

中国工程建设标准化协会标准

T/CECS XXX-20XX

城市钢结构桥梁制作及安装 技术规程

Construction specification for Fabrication and Installation
of Urban Steel Bridge

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

中国工程建设标准化协会标准

城市钢结构桥梁制作及安装 技术规程

Construction specification for Fabrication and Installation
of Urban Steel Bridge

T/CECS xxx—20XX

主编单位：中国建筑金属结构协会

江苏沪宁钢机股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX 年 XX 月 XX 日

中国计划出版社

20XX 年 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会（2019）建标协字第 12 号《关于印发 2019 第一批工程建设协会标准制、修订项目计划》的通知要求，由中国建筑金属结构协会钢桥分会组织相关单位和专家在总结近年来国内外钢桥制造、安装施工和全过程质量管理的规程和经验以及相关科研成果，吸纳其中成熟的技术和工艺的基础上，制订《城市钢结构桥梁制作及安装技术规程》（以下简称本规程）。

本规程重点突出城市钢桥制造和安装的成熟技术、先进工艺，并吸收和借鉴国内外相关的技术标准和先进工艺；与国内相关的标准、规范和规程融和贯通、协调配套。

1、本规程制订的指导思想为贯彻执行国家和行业的有关技术政策，大力推广城市钢桥的建设，落实城市钢桥的工厂化、智能化制造和成熟先进的安装技术，突出全过程质量管理，以专业化、信息化、精细化、装配化等为管理目标，促进城市桥梁建设的转型升级、推进城市钢桥的标准化、智能化建造，提质增效；提升城市桥梁的品质和耐久性，更好地体现“绿色城市”、品质工程”的理念。

2、本规程根据城市桥梁与公路桥梁、铁路桥梁的不同的桥区环境、使用功能、车辆荷载、运输、安装条件、工期要求等的不同特点进行编制，内容上不与已有标准重复编写，并补充和反映现有相关标准中不足或缺失的部分。

3、本规程的主要内容是：1.总则；2.术语、符号；3.材料；4.工厂制造；5.焊接；6.预拼装；7.涂装；8.成品检验；9.存放与运输；10.现场安装；11.主要桥型安装；12.工地连接；13.现场修补；14.安装质量检验；15.桥面铺装；16.附属设施安装；17.钢结构分部工程质量检验和验收标准等。

4、以黑体字标志的条文为强制性条文，强调对关键工序和关键技术工艺的控制，明确城市钢桥制造和安装施工中应遵守的准则和技术质量要求，必须严格执行。

5、本规程与现行的国家标准和行业标准保持协调一致，特别是《钢结构工程施工质量验收标准》、《城市钢桥设计标准》和《钢结构焊接规范》等。

6、本规程引入了许多新技术，对尚须进一步研究的课题，给出原则性的指导意见，待进一步取得成果后进行补充和修订。

目 次

1 总则..... 1

2 术语、符号..... 2

 2.1 术语..... 2

 2.2 符号..... 7

3 材料..... 8

 3.1 基本规定..... 8

 3.2 钢板..... 8

 3.3 型材..... 9

 3.4 焊接材料..... 10

 3.5 紧固件材料..... 11

 3.6 拉索、吊索..... 11

 3.7 锚具、夹具..... 12

 3.8 涂装材料..... 14

 3.9 密封材料..... 14

 3.10 桥梁支座..... 15

 3.11 伸缩装置..... 15

 3.12 材料的存放及管理..... 15

4 工厂加工..... 17

 4.1 基本规定..... 17

 4.2 下料..... 19

 4.3 矫正与弯曲..... 20

 4.4 机加工..... 22

 4.5 零件基本尺寸..... 24

 4.6 制孔..... 26

 4.7 组装..... 27

 4.8 抗疲劳桥面板加工..... 42

5 焊接..... 45

 5.1 基本规定..... 45

 5.2 焊接工艺..... 46

 5.3 焊接变形控制..... 50

5.4	焊缝检验.....	51
5.5	焊缝修磨与返修.....	55
5.6	构件矫正.....	56
5.7	焊缝残余应力消除.....	59
5.8	焊缝连接要求.....	60
6	预拼装.....	65
6.1	基本规定.....	65
6.2	预拼装.....	66
6.3	试装.....	68
6.4	计算机辅助模拟预拼装.....	71
7	涂装.....	73
7.1	基本规定.....	73
7.2	除锈.....	74
7.3	工厂内涂装.....	75
7.4	抗滑移连接面处理.....	76
7.5	涂装检验.....	77
8	成品检验.....	79
8.1	基本规定.....	79
8.2	成品基本尺寸.....	79
9	存放及运输.....	88
10	现场安装.....	89
10.1	基本规定.....	89
10.2	施工准备.....	90
10.3	支架法安装.....	93
10.4	悬臂拼装.....	96
10.5	顶推安装.....	98
10.6	滑移安装.....	102
10.7	整体安装.....	103
10.8	提升安装.....	105
10.9	转体安装.....	107
10.10	线形控制.....	109

11 主要桥型安装..... 111

11.1 基本规定..... 111

11.2 梁桥安装..... 112

11.3 拱桥安装..... 114

11.4 斜拉桥安装..... 117

11.5 悬索桥安装..... 121

11.6 人行天桥安装..... 125

12 工地连接..... 126

12.1 基本规定..... 126

12.2 焊接连接..... 126

12.3 摩擦型高强度螺栓连接..... 129

12.4 高强度环槽铆钉连接..... 130

12.5 热铆连接..... 132

13 现场修补..... 134

13.1 基本规定..... 134

13.2 焊缝工地涂装..... 134

13.3 栓接部位工地涂装..... 134

13.4 涂装检验..... 135

13.5 安全、环保保障措施..... 135

14 安装质量检验..... 137

14.1 基本规定..... 137

14.2 外观质量..... 137

14.3 实测项目..... 137

15 桥面铺装..... 145

15.1 基本规定..... 145

15.2 施工准备..... 145

15.3 铺筑试验段..... 146

15.4 表面除锈及防腐层施工..... 147

15.5 防水粘结层施工..... 148

15.6 改性沥青砂胶缓冲层施工..... 149

15.7 粘层施工..... 149

15.8	改性沥青混合料施工.....	150
15.9	浇注式沥青混合料施工.....	150
15.10	热拌和温拌环氧沥青混合料施工.....	151
15.11	冷拌环氧沥青混合料施工.....	153
15.12	超高韧性混凝土（STC）桥面铺装.....	154
15.13	薄层环氧施工.....	159
16	附属设施安装.....	163
16.1	支座安装.....	163
16.2	伸缩装置安装.....	164
16.3	排水管安装.....	165
16.4	栏杆安装.....	165
16.5	钢护栏安装.....	166
16.6	照明安装.....	167
17	钢结构分部检验评定.....	168
17.1	基本规定.....	168
17.2	工程质量检验.....	169
17.3	工程质量评定.....	170
附录 A	原材料复验规程.....	173
附录 B	钢材及加工缺陷的修补.....	176
附录 C	钢材焊接工艺评定.....	177
附录 D	圆柱头焊钉焊接工艺评定.....	181
附录 E	焊接接头超声波探伤质量要求.....	183
附录 F	涂料性能要求和试验方法.....	186
附录 G	碳弧气刨的缺陷与钢桥抗疲劳性能.....	189
附录 H	热铆与钢桥连接.....	190
附录 I	抗疲劳钢桥面焊缝残余应力测试报告.....	193
附录 L	抗滑移系数试验方法.....	199
附录 M	高强度螺栓施拧工艺.....	201
附录 N	高强度环槽铆钉连接工艺.....	207
	本规程用词说明.....	210
	引用标准名录.....	211

Contents

1	The general.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	The term	2
2.2	Tymbolic.....	7
3	Material.....	8
3.1	Basic Regulation.....	8
3.2	steel.....	8
3.3	Welding Materials.....	9
3.4	Mechanical Connection Materials.....	10
3.5	Cable and sling.....	11
3.6	Anchors and fixtures.....	11
3.7	Profile and pipe.....	12
3.8	Coating materials.....	14
3.9	Sealing Materials.....	14
3.10	Bridge support.....	15
3.11	Expansion device.....	15
3.12	Storage and management of materials.....	15
4	Factory manufacturing.....	17
4.1	Basic Rules.....	17
4.2	Cutting and cutting.....	19
4.3	Correction and bending.....	20
4.4	Parts Machining.....	22
4.5	Basic size of parts.....	24
4.6	The holes.....	26
4.7	The assembly.....	27
4.8	Anti-fatigue bridge panel processing.....	42
5	Welding.....	45
5.1	Basic Regulations.....	45
5.2	Welding Process.....	46

5.3	Welding deformation control.....	50
5.4	Weld inspection.....	51
5.5	Weld grinding and reworking.....	55
5.6	Member correction.....	56
5.7	Weld residual stress elimination.....	59
5.8	Weld residual stress elimination.....	60
6	Pre-assembled.....	65
6.1	Basic Provisions.....	65
6.2	Preassembly.....	66
6.3	Testand	68
6.4	Computer aided simulation preassembly.....	71
7	Coating.....	73
7.1	Basic Regulations.....	73
7.2	Derusting.....	74
7.3	Painting in the factory.....	75
7.4	Treatment of friction surface of high-strength bolt connection.....	76
7.5	Coating inspection.....	77
8	Finished goods inspection.....	79
8.1	Basic Rules.....	79
8.2	Basic size of finished product.....	79
9	Storage and transportation.....	88
10.	Field installation.....	89
10.1	Basic Regulations.....	89
10.2	Preparation for Construction.....	90
10.3	Installation using supports.....	93
10.4	Cantilever assembly.....	96
10.5	Push-back Installation.....	98
10.6	Sliding Installation.....	102
10.7	Overall Installation.....	103
10.8	Upgrading Installation.....	105

10.9	Rotating Installation.....	107
10.10	Linear control.....	109
11	Main bridge type installation.....	111
11.1	Basic Provisions.....	111
11.2	Beam bridge installation.....	112
11.3	Installation of arch bridge.....	114
11.4	Cable-stayed bridge Installation.....	117
11.5	Suspension bridge installation.....	121
11.6	Pedestrian bridge installation.....	125
12	Site connection.....	126
12.1	Basic Provisions.....	126
12.2	Welding Connection.....	126
12.3	Friction type high strength bolt connection.....	129
12.4	High strength ring-groove rivets.....	130
12.5	Hot riveting connection.....	132
13	On-site repair.....	134
13.1	Basic Provisions.....	134
13.2	Welding site coating.....	134
13.3	Site painting for bolted part.....	134
13.4	Coating inspection.....	135
13.5	Safety and environmental protection measures.....	135
14	Inspection of installation quality.....	137
14.1	Basic Provision.....	137
14.2	Appearance quality.....	137
14.3	Actual measurement Item.....	137
15	Bridge deck paving.....	145
15.1	Basic Regulation.....	145
15.2	Construction Preparations.....	145
15.3	Paving test section.....	146
15.4	Surface derusting and anti-corrosion Coating construction.....	147

15.5	Construction of waterproof bonding layer.....	148
15.6	Construction of modified asphalt sand glue buffer Layer.....	149
15.7	Construction of adhesive layer.....	149
15.8	Construction of modified asphalt mixture.....	150
15.9	Construction of castable asphalt mixture.....	150
15.10	Construction of hot mix and warm mix epoxy asphalt mixture.....	151
15.11	Construction of cold mixed epoxy asphalt mixture.....	153
15.12	Ultra-high toughness concrete (STC) bridge deck paving.....	154
15.13	Thin layer epoxy construction.....	159
16	Installation of auxiliary facilities.....	163
16.1	Support installation.....	163
16.2	Installation of expansion device.....	164
16.3	Installing drainpipes.....	165
16.4	Railing Installation.....	165
16.5	Steel guardrail installation.....	166
16.6	Lighting Installation.....	167
17	Inspection and assessment of steel structure section.....	168
17.1	Basic Regulation.....	168
17.2	Engineering quality inspection.....	169
17.3	Engineering quality assessment.....	170
Appendix A	Raw material reinspection procedure.....	173
Appendix B	Repair of Steel and machining defects.....	176
Appendix C	Welding procedure evaluation of steel.....	177
Appendix D	Welding procedure evaluation for cylindrical head nails.....	181
Appendix E	Ultrasonic inspection quality requirements for welded joints.....	183
Appendix F	Performance requirements and test methods of coatings.....	186
Appendix G	Defects of carbon arc gouging and fatigue resistance of steel Bridges.....	189
Appendix H	Hot riveting and steel bridge connection.....	190
Appendix I	Test report on residual stress of welds on anti fatigue steel deck.....	193

Appendix L	Test method for anti-slip coefficient of high strength bolt connections.....	199
Appendix M	Screwing process of high strength bolts.....	201
Appendix N	High strength ring-groove rivet joint process.....	207
Explanation of Wording in This Specification.....		210
List of Quoted Standards.....		211

1 总则

1.0.1 本规程根据城市钢桥梁建设的不同使用功能、桥区环境、车辆荷载、运输、安装条件、工期要求等特点进行编制，包括了城市钢桥制造、安装等主要内容。

1.0.2 本规程适用于城市钢桥的工厂化制造和工地现场的安装施工。对特大型、特殊结构或特殊环境的城市桥梁钢结构工程，还应依据本规程制订专用技术标准、专项施工方案和质量管理、质量验收的专用文件。

1.0.3 城市钢桥的制造和安装施工应遵守国家环境保护的有关法律法规，减少污染，保护环境。

1.0.4 城市钢桥的制造和安装施工，应建立和健全相应的安全生产管理体系，明确安全责任，严格执行安全操作规程；应对制造和安装施工中存在的各种风险源进行分析、评估，并制定防范对策和必要的突发事件应急预案。

1.0.5 城市钢桥的制造和安装施工，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 工厂制造

构件、部件、零件等主要构造单元预先在工厂进行预制生产、机械化加工。

条文说明：

工厂制造不受气候、施工环境的影响。工作效率高，精度容易控制、质量更有保障。城市钢桥的主要构件、部件、零件等主要构造单元应该预先在工厂进行预制生产、机械化加工。

2.1.2 深化设计

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二次设计。

条文说明：

深化设计图主要满足工厂加工、现场安装的施工需求，并结合制造单位的作业流程进行绘制及编辑。

主要内容包括结构建模、工厂加工工艺流程图、零件切割排版图、焊接示意图、节点拆分详图、零部件加工详图、胎架设计图、构件组装图及单件重量表、临时连接、加固、起吊所需辅助设施、施工安装工艺流程图、材料清单等。

2.1.3 零件

组成钢桥的最小单元。

2.1.4 板单元

钢桥加工中的顶板、底板、腹板、隔板等板件单元。

2.1.5 杆件

钢桥加工中的弦杆、斜杆、竖杆、横杆等杆件单元。

2.1.6 构件

钢桥制造或安装的结构单元。

2.1.7 制造节段

钢桥在工厂阶段制造加工的构件分节或梁段。

2.1.8 安装节段

钢桥在现场安装时分段架设的构件块段。

2.1.9 高架桥

架空于地面而修建的用于专供人、车通行或管线架设的构筑物。

2.1.10 立交桥

城市主要道路交通交汇点建造的上下分层，多向行驶、互不相扰的高架构筑物。

2.1.11 预拱度

为抵消桥跨结构在荷载作用下产生的挠度，而在设计和制作、安装时所预留的与挠度方向相反的校正量。

2.1.12 胎架

在钢桥制造或现场拼装前，为保证构件的制造和安装精度的工装设施。

2.1.13 预处理

指要进行重要加工工序前的准备工作。

条文说明：

预处理包括：切割前钢板表面清理、辊平；焊接前坡口清理、打磨、预热；涂装前冲砂、抛丸、清理等。

2.1.14 焊接难度

根据焊接材料、板厚及构件受力状态进行的等级分类。

条文说明：

钢结构工程焊接难度等级见表 2.1.14。

表 2.1.14 钢结构工程焊接难度等级

影响因素 ^a 焊接难度等级	板厚 t (mm)	钢材分类 ^b	受力状态	钢材碳当量 CEV (%)
A (易)	t≤30	I	一般静载拉、压	CEV≤0.38
B (一般)	30<t≤60	II	静载且板厚方向受拉或间接动载	0.38<CEV≤0.45
C (较难)	60<t≤100	III	直接动载、抗震设防烈度等于 7 度	0.45<CEV≤0.50
D (难)	t>100	IV	直接动载、抗震设防烈度大于等于 8 度	CEV>0.50

