫梁应具备足够长度、刚度和强度,与梁体底部完全贴合接触,腹板、底板应受力可靠,并无悬空、偏压;
- 6) 竖向顶升和水平顶推作业时,各墩同步精度不得大于 5mm,同墩两侧同步精度不得大于 4mm。

4 拖拉法顶推除应符合本标准第 7.5.4 条第 1 款的基本规定外,还应符合下列规定:

- 1) 拖拉施工前应进行试拖拉。其牵引动力系统机械性

能、启动牵引力、制动性能应符合顶推施工要求；

- 2) 水平牵引拖拉应保持对称、同步,梁体前移速度均匀。滑道处于平坡、下坡状态时,应设置反向卷扬机作为制动装置,防止梁体滑落失控;
- 3) 钢梁中线相对于设计中线偏移不得大于 50mm,且前后端不得同时偏向一侧,超标时应及时停机纠偏,严禁强行拖拉;
- 4) 曲线上拖拉钢梁时,墩台承载力和宽度应满足施工、纠偏要求。单孔梁拖拉中线取设计中线,多孔梁拖拉中线取设计中线平均值。纵向拖拉到位后,应将梁体横向移动至设计位置,精准就位。

7.6 转体法安装

7.6.1 转体法可用于钢结构拱桥、连续梁桥、斜拉桥、钢塔等桥梁结构的安装施工。

7.6.2 转体法安装所用设备、机具应符合下列规定:

1 采用的设备、机具包括计算机同步控制牵引系统、助推装置、限位制动装置、顶升微调千斤顶、球铰滑道等,设备需与转体吨位、转速及同步精度要求相匹配,使用前应对油表、测力仪等计量器具进行标定;

2 牵引系统宜采用多点同步控制模式,两台及以上千斤顶联动作业时,转速差、同步位移误差需控制在设计允许范围内。钢绞线安全系数宜为 3.0~4.0;

3 球铰、滑道、撑脚等核心部件需专业定制加工,出厂前应完成无损检测、静摩擦试验。接触面光洁度、精度应达到设计要求。球铰接触面应涂抹减摩润滑脂;

4 限位、制动装置应灵敏可靠,并兼具超程限位、紧急制动功能,转体前进行联动调试。助推装置应推力均匀、同步发力;

5 顶升微调千斤顶单台承载力不小于最大支反力的 1.2 倍,多台联动时应分级同步顶升、卸载,保证结构姿态平稳。

7.6.3 转体法安装所用临时结构应符合下列规定:

1 采用的临时结构主要有转体承台、牵引反力座、临时撑脚、扣塔(或提升架)等,所有临时结构应进行专项设计,强度、刚度、抗倾覆稳定性应满足全工况施工需求;

2 转体承台需与墩身可靠连接,强度、平整度符合设计要求,球铰中心与桥梁设计中心精准重合,定位误差符合规范限值。临时撑脚应沿滑道均匀布设,高度、平整度一致,与滑道间隙控制在设计范围内;

3 牵引反力座需与承台、墩身锚固牢固,抗拔、抗剪、抗扭性能满足最大牵引力要求;

4 采用扣塔或提升架进行竖转施工时,扣塔或提升架应进行专项设计,并符合本标准第 7.3.4 条第 9 款规定。

7.6.4 转体法安装施工应符合下列规定:

1 转体法可采用平转、竖转及平竖结合转体等方式。平转可采用有平衡重转体和无平衡重转体。转体施工的方法应根据桥梁结构的特点、环境条件、工期要求和设备等情况综合确定,均应符合下列规定:

- 1) 转体结构吨位、跨度需符合专项设计要求。转体施工抗倾覆稳定系数应不小于 1.5。应对转体的各施工工序进行分析验算,转体施工前应完成受力、抗倾覆、牵引力验算;
- 2) 应在球铰、滑道、牵引系统及监测设备安装完成后,进行空载及分级加载试转,确认合格后办理施工许可,确定转体窗口期;
- 3) 跨铁路、公路、航道转体应执行运营部门管控规定,配备值守及应急人员,做好交通导流;
- 4) 转体应在风力不大于 5 级、温度稳定时段进行。就位

前应减速对位,出现异常应立即停机。严禁在雷雨、大雪、高温等恶劣天气作业,夜间转体应配备充足照明及应急设备;

- 5) 转体过程中应按监控指令控制姿态,不得强行或超程转动。就位后应立即临时锁定,复测合格后进行永久连接及体系转换。体系转换应分级卸载、同步实施,验收合格后方可拆除临时结构。

2 平转施工应符合下列规定:

- 1) 水平转体承重系统宜采用钢球铰、钢平板铰或组合铰,由专业厂家加工,承重系统、环道及撑脚应满足承载力、精度、摩擦系数要求;
- 2) 牵引系统应采用计算机控制连续液压千斤顶,额定牵引力宜为阻力的 1.5~2.0 倍;
- 3) 在支架上拼装转体单元时,其预拱度及轴线控制中应计入球铰摩擦、不均匀沉降等影响;
- 4) 转体前应进行称重试验。转动体的不平衡力矩、偏心距、摩擦阻力、静摩擦系数应符合转体施工要求;
- 5) 转体前应试转不宜少于 3° 。平转角速度可控制在 $0.01\text{rad}\sim 0.02\text{rad}/\text{min}$,且悬臂端线速度应控制在 $1.5\text{m}\sim 2\text{m}/\text{min}$;
- 6) 转体应采用同步牵引系统,并应对转体过程的结构标高、轴线、扭转以及转动角速度进行实时监测;
- 7) 转体就位前应减速、点动对位。就位后应立即进行结构几何测量,并通过微调千斤顶对转体结构标高和平面位置进行最终精调,调整后的合龙口几何精度应满足合龙口误差控制要求。

3 有平衡重转体施工除符合本条第 2 款的基本规定外,还应符合下列规定:

- 1) 对跨径较大、转动体系重心较高的拱桥宜采用环道与

中心支撑相结合的转盘结构,中、小跨径拱桥可采用中心支承的转盘结构。平衡重可采用桥台或临时配重,转体前应核对平衡体的重量和转动体系的重心位置。若采用临时配重,应保证锚固设施安全、可靠;

- 2) 拱肋节段拼装连接完成,经检验合格后,应分批、分级张拉扣索,在张拉过程中需对扣索的索力进行严格监测,允许偏差为 $\pm 3\%$ 。张拉至设计控制应力时,拱圈应脱离支架形成以转盘为支点的悬臂平衡状态;
- 3) 扣索可采用钢绞线束、高强钢丝束,安全系数应不小于 2.0。当采用多扣点布置时,扣索应同步张拉,其拱肋的结构应力应符合设计与规范要求;
- 4) 扣索与锚索宜通过置于扣、锚支承(桥台或立柱)顶部的交换梁连接,扣索锚点高程不宜低于扣点。扣索张拉应分级进行,并同步监测结构内力及挠度,直至拱肋脱离支架;
- 5) 扣索张拉到位、拱肋卸载后应进行不少于 24h 的系统观测,检验锚固及支承体系的可靠性;
- 6) 转体合龙宜在当日最低温度时进行,当合龙温度与设计温度相差较大时,应修正合龙高程。合龙后应分批分级松扣,拆除扣、锚索。

4 无平衡重转体施工除符合本条第 2 款的基本规定外,还应符合下列规定:

- 1) 转体系统应由锚固体系、转动体系、位控体系组成。在进行尾索张拉、扣索张拉、拱体平转、合拢卸扣等施工工序时,应监测索力、轴线、高程等参数;
- 2) 张拉尾索时,两组尾索应按照上下左右对称、均衡的原则,对桥轴向和斜向的尾索进行分次、分组交替张拉,使各尾索的索力均衡;
- 3) 张拉扣索前,应在桥轴向和斜轴向支撑以及拱顶、

3/8、1/4、1/8 跨径处设立平面位置和高程监测点。同时,应全面检查支撑、锚梁、轴套、拱铰、拱体和锚碇等部位,经分析确认无误后,方可进行张拉。分级张拉时,应按对称于拱体、由下向上的顺序进行。张拉过程中,需适时进行监测,确保各索内力之间的相对偏差控制在 5kN 以内;

- 4) 转体前对全桥各部位检查合格后方可转动。转体宜由风缆控制拱体的转速,启动及就位阶段走速宜为 0.5m~0.6m/min,中间阶段宜为 0.8m~1.0m/min;
- 5) 拱体转至设计位置就位后应复测高程及轴线,不合格应调整。合龙应按设计温度或修正后的合龙温度进行。

5 竖转施工应符合下列规定:

- 1) 竖转系统由转动铰、提升或下放体系、锚固体系等组成,双肋宜横向连接为整体转动单元;
- 2) 扣塔或提升架设计应考虑偏载、风力、荷载变化等因素的影响,其强度、刚度及稳定性应满足拱肋竖转施工的要求;
- 3) 转动铰可采用钢制销轴铰、钢板包裹混凝土弧形面铰或球面铰,应转动灵活,接触面应满足局部承压要求;
- 4) 转体前应进行试转。竖转速度宜控制在 0.005rad~0.01rad/min,提升或下放重量大时宜采用较低转速,转动过程应保持平稳。

6 平转加竖转施工时,宜先将拱肋平转到桥轴线位置,然后再竖转到设计高程。平转和竖转宜采用各自独立的转动系统,并应分别按平转和竖转的相关规定施工。

7.7 大节段安装

7.7.1 大节段安装可用于支架法、悬臂拼装法、转体法、提升法

施工中的结构安装。

7.7.2 应根据钢梁的结构形式、现场边界条件、安装工艺、工程进度要求等因素,合理选择安装设备、机具。采用的设备、机具除符合本标准第 7.2.2、7.3.2、7.4.2、7.6.2 条相关规定之外,还应符合下列规定:

1 大节段安装常用设备包括架桥机、起重船、履带起重机、汽车起重机、专用液压提升设备、专用吊具、托架、运输台车等,各类设备、机具需满足大节段运输、吊装、移位等工况要求;

2 架桥机安装作业时抗倾覆稳定系数不得小于 1.3,过孔作业时抗倾覆稳定系数不得小于 1.5;

3 起重船性能应与钢梁吊装参数、现场风力、波浪、水流、水深等环境条件相适配;

4 采用双机(船)抬吊施工时,应专人统一指挥、同步作业,单机(船)实际起吊重量不得大于其允许起重能力的 80%,总起吊重量不得超过双机(船)允许起重能力之和的 75%,严禁超载、偏载;

5 专用吊具、托架、运输台车应经专项设计、验算、无损检测合格。构件运输及吊装过程中应使用专用托架或吊具,设置防滑、防倾覆、防变形措施。

7.7.3 大节段安装施工所采用的临时支架、临时支座、临时支撑、定位装置应满足设计及相关标准要求,并应符合本标准第 7.2.3、7.3.3、7.4.3、7.6.3 条相关规定,钢梁底与支座紧密贴合、受力均匀、稳定可靠。

7.7.4 大节段安装施工应符合下列规定:

1 安装施工前,应根据安装顺序、吊装工况、体系转换对钢梁结构受力和稳定性进行专项计算分析;

2 大节段钢构件应在制造厂内进行预拼装,其无应力线形和接口尺寸应符合设计要求;

3 安装作业应按照设计或施工方案规定的顺序和步骤组织

实施,整孔或一个大节段钢梁吊装宜在 1 天内适宜天气时段完成;

4 采用多吊点安装时,各吊点受力相对偏差值应控制在允许范围内。钢梁起落过程中应保持水平状态,升降速度缓慢平稳、无冲击,避免瞬时受力超标、梁体晃动;

5 多个大节段构件现场对接时,应以已成节段为基准调整待安装节段的姿态,其环焊缝间隙均匀性和节段间轴线应符合要求;

6 测量定位与接口固定作业应在温度场稳定、风力较弱、光线充足的时段进行。合龙段安装应制定详细的温度补偿、配切、锁定方案,保证合龙精度、线形顺畅;

7 应根据钢梁结构特点和安装工艺,开展全过程施工监测,监测内容包括钢梁移动位置、速度、运动同步差、牵引力,关键部位应力应变、结构变形、线形,以及环境温度、风力、波浪、水位、水流等参数,实时反馈、动态调整;

8 安装时的环境温度、风力、波浪、水位、流速等环境条件应满足钢梁安装、连接和合龙施工要求,严禁在恶劣环境条件下强行施工、冒险作业;

9 钢梁就位后的临时支座与钢梁底应紧密贴合、无悬空,并及时做好临时固定;

10 安装定位应按初定位和精确定位两个步骤进行。初定位时宜设置导向装置,精确定位时宜采用三维调节装置,对平面位置和高程进行精确调整。

8 工地连接

8.1 一般规定

8.1.1 工地连接应包括现场焊接连接、高强度螺栓摩擦型连接和摩擦型高强度环槽铆钉连接等。

8.1.2 构件在工地连接的顺序应符合设计规定,且工地连接应在构件就位、固定并经检查合格后进行。工地连接施工应在操作平台上进行,操作平台应符合安全作业要求。

8.1.3 构件采用焊接与高强度螺栓混合连接时,应先初拧高强度螺栓再焊接,待焊缝经检验合格后再进行高强度螺栓的终拧。

8.1.4 构件采用焊接与高强度环槽铆钉混合连接时,宜先进行高强度环槽铆钉的连接,再进行焊接。

8.2 焊接连接

8.2.1 工地焊接连接时的环境要求应符合下列规定:

1 工地焊接时应设防风、防雨和防冰雪设施,遮挡全部焊接处,形成受保护的焊接作业区。焊件表面潮湿或暴露于雨、冰雪中时严禁焊接;

2 气体保护焊作业区的最大风速应不超过 2m/s ;焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊作业区的最大风速应不超过 8m/s ;

3 焊接作业区的相对湿度应小于 80% ;

4 焊接时作业区温度宜不低于 5°C ;当作业区温度低于 5°C 但不低于 -10°C 时,应采取加热或防风保温措施,同时应预热焊缝 100mm 范围内的母材不低于 20°C 或工艺规定的其他预热温

度,并在焊接后缓慢降温;

5 在环境温度低于 -10°C 下实施焊接作业时,必须进行相应环境条件下的焊接工艺评定试验,确认焊接条件和工艺后再进行焊接;不符合上述规定时,严禁施焊;

6 在箱梁等狭小空间内焊接时应采取有害气体检测及通风换气的措施。

8.2.2 焊接工艺及质量检验应符合本标准第 5.4 节相关规定。焊接作业还应符合下列规定:

1 焊接的作业条件应符合现行国家标准《焊接与切割安全》GB 9448 的有关规定;

2 构件精确调整就位、固定并经检查合格后方可施焊;施焊应严格按焊接工艺的要求进行;

3 焊缝区域的表面和两侧应均匀、光洁,不应有毛刺、裂纹和其他对焊缝质量有不利影响的缺陷,且不应有影响正常焊接和焊缝质量的氧化皮、铁锈、油污、水分等污染物和杂质。焊接应在除锈后的 12h 内进行;

4 焊接坡口尺寸应符合工艺文件的要求。焊接前应对接头坡口、焊缝间隙和焊接板面高低差等进行检查;