注：a 根据表中影响因素所处最难等级确定整体焊接难度；

b 钢材分类按标准屈服强度分类：I 类≤295MPa；II 类：>295MPa 且≤370MPa；III 类：>370MPa 且≤420MPa；IV 类：>420MPa。

2.1.15 焊缝计算厚度

进行静载强度计算时的焊缝厚度。

条文说明：

焊缝计算厚度为角焊缝断面内画出的最大等腰三角形中，从直角的顶点到斜边的垂线长度。在取值时，如果角焊缝的断面是标准的等腰直角三角形，那么焊缝的计算厚度等于焊缝厚度。但是，焊缝形状若是凸形、凹形或不等腰的角焊缝，焊缝的计算厚度就不等于焊缝厚度，均小于焊缝厚度，见图 2.1-1。所以，进行静载强度计算时，不要将焊缝计算厚度理解为焊缝厚度代入到计算公式中，以避免在焊缝强度校核运算时出现错误。

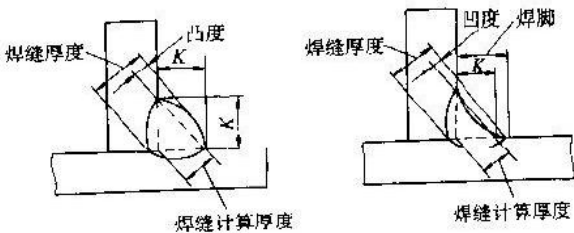


图 2.1-1 焊缝计算厚度示意图

2.1.16 检验批

按同一生产条件或按规定的方式汇总起来,由一定数量样本组成的检验体。

条文说明:

检验批的划分首先要进行事先策划根据工程设计图和深化设计图,结合加工工艺及有关标准要求事先策划并经过批准划分的质量分批验收记录文件。

2.1.17 无损检测

指在不损害结构内部组织的前提下的焊缝检测方法。

条文说明:

钢桥常用的无损检测方法:

1、目视检测方法 (VT) 通过目测和直接测量尺寸对焊缝进行初步检验,发现不合格的外观缺陷。

2、利用材料内部结构异常或缺陷存在引起的热、声、光、电、磁等反应的变化,以物理或化学方法为手段,借助现代化的技术和设备器材,对焊缝内部或表面的缺陷进行检查和测试的方法。

2.1.18 焊接缺陷

焊接缺陷是指焊接接头部位在焊接过程中形成的缺陷。

条文说明:

焊接缺陷包括气孔、夹渣、未焊透、未熔合、裂纹、凹坑、咬边、焊瘤等。这些缺陷中的气孔、夹渣(点状)属体积型缺陷。条渣、未焊透、未熔合与裂纹属线性缺陷,也可称为面型缺陷。尤其是裂纹与未熔合更是面型缺陷。凹坑、咬边、焊瘤及表面裂纹属表面缺陷。其他缺陷(包括内部埋藏裂纹)均属埋藏缺陷。

2.1.19 焊接残余应力

焊件在焊缝冷却后留有未能消除的收缩应力。

条文说明：

焊接构件由于存在残余应力，且焊缝部位存在热影响区、焊趾缺陷、接头应力集中，形成构件上组织和力学的薄弱部位，有可能导致构件运行时的变形、早期开裂、应力腐蚀、疲劳断裂和脆性断裂。降低构件的实际强度、刚度和承载力，降低疲劳极限，造成应力腐蚀和脆性断裂。增加钢材在低温下的脆断倾向。对结构的疲劳强度有明显不利影响。

2.1.20 焊缝开裂

焊接件中最常见的一种严重缺陷。

2.1.21 疲劳裂缝

材料或焊缝在交变载荷的作用下出现的延迟裂缝。

条文说明：

焊件在焊接的过程中产生的焊接残余应力，与交变载荷叠加在一处或多处产生永久性损伤累积，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程。疲劳断裂是焊接钢桥失效的一种主要形式，在钢桥焊接结构断裂事故中，疲劳失效约占 90%。

2.1.22 正火

一种改善钢材韧性的热处理工艺。

条文说明：

使钢材的结晶晶粒细化，得到满意的强度，降低构件的开裂倾向。改善材料的综合力学性能。

2.1.23 退火

一种材料或焊件降低残余应力的热处理工艺。

条文说明：

退火工艺能大幅度降低焊件残余应力和残余变形，稳定尺寸，减少变形与裂纹倾向；细化晶粒，调整组织，消除组织缺陷。在城市钢桥建设中应大力推广、尤其是焊接量大、

直接承受车辆荷载容易产生疲劳裂缝的正交异性桥面板单元宜采取整体退火后再进行构件组装的工艺。

2.1.24 失稳

结构或构件在制作、运输、安装过程中局部或整体出现侧翻、下沉、滑动等现象。

2.1.25 整体稳定性

结构或构件在制作、运输、安装过程中抵抗失稳的能力。

2.2 符号

α ——焊缝坡口角度

H ——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

α ——角度

s ——间距

f ——拱度、弯曲矢高

H ——截面高度

h_f ——焊脚尺寸

Δ ——偏差、增量

3 材料

3.1 基本规定

3.1.1 本节适用于城市钢桥所用材料的订货、进场验收、复验及存储管理。

3.1.2 钢桥制造所用结构材料应符合设计文件的性能要求和现行标准的规定，除必须有材料质量证明书外，还应进行复验，复验合格方能使用。

3.1.3 制造单位应制定材料的管理制度，做到订货、存放、使用规范化，保证使用的材料合格可靠。

3.2 钢板

3.2.1 钢板的品种、规格、性能等均应符合设计文件及相关的国家现行标准的要求。

条文说明：

（1）钢结构施工选用钢材，应遵守以下原则：

1）钢板牌号和材料质量等级应符合设计要求；

2）引用的材料标准及钢材出厂状态应符合设计要求；

3）材料附加性能要求（如屈强比、碳当量、Z向性能、探伤要求、尺寸偏差要求及复试要求等）应符合设计要求。

（2）钢板采购规格数量，应根据钢结构加工详图完成后提出的材料清单进行采购订货。

3.2.2 钢板的订货合同应对材料的牌号、规格尺寸、性能指标、检验要求、尺寸偏差等有明确的约定。

3.2.3 钢板应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态，每10个炉（批）号抽验一组试件进行化学分析和力学性能的试验。钢材复验检验批量标准值不应超过600t。

3.2.4 对于有 Z 向性能要求的钢板，应根据《厚度方向性能钢板（GB/T 5313）》的相关规定进行检测。

3.2.5 钢板厚度允许偏差应符合《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709）中钢板厚度允许偏差 N 类的规定，设计有要求时，按设计要求执行。

3.2.6 探伤钢板应根据《厚钢板超声检测方法》（GB/T 2970）进行检测。

3.2.7 钢材表面质量应符合《热轧钢材表面质量的一般要求》（GB/T 14977）的规定。当钢材表面有锈蚀、麻点或划痕等缺陷时，其深度不得使缺陷部位的有效厚度低于最小偏差值，钢材端边或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。

3.2.8 进口钢板的质量验收应按下列规定执行：

- 1 审查《产品质量证明书》有无错漏及各项检测指标是否满足合同规定的标准要求。
- 2 抽样复验化学成分和力学性能。

3.2.9 耐候钢按照 3.2.1~3.2.7 验收合格后，还应增加下列验收项目：

- 1 化学成分包括 Cu、Cr、Ni 元素含量的复验；
- 2 最小允许耐大气腐蚀性指数应由供应商和购买商双方协议确定。

3.2.10 不锈钢的质量验收应按下列规定执行：

- 1 审查《产品质量证明书》有无错漏及各项检测指标是否满足合同规定的标准要求。
- 2 验收应符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》（GB/T 3280）、《不锈钢热轧钢板和钢带》（GB/T 4237）和《不锈钢复合钢板和钢带》（GB/T 8165）的要求。
- 3 抽样复验化学成分和力学性能。

3.3 型材

3.3.1 型材的品种、规格、性能应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。型材进场时，应按国家现行标准的规定抽取试件且应进行屈服强度、抗拉强度、伸长率和厚度偏差检验，检验结果应符合国家现行标准的规定。

3.3.2 型材应按本规程附录 A 钢材检验项目的规定进行抽样复验，其复验结果应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。

3.3.3 型材外形尺寸、厚度及允许偏差应满足其产品标准的要求。

3.4 焊接材料

3.4.1 焊接材料的选用原则上应与桥梁的母材相匹配，且应符合国家现行产品标准和设计要求，常见焊材产品标准见表 3.1。

表3.1 常用焊接材料的产品标准

标准号	标准名称
GB/T 5117	非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 5118	热强钢焊条
GB/T 14957	熔化焊用钢丝
GB/T 8110	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
GB/T 10045	非合金钢及细晶粒钢药性焊丝
GB/T 17493	低合金钢药芯焊丝
GB/T 5293	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
GB/T 12470	埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
CB/T 3715	陶质焊接衬垫

3.4.2 选用的焊材型号及规格应根据焊接工艺评定确定。

3.4.3 焊材进场后，应按以下步骤进行验收：

- 1 审查焊材厂提供的《产品质量证明书》有无错漏及各项检测指标是否满足相关要求；
- 2 按相关要求对焊材的实物外观和尺寸检查；
- 3 按表 3.2 的要求进行抽样复验。

表 3.2 焊材复验抽样频次

使用状态	类型	化学成分	熔敷金属力学性能
首次使用	实芯焊丝	逐批	逐批，1 年后免
	焊剂	逐批，1 年后免	逐批
	药芯焊丝	逐批，1 年后免	逐批，1 年后 1 年 1 次
	焊条	逐批，1 年后免	逐批，1 年后 1 年 1 次

连续使用 同一型号 同一厂家	实芯焊丝	逐批	免
	焊剂	免	逐批
	药芯焊丝	免	1 年 1 次
	焊条	免	1 年 1 次
连续使用 同一型号 不同厂家	实芯焊丝	逐批	首批, 后免
	焊剂	首批, 后免	逐批
	药芯焊丝	首批, 后免	首批, 后 1 年 1 次
	焊条	首批, 后免	首批, 后 1 年 1 次

3.5 紧固件材料

3.5.1 高强度螺栓、螺母、垫圈的技术条件应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T1228)、《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T1229)、《钢结构用高强度垫圈》(GB/T1230)、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》(GB/T 1231) 及《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T3632) 的规定。

3.5.2 环槽铆钉连接副应符合下列规定:

1 环槽铆钉的技术条件应符合现行《环槽铆钉连接副技术条件》(GB/T36993) 的规定。

2 环槽铆钉连接副应有铆钉及套环机械性能、连接副拉脱力及夹紧力出厂合格检验报告, 并随箱带。当环槽铆钉连接副保管超过 6 个月后使用, 应按相关要求重新复验, 合格后方可使用。

3 环槽铆钉连接副应进行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复验, 试验铆钉应从施工现场待安装的螺栓批中随机抽取, 每批抽取 8 套。

3.5.3 热铆钉的技术条件应符合现行国家标准《铆钉技术条件》GB 116 的规定。

3.5.4 圆柱头焊钉、焊接瓷环质量标准及检验应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 中的规定。

3.6 拉索、吊索

3.6.1 拉索及其附件应符合设计文件的规定, 进场后应按下列规定进行质量验收。

- 1 镀锌钢丝、锚头锻钢材料的各项技术性能必须符合设计要求。
- 2 钢丝必须梳理顺直，热挤时平行钢丝束的扭转角度应满足技术规范要求，不得松散。
- 3 热挤防护采用的高密度聚乙烯材料的技术性能应符合设计要求。防护处理的程序、温度、时间与方法，均应严格控制。防护层不得有断裂、裂纹。
- 4 锚头机械精加工尺寸应满足设计要求。锚头必须按设计或规范要求进行探伤，检查结果必须合格。
- 5 钢丝镦头不得有横向裂纹，头型圆整。每镦头一批，须仔细对镦头机进行检查、调整，以保证镦头质量。
- 6 冷铸材料配料应准确，加温固化应严格控制程序、温度和时间。
- 7 斜拉索安装前，均应作 1.3~1.5 倍设计荷载的预张拉试验，锚板回缩量不大于 6mm，试验后锚具完好。
- 8 斜拉索成品在出厂前须做放索试验。

3.6.2 钢绞线拉索应符合下列规定：

- 1 制作拉索的 PE 防护钢绞线的母材可用光面钢绞线、热镀锌钢绞线、环氧涂覆钢绞线或其他满足相应的防腐性能要求的钢绞线。
- 2 钢绞线的 PE 护套材料应采用高密度聚乙烯，材料应符合 CJ/T 297 的规定。
- 3 护套应厚薄均匀，最小厚度不小于 1.5mm，PE 防护钢绞线保护套应光滑无裂缝、无气孔、无明显褶皱和机械损伤。
- 4 PE 防护钢绞线采用的防腐材料可选用防腐润滑脂或蜡。

3.7 锚具、夹具

3.7.1 锚具、夹具和连接器应按设计规定采用，其性能和质量应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T14370）的规定。

3.7.2 锚具应满足分级张拉、补张拉以及放松预应力的要求；锚固多根预应力筋的锚具除应具有整束张拉的性能外，尚应具有单根张拉的性能；用于承受低应力或动荷载的夹片式锚具应具有防松性能；锚具的锚口摩阻损失率宜不大于 6%。

条文说明:

本条对“锚口摩阻损失率宜不大于 6%”的规定是针对生产厂的锚具产品提出的要求，而不是针对施工操作的，在锚具材料订货及进场检验时，需作为一项重要指标进行控制。

3.7.3 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和安全的重复使用性能，主要锚固零件应具有良好的防锈性能，可重复使用的次数应不少于 300 次。需敲击才能松开的夹具，必须保证其对预应力筋的锚固没有影响，且对操作人员的安全不造成危险。

3.7.4 锚具、夹具和连接器进场时，应按合同核对其型号、规格和数量，以及适用的预应力筋品种、规格和强度等级，且生产厂应提供产品质保书、产品技术手册、锚固区传力性能型式检验报告，以及夹片式锚具的锚口摩阻损失测试报告或参数。

产品按合同核对无误后，应按下列规定进行进场检验：

(1) 外观检验：应从每批产品中抽取 2%且不少于 10 套样品，检验表面裂纹及锈蚀情况。表面不得有裂纹及锈蚀。当有 1 个零件不符合要求时，本批全部产品应逐件检验，符合要求者判定该零件外观合格。对配套使用的锚垫板和螺旋筋可按上述方法进行外观检验，但允许表面有轻度锈蚀。

(2) 尺寸检验：应从每批产品中抽取 2%且不少于 10 套样品，检验其外形尺寸。

外形尺寸应符合产品质保书所示的尺寸范围。当有 1 个零件不符合规定时，应另取双倍数量的零件重新检验；如仍有 1 个零件不符合要求，则本批全部产品应逐件检验，符合要求者判定该零件尺寸合格。