5 工地定位焊焊接时预热温度宜高于正式施焊预热温度 $20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

8.3 高强度螺栓连接副连接

8.3.1 高强度螺栓连接副的安装施拧、质量检查应符合本标准附录 J 规定。

8.3.2 高强度螺栓连接副应按批配套进场,抽检、存放、保管、领取和使用应制定相应的管理办法。

8.3.3 高强度螺栓连接副的检验应符合下列规定:

1 高强度螺栓连接副生产及进场检验相关要求按照本标准

第 4.5 节执行；

2 高强度螺栓连接副扭矩系数的平均值宜满足 0.120~0.140 的要求。

8.3.4 高强度螺栓连接副储运应符合下列规定：

1 高强度螺栓连接副入库时应清点检查，按包装箱上注明的规格、批号进行分区、分类存放，且建立库存台账；

2 高强度螺栓连接副库房应干燥、通风良好；

3 应根据高强度螺栓连接副用量、钢梁架设进度分批供货，不同供货批次的高强度螺栓连接副不得混放，并在醒目位置设立明显挂牌标识；

4 高强度螺栓连接副扭矩系数保证期为 6 个月，超过 6 个月使用时，应复验。

8.3.5 高强度螺栓连接副的领用应符合下列规定：

1 应按当天需要使用的规格和数量，进行领取；

2 宜整箱领用，零数部分宜采用布袋装取，且在使用前不得拆除其包装；

3 对照设计图纸，按部位、规格进行领用，并造册登记，不得以长代短或以短代长使用；

4 领用和搬运过程中，应轻拿轻放，不得损伤螺纹。

8.3.6 高强度螺栓连接副的使用应符合下列规定：

1 开箱后，应核对螺栓的直径和长度；

2 使用前应对其进行外观检查，垫圈无翘曲、螺纹无损伤、表面油膜正常且无污物污染的方可使用；

3 在使用过程中，不得在施工现场随意堆放，且不得使其遭受雨淋、接触泥土和油污等；

4 当天未用完的高强度螺栓连接副，应及时装回干燥、洁净的包装箱内并封闭，妥善保管，不得散落、随意堆放。

8.3.7 高强度螺栓连接副连接的施工环境应符合下列规定：

1 当环境温度低于 -10°C 或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中

时,不得进行高强度螺栓连接副的安装和施拧施工作业;

2 高强度螺栓连接副受火焰作用时,应采取隔热或降温措施予以保护;

3 冬季宜尽量安排白天气温较高时进行高强度螺栓施拧,夜间气温低时不宜进行高强度螺栓施拧;夏季宜尽量避开高温时段进行高强度螺栓施拧。

8.3.8 高强度螺栓连接副连接时,构件摩擦面的抗滑移系数应符合下列规定:

1 构件摩擦面,在安装前应复验所附试件的抗滑移系数,合格后方可安装,并应符合设计要求。设计无要求时,出厂时每批试件抗滑移系数的最小值不小于 0.55,安装时不小于 0.45;

2 复验试验前应检查试件表面,清理试件板面的油污以及孔边、板边的毛刺等;

3 工地摩擦面抗滑移系数的复验值应不小于 0.45;

4 摩擦面抗滑移系数试验方法应符合本标准附录 G 规定。

8.3.9 高强度螺栓连接副连接时,应配备足够的高强度螺栓连接副施工工具,施拧和检查用的扳手应在施工前进行标定和校正,并应符合下列规定:

1 施拧工具的标定,应在现场工地试验室进行;

2 扭矩法施拧时,高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧均宜优先使用电动定扭矩扳手。扭角法施拧时,高强度螺栓连接副的初拧、复拧使用定扭矩扳手;终拧使用的扳手应满足终拧转角的需要;

3 对受空间限制无法使用电动扳手施拧的螺栓,可使用指针式、数字式扭矩扳手或定扭矩带响扳手施拧;

4 高强度螺栓施拧用的电动扳手应采用扭矩系数试验仪标定;定扭矩带响扳手应采用扭矩系数试验仪或力臂挂重法标定;施拧扭矩检查扳手应采用挂重法或扭矩系数仪动态比对法标定;表盘扳手采用挂重法标定;

5 高强度螺栓连接副施拧所用扭矩扳手的扭矩误差班前不得超过标定扭矩值的 3%，班后不超过标定扭矩值的 5%。

8.3.10 工地栓接连接时，初拧、复拧、终拧后的标识应符合下列规定：

终拧后的高强度螺栓必须使用与初拧、复拧不同颜色的油漆在螺母上做出明确标记，严禁漏标，并建立专项记录，标识具体做法见本标准附录 J.4.6。

8.3.11 栓焊混用连接接头高强度螺栓连接副施拧应符合下列规定：

1 栓焊混用接头中高强度螺栓的施拧，应通过理论计算、试验验证，对高强度螺栓施拧、现场焊接工艺和施工顺序等提出明确要求；

2 在既有高强度螺栓摩擦型连接接头上新增角焊缝进行加固补强时，高强度螺栓摩擦型连接和角焊缝焊接连接应分别承担加固焊接补强前的荷载和加固焊接补强后所增加的荷载；

3 当栓焊混合连接采用先栓后焊的施工工序时，应在焊接 24h 后对离焊缝 100mm 范围内的高强度螺栓补拧，补拧扭矩应为施工终拧扭矩值；

4 为降低钢桥面板焊接时引发纵、横梁腹板上高强度螺栓承受的附加力，栓焊混用接头的施工顺序宜在高强度螺栓初拧后进行翼缘的焊接，然后再进行高强度螺栓终拧，各施工工序应符合相关要求。

8.4 高强度环槽铆接

8.4.1 高强度环槽铆钉连接副的安装铆接工艺应符合本标准附录 K 的规定。

8.4.2 高强度环槽铆钉连接副应由一个环槽铆钉和一个套环配套组合使用，且配套使用的连接副应由同一生产厂制造，进场时

应按本标准附录 A 规定复验。

8.4.3 高强度环槽铆钉连接副的进场、存放、保管、领取和使用等环节的要求应符合本标准第 8.3 节相关规定。套环存储的环境温度宜不超过 50℃。

8.4.4 铆钉的连接施工环境应符合下列规定：

1 当环境温度低于 -10℃ 或摩擦面潮湿，或暴露于雨雪中时，不得进行高强度环槽铆钉连接副的安装和铆接施工；

2 高强度环槽铆钉连接副受火焰作用时，应采取隔热或降温措施予以保护。

8.4.5 工地铆钉连接时，构件摩擦面的抗滑移系数应符合本标准第 8.3.8 条规定；铆接连接后的防腐涂装应符合本标准第 5.7 节相关规定。

8.4.6 对高强度环槽铆钉进行拆除时，应使用专用拆除工具，且不得损伤构件钢板。

9 施工监控

9.1 一般规定

9.1.1 钢结构桥梁施工应进行监控,且除应按照现行行业标准《公路桥梁施工监控技术规程》JTG/T 3650-01 规定进行监控外,还应满足本章要求。

9.1.2 钢结构桥梁施工监控应以保障施工过程结构安全、成桥结构局部及整体受力、成桥结构线形为目标。

9.1.3 钢结构桥梁施工监控应根据施工控制目标、设计文件、施工组织设计、施工技术方案及工艺流程,编制专项方案。

9.2 施工监控计算

9.2.1 钢结构桥梁施工前应在设计文件、施工组织设计基础上,针对确定的施工技术及工艺流程进行施工总体模拟控制计算。

9.2.2 钢结构桥梁结构整体受力及几何状态控制计算中应计入施工过程及其临时辅助设施的影响。

9.2.3 钢结构桥梁结构局部受力及几何状态控制计算中应计入制造、安装焊接工序、临时辅助结构或荷载作用的影响。

9.2.4 钢结构桥梁结构构件制造尺寸以及安装初始状态应以设计标准温度下的成桥几何与受力状态为目标,通过倒退分析确定。

9.3 施工现场监测

9.3.1 钢结构桥梁施工中应对施工临时辅助设施基础沉降、结

构变位及应力进行监测。

9.3.2 钢结构桥梁施工应对不同构件、同一构件结构内外以及截面竖向与横向的温度进行监测。

9.3.3 施工临时辅助结构监测点布置应根据控制目标及计算结构确定。

9.3.4 结构几何监测宜采用三维激光扫描等现代遥感测量技术。当采用现代遥感测量技术时,应对其准确性进行验证。

9.3.5 结构几何及受力监测宜采用在线监测技术。

9.4 施工反馈控制

9.4.1 钢结构桥梁施工反馈控制应包括施工监测数据分析、控制计算值与现场监测值的比较分析、施工跟踪控制计算以及施工过程调控。

9.4.2 施工控制计算值与现场监测值之间的误差应符合下列规定:

1 钢结构桥梁结构几何与受力状态控制计算值与现场监测值之间的误差限值应符合现行行业标准《公路桥梁施工监控规程》JTG/T 3650-01 表 6.3.2 规定;

2 施工临时辅助钢结构几何与受力状态控制计算值与现场监测值之间的误差限值应针对结构特点并根据施工过程结构安全及成桥几何与受力状态控制需要确定。

9.4.3 钢结构桥梁施工中应对钢结构制造、安装误差进行预测分析,并对超出允许的误差提出处治预案。

9.4.4 采用临时结构安装的钢结构拱度应计入临时结构基础沉降、结构受力变形以及温度变化等影响。

附录 A 原材料复验

A.1 检验频次

A.1.1 钢材应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一交货状态每 10 个炉(批)号抽验一组试件;探伤钢板应按每种板厚数量的 10%(至少 1 块)进行抽验。

A.1.2 制造厂首次使用的焊接材料应按相关标准进行化学成分和熔敷金属力学性能检验;同一型号焊接材料在更换厂家后,首个批号亦应进行化学成分和熔敷金属力学性能检验;用同一厂家、同一型号的焊接材料的检验频次应符合下列规定:

1 药芯焊丝、手工焊条逐批进行熔敷金属化学成分及熔敷金属力学性能检验;

2 实心气体保护焊丝逐批进行化学成分检验,每一年进行一次熔敷金属力学性能检验;

3 实心埋弧焊丝逐批进行化学成分检验;

4 埋弧焊剂逐批进行熔敷金属力学性能检验及 P、S 含量检验;

5 同一原材料和配方及同一制造工艺生产的药芯焊丝、焊条、焊剂。单一检验批质量不应超过 45t,超过时应增加检验频次。

A.1.3 圆柱头焊钉应按相同型号规格、相同生产批号组成检验批,同批最大数量应不大于 50000 套。进场数量少于上述规定时亦应视为一批。

A.1.4 高强度螺栓连接副的复验应按批进行,组批应符合下列规定:

1 同批高强度螺栓连接副应由同批高强度螺栓、螺母、垫圈组成;

2 同批高强度螺栓应由同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、长度(当螺栓长度小于或等于 100mm、长度相差小于或等于 15mm 时;或当螺栓长度大于 100mm、长度相差小于或等于 20mm 时,均可视为同一长度)、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺栓组成;

3 同批高强度螺母应由同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺母组成;

4 同批高强度垫圈应由同一性能等级、材料、炉号、规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的垫圈组成;

5 同批高强度螺栓连接副的最大数量应为 3000 套,进场数量少于 3000 套时亦应视为一批。

A.1.5 高强度环槽铆钉连接副的复验应按批进行,组批应符合下列规定:

1 同批高强度环槽铆钉连接副应由同批高强度环槽铆钉和同批套环组成;

2 高强度环槽铆钉检验批应由同一型式、同一性能等级、同一钢材牌号和炉号、同一公称直径和长度(当铆钉长度小于或等于 100mm、长度相差小于或等于 15mm 时;或当铆钉长度大于 100mm、长度相差小于或等于 20mm 时,均可作为同一长度)、相同的热处理工艺、相同表面处理工艺的环槽铆钉组成;

3 高强度套环检验批应由同一形式、同一性能等级、同一钢材牌号和炉号、同一公称直径、相同的热处理工艺、相同表面处理工艺的套环组成;

4 公称直径小于或等于 12mm 的高强度环槽铆钉连接副,检验批的数量应不大于 10000 套;公称直径大于 12mm 的高强度环槽铆钉连接副,检验批的数量应不大于 5000 套。进场数量少于上述规定时亦应视为一批。

A.1.6 涂装材料应按相同品种、相同生产批号、同批进厂(场)的组成检验批,每批抽取样品一个。检验结果中如有某项指标存在

争议时,可允许在该批涂装材料中再随机抽取一个样品,重新进行检验。

A.2 检验项目与方法

A.2.1 钢材的复验项目与方法应符合下列规定:

- 1 应检验化学成分 C、Si、Mn、P、S 等主要元素的含量;
- 2 应检验屈服强度 R_{eL} 或 R_{eH} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A 、弯曲(180°)、冲击功 KV_2 等力学性能;
- 3 对耐候钢,除应检验本条第 1、2 款所列项目外,还应检验化学成分 Cr、Ni、Cu 等元素的含量;
- 4 不锈钢还应检测 Cr、Ni 等元素含量;
- 5 有探伤要求的钢板应进行超声波检测;
- 6 对 Z 向性能钢,除应检验本条第 1、2、4 款所列项目外,尚应检验 Z 向拉伸;
- 7 检验方法应按本标准第 4.2 节中相关规定执行。

A.2.2 焊接材料的复验项目与方法应符合下列规定:

- 1 药芯焊丝应检验熔敷金属的化学成分(C、Si、Mn、P、S 等)和力学性能(屈服强度 R_{eL} 或 R_{eH} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A 、冲击功 KV_2);
- 2 实心焊丝应检验焊丝的化学成分(C、Si、Mn、P、S)和力学性能(屈服强度 R_{eL} 或 R_{eH} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A 、冲击功 KV_2);
- 3 手工焊条应检验熔敷金属的化学成分(C、Si、Mn、P、S)和力学性能(屈服强度 R_{eL} 或 R_{eH} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A 、冲击功 KV_2);
- 4 埋弧焊焊丝应检验焊丝化学成分(C、Si、Mn、P、S)等;
- 5 埋弧焊焊剂应检验焊剂化学成分(复验 P、S 元素含量)和熔敷金属的力学性能(屈服强度 R_{eL} 或 R_{eH} 、抗拉强度 R_m 、伸长

率 A 、冲击功 KV_2)；

6 对耐候钢用的焊材,除应符合上述各款的规定外,还应检验熔敷金属化学成分 Cr 、 Cu 、 Ni 等元素的含量；

7 不锈钢焊材熔敷金属的力学性能包括抗拉强度 R_m 、伸长率 A ；

8 检验方法应按本标准第 4.3 节中相关规定执行。

A.2.3 圆柱头焊钉的复验应核查质量证明书和质量检验试验资料,并按批抽检 5 套,检验表面缺陷、尺寸、机械性能和焊接性能等,检验方法应符合现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433 的规定。

A.2.4 高强度螺栓连接副的进厂复验项目与方法应符合下列规定：

1 生产厂提供的质量证明书和质量检验试验资料应齐全、完整；

2 连接副扭矩系数的检验应按批抽检 8 套,平均值和变异系数应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231 的规定；

3 楔负载试验、螺母的保证载荷、螺母硬度、垫圈硬度等应按批抽检,样本数 $n=8$,合格判定数为 $Ac=0$ ；

4 对螺栓、螺母、垫片等的尺寸、外观及表面缺陷的复验应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231 的规定；

A.2.5 高强度环槽铆钉连接副的复验项目与方法应符合下列规定：

1 生产厂提供的质量证明书和质量检验试验资料应齐全、完整；

2 对环槽铆钉和套环的尺寸、外观及表面缺陷的复验应符合现行国家标准《紧固件 检查验收》GB/T 90.1 的规定；

3 环槽铆钉和套环的硬度、环槽铆钉连接副的拉脱力和夹

紧力应按批抽取 5 套,合格判定数为 $A_c=0$,合格质量水平 $AQL=1.0$;硬度、拉脱力和夹紧力应符合现行国家标准《环槽铆钉连接副技术条件》GB/T 36993 的规定。

A.2.6 涂装材料的复验方法应符合相关标准的要求,复验内容除应审核生产厂提供的质量证明书和质量检验试验资料外,尚应包括下列项目:

1 无机硅酸锌车间底漆:不挥发物含量、锌含量、VOC 含量、表干时间;

2 富锌底漆:不挥发物中金属锌含量、耐热性(仅用于钢桥面的富锌类防锈底漆)、不挥发物含量、干燥时间、附着力、耐冲击性、VOC 含量、抗滑移系数(用于摩擦面的无机富锌涂料);

3 封闭漆:不挥发物含量、干燥时间、附着力;

4 环氧中间漆:不挥发物含量、干燥时间、弯曲性能、耐冲击性、附着力、耐磨性、VOC 含量;

5 耐候面漆:不挥发物含量、细度、基料中氟含量、基料中硅氧键含量(全漆)、干燥时间、弯曲性能、耐冲击性、耐磨性、铅笔硬度(擦伤)、附着力、VOC 含量;

6 硫化型密封胶材料使用前应逐批检验,检验项目包括密度、拉伸强度、热空气加速老化性能等,技术指标应符合设计要求,检验方法宜符合现行行业标准《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》JT/T 694 的规定。

A.3 评定规则

A.3.1 对各项复验试验结果的评定应按相应的国家现行标准进行;当订货合同对技术条件有特殊规定时,应按其规定执行。

A.3.2 钢材检验批的评定应以抽样试件试验结果为准。对钢材检验批的质量评定应按下列原则进行:

1 当试件试验结果合格时,应评定整个检验批为合格;

2 当试件试验结果不合格时,应在该检验批其余炉(批)号内再随机抽取两个炉(批)号的两组试件进行试验;

3 若两组试件试验结果均合格,则该检验批其余炉(批)号均应判定为合格;

4 若两个试验炉(批)号试件均不合格,则应对该检验批剩余的 7 个炉(批)号逐炉(批)取样进行试验,逐炉(批)评定;

5 若两个试验炉(批)号试件有一个合格另一个不合格时,应在该检验批剩余的 7 个炉(批)号中再抽取两个炉(批)号试件进行试验;如果两个试验炉(批)号试件均合格则应判定该 7 个炉(批)号合格,否则应对该检验批剩余的炉(批)号逐炉取样试验,逐炉(批)评定。

A.3.3 焊接材料、圆柱头焊钉、高强度螺栓连接副、高强度环槽铆钉连接副和涂装材料的评定应以每一批的抽样试验结果为准;当抽样试验结果合格时,应评定检验批为合格;抽样检验结果不合格时,应在该批材料中再加倍抽检样品,重新进行检验,检验结果全合格则应判定该批材料合格,检验结果不是全合格则应判定该批材料不合格。

附录 B 钢板、加工及焊缝外观缺陷的修补

B.0.1 钢板、加工及焊缝外观缺陷的修补方法应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 钢板、加工及焊缝外观缺陷修补方法

序号	缺陷种类		修补方法
1	钢板麻点等伤痕	深度 0.3mm~1mm	修磨匀顺(栓接面可不打磨)
		>1mm	补焊后修磨匀顺
2	钢材边缘局部层状裂纹(深度不超过 5mm 时)		补焊后修磨匀顺
3	焰切边缘的缺口或崩坑	≤2mm	修磨匀顺
		>2mm	磨出坡口补焊后修磨匀顺
4	弯曲加工产生的边缘裂纹	清除裂纹,补焊后修磨匀顺	
5	焊缝的咬边	≤1mm	修磨匀顺
		>1mm	补焊后修磨匀顺
6	焊缝电弧擦伤	≤0.5mm	修磨匀顺
		>0.5mm	补焊后修磨匀顺
7	焊缝表面裂纹		补焊后修磨匀顺
8	焊缝凹坑		补焊后修磨匀顺
9	焊瘤		清除后修磨匀顺
10	拆除吊具等临时连接残留痕迹	≤1mm	修磨匀顺
		>1mm	补焊后修磨匀顺
11	角焊缝焊趾不足		补焊后修磨匀顺
12	对接焊未填满		补焊后修磨匀顺

B.0.2 焊接修补前应将修补部位打磨干净,并按要求进行预热。

附录 C 钢材焊接工艺评定

C.1 一般要求

C.1.1 钢材焊接工艺评定(以下简称“评定”)应为编制焊接工艺的依据。

C.1.2 评定条件应与产品焊接条件相对应,且应采用与产品相同牌号和等级质量的钢材及焊接材料。

C.1.3 制造厂应根据钢材牌号、接头形式、焊接方法和焊接位置等制订评定方案,拟定评定指导书,并应按本标准的相关要求进行评定。

C.1.4 制造厂首次采用的钢材和焊接材料应进行评定。在同一制造厂已评定并批准的工艺,如连续生产且各项生产条件没有变化,质量可控,5年内可不再评定,遇有下列情况之一者,应重新进行评定:

1 钢材牌号、交货状态改变。对已经评定合格的同一强度级别钢材,允许用冲击韧性标准高的代替低的;对已评定合格的 Q370 及以下级别钢材,允许代替比其强度低的钢材,屈服强度高于 Q370 级钢材的评定,强度级别不能互相代替;

2 焊接材料改变;

3 焊接方法或焊接位置改变;

4 衬垫材质改变;

5 焊接电流、焊接电压和焊接速度改变超过 $\pm 10\%$;

6 坡口形状和尺寸改变(坡口角度减少 10° 以上,熔透焊缝钝边增大 2mm 以上,无衬垫的根部间隙变化 2mm 以上,有衬垫的根部间隙变化超过 -2mm 或 $+6\text{mm}$,当评定了最大间隙和最

小间隙时,在已评定的最大间隙和最小间隙之间的无需再评定,最大间隙的焊评,间隙覆盖范围不再加大);

- 7 预热温度低于规定的下限温度 20℃ 时;
- 8 增加或取消焊后热处理时;
- 9 电流种类和极性改变;
- 10 加入或取消填充金属;
- 11 母材焊接部位涂车间防锈底漆而焊接时又不进行打磨的。

C.1.5 评定应包括对接接头试验、熔透角接试验和 T 形接头试验。

C.2 试板

C.2.1 对接接头、全熔透或部分熔透 T 形接头试板代表的焊接板厚范围应符合表 C.2.1 的规定。

表 C.2.1 对接接头、全熔透或部分熔透 T 形接头试板代表板厚范围 (mm)

序号	试板厚度	板厚	备注
1	$t \leq 16$	$0.5t \leq \delta \leq 1.5t$	δ —产品板厚 t —试板板厚
2	$16 < t \leq 25$	$0.75t \leq \delta \leq 1.5t$	
3	$25 < t \leq 100$	$0.75t \leq \delta \leq 1.3t$	

注:①当需要保证熔透角焊缝冲击试样的取样长度时,翼缘板厚度应大于或等于 28mm,当本项目无 $\geq 28\text{mm}$ 厚板时可不进行冲击试验;

②全熔透或部分熔透 T 形接头试板的板厚指腹板厚度。

C.2.2 评定合格的管材接头,壁厚的覆盖范围应符合表 C.2.1 条的规定,直径的覆盖原则应符合下列规定:

- 1 外径小于 600mm 的管材,其直径覆盖范围不应小于工艺评定试验管材的外径;
- 2 外径不小于 600mm 的管材,其直径覆盖范围不应小于 600mm;
- 3 板材对接与外径不小于 600mm 的相应位置管材对接的

焊接工艺评定可互相替代。

C.2.3 除全熔透或部分熔透外的 T 形接头,应根据焊脚尺寸选择腹板和翼缘板组合作为试板,试板板厚应符合表 C.2.3 的规定。

表 C.2.3 T 形接头试板厚度(mm)

序号	焊脚尺寸	试板厚度	
		腹板	翼缘板
1	6.5×6.5	8~12	8~16
2	8×8	10~16	10~24
3	10×10	14~24	14~40
4	12×12	>20	>20

C.2.4 试板长度应根据样坯尺寸、数量(含附加试样数量)等因素予以综合考虑,自动焊不宜小于 600mm,焊条电弧焊、CO₂ 气体(或混合气体)保护焊不得小于 400mm。宽度应根据板厚、试样尺寸和无损检测要求确定。

C.2.5 试板的制造应与产品的制造要求一致。

C.3 检验及试验

C.3.1 焊缝的外观质量应符合本标准第 5.4.3 第 1 条的规定。

C.3.2 焊缝应全长进行超声波检测,对接焊缝、全熔透 T 形角焊缝的检测等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345 中 B 级的规定,验收等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》GB/T 29712 中 2 级的规定。部分熔透 T 形角焊缝的检测等级应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345 中 B 级的规定,验收等级应符合《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》GB/T 29712 中 3 级的规定。

C.3.3 样坯的截取位置应根据焊缝外形及无损检测结果,在试板的有效利用长度内作适当分布。试样加工前可对样坯进行冷矫正。

C.3.4 力学性能的试验项目、试样数量及试验方法应符合表 C.3.4 的规定。

表 C.3.4 力学性能试验项目、试样数量和试验方法

序号	试件形式	试验项目	试样数量(个)	试验方法
1	对接接头试件	接头拉伸(拉板)试验	1	按 GB/T 2650、 GB/T 2651、 GB/T 2652、 GB/T 2653、 GB/T 2654 的规定
		焊缝金属拉伸试验	1	
		接头侧弯试验	1	
		低温冲击试验	6	
		接头硬度试验	1	
2	熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	按 GB/T 2650、 GB/T 2651、 GB/T 2652、 GB/T 2653、 GB/T 2654 的规定
		低温冲击试验	6	
		接头硬度试验	1	
3	部分熔透角接试件 T 形接头试件	焊缝金属拉伸试验	1	
		接头硬度试验	1	

注:①对接接头侧弯试验,弯曲角度 $\alpha=180^\circ$ 。当试板板厚为 10mm 及以下时,可用正、反弯各一个代替侧弯;

②对接接头及熔透角接低温冲击试验缺口开在焊缝中心及熔合线外 1mm 处各 3 个;如果对接接头为异种材质组合,应在熔合线外 1mm 分别取样;

③板厚小于 12mm 的对接焊缝、焊缝有效厚度小于或等于 8mm 的角焊缝可不进行焊缝金属拉伸试验;

④当角接头盖板为复合钢板,低合金结构钢腹板与不锈钢面焊接时,则熔透角焊缝可不进行冲击试验。

C.3.5 力学性能试验评定应符合下列规定:

1 当拉伸试验结果(屈服强度、抗拉强度及伸长率)均不低于母材标准值时,判为合格;当试验结果低于母材标准值,允许从同一试件上再取一个试样重新试验,若重新试验的结果不低于母

材标准值,则仍可判为合格,否则判为不合格。异种母材接头拉伸试验以低强度母材为标准;

2 接头侧弯试验结束后,若试样受拉面上的裂纹总长度不大于试样宽度的 15%,且单个裂纹长度不大于 3mm 时,判为合格;当试验结果未满足上述要求时,允许从同一试件上再取一个试样重新试验,若重新试验的结果满足上述要求,则仍可判为合格,否则判为不合格;

3 焊接接头冲击试验的每一组(3 个)试样试验结果的平均值不低于规定值,且任一试验结果不低于 0.7 倍的规定值,判为合格;当试验结果未满足上述要求,允许从同一试件上再取一组(3 个)附加试样重新试验,若总计 6 个试验结果的平均值不低于规定值,且低于规定的试验结果不多于 3 个(其中,不得有 2 个以上的试验结果低于 0.7 倍的规定值,也不得有任一试验结果低于 0.5 倍的规定值),则仍可判为合格,否则判为不合格。焊接接头的冲击功规定值见表 C.3.5;

4 焊接接头的硬度值不大于 380HV10 时,判为合格,否则判为不合格;

5 力学性能试验结束后,当发现试样断口上有超标的缺陷时,查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

表 C.3.5 焊接接头的冲击功规定值

钢材牌号	Q355			Q345q			Q390			Q370q			Q420			Q420q			Q500			Q500q		
质量等级	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E
试验温度(℃)	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40
对接焊缝和 熔透角焊缝	34J			41J			47J			54J														

注:①试验温度可按照设计规定;

②板厚小于或等于 20mm 的薄钢板接头冲击功规定值为 27J。

C.3.6 每一评定应做一次宏观断面酸蚀试验(管 T、K、Y 形相贯

角接接头试件的宏观酸蚀试样应在接头的趾部、侧面及跟部各取一件),试验方法应符合现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226 的规定;单道焊缝的成型系数应为 1.3~2.0。

C.3.7 不同钢材牌号焊接接头的拉伸、冲击、弯曲等力学性能应按性能要求较低的钢材牌号进行评定。

C.4 焊接工艺评定报告

C.4.1 焊接工艺评定报告应包括下列内容:

- 1 母材和焊接材料的牌(型)号、规格、化学成分和力学性能等;
- 2 试板图;
- 3 试件的焊接条件及施焊工艺参数;
- 4 焊缝外观及无损检测检验结果;
- 5 力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果;
- 6 评定结论。

附录 D 圆柱头焊钉焊接工艺评定

D.1 一般要求

D.1.1 试验用焊接圆柱头焊钉的钢材牌号应与产品钢板相同,且应按较厚板选用。

D.1.2 圆柱头焊钉、瓷环应符合现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433 的规定。

D.1.3 试验用焊接设备应与生产用焊接设备相同;采用不同焊接方法焊接的焊钉应分别评定。遇有下列情况之一者,应重新进行评定:

- 1 Q370 级以上的钢材牌号改变;
- 2 在复合钢板不锈钢复层侧焊接焊钉时,不锈钢复层材质改变;
- 3 焊钉直径或焊钉端头镶嵌(或喷涂)稳弧脱氧剂的改变;
- 4 焊机与配套焊枪形式、型号与规格的改变;
- 5 瓷环材料与规格的改变;
- 6 焊接电流变化超过 $\pm 10\%$;焊接时间为 1s 以上时变化超过 0.2s,或焊接时间为 1s 以下时变化超过 0.1s;
- 7 焊钉伸出长度和提升高度的变化分别超过 1mm;
- 8 焊钉焊接位置偏离平焊位置 15° 以上的变化,或立焊、仰焊位置的改变。