(3) 硬度检验：应从每批产品中抽取 3%且不少于 5 套样品（对多孔夹片式锚具的夹片，每套抽取 6 片），对其中有硬度要求的零件进行硬度检验，每个零件测试 3 点，其硬度应符合产品质保书的规定。当有 1 个零件不合格时，应另取双倍数量的零件重做检验；如仍有 1 个零件不合格，则应对本批产品逐个检验，合格者方可使用或进入后续检验。

(4) 静载锚固性能试验：应在外观检验和硬度检验均合格的同批产品中抽取样品，与相应规格和强度等级的预应力筋组成 3 个预应力筋—锚具组装件，进行静载锚固性能试验。如有 1 个试件不符合要求，则应另取双倍数量的样品重做试验；如仍有 1 个试件不符合要求，则该批锚具为不合格。静载锚固性能试验方法应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T14370）的规定。

3.7.5 对特大桥、大桥和重要桥梁工程中使用的锚具产品，应进行上述 4 项检查和检验；对锚具用量较少的一般中、小桥梁工程，如生产厂能提供有效的静载锚固性能试验合格的证明文件，则可仅进行外观检验和硬度检验。

条文说明：

“锚具用量较少”的含义为锚具的用量远少于验收批的数量，如不足正常验收批的 20%；“一般中、小桥梁工程”是指二级及以下等级公路中的且设计无特殊要求的中、小桥梁；“有效的静载锚固性能试验合格的证明文件”是指试验时间不超过 1 年，且由具有资质的检测单位提供的检验报告。

3.7.6 进场检验时，同种材料、同一生产工艺条件下、同批进场的产品可视为同一验收批。锚具的每个验收批宜不超过 2000 套；夹具、连接器的每个验收批宜不超过 500 套；获得第三方独立认证的产品，其验收批可扩大 1 倍。检验合格的产品，在现场的存放期超过 1 年，再用时应进行外观检验。

3.7.7 锚具、夹具和连接器在存放、搬运及使用期间均应妥善防护，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤、混淆和散失，临时性的防护措施应不影响其安装和永久性防腐的实施。

3.8 涂装材料

3.8.1 涂装材料应符合涂装设计要求和现行相关标准的规定。

3.8.2 涂料复试应符合以下规定，复验结果应符合相关现行国家标准和设计要求。

- 1 进场的涂装材料复试按本规程附录 A 执行。
- 2 每个涂装材料品种按不同生产批号抽取一个样品，样品数量应满足检验需要。

3.8.3 进场的涂装材料不应存在结皮、结块、胶凝等现象，抽检比例不低于 5%，且不少于 3 桶。

3.9 密封材料

3.9.1 密封材料应符合设计的规定。

3.9.2 密封材料应符合现行行业标准《悬索矫主缆系统防腐涂装技术条件》(JT/T 694)的规定。

3.10 桥梁支座

3.10.1 桥梁支座应符合设计的规定。

3.10.2 桥梁支座应符合《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T 4-2019)、《公路桥梁盆式橡胶支座》(JT/T 391-2019)等的要求。

3.11 伸缩装置

3.11.1 伸缩装置应符合设计文件的规定。

3.11.2 伸缩装置应符合《公路桥梁板式伸缩装置》(JT/T 1269-2019)、《公路桥梁梳齿板伸缩装置第3部分：整体锚固式伸缩装置》(JT/T 1270.3-2019)、《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》(JT/T 327-2019)的要求。

3.12 材料的存放及管理

3.12.1 材料存储及成品管理应有专人负责，管理人员应经企业培训上岗。

3.12.2 材料入库前应进行检验，核对材料的牌号、规格、批号、质量合格证明文件、中文标志和检验报告等，检查表面质量、包装等。

3.12.3 检验合格的材料应按品种、规格、批号分类堆放，材料堆放应有标识。

3.12.4 材料入库和发放应有记录，发料和领料时应核对材料的品种、规格和性能。

3.12.5 剩余材料应回收管理；回收入库时，应核对其品种、规格和数量，分类保管。

3.12.6 钢板堆放应减少钢材的变形和锈蚀，需放置垫木或垫块。

3.12.7 焊接材料存储应符合下列规定：

- 1 焊条、焊丝、焊剂等焊接材料按品种、规格和批号需分别存放在室内，室内应保持适宜的温度及湿度。室内温度应在 5℃以上，相对湿度不超过 60%。室内应保持干燥、清洁。
- 2 焊条、焊剂及焊钉瓷环在使用前，按产品说明书的要求进行烘焙。
- 3 低氢焊条烘干后在大气环境中不应超过 2h，重新烘干次数不应大于 1 次。

3.12.8 高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类存放保管，不得混淆；在室内应架空存放，不得直接置于地面上，并应采取措施防止受潮生锈。高强度螺栓连接副在安装使用前不得任意开箱。

3.12.9 涂装材料应存放在专用仓库内，涂装时不得使用超出质保期的涂料。

条文说明：

应针对工程用涂装材料的特点，在涂装材料运输、贮存及产品验收方面说明涂装材料的管理和验收要求。

（1）涂装材料运输管理

根据工程用不同类型涂装材料的特点针对性制定运输方案，特别是针对部分易燃易爆易挥发涂装材料的特点，做好危化品运输专项方案。同时，运输过程中要做好成品保护措施。

（2）涂装材料贮存管理

应根据涂装材料易燃易爆易挥发的特点，针对性制定相应的贮存方案，远离火源、高压电线，并且要安排专门人员负责巡查；对库房内的消防设施要提出相应的要求。

（3）涂装材料验收管理

涂装材料进场前应对以下内容进行验收：原材料的品种、规格、性能等，检验结果应符合国家现行产品标准和设计要求，检查产品的质保书、质量合格证明文件、中文标志及检验报告等。

4 工厂加工

条文说明:

工厂加工指在加工制造厂对钢构件进行放样和号料、切割、成形加工、制孔、矫正、组装、连接（焊接或栓接）、涂装、检验、包装、运输等。加工制造厂应建立完整的技术质量管理体系，对上述生产过程进行严格管控，确保钢结构产品及其生产过程符合设计和规范要求；同时，应在加工制造前编制用于指导和组织生产活动的加工工艺方案等技术文件，该工艺方案为钢结构施工组织设计的一部分。

4.1 基本规定

4.1.1 制造单位应对设计文件进行工艺性审查。当需要修改设计时必须取得原设计单位同意，并出具相关的正式设计变更文件。

条文说明:

制造厂对设计图和相关技术文件，从技术要求、可操作性、图面信息、制造线形要素、焊接施工、防腐体系等方面进行工艺性审查，提出合理化建议，以确保设计文件适合批量生产制造。

4.1.2 制造单位应根据设计文件绘制施工图，编制制造工艺等文件，并进行切割、焊接、涂装等工艺评定试验。钢桥制造应根据施工图和制造文件进行。设计构件制作工艺时，应避免和减少应力集中、残余应力以及次应力。

条文说明:

钢桥施工图是指制造单位根据设计资料和结构受力情况，结合原材料特性、运输方案以及制造厂工艺装备、生产能力等因素对桥梁进行分段、分块后，绘制的满足制造需求的图样。编制制造工艺的目的是使钢结构的生产加工更加符合实际情况。

4.1.3 钢桥的制造宜推广采用数字化、自动化和信息化制造的先进技术、工艺和设备。

条文说明:

随着科学技术的进步和发展，特别是信息技术的日新月异，各种数字化、自动化和信息化的手段不断增强，BIM技术、三维建模、数控设备以及工业机器人已在制造业和工程建设领域中越来越多地得到应用。本规程鼓励和提倡在桥梁钢结构的制造中积极推广应用这些先进的技术、工艺和设备，以提高效率，保证制造精度和工程质量。

4.1.4 设计相同的构件在制造精度上宜达到互换要求。

4.1.5 钢桥制造及验收必须使用计量检定、校准合格的计量器具，并按有关规定进行操作。

条文说明：

钢桥制造及验收必须使用合格的计量器具。钢桥制造厂应按有关规定，定期将使用的计量器具送计量检验部门进行计量检定，并在检定有效期内使用。

4.1.6 各工序应按技术标准进行质量控制，每道工序完成后，应进行检查，并形成记录；工序间应进行交接检验，未经检查或经检查不合格的不得进行下道工序的生产。

4.1.7 梁段应经过首件验收合格之后，方可进行批量生产。

条文说明：

首件验收的目的是对首件的各项施工工艺、技术和质量指标进行综合评价，确定最佳工艺、建立样板工程，规范后续分项工程中每一道工序的施工质量，预防和纠正生产中可能出现的质量问题，从而带动工程整体质量水平的提高。

4.1.8 钢桥构件加工应充分考虑板件焊接、组装、运输的可施工性以及运营期间的可检修性，设置必要的通道孔（加盖）、施焊孔、焊接空间、检查梯等。

4.1.9 应采取措施防止钢梁构件在制作、运输、安装架设和运营阶段的过大变形和丧失稳定。

4.1.10 钢桥制造完成后，制造单位应按照施工图和本章相关规定进行验收。

4.2 下料

4.2.1 零件切割准备工作应符合下列要求：

- 1 切割工艺应根据其评定试验结果编制。
- 2 钢板在下料前宜进行辊平、抛丸除锈、除尘及涂防锈底漆等处理。下料前应移植钢板的牌号、规格等信息。

条文说明：

对于产品在车间内制作，不超过半年，且在非梅雨季使用的钢板，可不喷涂防锈底漆。

- 3 下料前应检查钢材的炉批号、材质、规格和外观质量。
- 4 主要零件下料时应使钢材的轧制方向与其主要应力方向一致。

条文说明：

主要零件的下料，应使钢板的轧制方向与其主要应力方向一致，但当钢板纵向、横向往力学性能相近，并满足设计要求时，可不受此限。对于连接板等非焊接件也不受此限制。

4.2.2 切割前应将钢料表面的浮锈、污物清除干净。钢料应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。切割表面不应产生裂纹。

4.2.3 剪切仅适用于次要零件或边缘进行机加工的零件，剪切尺寸允许偏差应为 $\pm 2.0\text{mm}$ 。剪切边缘应整齐，无毛刺、反口、缺肉等缺陷。

4.2.4 手工焰切仅适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 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

条文说明：

工艺特定的零件指的是不便采用自动切割或半自动切割边缘的零件。

4.2.5 零件切割宜选用精密（数控、自动、半自动）切割下料。精密切割后边缘不再进行机加工的零件应符合下列要求：

1 焰切面质量应符合表 4.2.5 的规定；

表 4.2.5 焰切面质量

序号	项目	主要零件	次要零件
1	表面粗糙度	25 μm	50 μm
2	崩坑	不允许	1000mm 长度内允许有一处 1.0mm
3	塌角	圆角半径 $\leq 1.0\text{mm}$	
4	切割面垂直度	$\leq 0.05t$ (t 为板厚), 且不大于 2.0mm	

2 尺寸允许偏差应符合本规程表 4.5.1-1、表 4.5.1-2 的规定。

3 切割面的硬度不超过 HV350；

4 外边缘切割后宜进行磨平和圆角打磨。

条文说明：

对于切割面硬度，当钢材的强度级别不大于 Q370 时应不超过 HV350，耐候钢及 Q370 以上强度级别的钢材按照设计要求。

4.2.6 型钢下料宜采用机械切割，型钢切割线与边缘垂直度允许偏差应为 2.0mm。

4.2.7 圆弧部位应修磨匀顺。所有外露钢板和型钢的切边均应倒 R2mm 圆角。

4.2.8 崩坑缺陷的修补应符合本规程附录 B 的规定。

4.3 矫正与弯曲

4.3.1 零件矫正宜采用冷矫，矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕和损伤。

4.3.2 零件冷矫时的环境温度不宜低于 -12°C 。

条文说明：

钢材在低温时塑性较差，为防止因冷矫引起脆断，应对冷矫时的环境温度加以严格限制。

4.3.3 采用热矫时，加热温度应控制在 $600^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，设计文件有要求时，按设计文件

规定执行。矫正后钢材温度应缓慢自然冷却，温度降至室温前，不得锤击和用水急冷。

条文说明：

采用热矫时，Q420qE（TMCP、TMCP+回火）钢热矫温度通常控制在 750℃ 以下且严禁保温；Q500qE（TMCP、TMCP+回火）热矫温度通常控制在 700℃ 以下且严禁保温；Q370qE（TMCP、TMCP+回火或正火）及其它钢板加热温度通常不超过 800℃。

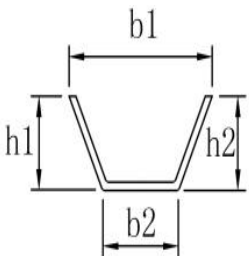
4.3.4 主要零件冷作弯曲时，环境温度不宜低于-5℃，内侧弯曲半径不宜小于板厚的 15 倍，但对 U 形肋折弯时不宜小于板厚的 4 倍。U 形肋成型后要求圆角外边缘不得有裂纹，手孔切割处要打磨匀顺。弯曲后的零件边缘不得产生裂纹。

4.3.5 零件的内侧弯曲半径小于板厚的 15 倍者应热煨，热煨的加温温度、高温停留时间、冷却速率应与所加工钢材的性能相适应。零件热煨温度应控制在 900℃~1000℃，设计文件有要求时，按设计文件规定执行。弯曲后的零件边缘不得产生裂纹。

4.3.6 冲压成型仅适用于次要零件，并应根据工艺试验结果用冷加工法矫正，矫正后应检查，不应出现裂纹。

4.3.7 U 肋可采用热轧或冷弯成型，U 肋成型后应检查，要求圆角外边缘不得有裂纹。U 肋尺寸允许偏差见表 4.3.7。

表 4.3.7 U 肋尺寸允许偏差

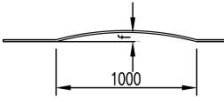
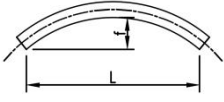
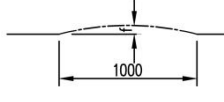
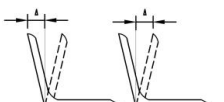
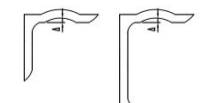
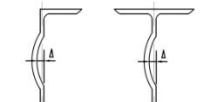
序号	项目	图例	允许偏差（mm）
1	开口宽度 b1		+2.0~-1.0
2	底宽度 b2		±1.5
3	肢高 h1、h2		±1.5
4	两肢差 h1-h2		≤2.0
5	旁弯、竖弯		<L/1000 或 6, 取较小值, L 为肋长

条文说明：

U肋加工宜采用辊压渐变成形、优先选用热轧变截面或厚边U肋产品。

4.3.8 矫正后零件的尺寸偏差应符合表 4.3.8 的要求。

表 4.3.8 零件矫正允许偏差(mm)

序号	名称	项目	图例	说明		允许偏差
1	钢板	平面度		每米范围		$f\leq 1.0$
2		直线度		全长范围	$L\leq 8m$	$f\leq 2.0$
					$L> 8m$	$f\leq 3.0$
3	型钢	直线度		每米范围		$f\leq 0.5$
4		角钢肢垂直度		连接部位		$\Delta\leq 0.5$ （用角式样板卡板时，角度不得大于 90°）
				其余		$\Delta\leq 1.0$
5		角钢肢、槽钢肢平面度		连接部位		$\Delta\leq 0.5$
				其余部位		$\Delta\leq 1.0$
6		工字钢、槽钢、H 型钢腹板平面度		连接部位		$\Delta\leq 0.5$
				其余部位		$\Delta\leq 1.0$
7		工字钢、槽钢、H 型钢翼缘垂直度		连接部位		$\Delta\leq 0.5$
				其余部位		$\Delta\leq 1.0$

4.4 机加工

4.4.1 加工面的表面粗糙度不得大于 Ra25um，零件边缘的加工深度不得小于 3mm，零件边缘硬度不超过 HV350 时，加工深度不受此限。

4.4.2 顶紧传力面的表面粗糙度不得大于 Ra12.5um；顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 0.01t（t 为板厚），且不得大于 0.3mm。