D.2 试验与检验

D.2.1 试验时应记录施焊参数。

D.2.2 圆柱头焊钉焊缝的外观质量应符合本标准第 5.4.3 条第 2 款规定。弯曲与拉伸检验应符合现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433 的规定。

D.2.3 圆柱头焊钉评定试验的试件数量应为 6 个,一组 3 个进行 30°弯曲检验;另一组 3 个进行拉伸检验。

D.3 弯曲与拉伸检验

D.3.1 弯曲试验宜采用手锤敲击(或使用套管压弯)圆柱头焊钉的方法,弯曲角度应为 30°。当焊钉焊脚未出现肉眼可见裂缝时,该焊钉焊缝应判为合格,否则应判为不合格。弯曲试验的 3 个焊钉全部合格,则该组弯曲评定试验应判为合格,若出现 2 个不合格,该组弯曲评定试验应判为不合格。若出现 1 个不合格,应加倍补做,加倍补做的试验全部合格后,该组弯曲评定试验应判为合格。

D.3.2 焊钉焊接头拉伸时,当拉伸试样的抗拉荷载大于或等于焊钉焊接端力学性能规定的最小抗拉荷载时,则无论断裂发生在何处,且拉力荷载满足现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433 的规定,焊钉焊缝应判为合格,否则应判为不合格。当 5 个焊钉焊缝全部合格时,则该组拉伸评定试验应判为合格;若拉伸试验出现 2 个不合格,该组拉伸评定试验应判为不合格;若出现 1 个不合格,应加倍补做试验,加倍补做的试验全部合格后,该组拉伸评定试验应判为合格。

D.4 焊接工艺评定报告

D.4.1 焊接工艺评定报告应包括下列内容:

- 1 钢板、焊钉的规格、化学成分和力学性能;
- 2 试件的焊接条件及施焊工艺参数;

- 3 焊缝外观检验结果；
- 4 焊钉弯曲试验结果；
- 5 焊钉拉伸试验结果；
- 6 评定结论。

附录 E 焊接接头超声检测方法 & 质量分级

E.0.1 对接焊缝、全熔透角焊缝的距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定,应符合下列规定:

- 1 应以直径 3mm 横孔作为基准反射体,制造距离—波幅曲线;
- 2 扫查灵敏度应不低于评定线灵敏度,此时在检测范围内最大声程处的评定线高度应不低于满屏的 20%;
- 3 对超声检测确定为裂纹、未熔合、未焊透(对接焊缝)等危害性缺陷者,应判为不合格;
- 4 缺陷指示长度小于 8mm 时应按 4mm 计,并应对累加后允许的不连续进行记录;
- 5 不同板厚的焊缝质量验收等级应符合图 E.0.1-1、图 E.0.1-2 的规定:

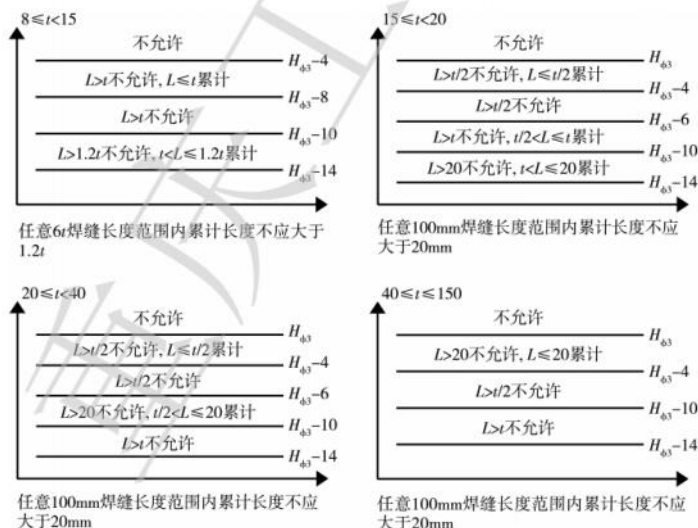
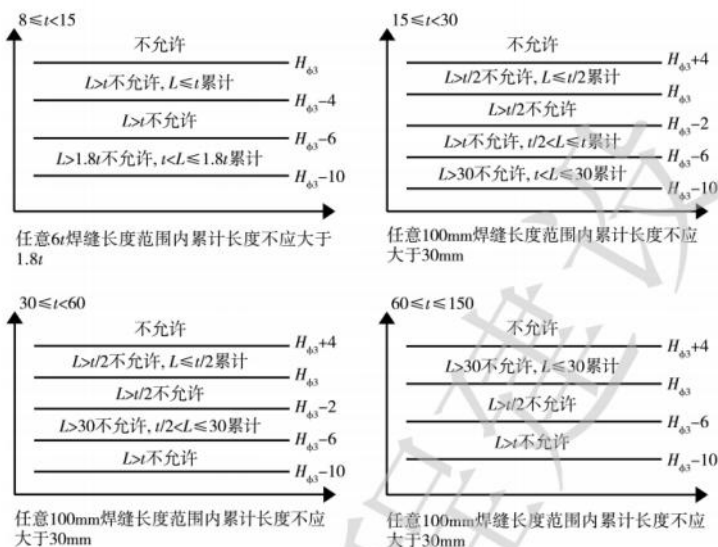


图 E.0.1-1 验收等级 2 级 (尺寸单位: mm)



注: L 为单个不连续的指示长度, t 为坡口加工侧母材板厚(不等厚对接焊缝以薄板计, 管座角焊缝为焊缝截面中心线高度)。

图 E.0.1-2 验收等级 3 级(尺寸单位:mm)

E.0.2 主要角焊缝的距离一波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合下列规定:

1 对超声检测确定为裂纹、未熔合等危害性缺陷者, 应判为不合格;

2 缺陷指示长度小于 10mm 时应按 5mm 计, 并应对累加后允许的不连续进行记录;

3 对部分熔透角焊缝, 焊缝内部质量可按本标准第 E.0.1 条的验收等级 3 级执行。

E.0.3 焊接接头超声检测方法、质量分级、缺陷评判和验收等除应符合本标准的规定外, 尚应符合现行国家标准《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345、《焊缝无损检测 超声检测 焊缝内部不连续的特征》GB/T 29711 和《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》GB/T 29712 的规定。

附录 F 焊接接头射线检测质量评定

F.0.1 对射线探伤检测的结果进行质量评定时,焊接接头内应无裂纹、未熔合、未焊透、缩孔、弧坑缩孔、铜夹杂等严重缺陷,否则应不予评定。

F.0.2 焊接接头射线检测的质量评定应包括圆形缺陷评定、条形缺陷评定和综合评定,并应符合表 F.0.2 的规定。

表 F.0.2 气孔、夹渣、夹杂缺陷的评定

序号	缺陷类型	验收等级 2 级	验收等级 1 级
1	均布气孔、球形气孔,单层	$A \leq 1.5\%$ $d \leq 0.3s$,最大 4mm $L = 100\text{mm}$	$A \leq 1\%$ $d \leq 0.2s$,最大 3mm $L = 100\text{mm}$
2	均布气孔、球形气孔,多层	$A \leq 3\%$ $d \leq 0.3s$,最大 4mm $L = 100\text{mm}$	$A \leq 2\%$ $d \leq 0.2s$,最大 3mm $L = 100\text{mm}$
3	局部密集气孔	$dA \leq WP$,最大 20mm $d \leq 0.3s$,最大 4mm, $L = 100\text{mm}$	$dA \leq WP/2$,最大 15mm $d \leq 0.2s$,最大 3mm, $L = 100\text{mm}$
4	链状气孔	$l \leq s$,最大 50mm $d \leq 0.3s$,最大 3mm $L = 100\text{mm}$	$l \leq s$,最大 25mm $d \leq 0.2s$,最大 2mm $L = 100\text{mm}$
5	条形气孔、虫形气孔	$h < 0.3s$,最大 3mm $\sum l \leq s$,最大 50mm $L = 100\text{mm}$	$h < 0.2s$,最大 2mm $\sum l \leq s$,最大 25mm $L = 100\text{mm}$
6	夹渣、焊剂夹渣、氧化物夹杂	$h < 0.3s$,最大 3mm $\sum l \leq s$,最大 50mm $L = 100\text{mm}$	$h < 0.2s$,最大 2mm $\sum l \leq s$,最大 25mm $L = 100\text{mm}$

续表F.0.2

序号	缺陷类型	验收等级 2 级	验收等级 1 级
7	金属夹杂 (不包括铜)	$l < 0.3s$, 最大 3mm	$l < 0.2s$, 最大 2mm

注:①A—显示投影面积总和在 $L \times WP$ 区域中百分比, d —气孔直径, dA —气孔包络区域直径, h —显示的宽度, L —焊缝任意 100mm 检测长度, l —显示的长度, s —对接焊缝公称厚度, WP —焊缝宽度, Σl —在 L 范围内缺陷总长度;

②如果单条焊缝长度小于 100mm,则显示的最大长度应不超过整条焊缝长度的 25%;

③如果任意相邻缺陷的间距小于或等于其中较小缺陷的主要尺寸,则应被视为一个缺陷;

④显示不应被划分到不同的 L 中。

F.0.3 对评定不合格的缺陷,可进行返修。返修后,对返修部位及补焊受影响的区域,应按原检测条件进行复验,复探部位的缺陷应按本附录的规定重新评定。

F.0.4 焊接接头射线检测方法和检测结果分级除应符合本标准的规定外,尚应符合现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测 第一部分:X 和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1 和《焊缝无损检测 射线检测 验收等级 第一部分:钢、镍、钛及其合金》GB/T 37910.1 的规定。

附录 G 摩擦面抗滑移系数试验方法

G.0.1 本方法适用于采用高强度螺栓连接的摩擦面抗滑移系数试验,采用高强度环槽铆钉连接的摩擦面抗滑移系数试验可按此执行。

G.0.2 基本要求应符合下列规定:

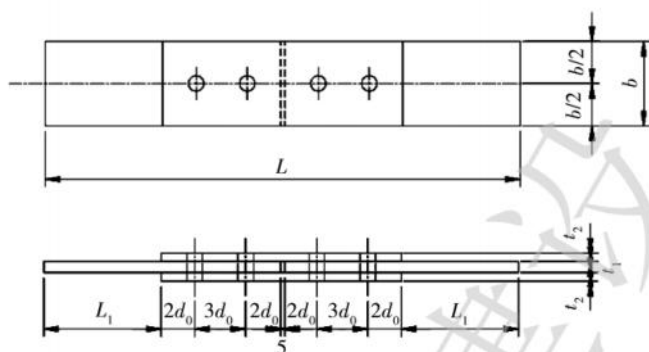
1 制造厂和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。抗滑移试件的组批应符合表 G.0.2 的规定;

表 G.0.2 抗滑移试件组批要求

序号	结构型式	组批数量	备注
1	散拼钢桁梁、钢板梁	5 万套高强度螺栓为 1 批,不足 5 万套高强度螺栓时视为 1 批	构件间连接为栓接
2	以节段为安装单元的钢桁梁、钢塔	4 万套高强度螺栓为 1 批,不足 4 万套高强度螺栓时视为 1 批	节段内杆件间连接为焊接,而节段间连接为栓接
3	以节段为安装单元的钢箱梁	3 万套高强度螺栓为 1 批,不足 3 万套高强度螺栓时视为 1 批	桥面板纵向加劲肋间连接为栓接
4	钢锚梁、钢锚箱	每个塔柱为 1 批	

2 每一批应制作 6 组试件,其中 3 组用于出厂试验,3 组用于工地复验。设计文件对抗滑移系数试件的数量及规格有要求时,应符合其规定;

3 抗滑移系数试验应采用双摩擦面的两栓拼接的拉力试件,试件的加工制作应符合图 G.0.2 的规定。



注:图中 $2t_2 \geq t_1$ 。

图 G.0.2 抗滑移系数拼接试件的形式和尺寸(尺寸单位:mm)

G.0.3 试验方法应符合下列规定:

- 1 试验用的试验机误差应在 1% 以内;
- 2 试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前采用试验机进行标定,其误差应在 2% 以内;
- 3 测定抗滑移系数的试件应由钢结构制造厂加工,试件与所代表的钢结构应为同一牌号、同批制作、同一摩擦面处理工艺,使用同一性能等级和同一直径的高强度螺栓连接副,并在相同条件下运输、存放。试件的摩擦面在运输和存放过程中不得有损伤;
- 4 试件的钢板应在钢结构所用的钢板中选取,试板厚度应根据结构钢板种类和摩擦试验可操作性综合选定。在无特殊要求的情况下,试板厚度可在 $t_{10} \sim t_{20}$ 之间选用。同时试板在摩擦面滑移之前不得出现塑性变形;试件的宽度 b 应按表 G.0.3 确定;

表 G.0.3 试件宽度

螺栓直径 d (mm)	16	20	22	24
板宽 b (mm)	100	100	105	110

- 5 试件加工应符合图 G.0.2 的规定;
- 6 试件板面应平整,无油污、孔和板的边缘无飞边、毛刺;

7 应按图 G.0.2 进行试件组装,先打入冲钉定位,然后逐个换成贴有电阻应变片的高强度螺栓(或用压力传感器),拧紧高强度螺栓的预应力达到 $(0.95 \sim 1.05)P$ (P 为高强度螺栓设计预拉力);

8 将试件装在试验机上,应使试件的轴线与试验机夹具中心线严格对中;

9 在试验中发生以下情况之一时,应认为达到滑动荷载:

- 1) 试验机发生回针现象;
- 2) X-Y 记录仪中变形发生突变;
- 3) 试件侧面画线发生错动。

G.0.4 抗滑移系数 μ 应按公式(G.0.4)计算,取两位有效数字:

$$\mu = \frac{N}{n_f \sum P_t} \quad (\text{G.0.4})$$

式中: N ——由试验机测得的滑动荷载(kN,取 3 位有效数字);

N_f ——摩擦面面数,取 $n_f = 2$;

P_t ——高强螺栓预拉力实测值(kN);

$\sum P_t$ ——与试件滑动荷载对应一侧的高强度螺栓预拉力实测值之和(kN,取 3 位有效数字)。

G.0.5 每批 3 组试件的摩擦面抗滑移系数最小值应不小于设计规定值。

附录 H U 形肋全熔透焊缝检测及验收

H.0.1 本验收规则适用于采用 U 形肋全熔透焊缝的检测及验收。

H.0.2 焊缝的外观检验

采用 U 形肋全熔透焊缝的板单元施焊后应全部进行外观检验,外侧焊缝全长进行目视检验,内侧焊缝两端各 1000mm 范围,对断丝、熄弧等可疑部位应采用内窥镜等摄像设备辅助检查;外观检验的质量要求应符合本标准表 5.4.9 条第 1 款规定。

H.0.3 焊缝磁粉检验

焊缝外观检查合格后应进行磁粉检测,检测范围为板单元 U 形肋外侧焊缝两端各 1000mm,内侧焊缝两端各 200mm。检测方法应符合现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951 的规定。焊缝验收应满足现行国家标准《焊缝无损检测 磁粉检测 验收等级》GB/T 26952 中 2X 级的规定。

H.0.4 焊缝超声波检验

1 首批制造的前 5 块板单元应对 U 肋焊缝全长 100% 进行检测,批量制造的板单元采用抽查检测,每块板单元抽查焊缝数量不少于 1 条,抽检焊缝条数应占全部焊缝条数的比例不少于 20%。检测范围为焊缝两端各 1m,焊缝中间若出现断弧,应增加对断弧两侧各 500mm 范围进行检测;

2 焊缝验收质量等级、检测等级、验收等级应符合表 H.0.3 的规定;

表 H.0.3 U 形肋焊缝超声波检测等级

名称	质量等级	检测等级	验收等级
标准要求	GB/T 19418 B 级	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级

- 1) 每块板单元 U 肋全熔透角焊缝无损检验一次合格率应 $\geq 96\%$,若未满足上述要求,则应对焊接工艺进行改进,改进后焊接的前 5 块板单元焊缝全长超声检测满足要求后,方可批量生产;
- 2) 焊缝最大单个缺欠指示长度应不大于 100mm,相邻两缺欠间距小于 8mm 时,两缺欠指示长度及间距之和作为单个缺欠的长度;
- 3) 焊缝每 1m 范围内不连续缺欠总长不超过 200mm,1m 范围内如发现不连续缺欠总长超过 200mm,应扩大一倍长度检测,如仍有超标缺欠则焊缝全长检测;
- 4) U 肋两端 200mm 范围内应 100%全熔透。

H.0.5 焊缝返修

1 每块板单元 U 肋全熔透焊缝无损检验一次合格率应 $\geq 96\%$,同时为减少返修对结构带来的二次损伤,焊缝返修率不宜超过 1%;

2 当 U 肋焊缝内的深埋缺欠,单个缺欠指示长度不大于 100mm、每延米焊缝缺欠总指示长度不大于 200mm,且焊缝外侧熔深不小于 U 肋板厚的 75%时,可不返修,否则应返修;

3 非连续性的气孔、夹渣等,可不计入缺欠,不作返修处理。

附录 J 高强度螺栓安装施拧工艺细则

J.1 一般要求

J.1.1 高强度螺栓连接副的紧固宜采用扭矩法施工；检查和验收可采用“松扣回扣法”，当试验数据足够且准确时，也可采用“紧扣法”，宜优先采用“紧扣法”。

J.1.2 每套高强度螺栓连接副应为一根螺栓、一个螺母和两个垫圈，并应配套使用。高强度螺栓连接副不得重复使用。

J.1.3 高强度螺栓的预拉力应符合设计文件要求，若无设计文件要求，则应符合表 J.1.3 的规定。

表 J.1.3 高强度螺栓预拉力(kN)

性能等级	螺栓规格	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8S	设计预拉力 P	45	80	125	150	175	230	280
	施工预拉力 P_c	50	90	140	165	195	255	310
10.9S	设计预拉力 P	55	100	155	190	225	290	355
	施工预拉力 P_c	60	110	170	210	250	320	390

J.1.4 当环境温度低于 -10°C 、摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时，不得进行高强度螺栓连接副的安装和施拧作业；雨雪后施工时，应采取措施保证栓接板面干燥。

J.1.5 高强度螺栓连接副在安装和施拧作业时，应遵守相关的安全规定。

J.2 施工准备

J.2.1 高强度螺栓连接副进场后，应按本标准附录 A 的规定进

行扭矩系数试验,试验后超过 6 个月再使用时,应重新进行扭矩系数试验,检验合格方可使用。

J.2.2 对损伤严重的栓接板面,施工前应按相应的涂装工艺重新处理。

J.2.3 对高强度螺栓连接副进行施拧前,应检查确认板缝中无任何杂物。栓接板面应保持平整、无焊接飞溅物、无油污,孔边、孔内及板边应无毛刺、飞边及油漆流挂。

J.2.4 作业者应是经培训考核合格、能熟练进行安装施拧操作的专业人员。

J.2.5 应配备足够的高强度螺栓连接副施工的工具,施拧和检查用的扳手应在施工前进行标定和校正,并应符合下列规定:

1 高强度螺栓施拧所用电动扳手应配备专用稳压电源并使用专用电源线,避免电压波动影响电动扳手输出扭矩。施拧用电动扳手和定扭矩讯响扳手应编号使用,每台电动扳手和控制器及稳压电源,应固定配套编号,不得混杂。当电压过高或过低时应停止高强度螺栓施拧,待电压稳定后方可进行施拧;

2 采用扭矩法施拧时,应对施拧扳手进行扭矩标定,标定频次为每天班前和班后各一次;

3 扳手标定方法:电动扳手和采用扭矩系数试验仪标定的定扭矩讯响扳手,用当天施拧用的 5 套同批号高强度螺栓进行标定,5 套连接副逐套在扭矩系数试验仪上先初拧,再终拧,取其扭矩平均值;

4 标定应使用与当天所施拧同规格、同批号的高强度螺栓连接副进行,该连接副应在标定环境内放置 2 小时以上,标定时尽可能使标定环境与施工现场一致;

5 从事标定工作的试验室操作人员应相对固定,且应熟悉施拧扳手和扭矩系数试验仪的操作规程并按规定操作;

6 初拧扭矩应根据试验确定,一般可取终拧扭矩值的 50%,复拧扭矩等于初拧扭矩;

7 对标定好的电动扳手应指定专人使用,在使用过程中严禁随意调节控制器的旋钮;

8 高强度螺栓连接副施拧所用的扭矩扳手班前标定值不得大于规定值的 $\pm 3\%$;班后标定不得大于规定值的 $\pm 5\%$ 。班前标定误差大于 $\pm 5\%$ 时,应立即检查并有校验记录,要求该工班对该扳手当班终拧的高强度螺栓连接副全部用检查扳手按相关规定进行检查、处理。

J.3 安 装

J.3.1 高强度螺栓连接副安装前应在节点板外侧用醒目颜色标示出不同规格的高强度螺栓的使用区域线,并分别注明规格、数量,标示线不宜侵入高强度螺栓垫圈的范围。

J.3.2 高强度螺栓连接副的安装应在构件的位置精确调整定位后进行,且螺栓、螺母和垫圈应按制造厂提供的批号配套使用。

J.3.3 安装高强度螺栓连接副时,构件连接部位的摩擦面应保持清洁、干燥。

J.3.4 安装高强度螺栓连接副时,螺栓头一侧和螺母一侧应各置一个垫圈,垫圈 A(内外倒角)安装在螺栓侧,垫圈 B(仅外倒角)安装在螺母侧。螺栓的长度应符合安装图的规定。

J.3.5 高强度螺栓安装方向应符合下列规定:

1 高强度螺栓的安装应在结构位置调整到位后再进行,螺栓穿入方向应以施拧及维修方便为准,但方向宜一致;

2 主桁节点的高强度螺栓,其螺母一律安装在节点板外侧;

3 纵梁上翼缘的螺栓,螺栓头一律朝上,其余平面及斜面上的高强度螺栓,螺母一律朝上或朝外;

4 个别部位的高强度螺栓,其螺母位置无法满足上述要求时,可由施工单位决定,但应全桥保持一致。

J.3.6 安装施工时,不得使用螺纹损伤及沾染污物的高强度螺

栓连接副；不得将高强度螺栓兼作临时螺栓使用；不得采用塞焊对螺栓孔进行焊接。

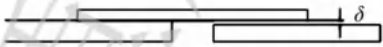
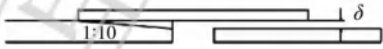
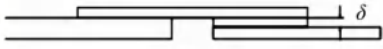
J.3.7 安装高强度螺栓时，采用标准圆孔连接的所有螺栓孔，均应采用过孔器检查，且检查结果应与工厂试拼装的过孔率要求一致。螺栓应能自由穿入螺栓孔内，不得强行将螺栓敲入。当需要对螺栓孔进行扩孔时，应经批准后方可实施；扩孔应采用绞刀完成，最大直径应小于 1.2 倍螺栓直径；扩孔前应将该螺栓孔四周的螺栓全部拧紧；对扩孔的节段及孔眼位置，均应进行记录。

J.3.8 高强度螺栓连接安装时，每个节点穿入的冲钉数量，宜由安装时其可能承受的载荷经计算确定。采用支架法安装构件时，冲钉不宜少于螺栓孔总数的 20%，螺栓不宜少于螺栓孔总数的 10%。采用悬臂拼装法安装构件时，每个节点穿入的冲钉数量不宜少于节点螺栓总数的 50%。临时螺栓的数量应能保证连接板板面与构件板面之间的密贴，且不应少于 2 个。冲钉和临时螺栓应均匀地安装。

J.3.9 对箱形构件的四面连接部位、工形构件的翼缘板连接部位，高强度螺栓连接副的安装均应使螺母朝外。

J.3.10 安装高强度螺栓连接副时，施拧部位的连接板与构件摩擦面之间不应有间隙；当出现间隙时，应测量间隙并按表 J.3.10 的规定进行处理。

表 J.3.10 摩擦面间隙处理(单位:mm)

项目	示意图	处理方法
1		$\delta < 1.0$ 时不予处理
2		$\delta = 1.0 \sim 3.0$ 时将厚板一侧磨成 1:10 的缓坡，使间隙小于 1.0。打磨后应及时喷铝处理
3		$\delta > 3.0$ 时加垫板，垫板厚度不小于 3，垫板材质和摩擦面处理方法应与构件相同

J.4 施 拧

J.4.1 高强度螺栓连接副的紧固宜分为初拧、复拧、终拧 3 个步骤,初拧扭矩应为终拧扭矩的 50%,复拧扭矩应等于初拧扭矩;对螺栓数量较少且板层不超过 3 层的节点可按初拧、终拧 2 个步骤进行。初拧、复拧、终拧应在同一工作日内完成。

J.4.2 高强度螺栓连接副的施拧时,对于四周不受约束的节点,则应从节点螺栓群的中心沿杆件向四周辐射的顺序依次拧紧;对腹杆采用插入式拼装的节点,应从节点中刚度大的部位向不受约束的边缘进行。

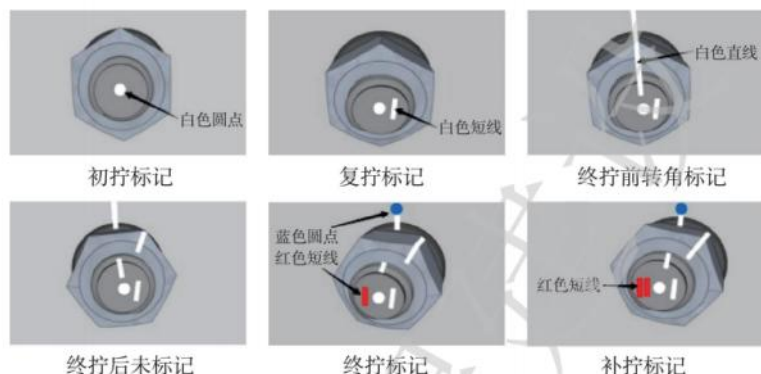
J.4.3 施拧时,应通过螺母施加扭矩,并对螺栓头进行卡油,防止螺栓跟转。施力应连续、平稳,螺杆和垫圈不得随螺母一起转动;当有转动时,应更换螺栓重新施拧。

J.4.4 以高强度螺栓替换冲钉和临时普通螺栓时,应在已安装的高强度螺栓连接副经初拧后进行,且替换的顺序应为:先将临时普通螺栓替换为高强度螺栓并初拧,再将冲钉替换成高强度螺栓并初拧。

J.4.5 高强度螺栓初拧或复拧后,应从螺栓头部沿螺母棱角、垫片、栓接面画出转角标识线,终拧应经初拧或复拧检查合格后方可进行。

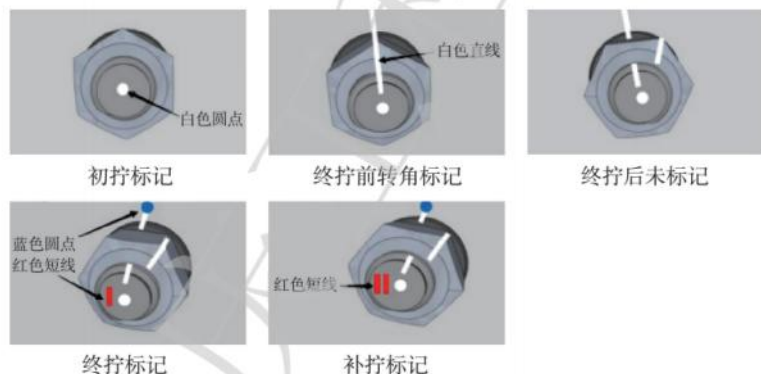
J.4.6 高强度螺栓终拧后,应根据初拧标记线的变化情况进行自检。螺栓头一侧的初拧标记线不应发生相对变动,如有变动,应更换连接副;另一侧的螺母应按拧紧转向相对于螺栓及垫圈发生转动,但垫圈和连接板不应发生相对变动(如变动需更换),如果螺母的初拧标记线未发生转动或相对于其他螺栓初拧标记线的变化情况有较大的转动,则该螺栓在终拧时漏拧或出现异常,应补拧或更换。终拧自检合格后,应做出终拧标记;专检合格后应采用不同的颜色作出标记。当有复拧及补拧时,则应按复拧、

终拧、专拧及补拧的顺序进行标记。高强度螺栓的施拧标记方法如图 J. 4. 6-1、图 J. 4. 6-2 所示, 图中蓝色圆点为专检合格后的标记。



注: 图中蓝色圆点为专检合格后标记

图 J. 4. 6-1 初拧、复拧、终拧三个步骤螺栓紧固施拧标记方法示意



注: 图中蓝色圆点为专检合格后标记

图 J. 4. 6-2 初拧、终拧两个步骤螺栓紧固施拧标记方法示意

J. 4. 7 每批高强度螺栓的终拧扭矩应按公式(J. 4. 7)计算确定。当扭矩系数值有变化时, 应以现场扳手标定的扭矩系数为准。

$$T_c = K \cdot D \cdot P_c \quad (\text{J. 4. 7})$$

式中: T_c ——终拧扭矩(N·m);

K ——扭矩系数平均值, 由测试试验确定;

D ——螺栓公称直径(mm);

P_c ——施工预拉力(kN),见表 J.1.3。

J.4.8 终拧时应应对每把施拧扳手的使用情况进行记录。

J.5 质量检查

J.5.1 对高强度螺栓施拧施工质量的检查应按自检、专检、监理工程师检查的程序进行。专检应由专职质量检查人员进行。

J.5.2 对初拧扭矩的检查应为每个栓群和节点高强度螺栓数量的 100%;终拧扭矩应抽检总数的 5%,且对主桁节点、板梁和箱梁主体以及纵横梁连接处应不少于 2 套,其余节点应不少于 1 套。

J.5.3 高强度螺栓连接副的编号原则,宜以节点为单位,按接头位置、栓接面和螺栓孔位置分类,具体孔位宜从 1 开始以自然数字的顺序由节点中心向外流水编号。

J.5.4 高强度螺栓连接副的初拧质量检查应符合下列规定:

1 初拧后的全部高强度螺栓连接副应采用敲击法逐个进行检查;

2 采用质量约 0.3kg 的小铁锤,敲击螺母对边的一侧,用手指紧按住螺母对边的另一侧进行检查,颤动较大者即认为不合格,应予复拧。对复拧质量的检查应与初拧质量检查的要求一致。

J.5.5 高强度螺栓连接副的终拧质量检查应符合下列规定:

1 对终拧后的全部高强度螺栓连接副,应逐个检查初拧或复拧时所做的油漆标记是否发生错动,以此判断终拧时有无漏拧;

2 高强度螺栓连接副终拧到位后,外露的丝扣数不得少于 2 个;

3 终拧扭矩检查应在螺栓终拧 1h 之后、24h 以内完成;

4 对每栓群或节点进行检查的螺栓,其不合格率不得超过抽检总数的 20%;超过时,应继续抽检,直至累计合格率达到 80%为止;

5 对欠拧或漏拧的螺栓应进行补拧,补拧时不得使用电动扳手二次施拧,应使用检查扳手直接将其施拧到终拧值;对超拧或垫圈转动的螺栓应进行更换,更换后应使用检查扳手直接将其施拧到终拧值,并应在螺栓处做出标记;

6 检查终拧扭矩时宜采用“紧扣法”。检查终拧扭矩,应在检查前通过试验确定紧扣检查扭矩;且在测定紧扣检查扭矩时,应确认高强度螺栓预拉力的误差在设计预拉力的2%范围内。检查时,测得螺母与螺栓发生微小相对转角时的扭矩值在0.9~1.1倍紧扣检查扭矩范围内时,应判定为合格;

7 采用“松扣回扣法”检查终拧扭矩时,应先在被检的螺栓与螺母上划出标记线,然后将螺母拧松退回0°,再采用检查扳手将螺母重新拧至原来位置使所划标记线重合,测定并记录此时的扭矩值,该扭矩值在 $(0.9 \sim 1.1) T_{ch}$ 范围内时判定为合格。 T_{ch} 为检验扭矩,应按公式(J.5.5)计算确定:

$$T_{ch} = K \cdot D \cdot P \quad (J.5.5)$$

式中: T_{ch} ——检验扭矩(N·m);

K ——测定的扭矩系数;

D ——螺栓公称直径(mm);

P ——设计预拉力(kN),见表J.1.3。

8 高强度螺栓连接副终拧扭矩检查合格后,应在栓群边的适当位置标识检查人员和日期信息,并应及时进行高强度螺栓处的腻缝封闭和涂装。

附录 K 高强度环槽铆钉安装铆接工艺细则

K.1 一般要求

K.1.1 每套高强度环槽铆钉连接副应为一根铆钉和一个套环，并应配套使用。

K.1.2 当环境温度低于 -10°C 、摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时，不得进行铆钉的安装和铆接作业；雨雪后施工时，应保证铆接板面干燥。

K.1.3 高强度环槽铆钉连接副在安装和铆接作业时，应遵守相关的安全作业规定。

K.1.4 高强度环槽铆钉的预拉力值应符合表 J.1.3 的规定。

K.2 施工准备

K.2.1 对损伤严重的连接板面，施工前应按相应的涂装工艺重新处理。

K.2.2 对高强度环槽铆钉进行铆接前，应检查确认板缝中无任何杂物。

K.2.3 作业人员应经培训考核合格，并应熟练掌握高强度环槽铆钉施工的要点、程序及注意事项。

K.2.4 高强度环槽铆钉施工应配备足够的专用工具，并应符合下列规定：

1 铆枪卡爪瓣型上应无异物，铁砧内表面应无污物、裂纹和划痕等缺陷；

2 铆枪与液压油泵应连接完好，系统开机自检时应无报警。

K.2.5 铆接用的铆枪及液压设备应在施工前进行配套标定和校正,标定应在轴力计上进行,轴力计的测定误差应不大于测定值的 2%,最小示值应小于 1kN。



图 K.2.5-1 铆枪

液压泵站主要由液压泵、电控装置、工控机、液压阀组、移动装置和快换接头等组成,可以精确控制铆接枪的工作压力,如图 K.2.5-2 所示。

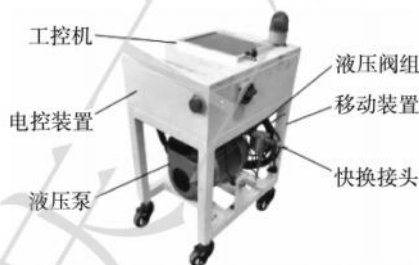


图 K.2.5-2 液压泵站

K.3 安 装

K.3.1 高强度环槽铆钉连接副的安装应在构件的位置调整准确后进行,且铆钉和套环应按生产厂提供的批号配套使用。

K.3.2 安装高强度环槽铆钉连接副时,构件连接部位的摩擦面应保持清洁、干燥,构件连接处的钢板表面应平整、无焊接飞溅、

无毛刺。

K.3.3 高强度环槽铆钉连接副安装时,铆钉的穿入方向宜以方便铆接为准,且方向一致。

K.3.4 环槽铆钉在安装时应能自由穿入钉孔内,不得强行敲入;对不能自由穿入铆钉的钉孔,应在经批准后采用铰刀进行扩孔,严禁采用气割方法扩孔。扩孔前应将该孔的四周采用临时螺栓紧固,使板层密贴,并应防止钢屑或其他杂物掉入板层缝隙中。扩孔修整后,孔的最大直径应不大于 1.2 倍铆钉直径,且扩孔的数量应不超过该节点连接孔数量的 25%。对扩孔的构件节段及孔眼位置,均应进行记录。

K.3.5 安装施工时,每个节点应穿入足够数量的冲钉和临时螺栓,并不得采用塞焊对连接孔进行焊接。

K.3.6 高强度环槽铆钉不得作为定位使用。

K.3.7 高强度环槽铆钉连接副安装时,每个节点上穿入的临时螺栓和冲钉的数量,宜由节点处可能承担的荷载经计算确定,并不得少于节点高强度环槽铆钉总数的 1/3,且临时螺栓数不得少于 2 个,冲钉数量不宜多于临时螺栓数量的 30%。

K.3.8 采用悬臂法架设安装构件时,冲钉的用量宜按受力计算确定,并不得少于钉孔总数的 50%,其余钉孔宜使用高强度环槽铆钉连接副;采用顶推法施工时,应先对连接节点采用高强度环槽铆钉连接副进行铆接,并经检验合格后方可进行顶推作业。

K.3.9 安装高强度环槽铆钉连接副时,宜先将临时螺栓做一般拧紧至板层密贴,对板厚公差、制造偏差或安装偏差等产生的摩擦面间隙,应按表 J.3.8 的规定进行处理。

K.4 铆 接

K.4.1 高强度环槽铆钉连接副在铆接施工时,应按一定顺序,从板束刚度小、缝隙小之处开始,对大面积节点板应从中间部分向

四周的边缘进行铆接。

K. 4. 2 短尾型高强度环槽铆钉的铆接工艺应按下列步骤进行：

1 先将短尾型高强度环槽铆钉穿过连接板层,再将套环从铆钉的尾部旋入拧紧；

2 将短尾型高强度环槽铆钉的尾牙插入铆枪的卡爪内,准备铆接；

3 按下铆枪的启动按钮,使铆枪的卡爪带动铆钉向上运动,对铆钉施加拉紧力；同时在铆枪铁砧的作用下,使套环产生塑性变形；

4 铆枪的卡爪继续带动铆钉向上运动,直至液压泵站达到设定压力值时,将卡爪退回并完成铆接。

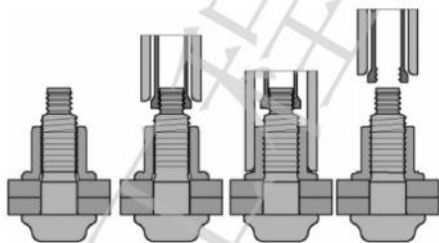


图 K. 4. 2-1 短尾型高强度环槽铆钉铆接工艺步骤

K. 4. 3 拉断型高强度环槽铆钉的铆接工艺应按下列步骤进行：

1 先将拉断型高强度环槽铆钉穿过连接板层,然后再将套环从铆钉的尾部旋入拧紧；

2 将拉断型高强度环槽铆钉的尾牙插入铆枪的卡瓣内,准备铆接；

3 按下铆枪的启动按钮,使铆枪的卡瓣带动铆钉向上运动,对铆钉施加拉紧力；同时在铆枪铁砧的作用下,使套环产生塑性变形；

4 铆枪的卡瓣继续带动铆钉向上运动,直至液压泵站达到设定压力值,铆钉在拉断槽处断裂,将卡瓣退回并完成铆接。

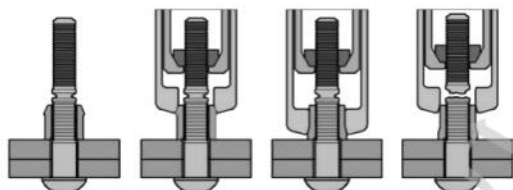


图 K.4.3-1 拉断型高强度环槽铆钉铆接工艺步骤

K.4.4 对铆接施工时设置的临时螺栓和冲钉,应在已安装的高强度环槽铆钉连接副铆接完成后再进行替换,且应先替换临时螺栓,再替换冲钉。

K.5 质量检查

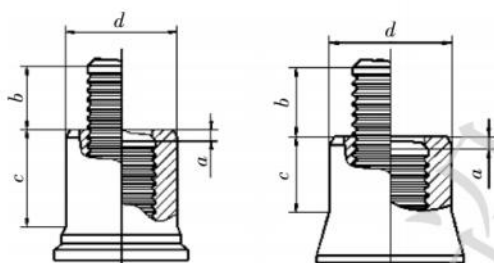
K.5.1 高强度环槽铆钉连接副铆接施工质量的检查应按照自检、专检、监理工程师检查的程序进行。专检应由专职质量检查人员进行。

K.5.2 高强度环槽铆钉连接副铆接施工质量的检查应符合下列规定:

1 对铆接施工完成后的高强度环槽铆钉连接副,应进行100%的套环外观检查,确认其是否已产生塑性变形。套环未产生塑性变形时,应重新铆接;或更换新的连接副重新进行铆接;

2 对高强度环槽铆钉连接副铆接后的成形尺寸,每个节点应随机抽取10%的铆钉连接副进行检查,且对主桁节点、板梁主梁及纵横梁连接处应不少于2套,其余节点应不少于1套进行检查;

3 高强度环槽铆钉连接副铆接后的结构形式如图 K.5.2-1 和图 K.5.2-2 所示,成形尺寸 a 、 b 、 c 和 d 应符合现行国家标准《环槽铆钉连接副技术条件》GB/T 36993 的规定。



(a) 与法兰套环铆接 (b) 与普通套环和圆柱套环铆接

图 K.5.2-1 高强度环槽铆钉连接副铆接后的结构形式

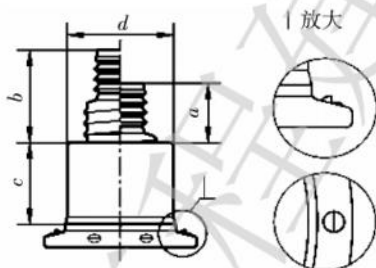


图 K.5.2-2 高强度短尾型环槽铆钉连接副铆接后结构形式

4 成形尺寸不符合规定的,应将该铆钉连接副拆除,更换新的连接副重新进行铆接,并应进行加倍检查;如仍有不合格者,应对该节点所有剩余的高强度环槽铆钉进行检查。

K.5.3 高强度环槽铆钉连接副的安装铆接施工应具有下列施工及检查记录:

- 1 高强度环槽铆钉连接副的进场复验报告;
- 2 连接面抗滑移系数试验报告;
- 3 铆接质量检查记录。

K.5.4 高强度环槽铆钉连接副的铆接质量检查合格后,应在铆钉群边的适当位置标识检查人员和日期信息,并应及时进行高强度环槽铆钉连接副处的腻子封闭和涂装。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的:采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时,写法为:“应符合……的规定(或要求)”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《焊接与切割安全》GB 9448
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709
- 《桥梁用结构钢》GB/T 714
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《焊缝无损检测 射线检测 第1部分:X和伽玛射线的胶片技术》GB/T 3323.1
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 《耐候结构钢》GB/T 4171
- 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 5293
- 《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110
- 《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433
- 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345
- 《热轧钢板表面质量的一般要求》GB/T 14977
- 《不锈钢药芯焊丝》GB/T 17853
- 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验第3部分:涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定(压敏粘带法)》GB/T 18570.3
- 《无损检测 渗透检测》GB/T 18851
- 《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》GB/T 19418

- 《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T 26951
- 《焊缝无损检测 磁粉检测 验收等级》GB/T 26952
- 《焊缝无损检测 渗透检测 验收等级》GB/T 26953
- 《缆索起重机》GB/T 28756
- 《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》GB/T 29712
- 《高强钢焊条》GB/T 32533
- 《埋弧焊用高强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》GB/T 36034
- 《埋弧焊和电渣焊用焊剂》GB/T 36037
- 《环槽铆钉连接副技术条件》GB/T 36993
- 《焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分:钢、镍、钛及其合金》GB/T 37910.1
- 《气体保护电弧焊用高强钢实心焊丝》GB/T 39281
- 《钢结构用耐候钢高强度螺栓连接副》GB/T 43151
- 《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》JT/T 694
- 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722
- 《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650
- 《公路桥梁施工监控技术规程》JTG/T 3650-01
- 《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651
- 《铁路桥涵工程施工安全技术规程》TB 10303

重庆市工程建设标准

钢结构桥梁施工技术标准

DBJ50/T-557-2026

条文说明

2026 重 庆

重庆工程建设

目 次

5	制造	171
5.1	一般规定	171
5.2	下料与加工	171
5.3	组装	172
5.4	焊接、焊接检验及矫正	173
5.5	试拼装和预拼装	177
5.7	涂装	178
7	安装	179
7.1	一般规定	179
7.2	支架法安装	179
7.4	提升法安装	180
7.5	顶推法安装	180
7.7	大节段安装	181
8	工地连接	182
8.2	焊接连接	182
8.3	高强度螺栓连接副连接	182
9	施工监控	184
9.2	施工监控计算	184
9.3	施工现场监测	184
9.4	施工反馈控制	185
附录 A	原材料复验	187
附录 C	钢材焊接工艺评定	188
附录 J	高强度螺栓安装施拧工艺细则	190

重庆工程建设

5 制 造

5.1 一般规定

5.1.2 钢结构加工前的工艺性复查包含的内容相关条文说明如下：

对设计文件进行工艺性复查时，一般包含以下内容：

- 1 设计图的节段划分是否符合制造、运输和架设安装的条件；
- 2 构件是否标准化、通用化，以减少工装的制造量；
- 3 制造厂现有的设备和条件是否满足制造的要求；
- 4 焊缝布置、焊缝形式及操作空间是否合理、焊接变形量是否对施工质量有影响及焊缝检测是否具有可达性；
- 5 选用钢材的品种规格是否与可供应的材料相符；
- 6 制造数量、质量要求和运输方式等是否明确。