4.4.3 零件应根据预留加工量及平直度要求，两边均匀加工，并应磨去边缘的飞刺、挂

渣，使端面光滑匀顺。

条文说明：

当零部件外形尺寸有加工有精度要求时，宜采用机械刨边或铣边对零部件的边缘进行机加工。加工工艺方案应明确零部件需要边缘机加工的位置、加工方法、预留的刨（铣）削余量及检验要求。

4.4.4 坡口应采用机加工或精密切割，过渡坡口宜采用机械加工，坡口尺寸及允许偏差依据工艺评定确定。

4.4.5 支座垫板应采用机加工的方式，加工完成后支座垫板与钢梁底板相接触面的表面粗糙度不应大于 Ra12.5um。

4.4.6 钢塔节段端面机加工应符合下列规定：

1 钢塔节段划分应充分考虑节段运输的方便与节段安装时的设备吊装能力。较矮的钢塔节段之间可采用焊接的方式连接。较高的钢塔宜采用高强度螺栓与端面接触共同受力的连接形式。考虑端面接触共同受力时，应在高强度螺栓拼接板上开设金属接触率检查孔。

条文说明：

钢塔端面机加工是钢塔制造过程中的一个工序，在组装、焊接修正后进行。钢塔节段端面机加工主要针对“金属接触+螺栓连接”的钢塔，“焊接连接”的钢塔一般不进行端面机加工。

2 对从事钢塔节段机加工人员进行岗前专项培训，操作人员须经过考核合格后方可上岗工作。

3 钢塔节段划线时应至少提前 2 小时置于机加工车间，使各部位温度达到均衡，并应选择温度差较小的时段进行。加工车间应采取防护措施确保机加工环境的稳定。

条文说明：

减少加工车间内的温度变化，防止阳光的直接照射及外部气流的影响，可降低机加工过程中钢塔节段的温度变形，提高加工精度。

4 钢塔节段机加工前应对节段的受力状态、支点位置进行分析计算，保证钢塔节段端面与轴线垂直。在钢塔节段支撑稳定后，调整支点反力，使各点受力均匀后进行划线及定位操作。

5 钢塔端面机加工前，应设计定位工作平台。平台应具有足够刚度，并应设置精确的定位调整设备，其精度应满足钢塔节段端面机加工的要求。

6 端面加工时应按切削基准线进行铣削；半精铣和精铣过程必须连续走刀，不得中途停车；精铣时，不得往复走刀及产生残余切削，同时应对加工时产生的切削热采取冷却措施。

7 节段端面加工完成后，采用钢划针划出预拼装对位线，并作出标识，对加工端面喷涂无机硅酸锌涂料进行临时防护，以免锈蚀。

8 钢塔节段端面机加工精度允许偏差应符合表 4.4.6 的规定。

表 4.4.6 钢塔节段端面机加工精度允许偏差（mm）

序号	名称	允许偏差
1	长度 L	±2.0
2	两端面的平行度	≤0.5
3	平面度	0.25/全平面 (面积≤42m²)
		0.4/全平面 (面积>42m²)
4	表面粗糙度	Ra12.5 μm
5	钢塔节段端面对轴线的垂直度（顺桥向、横桥向）	1/10000

4.5 零件基本尺寸

4.5.1 零件尺寸的允许偏差应符合表 4.5.1-1 或表 4.5.1-2 的规定。

表 4.5.1-1 零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名 称	项 目		允许偏差
1	板梁主梁，桁梁的弦杆、斜腹杆、竖腹杆，纵梁，横梁，联结系杆件	盖板宽度	工形	±2.0
			箱形	+2.0~0
		腹板宽度		根据盖板厚度及焊接收缩量确定
2	节点板，拼接板	孔边距		±2.0
3	座板	长度、宽度	嵌入式	±1.0

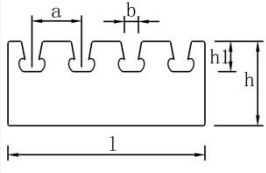
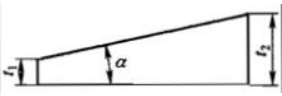
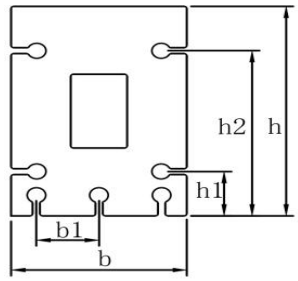
			其他	± 2.0
4	拼接板		宽度	± 2.0
5	支承节点板、拼接板、角钢		支承边孔边距	$+0.5 \sim +0.3$
6	焊接接头板		孔至焊接边距离	根据焊接收缩量确定
7	箱形杆件内隔板	宽度	≤ 1000	$+0.5 \sim +0.3$
			> 1000	$+1.0 \sim 0$
		高度		$0 \sim -1.0$
		板边垂直度	隔板尺寸 ≤ 1000	≤ 0.5
			隔板尺寸 > 1000	≤ 1.0
8	桥面板块	桥面板	长度、宽度	± 2.0
			a	± 2.0 (任意两槽口间距) ± 1.0 (相邻两槽口间距)
			b	$+2.0 \sim 0$
			开口深度 h1	± 2.0
			高度 h	$+1.5 \sim 0$
			长度 l	焊接: $0 \sim 2.0$ 栓接: ± 5.0
9	楔形板		厚度 t1、t2	± 1.0
			斜度 α	$\leq 0.05^\circ$

表 4.5.1-2 箱型梁零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差		图例
1	盖板	长度	按工艺文件	
		宽度	$+2.0 \sim 0$	
2	腹板	长度	按工艺文件	
		宽度	根据盖板厚度及焊接收缩量确定	
3	隔板	宽度 b	$+1.5 \sim 0$	
		高度 h	$+2.0 \sim 0$	
		缺口定位尺寸 b1、h1、h2	± 1.0	
		垂直度	≤ 1.0	

4.6 制孔

4.6.1 钻孔前，应对工件进行校直或整平，且每次钻孔板层厚度不宜超过 80mm。

4.6.2 螺栓孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度不得大于 $Ra25\mu m$ ，孔缘无损伤不平，无刺屑。不得采用冲孔、气割孔。孔圆度偏差为 $\pm 0.5mm$ 。

4.6.3 螺栓孔径允许偏差应符合表 4.6.3 的规定。板厚 $t \leq 30mm$ 时，孔壁垂直度不大于 0.3mm，板厚 $t > 30mm$ 时，孔壁垂直度不大于 0.5mm。

表 4.6.3 螺栓孔径允许偏差 (mm)

序号	螺栓直径	螺栓孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
1	M12	14	+0.5~0	板厚 ≤ 30 时，不大于 0.3； 板厚 > 30 时，不大于 0.5。
2	M16	18	+0.5~0	
3	M20	22	+0.7~0	
4	M22	24	+0.7~0	
5	M24	26	+0.7~0	
6	M27	29	+0.7~0	
7	M30	33	+0.7~0	
8	$> M30$	> 33	+1.0~0	

4.6.4 螺栓孔距允许偏差应符合表 4.6.4 的规定，有特殊要求的孔距偏差应满足设计文件的要求。

表 4.6.4 螺栓孔距允许偏差 (mm)

序号	项 目		允许偏差		
			主要杆件		次要杆件
			桁梁杆件	板梁主梁	
1	两相邻孔距离		±0.4	±0.4	±0.4（±1.0）②
2	多组孔群两相邻孔群中心距		±0.8	±1.5	±1.0（±1.5）②
3	两端孔群中心距	L≤11m	±0.8	±4.0①	±1.5
		L＞11m	±1.0	±8.0①	±2.0
4	孔群中心线与杆件中心线的横向偏移	腹杆不拼接	2.0	2.0	2.0
		腹杆拼接	1.0	1.0	-
5	杆件任意两面孔群纵、横向错位		1.0	-	-
6	孔边距	顺力方向	2 d～4 d（或 8t）		d: 孔径, t: 板厚。 两者取其小。
		其它方向	1.5 d～4 d（或 8t）		

注：①连接支座的孔群中心距允许偏差；

②括号内数值为附属结构的允许偏差。

4.6.5 制孔完成后应对孔壁及周边进行打磨处理，不得有飞刺，表面及棱角处应光滑匀顺。

条文说明：制孔宜优先采用先孔法。

4.7 组装

4.7.1 基本规定

1 组装前，组装人员应熟悉图纸、组装工艺及有关技术文件的要求，并按图纸核对零件编号、材质、规格、外形尺寸、坡口方向和数量等。

2 组装前应彻底清除待焊区域的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等杂物，使其表面显露出金属光泽。清除范围应符合图4.7.1的规定。

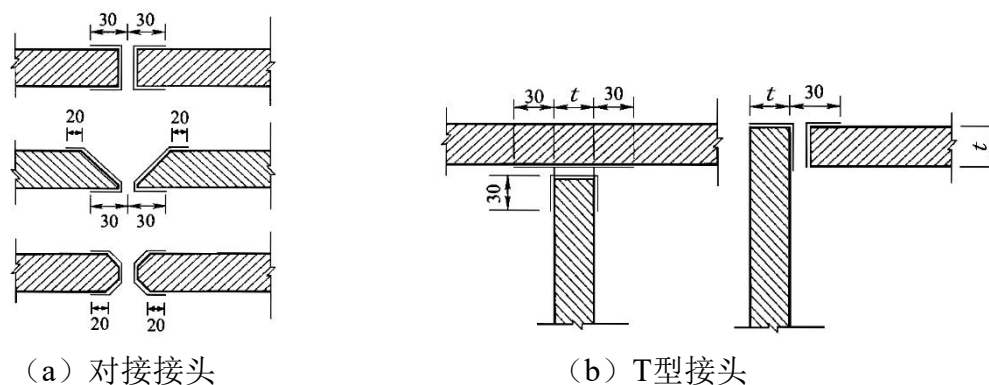


图4.7.1 组装前的清除范围（单位：mm）

3 对接缝的端部应设置引弧板，引弧板由两块拼装而成，其厚度、坡口形式等均应与主材和主接头的相同，采用CO₂焊接的，单块引弧长度应不小于80mm，宽度应不小于40mm。采用埋弧焊接的，单块引弧长度应不小于100mm，宽度应不小于60mm。

4 钢板接料应在构件组装前完成，并应符合下列规定：

1) 钢箱梁的顶板、底板、腹板的接料纵向焊缝与U形肋、板肋焊缝间距不得小于100mm。桁梁的盖、腹板接料长度不宜小于1000mm，宽度不得小于200mm，横向接料焊缝轴线距孔中心线不宜小于100mm。

2) 箱形梁的顶、底、腹板和板梁的腹板接料焊接可为十字形或T字形，T字形交叉点间距不得小于200mm；腹板纵向接料焊缝宜布置在受压区。

3) 组装时应将相邻焊缝错开，错的最小距离应符合图4.7.2的规定。

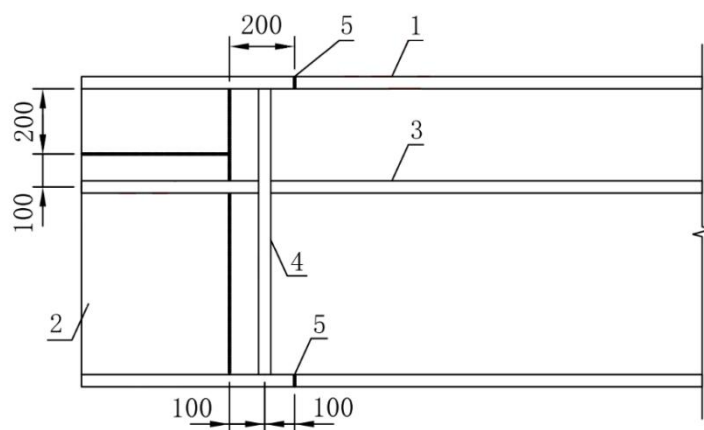


图4.7.2 焊缝错开最小距离

4) 节点板需要接宽时，接料焊缝应距其他焊缝、节点板圆弧起点、高强度螺栓拼接边缘部位100mm以上；节点板应避免纵、横向同时接料。

条文说明：

通常节点板避免接料，随着桥梁跨度不断增大，有的节点板宽度超出了钢板的轧制宽度，因此本条对节点板接料做出了规定。

5 所有板单元和杆件应在胎架或平台上进行组装，U形肋与桥面板宜采用自动定位组装胎进行组装。每次组装前均应对胎架进行检查，确认合格后方可组装。

6 采用先孔法的杆件，组装时必须以孔定位；采用胎型组装时，每一孔群应打入的定位冲钉不得少于2个，冲钉直径不应小于设计孔径0.1mm。

7 钢箱梁的组装宜采用反造法，组装时应在胎架上组装，胎架应具有足够的刚度和几何尺寸精度，组装前应按工艺文件要求检查胎架的几何尺寸。

8 大型钢箱梁的梁段宜采用连续匹配组装的工艺，每次组装的梁段数量不应少于3段。

9 大型杆件、钢箱梁在露天进行组装时，工装的设计、组装及测量应考虑日照和温差的影响，并应采用全站仪监控测量主要定位尺寸。

10 采用埋弧自动焊焊接的焊缝，应在焊缝的端部设置引弧板、引出板，其材质、厚度、坡口应与所焊件相同，长度应不小于100mm。

11 需做产品试板检验时，应在焊缝端部连接试板，试板材质、厚度、轧制方向及坡口应与所焊对接板材相同，其长度应大于400mm，每侧宽度不应小于150mm。

4.7.2 拼板组装

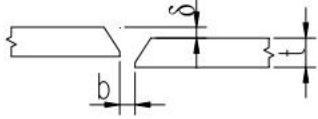
1 拼板组装就是将两块以上的小板块按施工图纸和工艺文件要求利用临时连接件将

其固定在一起而形成一块大板块。

2 拼板组装应在拼板专用平台或胎架上进行，严禁在地面上进行拼板组装，严禁将钢板摆放在高低不平或支点间距较大的临时胎位上进行拼板组装，严禁在工件面上进行拼板组装。

3 拼板组装检测项目及其尺寸允许偏差见表4.7.2。

表4.7.2 拼板组装检测项目尺寸允许偏差

检测项目			允许偏差	示意图及备注
主控项目	长度		±2	 t: 不同板厚取薄板 b: 有衬垫按标准间隙6mm计
	宽度		±2	
	对角线差		≤3	
	基准线差		≤1	
	错边量 δ		0.5 (t<25) 1 (t≥25)	
一般项目	间隙b	有衬垫	-2~+6	
		无衬垫	1	
确认项目	周边坡口朝向		对错	对照图纸现场查对，有不同板厚的需查对过渡坡口朝向。
	小板块的摆放位置		对错	

4.7.3 杆件组装

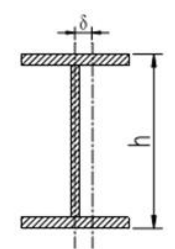
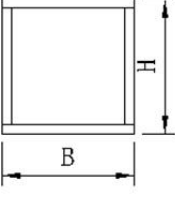
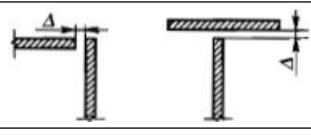
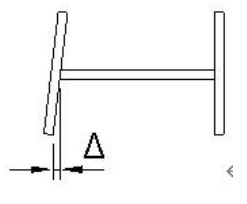
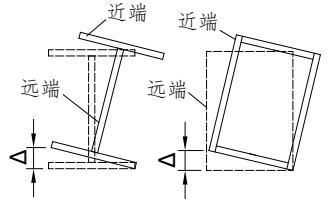
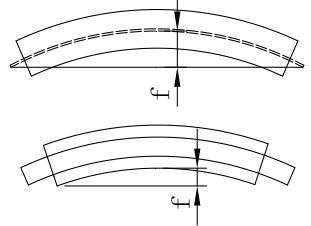
1 杆件是指钢桁梁的主桁弦杆和腹杆、联结系杆件、桥面系纵梁和横梁等杆件，钢板梁的纵梁和横梁等杆件。按截面形式分，主要有：箱形杆件、T形杆件、H形杆件和王字形杆件。其中T形杆件、H形杆件和王字形杆件基本构造形式相似，为表述简洁，本规程在组装尺寸允许偏差控制和成品外形尺寸精度要求中，仅体现了H形杆件，其它的两种杆件可参照H形杆件的执行。