5.2 下料与加工

5.2.1 钢板下料前应进行预处理的条文说明如下：

3 当钢板在高湿环境下长时间储存和钢结构制造周期较长时，钢板表面易产生较为严重的锈蚀，一般情况下需要做车间底漆；但当钢结构在车间制造且周期较短时，钢板可不做车间底漆。

5.2.2 钢板的下料方式，条文说明如下：

2 切割方式有机械切割、氧—燃气火焰切割、等离子切割、激光切割等；

8 工艺特定的零件是指不便采用自动切割或半自动切割边缘的零件；

10 标识的目的是使零件在制造过程中容易被识别,而且可以追溯。标识一般包括钢材牌号、板厚、零件号等信息。

5.2.3 零件矫正的条文说明如下:

3 热矫正是指在加热的高温区受热膨胀的金属受到周围温度较低的金属约束而产生塑性变形,该部分变形在随后的冷却过程中不可逆,在原变形的反方向产生拉应力,将变形进行矫正。钢材高温冷却速度直接影响钢材的显微组织状态,需要控制 $t_{8/5}$ 的时间,如果高温区急冷,会使钢材产生如马氏体类的脆硬组织,同时产生数值较大的残余应力,使钢材脆断风险增大,因此规定不得用水急冷。

5.3 组 装

5.3.2 钢板的接料的条文说明如下:

4 一般情况下,节点板要尽量避免接料,但随着桥梁跨度的不断增大,相应地节点板也随之增大,有的节点板其宽度超出了钢板的轧制宽度,在这种情况下就需要接料。本款要求焊缝错开的最小距离,主要是为了减小接料对节点疲劳的不利影响。

5.3.6 组装的条文说明如下:

2 焊接开始和焊接熄弧时由于焊接电弧能量不足、电弧不稳定,容易造成夹渣、未熔合、气孔、弧坑和裂纹等质量缺陷,为确保正式焊缝的焊接质量,在对接、T 接和角接等主要焊缝两端引熄弧区域装配引弧板、引出板,其坡口形式原则上与焊缝坡口相同,目的为将缺陷引至正式焊缝之外。为确保焊缝的完整性,规定了引弧板、引出板的长度。对于少数焊缝位置,由于空间局限不便设置引弧板、引出板时,焊接时要采取改变引熄弧点位置或其他措施保证焊缝质量。有产品试板时,只要试板长度足够,则可以不加引板。当 T 形接头翼缘板较厚时,其翼缘板的引板可以适当减薄,当钢板厚度较大时一般使用薄板顺接坡口面当引板用。

5.4 焊接、焊接检验及矫正

5.4.3 由于焊接材料行业的发展较快,新材料不断出现,同时钢结构桥梁所用的钢材牌号也在增多,为保证钢材与焊接材料的匹配,就需要通过工艺评定来确定焊接材料。采用混合气体时,对其他气体的纯度,通常也有必要进行控制以满足相应要求。

5.4.4 虽然条文规定焊接宜采用自动焊或半自动焊,但并不排除在某些无法用自动焊或半自动焊的部位采用手工焊的方式进行焊接。焊接变形一般指焊接过程中被焊工件受到不均匀温度场的作用而产生的形状、尺寸变化,包括缩短、角度改变、弯曲变形等。由于焊接变形对构件的制造精度有较大影响,因此需要在焊接过程中对变形加以控制。减小变形的的主要方法有:选择合适的焊接顺序、尽可能对称焊接、采用反变形法、刚性固定等。

5.4.7 超声波(UT)、射线(RT)、磁粉(MT)和渗透(PT)等是目前钢结构制造中检验焊缝的常规无损检测方法,超声波和射线主要用于探测焊缝的内部缺陷。由于超声波的操作较为简单、快速,对焊缝的裂纹和未熔合处的检测灵敏度较高,且对检测环境无过高要求,因此通常作为无损检测中最主要的手段。对构造复杂或厚板构件的焊缝,采用超声波等常规方法进行无损检测时其准确性要差一些,因此相控阵和超声波衍射时差法(TOFD)已在一些工程中开始得到应用,相控阵检测方法对构造复杂构件的焊缝有其独特的优势;对厚板构件的焊缝,TOFD检测方法则更为有效。由于这两种检测方法尚无相应的国家标准和公路行业标准,本标准暂未将其列入,为促进钢结构桥梁制造中无损检测的技术发展,具备条件的单位可以考虑将其作为一种辅助的技术手段进行无损检测,但在采用这两种检测技术时,需参照相关行业的标准。

5.4.8 焊接作业环境的条文说明如下:

2 规定焊接要在室内及条文规定的环境条件下进行,正常情况下是可以做到的,这样做焊接质量比较容易得到保证;焊接施工的环境温度低于条文规定的温度时,通常需要停止焊接作业,采取必要措施使之符合要求后再进行作业。以往的焊接试验证明,当焊接施工的环境温度低于条文规定的温度时,对焊接接头采取焊前预热、保温和焊后缓冷等措施,并采用合理的焊接工艺参数,也能满足焊接接头的性能和质量要求,这是因为焊前预热能使焊接时的温度满足要求,焊后缓冷则能降低焊接接头的冷却速度,防止接头产生淬火组织,从而防止产生裂纹。因此,如果由于某种原因一定要在低于 5℃ 时进行焊接作业,就需要在焊前根据母材的材质、板厚、接头的特点和具体的环境温度进行焊接工艺的专项试验,并通过研究来确定相应的焊接工艺参数;

3 在焊接前彻底清除待焊区域内的有害物,主要是为了保证焊接质量,避免由于污物导致焊接缺陷的可能性。因为虽然在组装前已进行了清理,但在焊接区仍有可能存在油、浮锈、水、灰尘、熔渣飞溅及焊瘤、焊根等影响焊接质量的有害物,所以在焊接前需要进行再次清除;

4 焊接的设备、工具和仪表等是焊接质量的硬件保障,其工作状态是否正常,会直接影响焊接质量的优劣,因此作此规定;

6 预热一般包括组装定位焊、返修焊及所有焊缝的焊前预热。有条件时也可以在预热工件的反面进行测温;

7 定位焊容易出现各种焊接缺陷,因此条文对坡口尺寸、焊接材料、定位焊的位置和长度等均有较严格的规定。定位焊的焊缝长度和间距通常根据构件的构造特点来确定,通常情况下,对厚板或长大构件,要求适当增加焊缝的长度,缩短其间距;对薄板,则需要适当减少焊缝的长度并缩短其间距。定位焊时,预热温度和道间温度通常根据钢材的化学成分、接头的拘束状态、热输入大小、热敷金属含氢量水平及所采用的焊接方法等综合因素确定或进行焊接试验。焊接过程中,最低道间温度通常不低于预

热温度;最大道间温度通常不超过 230℃。采用钢衬垫的焊接接头,定位焊间距过大,容易造成钢衬垫与母材密贴性不好,焊接时容易造成根部缺陷,钢衬垫的定位焊间距应根据密贴情况适当减小;

9 由于焊接的起始点和终止点处的焊接条件变化较大,焊接处于非稳定状态,出现焊接缺陷的概率增大。为了保证获得完好的焊缝,对接焊缝在施焊时,通常需要将引、熄弧引出正式焊缝以外,以防止焊接缺陷出现在焊缝的端部;

10 正交异性钢桥面板中的 U 形肋与顶、底板之间的焊接,主要有单侧部分熔透焊、双侧部分熔透焊和全熔透焊等几种形式,目前多采用专用的自动化生产线进行组装和焊接。为更好地提高钢结构桥梁制造的数字化、自动化和信息化水平,推广应用先进技术、工艺和设备,提高制造质量,采用自动化或半自动化焊接设备是有必要的;

13 工艺板是指由于工艺的需要,用于临时固定构件而专门制造的板件。

焊缝多次返修会影响焊缝的整体质量,因此要求“同一部位的返修焊不宜超过两次”。但有时可能会因某些特殊原因使焊缝的返修超过两次,当有这种情况时,就需要进一步查清楚产生的原因,制定返修工艺措施是为了保证返修焊能达到规定的质量要求;

14 焊接接头的力学性能(强度、塑性、韧性)是桥梁结构的基本使用性能。为了保证焊接质量和安全可靠,规范对焊工资格和技能提出了严格要求,对母材和焊接材料进行检测,确保材料符合要求。在焊接过程中,要求严格执行焊接工艺及相关措施;焊接完成后,进行外观检查 and 无损检测,形成一个完整的闭环,可满足对焊接质量和安全的要求。

所有桥梁项目开工前都要进行焊接工艺评定试验。通过焊接工艺评定,检验焊缝的外观质量、内部质量及力学性能是否符合要求,从而验证焊接工艺指导书的正确性。若符合要求,则证明所拟定的焊接工艺正确。该工艺用于焊接产品时,产品焊接接

头的使用性能同样可以满足要求,这是焊接工艺评定试验的目的。

美国桥梁焊接规范 AWS D1.5、欧洲规范 EN1090-2 均只要求进行焊接工艺评定试验,正式生产时未要求对焊缝进行力学性能检测。JTG/T 3651 规范中产品试板数量较多,有酌情减少产品试板数量的规定,但没有明确的界定。通过国内大量的焊接产品试板力学性能检测,试验结果均满足要求,极少有不满足要求的情况,证明试板的力学性能和焊接工艺评定试验的结果符合度很高,再进行大量试板验证工艺评定结果是一种浪费。在首件制造中进行产品试板焊缝检验即可验证产品上同条件下的焊接接头性能,故本标准规定仅在首件制造过程中进行产品试板的制作。

由于产品试板的低温冲击试验仅针对焊缝金属,因此当产品为不等厚对接时,产品试板允许用较薄的等厚对接代替不等厚对接。

5.4.9 焊缝检验条文说明如下:

5 在常规的无损检测中,超声波和射线检测方法主要用于探测被检物体的内部缺陷。射线检测的成本高、操作复杂、检测周期长、裂纹和未熔合等危害性缺陷的检出率较低,且因有辐射污染,对检测的周边环境有特殊的人员防护要求;超声波检测则具有操作简单、快速、对裂纹和未熔合的检测灵敏度高,以及对检测环境无过高要求等优点,而且这两种检测方法的上述特点在透照厚度越大时表现得越明显。但射线检测亦有其独特的优势,能较直观地显示工件内部缺陷的大小和形状,因而易于判定缺陷的性质,且对薄壁工件无损检测的灵敏度较高,射线照相的底片还能作为检测的原始记录供多方研究并作长期保存。

常用的射线有 X 射线和 γ 射线两种。X 射线和 γ 射线能不同程度地透过金属材料,对照相胶片产生感光作用。利用这种性能,当射线通过被检查的焊缝时,因焊缝缺陷对射线的吸收能力不同,使射线落在胶片上的强度不一样,胶片感光程度也不一样,这样就能准确、可靠、非破坏性地显示缺陷的形状、位置和大小。

X 射线透照时间短、速度快,检查厚度小于 30mm 时,显示缺陷的灵敏度高,但设备复杂、费用大,穿透能力比 γ 射线小。

γ 射线能透照 300mm 厚的钢板,透照时不需要电源,方便野外工作,用于环缝时可一次曝光,但透照时间长,一般不能用于厚度小于 50mm 构件的透照。

现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 规定,设计要求全熔透的一、二级焊缝采用超声波进行内部缺陷的检测,超声检测不能对缺陷作出判断时才采用射线检测;德国铁路钢桥附加技术条件 Eisenbahnbrücken Zusätzliche Anforderungen für Stahlbrücken 804.4101 规定母材板厚大于或等于 30mm 的对接焊缝可以采用超声波检测代替射线检测;

13 由于焊接过程中受到焊丝直径和坡口装配间隙公差等因素的影响,通常情况下焊丝无法精确设置在焊缝根部,故作此规定。

5.4.11 桥梁钢结构构件加工一般包括且不限于以下构件:吊耳板补强板的整体加工、吊耳板耳孔的镗孔、钢锚梁底板的平面加工、钢锚梁承压板的平面加工、金属接触+螺栓连接形式的钢索塔节段断面整体加工、钢锚箱断面加工等。

5.5 试拼装和预拼装

5.5.5 预拼装的条文说明如下:

1 通常情况下,钢箱梁、钢桁梁、钢塔、钢箱拱和钢管拱的节段组装和预拼装可以同步进行。当受到桥位场地限制,加工厂采用一定的工装措施和检测手段,节段拼装精度能够满足规范要求时,节段制造也可采用无预拼装方法进行;

7 壁板连接的钢锚梁试拼装与钢锚箱试拼装一致,壁板之间不连接的钢锚梁可采用单节段试拼装作业,对钢锚梁和钢牛腿进行匹配性试拼装;

9 钢管拱的拱肋节段宜采用卧式预拼装,胎架的设置较为简单,操作上亦较容易,能够较好地反映钢管拱的实体线形,对拼装精度控制较为有利,因此钢管拱桥可以采用这种方式进行预拼装;

10 本条适用于节段连接为焊接的钢塔,栓接连接钢塔相关要求参照现行行业标准《公路钢结构桥梁制造和安装规范》JTG/T 3651 的规定。

5.7 涂 装

5.7.1 “密闭箱形构件”是指箱体成形封闭后内部空间较小,且箱体内部完全不与外界环境相接触的构件,例如钢桁梁的弦杆、箱型腹杆等。

5.7.5 摩擦面涂层的抗滑移性能保质期要求为 6 个月,与高强度螺栓的保质期是一致的,即构件在工地现场正常存放的情况下,摩擦面的抗滑移系数要求不小于 0.45。

7 安 装

7.1 一般规定

7.1.1 依据《重庆市危险性较大的分部分项工程安全管理实施细则》，钢结构桥梁安装中的大型临时工程，梁、拱、柱等构件施工和起重吊装工程等均属于安全风险等级较高（危险性较大）的工程，需要制定专项施工方案，并按照管理文件要求执行相应程序。

7.1.2 桥梁钢结构构件通常体积大、重量重，运输和安装过程存在较大风险。运输前对运输路线进行评估，确保道路、河道的通行能力满足大型构件的运输要求。安装施工前，应对施工现场的地形、地质情况进行详细勘察，辨识潜在风险源。吊装作业时，需准确计算吊重、吊距和吊点位置，防止因吊装不当导致构件损坏或发生安全事故。

7.1.3 技术准备主要包括施工所需技术资料的准备、技术交底、施工测量控制网的复测和加密、现场试验与检测的准备等；现场准备主要包括物资、设备、现场“三通一平”、临时设施搭设等。

7.2 支架法安装

7.2.4 支架法安装施工相关条文说明如下：

2 本款旨在充分利用吊装设备的能力，减少现场连接的工作量，这不仅有利于连接质量的控制，也能加快施工进度。但同时也要防止因构件过大而导致的移运困难等问题；

7 本款目的在于确保钢构件焊接符合设计和力学性能要求，提升焊接质量，避免因构件变形导致应力集中、焊缝不均匀等

缺陷,保障施工安全。码板能提供临时支撑和定位,可控制对接环口尺寸和缝宽,方便焊接,防止因热胀冷缩或外力作用引起变形,确保焊接接头的精度,提高焊接质量并减少缺陷产生。