2 杆件组装优先采用专用组装生产线，超出生产线组装范围的大型杆件或无专用组装生产线的施工单位，需设计制造专用组装平台或胎架，以确保杆件组装精度及实现无马或少马组装。

3 采用先孔法制作的杆件，组装时必须以孔定位；采用胎型组装时，每一孔群应打入的定位冲钉不得少于2个，定位冲钉直径尽可能接近实际钻孔直径，原则上不小于比设计孔径小0.1mm。

4 钢桁梁桁架杆件组装尺寸允许偏差应符合表4.7.3-1、表4.7.3-2的规定

表 4.7.3-1 钢桁梁主桁杆件组装尺寸允许偏差 (mm)

项目		允许偏差		备注	简 图
		栓接用	焊接用		
高度 H	插入式	0~-2	/	测量两端腹板处高度	
	对接式	±1	±2		
宽度 B	腹板有拼接	±1	/	每 2m 测一次	
	腹板无拼接	±2	±2		
长度 L		±4	±4	测量全长	
腹板中心线偏移 δ	端头 1000	≤0.5	≤1		
	其它部位	≤1	≤2		
箱形杆件对角线差		≤ (B+H) /1000	≤ (B+H) /500	测量两端箱口处两对角线	
组装间隙 Δ	有孔部位	≤0.5	/		
	其余部位	≤1	≤1		
H 形杆件盖板对腹板的垂直度 Δ	有孔部位	≤B/600	/	B 为盖板宽度	
	其余部位	≤B/150	≤B/150		
扭曲		≤3	≤4	杆件四角中有三角接触平台, 悬空一角与平台间隙	
旁弯 挠度	L≤4000	L/1000, ≤2	L/1000, ≤3	拉线测量	
	4000<L≤16000	L/1000, ≤3	L/1000, ≤4		
	L>16000	L/1000, ≤5	L/1000, ≤5		
锚管与弦杆顶面夹角		0.1°	0.1°		
锚管与弦杆轴线偏角		0.1°	0.1°		
承锚板外表面锚孔中心点位置偏差		1.5	1.5		

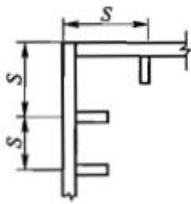
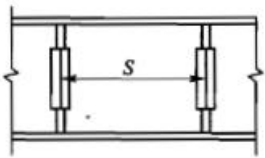
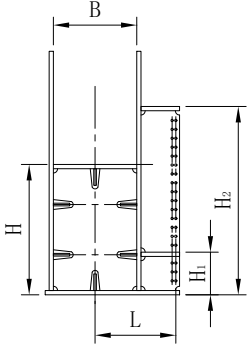
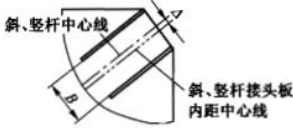
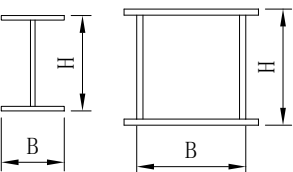
项目	允许偏差		备注	简 图
	栓接用	焊接用		
加劲肋间距 S	±1	±3		
隔板间距 S	±3	±3		

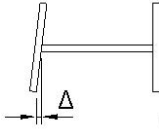
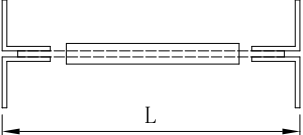
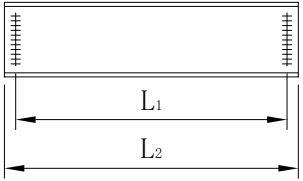
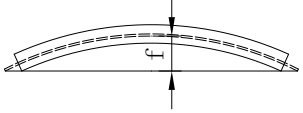
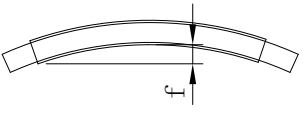
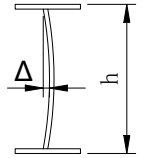
表 4.7.3-2 钢桁梁主桁弦杆整体节点处组装尺寸允许偏差（mm）

项目	允许偏差		备注	简 图
	栓接用	焊接用		
节点板内侧宽度 B	0.5~+2.5	0~+1.5	测腹杆插入部位	
端口高度 H	0~+1.5	0~+1.5	测量两端腹板高度	
横梁接头板高度 H1、H2	0~+1.5	0~+1.5	接头板外端腹板处高度	
节点板内侧中心线距横梁接头板外侧孔的距离 L	0~+1.5	0~+1.5	/	
节点板垂直度 Δ	≤1.5	≤1.5		
接头板和腹杆两者中心线偏离 Δ	≤0.5	≤2		
接头板内隔板位置偏离	≤0.5	≤2		

5 钢板梁、钢桁梁连接系和桥面系杆件组装尺寸允许偏差应符合表4.7.3-3的规定。

表 4.7.3-3 钢板梁、钢桁梁联结系和桥面系杆件组装尺寸允许偏差（mm）

项目		允许偏差		备注	简 图
		栓接用	焊接用		
高度 H	纵梁	±1	±2	测量两端腹板处高度	
	横梁	±1.5	±3		
盖板	H 形杆件	±2	±2	每 2m 测一次	

项目		允许偏差		备注	简 图
		栓接用	焊接用		
宽度 B	箱形杆件	± 1	± 2		
箱形杆件对角线差		$\leq (B+H)/1000$	$\leq (B+H)/500$		
H形杆件盖板对腹板的垂直度		$\leq B/150$	$\leq B/150$		
长度 L	纵梁	0.5~-1.5	/	测量两端角钢背至背的间距	
	横梁	± 1.5	/		
	L ₁	± 1	/	L1: 测量腹板极边孔距	
	L ₂	± 5	0~2		
旁弯 f		$L/1000, \leq 5$	$L/1000, \leq 5$	梁立置时, 在腹板一侧距主焊缝 100mm 处拉线测量	
上挠度 f		$L/1000, 2 \leq f \leq 10$	$L/1000, 2 \leq f \leq 10$	正造时在下盖外侧拉线测量	
腹板平面度 Δ		$h/500$ 且 ≤ 5	$h/500$ 且 ≤ 5		 h 为纵、横梁端面高度

4.7.4 板单元组装

1 板单元是指钢箱梁的顶板单元、底板单元、腹板单元和隔板单元，正交异性桥面板的顶板单元、钢槽梁的底板单元、腹板单元和隔板单元。也就是板系结构的基本制作单元。其基本结构形式是在钢板上设置纵横加劲肋，加劲肋可分两类，即闭口肋和开口肋，常用的闭口肋是U型加劲肋，简称U肋，常用的开口肋有：板肋、T肋、球扁钢肋等，

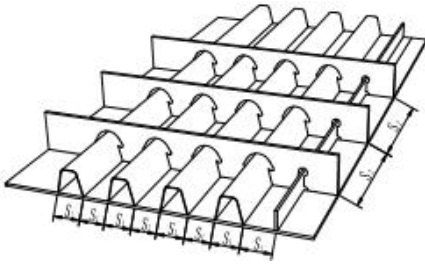
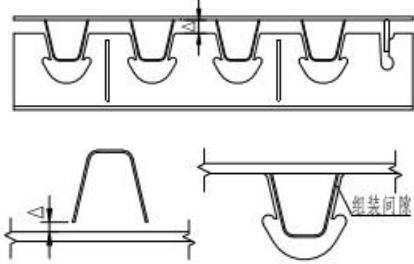
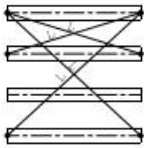
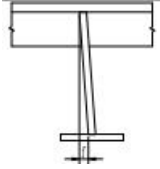
2 板单元组装优先采用板单元组装生产线，超出生产线组装范围的大型板单元或无板单元组装生产线的施工单位，需设计制造专用组装平台或胎架设施，以确保板单元组装精度及实现无马或少马组装。

3 采用先孔法制作的板单元，组装时必须以孔定位；采用带定位工装的胎型组装时，

每一孔群应打入的定位冲钉不得少于2个，定位冲钉直径尽可能接近实际钻孔直径，原则上不小于比设计孔径小0.1mm。

4 U肋顶（底）板单元组装尺寸允许偏差应符合表4.7.4-1的规定。

表 4.7.4-1 U 肋顶（底）板单元组装尺寸允许偏差（mm）

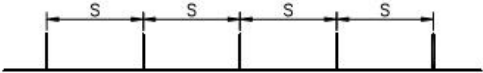
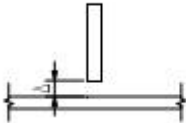
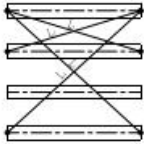
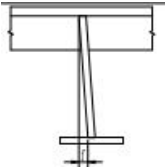
项目		允许偏差		简 图
		栓接用	焊接用	
长 度	U 肋两端孔距	±1.5	/	
	U 肋全长	±3	±2	
	两端板边距	±3	±2	
U 肋孔群中心位置		±1	/	
U 肋端口位置		±3	±3	
宽度		±2	±2	
U 肋间 距	端部	±0.5	±1	
	横隔面	±1	±1	
	其它	±2	±2	
U 肋端部与基线间距		±0.5	±1	
横肋间距		±2	±2	
U 肋与面板间隙		≤0.5	≤0.5	
U 肋与横肋间隙		≤3	≤3	
横肋与面板间隙		≤1	≤1	
相邻横肋对角线差		≤2	≤2	
两端横肋对角线差		≤4	≤4	
横肋与 面板垂 直度	端部	≤h/600	≤h/600	
	其它	≤h/400	≤h/400	
U 肋端口对角线差		≤0.5	≤0.5	
U 肋端口高度		±2	±1	

注：1. “栓接用”是指钢桥节段间U肋采用螺栓连接的板单元，“焊接用”是指钢桥节段间U肋对接采用焊接的板单元。

2.长度加放余量的板单元，可检测其检查线或不作检查。

5 开口肋顶（底）板单元组装尺寸允许偏差应符合表4.7.4-2的规定。

表 4.7.4-2 开口肋顶（底）板单元组装尺寸允许偏差（mm）

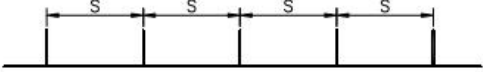
项目		允许偏差		简 图
		栓接用	焊接用	
长 度	纵肋两端孔距	±1.5	/	
	纵肋全长	±3	±2	
	两端板边距	±3	±2	
纵肋孔群中心位置		±1	/	
纵肋端口位置		±3	±3	
宽度		±2	±2	
纵肋间 距	端部	±0.5	±1	
	横隔面	±1	±1	
	其它	±2	±2	
纵肋端部与基线间距		±0.5	±1	
横肋间距		/	±2	
横肋端部与基线间距		/	±2	
纵肋与面板间隙		≤0.5	≤0.5	
纵肋与横肋间隙		≤3	≤3	
横肋与面板间隙		≤1	≤1	
相邻横肋对角线差		≤2	≤2	
两端横肋对角线差		≤4	≤4	
肋板与 面板垂 直度	端部	≤h/600	≤h/600	
	其它	≤h/400	≤h/400	

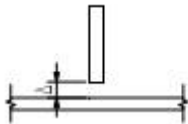
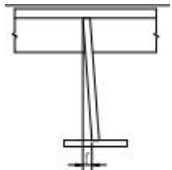
注：1. “栓接用”是指钢桥节段间纵肋采用螺栓连接的板单元，“焊接用”是指钢桥节段间纵肋对接采用焊接的板单元

2. 长度加放余量的板单元，可检测其检查线或不作检查。

6 开口肋腹板和隔板单元组装尺寸允许偏差应符合表4.7.4-3的规定

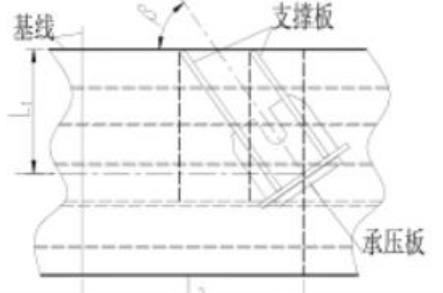
表 4.7.4-3 开口肋腹板和隔板单元组装尺寸允许偏差（mm）

项目		允许偏差	简 图
水平肋 间距	有连接端部	±1	
	无连接端部	±4	
	竖肋面	±1	

项目		允许偏差	简 图
	其它	± 3	
水平肋端部与其基线间距		± 2	
竖肋间距		± 3	
竖肋端部与其基线间距		± 2	
水平肋与面板间隙		≤ 1	
水平肋与竖肋间隙		≤ 3	
竖肋与面板间隙		≤ 1	
肋板与 面板垂 直度	端部	$\leq h/150$	
	其它	$\leq h/75$	

7 带锚箱板单元组装尺寸允许偏差应符合表4.7.4-4的规定

表 4.7.4-4 带锚箱板单元组装尺寸允许偏差（mm）

项目	允许偏差	简 图
锚箱顺桥向位置偏差	± 1	
锚箱竖向位置偏差	± 1	
锚箱与板面距离偏差	± 1	
承锚板角度偏差	0.1°	
锚腹板角度偏差	0.1°	
锚腹板与承锚板组装间隙 (设计要求磨光顶紧的)	0.2	
锚垫板与承锚板贴合度	0.2 塞尺尺寸查有 75%密贴面积。	
锚腹板间距	0~2	
承锚板和锚垫板孔径	0~1	
承锚板和锚垫板孔同心度	≤ 1	

注：锚箱定位点是在承锚板（或锚垫板）外表面锚孔中心点，其顺桥向和竖向位置偏差均取其投影尺寸数据。

4.7.5 节段组装

1 基本规定

(1) 主梁、拱肋和塔柱等桥梁构造，为便于运输和安装，沿轴线将其划分成若干小

段，每一小段即称为节段，或称为分段，平行于轴线将节段再划分成若干个小块，每一小块即称为分块。分块不宜单独组装，需以分块方式运输的节段应先按整体节段方式组装，分块间接缝组装时不焊，只做临时连接，待节段焊接完工后。再拆成分块。因此分块组装可视为等同节段组装。

(2) 节段组装应在专用胎架上进行，胎架图必须经过项目技术负责人签字认可，胎架场地基础必须稳定牢固，胎架结构应有足够的强度和刚性，与地面连接牢靠，胎架支撑点的位置和数量设置要合理，胎架面应根据设计要求及施工经验设置预拱线型。

条文说明：

控制线型的胎架模板顶面标高偏差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。

(3) 节段组装胎架可一次设计制造，多轮重复使用。但在每轮使用前必须对胎架线型进行复查，以确保胎架精度。

(4) 节段组装按体位分有正位组装（正造）、侧位组装（侧造）和倒位组装（反造），选用原则是根据节段的结构形式组装的便利性和安全性、起吊设备能力、节段翻身条件等。

条文说明：

钢箱梁的组装为有利于保证组装精度和焊接质量，在条件允许的情况下，应优先选用反造方法。

(5) 节段组装可单个节段独立组装，也可多个节段匹配或整体组装，全桥整体匹配组装可省去后续预拼装工序。

(6) 在露天进行节段组装的，测量时应考虑日照及温差的影响，并有防风防雨措施。

(7) 节段组装应使用经检验合格的板单元或杆件，不宜采用未制作成板单元而直接应用钢板零件进行节段组装。

(8) 合龙节段的长度应根据工地节段安装合龙前检测确认的数据确定，得到合龙段长度数据后才能切割合龙段余量。

(9) 梁段组装之前应完成所有板单元的焊接工作。

2 钢槽梁节段组装

(1) 顶板与腹板组装在一起先制作T梁单元，检验合格后才能参与钢槽梁节段组装。

(2) 钢槽梁节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-1的规定

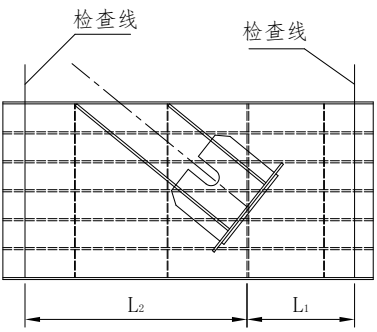
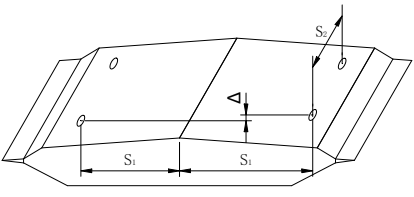
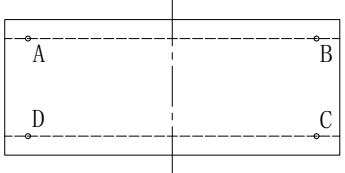
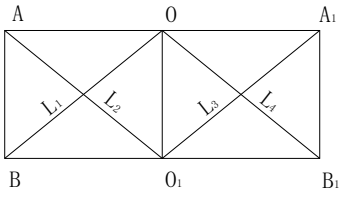
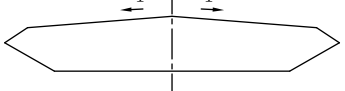
表 4.7.5-1 钢槽梁节段组装尺寸允许偏差（mm）

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	长度 L		±3	
2	梁高		±H/1000	
3	顶板、底板宽度		±3	
4	腹板上下端间距		±2	
5	端口对角线差		3	
6	挠度 f		≤L/2000 且 ≤4	
7	旁弯		≤L/2000 且 ≤4	
8	顶板对腹板角度偏差		≤B/300, 且 ≤2	
9	端口板面平面度		≤H/350 且 ≤5	
10	横隔位置偏差		±3	

3 钢箱梁节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-2的规定

表 4.7.5-2 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	梁长 L		±2	
2	梁高	腹板部位	±2	
		其它部位	±4	
3	腹板中心距		±2	
4	梁半宽差 B/2 顶板半宽差 B1/2 底板半宽差 B2/2		≤B/5000, 且 ≤4	
5	端口尺寸	对角线差	B+2H≤24 ≤(B+2H)/4000 且 ≤4	
			B+2H>24 ≤(B+2H)/6000 且 ≤8	
		顶板与底板中心重合度	≤2	

序号	名称		允许偏差	简图
6	锚管位置	锚管与顶板水平面夹角	$\leq 0.1^\circ$	
		锚管与桥轴线夹角	$\leq 0.1^\circ$	
		锚管与承锚孔同心度	≤ 1	
7	吊点位置	横向中心距 S_1	± 4	
		纵向中心距 S_2	± 2	
		两吊点纵向错位 Δ	± 2	
		同一横剖面相对高差	≤ 5	
8	顶板	四角水平 (A、B、C、D)	≤ 4	
		1/2 对角线差 $ L_1 - L_2 $ $ L_3 - L_4 $	≤ 4	
9	桥面横坡		$\pm 0.3\%$, 且 ≤ 5	
10	横隔位置偏差		± 3	

4 钢桁梁节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-3的规定

表 4.7.5-3 钢桁梁节段组装尺寸允许偏差 (mm)

序号	项 目	允许偏差 (mm)		备注
		栓接用	焊接用	
1	桁高	± 2	± 3	上下弦杆中心距离
2	节间长度	± 2	± 2	
3	节段长度	± 2 (孔距) ± 5 (全长)	± 3	栓接用的测量弦杆两端孔群中心距, 焊接用的测量弦杆

				全长。
4	主桁中心距	± 2	± 3	
5	主桁对角线差	$\leq (H+S)/5000$	$\leq (H+S)/5000$	H: 桁高, S: 节间长度
6	桥面对角线差	$\leq (B+S)/5000$	$\leq (B+S)/5000$	B: 主桁中心距, S: 节间长度
7	端口对角线差	$\leq (B+H)/5000$	$\leq (B+H)/5000$	B: 主桁中心距, H: 桁高
8	挠度	$\leq L/3000$	$\leq L/3000$	L: 节段长度
9	旁弯	$\leq L/3000$	$\leq L/3000$	L: 节段长度

注: “栓接用”是指钢桥杆件间采用螺栓连接的节段, “焊接用”是指钢桥杆件间对接采用焊接的节段。

5 钢桁梁主桁片组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-4的规定

表 4.7.5-4 钢桁梁主桁片组装尺寸允许偏差 (mm)

项目	允许偏差		简 图
	栓接用	焊接用	
长度 (栓接测量弦杆两端孔群中心距, 焊接测量全长)	± 1	± 2	
桁高 (上弦杆和下弦杆间中心距)	± 1	± 2	
桁片平面对角线差 (上弦杆和下弦杆各自两端孔群中心点交叉连线长度差值)	≤ 4	≤ 6	
桁片两端口对角线差 (上弦杆和下弦杆各自两端口间对称取点的交叉连线长度差值)	≤ 3	≤ 5	
四角水平 (扭曲) (上弦杆和下弦杆各自两端孔群中心点)	≤ 4	≤ 4	
共面度 (平面外弯曲) (所有弦杆和腹杆两端点及中点)	≤ 4	≤ 4	
腹杆中心线与弦杆接头板对应位置偏差	± 2	± 2	

6 钢管拱肋节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-5的规定

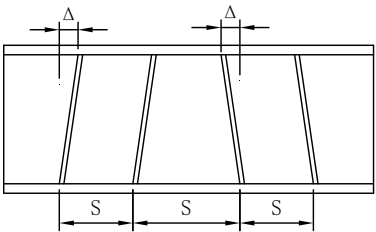
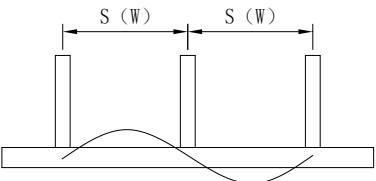
表 4.7.5-5 钢管拱肋节段组装尺寸允许偏差（mm）

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	端口宽度 B	$\leq H/400$ ，且 ≤ 5	
2	端口高度 H	$\leq H/750$ ，且 ≤ 5	
3	端口对角线差 $ L_1-L_2 $	$\leq (2B+H)/2000$	
4	拱肋内弧节段长度 L	± 5	
5	节点间距 L3	± 3	
6	桁面对角线差 $ L_4-L_5 $ (针对对角线相等的)	$\leq (L+2H)/3000$	
7	内弧偏离设计弧线 f	≤ 8	
8	腹杆和平联直线度	≤ 3	
9	吊杆位置与设计位置的偏差	≤ 5	
10	扭曲	$\leq 1\text{mm/m}$ ，且 ≤ 8	
11	接头组装间隙	≤ 2	
12	腹杆和平联组装位置偏差	≤ 5	

7 钢塔节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-6的规定

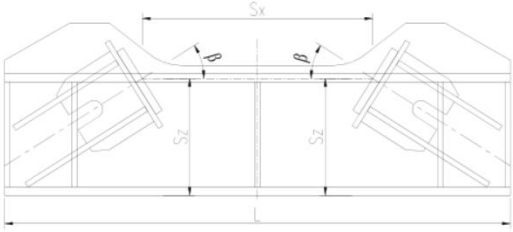
表 4.7.5-6 钢塔节段组装尺寸允许偏差（mm）

项 目	允许偏差		简 图
	端口栓接	端口焊接	
长度 L	± 2	± 2	
高度 H	± 1	± 2	
宽度 B	± 1	± 2	
端口对角	$\leq (H+B)/5000$	$\leq (H+B)/2000$	

项 目	允许偏差		简 图
	端口栓接	端口焊接	
线相对差	且 ≤ 3	且 ≤ 5	
端口共面度	≤ 1	≤ 5	
两端口平行度	≤ 1	≤ 5	
端口与轴线垂直度	≤ 1	≤ 5	
扭曲 δ	$\leq (L+B)/2000$ 且 ≤ 3	$\leq (L+B)/3000$ 且 ≤ 5	
横隔板垂直度偏差 Δ	≤ 3	≤ 3	
横隔板间距偏差 S	± 3	± 3	
旁弯	$\leq L/1000$, 且 ≤ 3	$\leq L/1000$, 且 ≤ 3	
板面平面度	$\leq W/300$, 且 ≤ 3	$\leq W/300$, 且 ≤ 5	

8 钢锚梁节段组装尺寸允许偏差应符合表4.7.5-7的规定

表 4.7.5-7 钢锚梁节段组装尺寸允许偏差（mm）

项目	允许偏差	简 图
钢锚梁长度	± 3	
钢锚梁宽度	± 3	
锚箱顺桥向位置偏差	± 2	
锚箱与锚腹板面距离偏差	± 2	
锚箱与底板面距离偏差	± 2	
承锚板角度偏差	$\pm 0.1^\circ$	
锚腹板角度偏差	$\pm 0.1^\circ$	
锚腹板与承锚板组装间隙（设计要求磨光顶紧的）	0.2	
锚垫板与承锚板贴合度	0.2 塞尺尺寸查有 75%密贴面积。	
锚腹板间距	0~2	
承锚板和锚垫板孔径	0~1	

项目	允许偏差	简 图
承锚板和锚垫板孔同心度	≤1	
钢锚梁旁弯	≤L/1000, 且≤ 3	

注：锚箱定位点是在承锚板（或锚垫板）外表面锚孔中心点，其顺桥向及与底板面距离位置偏差均取其投影尺寸数据。

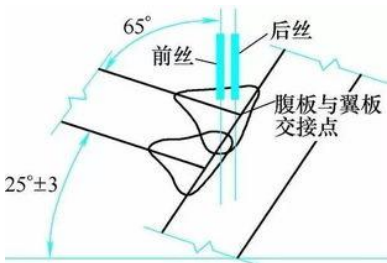
4.8 抗疲劳桥面板加工

4.8.1 抗疲劳正交异性板单元宜采用自动化焊接。

条文说明：
自动化焊接或机器人焊接可大量减少手工焊接的缺陷，保证焊接质量，提高焊接效率。

4.8.2 正交异性桥面板的 U 型肋与钢面板焊缝应优先采用船型焊。

条文说明：
工件的施焊位置像船形一样. 这样能保证角焊缝两边角趾一样高. 焊脚尺寸均匀，避免焊肉塌陷，施焊方便. 焊接速度快. 变形小. 提高生产效率。

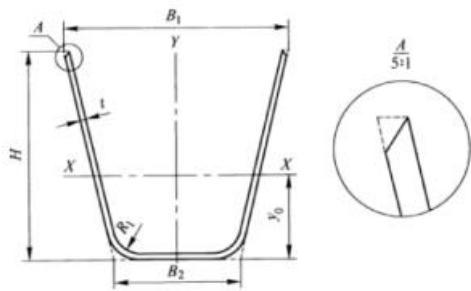


船型焊示意图

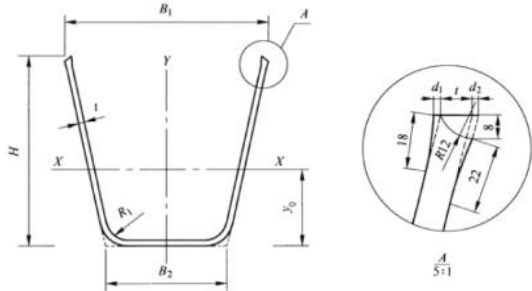
4.8.3 U 型肋优先采用热轧或冷弯厚边 U 型肋。

条文说明：
由于 U 肋端部截面增厚、在微增加材料前提下（1%）加大了焊接部位尺寸，通过增加 U 肋与钢桥面板纵向焊缝的横截面面积，降低焊缝处疲劳应力幅，将疲劳控制截面由焊缝转移至 U 肋基材上，使其疲劳应力降至 U 肋基材疲劳应力以下。由于基材抗疲劳性能远远高于焊缝，具有实现解决纵肋与钢桥面板焊缝疲劳开裂问题的可能性。该技术路线容易实

现，成本相对较低，且效果显著。



等厚 U 肋示意图



厚边 U 肋示意图

4.8.4 正交异性板单元焊后应采取消除和减少焊接残余应力措施，宜采用整体退火的热处理工艺。

条文说明：

通过对传统板件（块）结构设计和加工工艺等方面的优化和改进。达到提高板件（块）加工时的整体刚度、减少焊接变形，并采用专用的热处理退火设备和工艺对正交异性钢桥面板进行热处理，消除由于正交异性板加工时纵向加劲肋与钢面板、横向隔板（梁）之间大量的焊接而产生的焊接残余应力，提高正交异性钢板结构的抗疲劳性能。

正交异性桥面板进行热处理的作用和效果明显。

- （1）消除焊接残余应力，稳定构件尺寸，减少结构变形与裂纹倾向；
- （2）细化焊缝和热影响区晶粒，调整金相组织，消除金相组织缺陷；
- （3）均匀材料组织和成分，改善材料的力学性能，降低焊缝硬度，提高材料冷形变能力。

4.8.5 正交异性板结构的钢箱梁组装宜采用倒装法。

条文说明：

正交异性桥面板由于直接承受车辆荷载容易产生焊缝疲劳开裂，而且钢箱梁顶板单元比底板单元的焊接量大、焊缝质量要求高，正交异性板结构钢箱梁组装采用反胎组装法将顶板单元的焊缝实现平面焊接、更有利于提高焊接效率和焊接质量。

4.8.6 桥面板对接焊缝表面余高应进行铲平或打磨，余高宜小于或等于 1.5mm 或符合设

计文件。

条文说明：

桥面板对接焊缝表面余高及吊耳、马板残留余高在进行桥面铺装及车辆通行碾压会产生应力反射容易形成铺装层开裂渗水，破坏铺装结构，因此除要求桥面板平整还应对所有焊缝余高进行铲平和打磨。

5 焊接

5.1 基本规定

5.1.1 焊工（包括定位焊工）应通过考试并取得资格证书，且只能从事资格证书中认定范围内的工作。

条文说明：

（1）焊工

从事钢结构工程焊接的焊工必须经考试合格，并取得资格证书，证书中包括焊工身份、施焊条件、焊接位置和有效期限等信息，焊工从事焊接工作的范围不应超出资格证书规定的范围；焊工应严格按照焊接工艺文件规定的焊接接头形式和接头准备条件、焊接方法、焊接材料、焊接工艺参数、施焊温度及施焊措施进行焊接。

（2）焊接技术负责人

焊接技术负责人应接受过专门的焊接技术培训并取得中级或中级以上的技术职称，应具有1年以上焊接生产或施工实践经验。承担焊接难度等级为C级和D级焊接工程的施工单位，其焊接技术负责人应具有高级技术职称。

5.1.2 工厂或安装现场遇到首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、焊接工艺参数及焊接预热、后热、焊后热处理制度时，在焊接作业之前，必须分别进行焊接工艺评定试验。焊接工艺评定应符合本规程附录C的规定。