7.4 提升法安装

7.4.2 提升法安装所用设备相关条文说明如下:

4 提塔机是钢塔节段安装、竖向提升施工的专用起重提升设备,多用于斜拉桥、悬索桥的钢主塔节段整体提升与就位。安装于正在施工的钢塔塔柱顶端,可自行随钢塔往上爬升,多采用液压同步提升系统实现钢塔节段、钢横梁的提升安装。

7.5 顶推法安装

7.5.3 顶推法安装所用临时结构相关条文说明如下:

5 直线梁顶推施工时,导梁拼装线形应与钢梁保持一致;曲线梁顶推时导梁宜采用直线形式,与钢梁连接处设置折角,导梁前端中心点应落在桥梁设计线形中线位置;钢桁梁顶推设备,应具备跟随桁梁节点前移的功能,受力点应设置在桁梁节点位置,防止局部受力破坏。

7.5.4 顶推法安装施工。

1 顶推各种方式的相关条文说明如下:

10) 采用千斤顶将梁顶升应有最大升限,否则梁被顶高时将产生临时局部弯矩,此值过大就可能使箱梁顶板和底板上缘产生裂纹。规定起顶反力值和起顶高度限值,主要是为了控制主梁竖向位移所产生的附加应力,防止梁体开裂。

7.7 大节段安装

7.7.4 大节段安装施工相关条文说明如下：

3 整孔和大节段钢梁安装施工时,不利环境对安全的影响程度与作业持续时间有关,时间越长,不利影响越大。跨越航道、道路时,安装时间受限,一般不具备设置长时间停留的条件,所以整孔与大节段钢梁的安装施工需要选择各种环境条件比较有利的时间段,尽快完成;

4 整孔与大节段钢梁的安装质量较大,瞬时加速会对安装设备和支撑等产生较大的冲击,因此需要对就位速度加以控制。

8 工地连接

8.2 焊接连接

8.2.1 工地焊接连接时的环境要求相关条文说明如下：

6 工地焊接时，大气环境的风、温度、湿度等变化大、变化快，重庆地区特别是冬季湿度高、多雨、多雾天气，是影响焊接质量稳定的主要因素。通常优先采用防风 and 防雨设施构成作业区，形成符合工艺要求的小环境，保证质量稳定。受工地条件所限，某些部位的焊接即使采取防护措施，仍难以达到较好的环境条件，故规定采用预热、缓冷措施，或进行相应条件下的焊接工艺评定确定焊接条件和工艺。

8.3 高强度螺栓连接副连接

8.3.3 高强度螺栓连接副的检验相关条文说明如下：

2 现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231 规定的扭矩系数平均值在 0.110~0.150 之内，施工过程中高强度螺栓施拧要求扭矩系数稳定。根据重庆市已施工桥梁收集的数据统计，扭矩系数的平均值控制在 0.120~0.140 的范围是适宜的。

8.3.5 高强度螺栓连接副的领用相关条文说明如下：

4 领用高强度螺栓不得以短代长或以长代；高强度螺栓的扭矩系数易受各种因素影响，开箱后应及时使用，如搬运中损伤螺纹或开箱后放置时间较长，其扭矩系数可能会发生变化。

8.3.7 高强度螺栓连接副连接的施工环境相关条文说明如下：

2 高温环境可能会引起高强度螺栓预拉力的松弛,因此终拧后的高强度螺栓连接副在受到周围高温作业影响时,需要采取隔热或降温措施进行保护。

9 施工监控

9.2 施工监控计算

9.2.1 由于施工技术方案及工艺流程决定桥梁的控制目标状态,所以,施工总体模拟控制计算需要针对确定的施工技术方案及工艺流程进行。施工总体模拟控制计算包括正装计算与倒退计算。其目的在于判断施工技术方案的可行性以及对施工工艺、环境参数等可能出现变化时的适应性,必要时提出调整建议。

9.2.4 钢结构桥梁施工控制目标实现的关键在于钢构件预制尺寸及其精度和钢构件安装初始几何状态的准确性。构件制造尺寸以及安装初始状态偏差将直接导致桥梁结构安装线形偏差,或现场安装困难,或成桥线形与受力状态不符合设计要求。所以,钢结构桥梁事前均将通过倒退分析确定出相对于设计标准温度的无应力状态构件尺寸以及安装初始状态,以作为加工制造以及现场安装的依据。

9.3 施工现场监测

9.3.1 钢结构桥梁施工需要借助临时支墩、支架等辅助设施,桥梁施工过程结构安全与成桥几何与受力状态与临时辅助设施直接相关,所以,在施工监控中必须将临时辅助设施与桥梁结构视为一体,并对其基础沉降、结构变位及应力进行监测,为施工控制提供实测依据。

9.3.2 重庆地区夏季温度高,钢结构构件特别是截面尺寸较大的箱梁等构件在日照下的截面温度梯度大,对安装线形、焊接变

形、索力等影响显著,因此,需要实时掌握气温及结构构件温度情况,以便为安装及控制提供依据。

9.4 施工反馈控制

9.4.1 钢结构桥梁施工控制的目的是保证桥梁施工过程中的力学及几何状态在桥梁施工控制允许的变化范围内,所以,需要对施工过程进行反馈控制。因为施工反馈控制需要以施工控制计算值、施工现场监测值为基础,所以,除了确保控制计算值的准确性外,还需对现场监测值进行分析,以保证其真实性。施工反馈控制根据控制计算值与监测值的比较分析及施工跟踪计算结果进行,当控制计算值与现场监测值之间的误差在控制范围时,表明桥梁施工过程中的力学及几何状态,可以正常施工。当控制计算值与现场监测值之间的误差超出控制范围时,则针对结构状态误差或环境参数的变化等进行施工跟踪控制计算,以掌握施工误差发展趋势以及确定后续施工状态的调控措施。

9.4.3 施工监控本身就是为了规避超限误差,实现桥梁结构顺利形成及成桥力学和几何状态符合设计及控制目标要求。然而,在钢结构桥梁施工中,合龙误差、构件倾斜度误差等超限情况仍然难以避免,大型远距离运输构件装配施工的钢结构桥梁出现超限误差的可能性更大。工程实践中一般是事先对合龙等关键工序可能出现误差进行预测分析,并对是否能通过“强制”措施进行调整作出判断。采用强制措施(如强迫合龙等)对预测误差进行调整时,当结构受力不允许时,只有对通过结构改造进行调整或拆除局部结构重新拼装。当结构受力在允许范围时,则通过在构件预制时事先设置临时构造(如反力座等)进行顶、拉、扭等误差调整。

9.4.4 借助临时结构安装的钢结构桥梁,特别是钢梁桥或钢混叠合梁桥成桥线形不符合设计要求的案例并不少见。某60米跨

径钢混叠合梁成桥后跨中下挠远超设计及标准要求,主要原因就是施工过程控制不力,未考虑钢梁部分分段安装用临时钢结构支墩的弹性压缩变形。因此,无论钢结构桥梁跨径多大,都必须进行控制,并应充分考虑临时结构的影响。

附录 A 原材料复验

A.2.1 钢材的复验项目与方法相关条文说明如下:

5 有探伤要求的钢板应进行超声波检测。

有探伤要求的钢板通常指厚度方向受拉控制设计的钢板、Z 向性能钢板及其他有特殊探伤要求的钢板。超声波主要是检测钢板的裂纹和层状缺陷。

A.2.6 涂装材料的复验内容相关条文说明如下:

防锈底漆耐盐雾性能和储存期、中间漆配套性能和储存稳定性、面漆耐人工老化性能和储存期;以及防锈防滑涂料耐盐雾性能、6 个月时的抗滑移系数和储存期等型式检验项目均为产品生产厂的保证项目,通常不作为用户的必检项目。

附录 C 钢材焊接工艺评定

C.2.3 T形接头试板板厚的相关条文说明如下：

通常情况下，对不开坡口的手工焊角焊缝，试板厚度可以按照表 C.2.3 评定试板的厚度进行选取。对已评定合格的不开坡口手工焊角焊缝，当有效厚度（焊喉）小于 10mm 时，认可的产品焊缝有效厚度（焊喉）范围一般为 0.75~1.5 倍；对已评定合格的有效厚度（焊喉）大于或等于 10mm 的，认可产品焊缝有效厚度（焊喉）范围一般为 10mm 以上的所有焊缝。

C.3.4 力学性能的试验项目、试样数量及试验方法相关条文说明如下：

力学性能试验项目、试样数量与国内外有关标准的对照见表 C-1。

表 C-1 力学性能试验项目、试样数量(个)对照

序号	标准(规范)	接头形式	接头拉伸	焊缝拉伸	焊缝金属冲击		热影响区或熔合线冲击		弯曲			硬度 (酸蚀)
					常温	低温	常温	低温	面	背	侧	
1	本标准	对接	1	1		3		3			1	1
		T形	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1
2	英国桥梁规范 BS5400	对接	1	—	—	3	—	3	2 ^①	2 ^①	—	1
		角焊缝										1
3	《日本工业标准》JISZ 3040 “焊接工艺评定试验方法”	对接	—	—	—	—	—	—	2	2		—
		$t < 19\text{mm}$	2		3		3		2	2		
		$t \geq 19\text{mm}$	2		3		3		双面焊	单面焊		

续表 C-1

序号	标准(规范)	接头形式	接头拉伸	焊缝拉伸	焊缝金属冲击		热影响区或熔合线冲击		弯曲			硬度 (酸蚀)
					常温	低温	常温	低温	面	背	侧	
4	美国钢结构焊接规范 AWS	坡口焊缝	2	—	—	5 ^②	—	5 ^②	—	—	4	—
		T 形										3

注:①当板厚大于 10mm 时,用一个全截面侧弯代替面背弯;

②合同或技术文件要求时做此项。

附录 J 高强度螺栓安装施拧工艺细则

J.1.5 我国桥梁高强度螺栓的拧紧以往多采用扭角法,随着高强度螺栓连接副生产水平不断提高,目前生产厂已能保证扭矩系数供货,定扭矩电动扳手也已批量生产,使用方法也有一定提高,所以大多数施工单位都采用扭矩法施拧。由于扭角法施拧在管理上比较烦琐,并且在现场试验工作量较大,所以,推荐采用扭矩法施拧。

J.2.5 施拧和检查用的扳手应在施工前标定和校正相关条文说明如下:

1 电动定扭矩扳手其输出扭矩受电压波动的影响,因此在使用中应独立供电,并配置稳压电源;

3 定扭矩电动扳手的标定扭矩是 5 次标定的扭矩平均值,实际施拧时,每施拧一颗螺栓,其终拧扭矩会大于、等于或小于标定扭矩。目前,国内数显式电动扳手已研制成功,数显式电动扳手可逐个显示所施拧高强度螺栓的终拧扭矩并编号储存,在施工过程中就可直观地判定出超拧或欠拧的高强度螺栓,及时对超、欠拧的螺栓进行处理,当天施工结束后,可调出当天储存的终拧扭矩数据,做进一步检查,有利于提高施工精度,确保结构安全。在有条件的情况下可考虑使用数显式电动扳手进行高强度螺栓的施拧工作;

4 每天使用与当天桥上所施拧同规格、同批号的高强度螺栓连接副标定施拧扳手,可准确监控所施拧高强度螺栓连接副扭矩系数的变化情况,随时调整施拧扭矩,一般情况可合理运用班前标定时电动扳手 $\pm 3\%$ 的允许误差范围值微调整,来进行微调扭矩与轴力的不合适性;

8 本条规定了标定误差及标定不合格的处理方法。标定误差的大小决定着施拧扳手性能稳定程度和规范操作熟练程度及所施拧高强度螺栓连接副终拧预拉力的离散程度,误差越小,所施拧终拧预拉力就越集中。从多座桥梁高强度螺栓施工质量控制总结来看,初拧过程的控制十分重要,终拧电动扳手稳定性和使用精确度十分重要。标定出合格的施拧扳手所需的时间就越长,所用的标定螺栓就越多,标定成本越大;反之,标定成本越小,但所施拧高强度螺栓连接副的终拧预拉力就越离散,结构的安全系数就越低。根据多座桥梁施工的实践,本条“班前标定值不得大于规定值的 $\pm 3\%$ ”的规定在不增加标定难度的前提下,提高了施拧精度。

J.3.4 我国高强度螺栓用的垫圈在内径处设有 45° 倒角,与螺栓头下的过渡圆弧相配合以有效降低应力集中,所以在安装时不应装反。高强度螺栓连接副在测定扭矩系数时,规定了垫圈有内倒角的一侧应朝向螺母支承面安装和试验,所以在安装时,为了保持一致,也不应装反。

J.3.7 螺栓不能自由穿入螺栓孔时,如果强行将螺栓打入,可能会损伤螺纹或使螺栓产生变形,影响到螺栓的受力。对不能自由穿入螺栓孔的情况,通常采取调整连接板位置等方式予以解决,如果仍不奏效,则需要对螺栓孔进行扩孔。要求“扩孔前应将该螺栓孔四周的螺栓全部拧紧”,是为防止钢屑落入板缝中。

J.3.10 强行穿入螺栓会严重损伤螺纹,本条增加了改变连接副的扭矩系数的条件。因此,当个别螺栓不能自由穿入时,应查明原因,采用经设计同意的方法进行处理。不得擅自铰孔或扩钻,更不得用气割扩孔。

J.4.1 复拧的主要目的是:对螺栓初拧后的预拉力可能产生的不均匀性进行调整,使所有螺栓受力均匀,以提高预拉力的精度。正常情况下,高强度螺栓连接副的紧固需要分为初拧、复拧、终拧3个步骤,尤其对大型节点或节点处板层较厚的情况;大型节点一

般指单排(列)螺栓个数超过 15 个的节点,需要进行复拧。但对螺栓数量较少、板层相对较薄的节点,在保证初拧质量的前提下,则可以省略复拧这一步骤,以提高施工效率。

J.5.5 高强度螺栓连接副的终拧质量检查相关条文说明如下:

8 对于扭矩法施拧的终拧检查,先检查初拧(或复拧)状况,之后检查终拧螺栓与螺母相对位置是否发生转动,再进行终拧扭矩检查。紧扣法检查由于速度快、效率高,在现场应用较广,但应注意紧扣检查扭矩应在现场确定,在测定紧扣检查扭矩时,应确认此时高强度螺栓的预拉力误差在设计预拉力的 $\pm 2\%$ 范围内。

采用松扣回扣法检查时,由于此时高强度螺栓预拉力损失已基本完成,所以在公式中 P 为设计预拉力。

为了提高检查精度、减少人为因素,高强度螺栓终拧扭矩检查可采用便携式扭矩测试仪。该仪器通过角度传感器自动控制施拧转角、扭矩传感器自动显示和记录检查扭矩;内置 20 倍力矩倍增器,施力均匀平稳,测量精度高;检查扭矩检测仪自动保存扭矩值,检测精度 $\leq \pm 2\%$,避免因误读、估读现象给结构带来安全隐患,优于表盘式、预置式传统扭矩检测扳手。