条文说明：

焊接工艺评定是保证钢桥焊接质量的前提。通过焊接工艺评定选择最佳的焊接材料、焊接方法、焊接工艺参数、焊后热处理等，保证焊接接头的力学性能满足设计要求。

5.1.3 焊接材料应通过焊接工艺评定确定。焊剂、焊条应按产品说明书烘干使用，对储存期较长的焊接材料，使用前应重新按标准检验。焊剂中的脏物、焊丝上的油、锈等应清除干净；CO₂气体纯度应大于99.5%；混合气体中其他气体的纯度亦应满足相应要求。

条文说明：

由于焊接材料行业发展较快,新的焊接材料不断涌现,另外桥梁使用的钢种亦在增加,因此,规定焊接材料应通过焊接工艺评定确定,保证所选用的焊接材料与被焊钢材相匹配。当不同强度的钢材连接时,可采用与较低强度钢材牌号相适应的焊接材料。

5.1.4 焊接工艺应根据焊接工艺评定报告编制,施焊时应严格遵守焊接工艺,不得随意改变焊接参数。

条文说明:

焊接工艺评定试验报告是编制焊接工艺的依据,通过焊接工艺评定选择合适的坡口形状和尺寸、焊接材料、焊接方法、施焊条件和工艺参数等,保证焊接接头力学性能满足设计要求。

焊接工艺是焊工操作的技术依据,因此,焊工在施焊前应掌握焊接工艺,并严格执行,保证焊接质量。

5.2 焊接工艺

5.2.1 焊接宜在室内或防风、防雨设施内进行,施焊环境相对湿度应小于 80%。焊接环境温度,低合金高强度结构钢不应低于 5℃,普通碳素结构钢不得低于 0℃。主要杆件宜在组装后 24h 内焊接。

条文说明:

当施焊环境温度低于本规程规定的温度时,应停止焊接作业。但由于某种原因必须进行焊接作业时,则应采取必要的工艺措施,使焊接区域局部环境达到本规程的要求。大量的焊接试验证明,当施焊环境温度低于本规程规定的温度时,对焊接区域采取焊前预热、焊后缓冷等措施,亦能保证焊接质量和焊接接头力学性能。焊前预热和焊后缓冷可以降低焊接接头的冷却速率,防止接头出现淬硬组织,从而防止裂纹产生。应根据母材的材质、板厚、接头形式、拘束条件和环境温度的高低进行焊接工艺评定试验,确定预热温度,焊接作业时,应严格执行焊接工艺。尤其是定位焊接时,需特别注意。

主要杆件在组装后 24h 内焊接可防止焊接区域产生浮锈或被污染,保证焊接质量。

5.2.2 如果杆件在露天焊接时,除应满足第 5.2.1 条的要求外,必须采取防风和防雨措

施；主要杆件应在组装后 12h 内焊接；当杆件的待焊部位结露或被雨淋后，要采取相应的措施去除水分和浮锈。雨、雪、大风、严寒等恶劣气候条件，不应进行焊接作业。

5.2.3 焊前应检查并确认所使用设备处于正常工作状态，仪表良好，齐全可靠。宜使用信息化、自动化程度高、高效的焊接设备。

条文说明：

焊接设备是焊接质量的硬件保障，其工作状态是否正常，直接影响到焊接质量的优劣，因此，本规程列入了焊接设备完好性要求。

信息化、自动化、高效的焊接设备包括但不限于如下设备：焊接机器人（编程型），多头龙门式焊机，有轨焊接小车，无轨焊接小车等。

5.2.4 焊接前必须彻底清除待焊（包括定位焊）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。

条文说明：

焊接前必须彻底清除待焊区域内的有害物，主要是为了保证焊接质量，避免由于污物引起焊接缺欠的可能性。虽然在组装前已进行了清理，但在焊接时焊接区仍有可能存在油、水、浮锈等影响焊接质量的污物、杂物。多层多道焊的每一道间应将熔渣、飞溅以及缺陷清理干净后再焊接下一道。

焊接时严禁在母材的非焊接部位引弧，是为了防止母材被电弧烧伤、在母材上留下弧坑以及裂纹的可能性，从而保证焊件的质量。

5.2.5 焊前预热温度应通过焊接工艺评定确定；预热范围为焊缝每侧 50mm~80mm，距离焊缝 30mm~50mm 范围内测温。焊工施焊时应做焊接记录，记录的内容包括构件号、焊缝部位、焊缝编号、焊接参数、操作者、焊接日期等。

条文说明：

焊前预热包括组装时的定位焊、返修焊以及所有焊缝的焊前预热。预热温度应由焊接性试验或焊接工艺评定试验确定。

5.2.6 定位焊应符合下列要求：

- 1 焊前应按施工图及工艺文件检查坡口尺寸、根部间隙等，如不合要求应处理修正。
- 2 定位焊缝应距设计焊缝端部 30mm 以上，其焊缝长宜为 50mm~100mm，间距宜为 400mm~600mm，厚板（50mm 以上）和薄板（不大于 8mm）应缩短定位焊间距；定位焊缝的焊脚尺寸不得大于设计焊脚尺寸的 1/2。
- 3 定位焊缝不得有裂纹、气孔、夹渣、焊瘤等缺陷。定位焊缝如有开裂，应查明原因，清除后重新定位焊。

条文说明：

2 应根据构件的结构特点确定定位焊缝的长度和间距。一般情况下，对于厚板且长大的构件适当增加定位焊缝长度，缩短其间距；薄板（不大于 8mm）宜减少其定位焊缝长度并缩短其间距。定位焊缝的焊脚尺寸不宜过大（不清除定位焊缝时，影响最终焊缝外形），亦不能太小（不能起到稳定构件的作用，还可能出现定位焊缝撕裂），定位焊缝焊脚尺寸最小为 4mm。

5.2.7 对接焊缝、主要角焊缝宜在焊缝两端组装焊缝引板。埋弧自动焊应在距设计焊缝端部 80mm 外的引板上起、熄弧，手工焊、半自动焊应该距焊缝端部 60mm 以外的引板上起、熄弧。引熄弧板长边应不小于 100mm，坡口、板厚应与母材相同。焊后应割除焊缝两端的引板，并磨平切口，不得损伤母材。

条文说明：

由于焊接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，出现焊接缺欠的机率增大。为了保证获得完好的焊缝，对接焊缝施焊时，须将起熄弧引出正式焊缝以外。根据焊接速度的快慢，确定埋弧自动焊、手工焊和半自动焊引出正式焊缝外的距离。

5.2.8 埋弧自动焊缝焊接过程中不宜断弧，如有断弧则应将停弧处刨成 1:5 斜坡，并搭接 50mm 引弧施焊，焊后应将搭接处修磨匀顺。

条文说明：

使用埋弧自动焊返修时，坡口角度不宜小于 60°，否则坡口侧壁可能出现未熔合现象。

根部半径不得小于 5mm。

为了彻底清除裂纹，应在其两端各外延 50mm，同时亦避免返修焊缝长度太短。在拘束度较大的情况下，清除裂纹前，应在裂纹两端打止裂孔，避免清除裂纹过程中，裂纹向前延伸。止裂孔一般为 $\phi 6\text{mm}$ 。

5.2.9 埋弧自动焊焊接过程中，应待焊缝稍冷却后再敲去熔渣。其中，用细丝或粗丝焊接的焊缝，敲渣部位到熔池的距离应分别大于 0.5m 和 1m。

5.2.10 焊件厚度大于 30mm 的角接接头，应采用不易引起层状撕裂的焊接接头构造。

5.2.11 钢桥板单元宜在专用生产线上采用自动化制造。U 形肋角焊缝宜在专用反变形胎架上使用多头门式自动焊机焊接。

条文说明：

近年来，钢桥制造厂研制了各类先进的专用焊接装备，其中包括 U 形肋板单元生产线、板肋板单元生产线、横隔板单元生产线等，基本实现了钢桥板单元的自动化制造。U 形肋角焊缝使用多头门式自动焊机在专用反变形胎架上焊接工艺已相当成熟；顶板 U 形肋角焊缝双面焊接工艺在部分钢桥上已有使用；U 形肋板单元装焊一体机也基本成型，正在试验、调试阶段，不久将会在钢桥制造中使用推广。

5.2.12 圆柱头焊钉的焊接应符合下列要求：

- 1 圆柱头焊钉的焊接必须按附录 D 的规定进行焊接工艺评定。
- 2 圆柱头焊钉的焊接应采用专用焊接设备焊接，少量平位、立位及其他位置也可采用手工焊接。
- 3 圆柱头焊钉焊接工作必须由经过圆柱头焊钉焊接培训、考试合格的焊工担任。
- 4 圆柱头焊钉焊接应严格按照圆柱头焊钉焊接工艺执行，未经焊接主管工程师同意不得随意更改焊接工艺参数。
- 5 施焊前焊工必须检查所用设备、工具良好，确保正常工作时才能施焊。
- 6 每日每台班开始生产前或更改一种焊接条件时，必须按规定的焊接工艺试焊 2 个圆柱头焊钉，进行外观和弯曲 30° 角检验，检验合格后方可进行正式焊接；若检验不合格，

应分析原因重新施焊，直到合格为止。

7 焊接前，圆柱头焊钉及焊接部位应除去铁锈、氧化铁皮、油污、水分等不利于焊接的物质。

8 圆柱头焊钉应平位施焊，在焊缝金属完全凝固前不得移动焊枪。当环境温度低于 0°C ，或相对湿度大于80%，或钢板表面潮湿时，不得焊接圆柱头焊钉。

9 瓷环应按规定要求烘干使用。

5.3 焊接变形控制

5.3.1 钢结构焊接时，采用的焊接工艺和焊接顺序应能使最终构件的变形和收缩最小。焊接顺序的设计宜减小周边构件对焊件的约束。

条文说明：

焊接变形可分为纵、横向收缩变形、角变形和扭转变形（包括翘曲变形）。焊接变形涉及面广、影响因素多（焊接方法、焊缝断面积、施焊顺序、约束条件、构件刚度等）变形量离散率大。

对于由薄板组焊成的钢桥面板，焊缝数量多、呈 x 、 y 、 z 三个方向分布，因此，焊接变形控制技术十分复杂。

焊接变形控制不是防止焊接变形的产生，而是采取综合措施减小焊接变形（收缩变形、角变形）及其离散率，避免超限的扭转变形和翘曲变形，使焊接变形有效地控制在容许误差范围内。控制焊接变形的主要措施：

1) 选用小线能量的焊接方法（气体保护焊），全部箱梁节段中相同的焊接接头应选用相同的焊接方法、坡口形式和尺寸、焊缝道数、施焊顺序；

2) 应采用对称施焊法防止扭转变形和翘曲变形；

3) 应采用反变形、预变形、合适的坡口形式等，减少对接焊、T字形和十字形接头的角变形。

4) 应利用胎架、马板等外约束、内约束的方法，确保结构整体变形控制，并减小焊接收缩变形量。

5) 在方便施焊前提下，调整坡口形式和尺寸、组装间隙等，减小焊缝断面积，进而减小焊接变形、焊接材料消耗和焊接工作。

- 5.3.2 根据构件上焊缝的布置，可按下列要求采用合理的焊接顺序控制变形：
- 1 对接接头、T 形接头和十字接头，在工件放置条件允许或易于翻转的情况下，宜双面对称焊接；有对称截面的构件，宜对称于构件中性轴焊接；有对称连接杆件的节点，宜对称于节点轴线同时对称焊接；
 - 2 非对称双面坡口焊缝，宜先在深坡口面完成部分焊缝焊接，然后完成浅坡口面焊缝焊接，最后完成深坡口面焊缝焊接。特厚板宜增加轮流对称焊接的循环次数；
 - 3 较长焊缝宜采用分段退焊法或多人对称焊接法；
 - 4 宜采用跳焊法，避免工件局部热量集中。
- 5.3.3 构件装配焊接时，应先焊收缩量较大的接头，后焊收缩量较小的接头，接头应在小的拘束状态下焊接。
- 5.3.4 对于有较大收缩或角变形的接头，正式焊接前应采用预留焊接收缩量或反变形方法控制收缩和变形。
- 5.3.5 多组件构成的组合构件应采取分部组装焊接，矫正变形后再进行总装焊接。
- 5.3.6 对于焊缝分布相对于构件的中性轴明显不对称的异形截面的构件，在满足设计要求的条件下，可采用调整填充焊缝熔敷量或补偿加热的方法。

5.4 焊缝检验

- 5.4.1 所有焊缝必须在全长范围内进行外观检查，不得有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑和焊瘤等缺陷，并应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 焊缝外观质量检测标准（mm）

序号	项目	焊缝种类	质量标准
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 1.0，每米不多于 3 个，间距不小于 20
		其他焊缝	直径小于 1.5，每米不多于 3 个，间距不小于 20
2	咬边	受拉杆件横向对接焊缝、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	不允许

		焊缝（桥面板侧）、竖向加劲肋角焊缝（腹板侧受拉区）	
		受压杆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
		其他焊缝	≤ 1.0
3	焊脚尺寸	主要角焊缝 K	$0 \leq K \leq 2.0$
		其他角焊缝 K	$0 \leq K \leq 2.0$
			手工焊角焊缝全长的 10% 允许 $-1.0 \leq K \leq 3.0$
4	焊波	对接焊缝和角焊缝	≤ 2.0 （任意 25mm 范围高低差）
5	余高	不铲磨余高的对接焊缝	≤ 2.0 （焊缝宽度 $b \leq 20$ ）
			≤ 3.0 （焊缝宽度 $b > 20$ ）
6	有效厚度	T 形角焊缝	凸面角焊缝有效厚度应不大于规定值 2.0, 凹面角焊缝应不小于规定值 0.3
7	余高铲磨后的表面	横向对接焊缝（桥面板除外）	不高于母材 0.5
			不低于母材 0.3
			粗糙度 $50 \mu m$

条文说明：

参照对接焊缝余高的规定，表 5.4.1 规定了 T 形角焊缝有效厚度的具体要求。对于不开坡口的角焊缝，当采用船位埋弧自动焊时，焊缝的有效厚度（喉厚）允许比规定值小于 1.0mm。

5.4.2 圆柱头焊钉焊缝检验应符合下列要求：

1 圆柱头焊钉焊完之后，应及时敲掉圆柱头焊钉周围的瓷环进行外观检验。焊钉底角应保证 360° 周边挤出焊脚。圆柱头焊钉焊缝的宽度、高度尺寸应满足：沿圆柱头焊钉轴线方向的焊缝平均高度 h_m 应不小于 $0.2d$ ；最小高度 h_{min} 应不小于 $0.15d$ ；钢板侧焊趾的平均直径应不小于 $1.25d$ （ d 为圆柱头焊钉的公称直径）。

2 每 100 个圆柱头焊钉至少抽一个进行弯曲检验，方法是用锤打击圆柱头焊钉，使焊钉弯曲 30° 时，其焊缝和热影响区没有肉眼可见的裂缝为合格；若不合格则加倍检验。

5.4.3 产品试板检验应符合下列要求：

- 1 产品试板焊缝的外观应符合产品焊缝的外观质量要求。
- 2 焊缝应按表 5.4.3 规定的焊缝类型确定产品试板数量，接头数量少于表中数量时应

做一组产品试板。产品试板焊缝经外观和探伤检验合格后进行接头拉伸、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焊接工艺评定的有关规定。

表 5.4.3 产品试板数量表

焊缝类型		接头数量	产品试板数量
受拉横向 对接焊缝	接头长度≤1000mm	32 条	1 组
	接头长度>1000mm	24 条	1 组
桥面板横向对接焊缝		10 条	1 组
桥面板纵向对接焊缝		30 条	1 组
全断面对接焊缝（现场）		10 个断面	平、立、仰焊缝各 1 组

3 若试验结果不合格，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。

条文说明：

产品试板试验结果不合格时，应先查明原因，然后视具体情况进行消除应力处理或切开重焊。如果是由共性原因，则应对其代表的焊缝作同样处理。如果是由特殊原因造成的，则仅对受影响的焊缝（与试板同时焊接）进行处理。

产品试板应按Ⅰ级对接焊缝要求进行超声波探伤。

5.4.4 焊缝无损检验应符合下列要求：

- 1 当设计无要求时，箱形构件棱角焊缝探伤的最小有效厚度为 $\sqrt{2t}$ （t 为水平板厚度，以 mm 计）；当设计有熔深要求时，按设计要求执行。
- 2 经焊缝外观检测合格的焊缝，应在焊接 24h 后进行无损检测，如果设计有特殊要求时按设计要求执行。大于等于 30mm 的钢板 48h 以后进无损检测。
- 3 若焊接所在区域进行过扭曲修复，应进行二次检查。
- 4 焊缝超声波探伤内部质量分级应符合表 5.4.4-1 的规定。

表 5.4.4-1 焊缝超声波探伤内部质量分级

序号	项目	质量等级	适用范围
1	对接焊缝	I	主要杆件受拉横向对接焊缝
		II	主要杆件受压横向对接焊缝、纵向对接焊缝

2	全熔透角焊缝	I	设计明确要求的全熔透角焊缝
3	部分熔透角焊缝	II	设计明确要求的部分熔透角焊缝

5 焊缝无损检测质量等级、检测等级和验收等级应满足《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》（GB/T19418）和《焊缝无损检测超声检测验收等级》（GB/T29712）的要求。距离-波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合本规程附录 E 的规定，其他要求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/T11345）的规定。

6 焊缝超声波探伤范围和检验等级要求应符合表 5.4.4-2 的规定。

表 5.4.4-2 焊缝超声波探伤范围和检验等级（mm）

序号	焊缝质量等级	探伤比例	探伤范围	板厚	检验等级
1	I 级横向对接焊缝	100%	全长	10-80	B
2	II 级横向对接焊缝				
3	I 级纵向对接焊缝				
4	II 级纵向对接焊缝		焊缝两端各 1000		
5	I 级全熔透角焊缝		全长		
6	II 级角焊缝		两端螺栓孔部位并延长 500，板梁主梁、箱梁及纵、横梁跨中加探 1000，整体节点杆件节点板范围全长	10-45	A
				46-80	B

7 焊缝超声波检验等级应符合下列规定：

检验等级分为 A、B、C 三级，检验完善程度和检验工作的难度系数按 A、B、C 顺序逐级增高。

A 级检验采用一种角度的探头在焊缝的单面单侧进行检验，只对允许扫查到的焊缝截面进行探测。B 级检验原则上采用一种角度探头在焊缝的单面双侧进行检验，对整个焊缝截面进行探测。受几何条件的限制可在焊缝的双面单侧采用两种角度的探头进行检验，条件允许时应做横向缺陷的检验。C 级检验至少要求采用两种角度探头在焊缝的单面双侧进行检验，同时要做两个扫查方向和两种角度探头的横向缺陷检验。

采用任何检验等级都应使检测系统灵敏度余量能够满足验收标准。否则应增加探测面（如双面双侧等）。

为避免几何形状限制相应检验等级检测结果的有效性，设计、工艺人员应在考虑超声波检测可行性的基础上进行结构设计和工艺安排。

8 板厚小于等于 30mm（不等厚对接时，按薄板计）的主要杆件受拉横向、纵向对接

焊缝除按表 5.4.4 的规定进行超声波探伤外，还应按接头数量的 10%（不少于一个焊接接头）进行 C 级探伤，探伤范围为焊缝两端各 250mm~300mm，焊缝长度大于 1200mm 时，中部加探 250mm~300mm；厚度大于 30mm（不等厚对接时，按薄板计）的主要杆件受拉横向、纵向对接焊缝除按表 5.4.4 的规定进行超声波探伤外，还应按接头数量的 10%（不少于一个焊接接头）增加检验等级为 C 级、质量等级为 I 级的超声波检验。此时焊缝余高应磨平，使用的探头折射角应有一个为 45° ，探伤范围为焊缝两端各 500mm。焊缝长度大于 1500mm 时，中部加探 500mm。

5.5 焊缝修磨与返修

5.5.1 焊件上的引板、产品试板或临时连接件应采用气割切除，并磨平切口，且不应损伤母材。

5.5.2 焊脚尺寸、焊波或余高等超出表 5.4.1 规定上限值的焊缝及小于 1mm 且超差的咬边应修磨匀顺。所有表面的修磨均应沿主要受力方向进行，使磨痕平行于主要受力方向。

5.5.3 焊缝咬边超过 1mm 或焊脚尺寸不足时，可采用手工电弧焊或 CO_2 气体保护焊进行返修焊。

5.5.4 焊接缺陷宜采用机械方法清除，在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口，并采用砂轮磨掉坡口表面的氧化皮，露出金属光泽。焊接裂纹的清除范围除应包括裂纹全长外，尚应由裂纹端外延 50mm。

5.5.5 采用自动焊返修焊缝时，应将清除焊缝部位的两端刨成 1:5 的斜坡后再进行焊接。

5.5.6 返修焊缝应按原焊缝质量要求检验，同一部位的返修焊不宜超过两次，当超过两次时，应编写返修方案并经公司焊接工程师、总工程师、监理工程师同意后方可实施。

5.5.7 焊缝返修的预热温度应比正常预热温度高 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，采用原材料、原工艺施焊。

5.5.8 圆柱头焊钉焊缝长度超过 1/4 周长或因其他项点不合格的应予更换。焊缝长度未

超过 1/4 周长时可采用手工补焊。

5.5.9 更换圆柱头焊钉时，不应伤及母材，切除圆柱头焊钉的部位应打磨平整。然后用原焊接方法重新焊上圆柱头焊钉，并满足质量要求。

5.5.10 圆柱头焊钉的补焊：对有缺陷的圆柱头焊钉焊缝可采用手工电弧焊或 CO₂ 气体保护焊进行补焊，补焊长度应自缺陷两端各外延 10mm，焊脚尺寸应不小于 6mm；当钢板厚度达到熔化焊要求预热的厚度时应预热，预热温度与熔化焊要求的预热温度相同。

5.6 构件矫正

5.6.1 构件矫正时应符合下列规定：

- 1 冷矫的环境温度宜不低于 5℃，矫正时应缓慢加力，冷矫的总变形量应不大于变形部位原始长度的 2%。
- 2 热矫时加热温度应控制在 600~800℃，严禁过烧，同一部位重复加热不得多于 2 次，温度降至室温前，不得锤击钢材和用水急冷。

条文说明：

钢构件在焊接时，由于焊接受热的高温区金属产生膨胀力，而使相距较远的低温区金属产生压应力，导致钢构件在两力交界处的组织疏松；一旦高温区急冷，无热量供给，疏松组织使其收缩复原而产生拉应力，有时会出现应力大于金属材料屈服点的变形。冷矫是在室温下对变形的钢构件施加外力，使其恢复原状，有一定的局限，因此对钢构件的冷矫要求要严格一些。

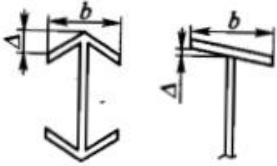
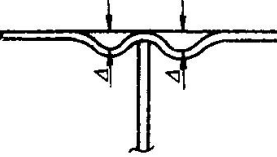
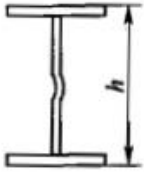
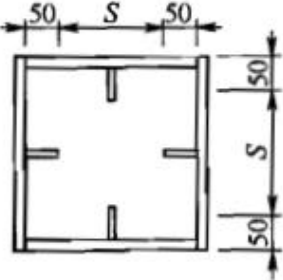
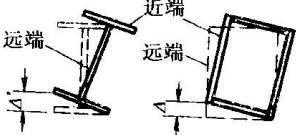
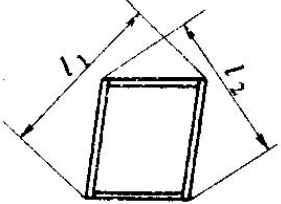
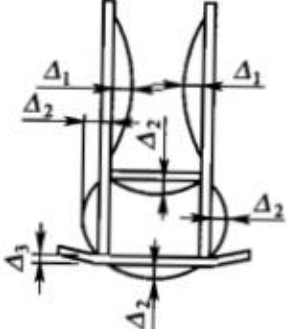
5.6.2 矫正后的钢构件表面不应有凹痕和其他损伤。

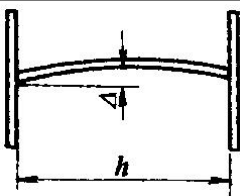
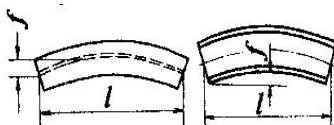
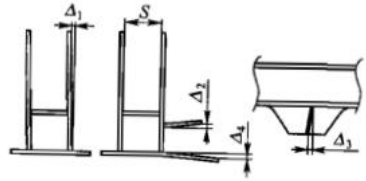
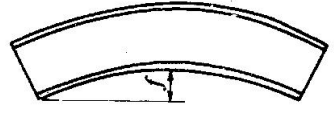
5.6.3 当设计对钢构件矫正有特殊要求时，矫正的方法和温度应符合其规定。

5.6.4 板梁、桁梁杆件矫正后的允许偏差应符合表 5.6.4 的规定。

表 5.6.4 板梁、桁梁杆件矫正后的允许偏差

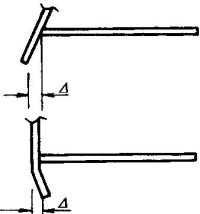
序号	简图	项目	允许偏差（mm）
----	----	----	----------

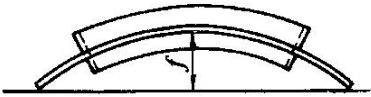
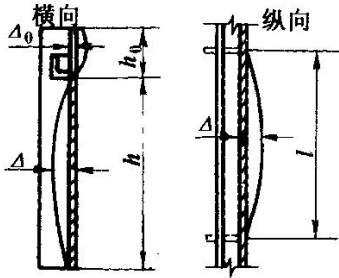
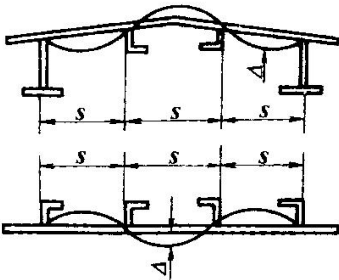
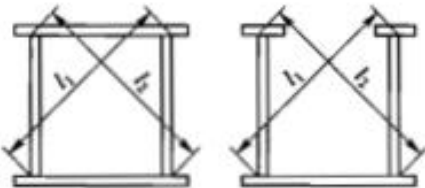
1		盖板对腹板的垂直度 Δ	有孔部位	当 $b \leq 600$ 时, $\Delta \leq 0.5$ 当 $b > 600$ 时, $\Delta \leq 1.0$
			其余部位	1.5
2		盖板平面度 Δ	有孔部位	0.5
			其余部位	1.0
3		工形杆件腹板平面度	$h/500$ 且不大于 2.0	
4		箱形杆件盖腹板平面度	工地孔部位: $\leq S/750$ 且 ≤ 1.0 ; 其余部位: $\leq S/250$	
5		工形、箱形杆件的扭曲 Δ	3.0	
6		箱形杆件中对角线差 $ l_1 - l_2 $	2.0 (边长 < 1000) 3.0 (边长 ≥ 1000)	
7		整体节点杆件节点板平面度	$\Delta_1 \leq 1.0$ $\Delta_2 \leq 1.0$ $\Delta_3 \leq 1.5$ (栓孔部位)	

8		板梁, 纵、横梁腹板的平面度 Δ		$\Delta \leq 500h$ 且 ≤ 5.0
9		工形、箱形杆件的弯曲或纵横梁的旁弯 f		2.0 ($1 \leq 4000$) 3.0 ($4000 < l \leq 16000$) 5.0 ($l > 16000$)
10		节点板、接头板垂直度		$\Delta_1 \leq 1.5$ $\Delta_2 \leq 1.0$ $\Delta_3 \leq 1.0$
		插入式连接节点板间距 S		+1.5 0
		整体节点下盖板平面度 Δ_4		2.0
11		板梁	不设拱度	+5.0 0
		拱度	设拱度	+10.0 -3.0
		纵梁、横梁拱度		+3.0 0
12		桥面板	横向 (纵肋间)	2.0
		单元平面度	纵向 (横肋间)	3.0
		四角平面度		4.0

5.6.5 箱型梁矫正允许偏差应符合表 5.6.5 的规定。

表 5.6.5 箱型梁矫正允许偏差

序号	简图	项目		允许偏差 (mm)
1		盖板对腹板的垂直度 Δ	有孔部位	1.0
			其余部位	3.0

2		隔板弯曲 f	横向 纵向	2.0
3		腹板平面度 Δ	有孔部位	2.0
			横向 Δ	$h_0/250$
			纵向 Δ	$h/250$
			纵向	$l/500$
4		盖板平面度 Δ	有孔部位	2.0
			横向	$S/250$
			纵向 4m 范围	4.0
5		箱形梁两端横断面对角线差 $ l_1 - l_2 $		4.0
		箱形梁拱度		+10 -5
		箱形梁旁弯		$3+0.1L$ (L 以 m 计)
		箱形梁扭曲		每米 ≤ 1 , 且每段 ≤ 10

5.7 焊缝残余应力消除

5.7.1 合理的焊后处理可通过降低残余应力、改善焊缝形态来提高焊接构造细节的疲劳强度。

5.7.2 降低焊缝残余应力可采用的焊后处理措施主要包括：振动、时效消应力、焊后退火、打磨和焊趾重熔。

5.7.3 设计或合同文件对焊后消除应力有要求时，需经疲劳验算的动荷载结构中承受拉应力的对接接头或焊缝密集的节点或构件，应进行消除残余应力处理，处理措施可根据构

件尺寸、焊缝部位和生产设备条件选择振动、电加热器局部退火或加热炉整体退火等方法。

5.7.4 焊后热处理应符合现行行业标准《碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法》JB/T 6046 的有关规定。当采用电加热器对焊接构件进行局部消除应力热处理时，尚应符合下列要求：

- 1 使用配有温度自动控制仪的加热设备，其加热、测温、控温性能应符合使用要求；
- 2 构件焊缝每侧面加热板（带）的宽度应至少为钢板厚度的 3 倍，且不应小于 200mm；
- 3 加热板（带）以外构件两侧宜用保温材料适当覆盖。

5.8 焊缝连接要求

5.8.1 角焊缝 h_f 尺寸应符合以下规定：

- 1 对搭接角焊缝，当钢板厚度小于 8mm 时，最大尺寸应取较薄钢板的厚度；当材料厚度大于或等于 8mm 时，最大尺寸应取较薄钢板的厚度减去 2mm。
- 2 对角接和 T 形连接角焊缝，最小尺寸按表 9.2.3-1 的规定取用，同时焊缝最大尺寸不应超过较薄连接部件厚度的 1.2 倍。
- 3 对不开坡口的角焊缝的最小长度，自动焊及半自动焊不宜小于焊缝厚度的 15 倍，手工焊不宜小于 80mm。

表 5.8.1-1 不开坡口角焊缝的焊脚最小尺寸

板中之较大厚度（mm）	不开坡口角焊缝的焊脚最小尺寸（mm）
≤20	6
>20	8

5.8.2 用于受力连接的角焊缝，两焊角边的夹角应在 60°至 120°间，且宜采用 90°直角角焊缝。而部分焊透的对接和 T 形对接与角接组合的角焊缝，其两焊角边的夹角可小于 60°，但应详细注明坡口细节（图 5.8.2-1）。

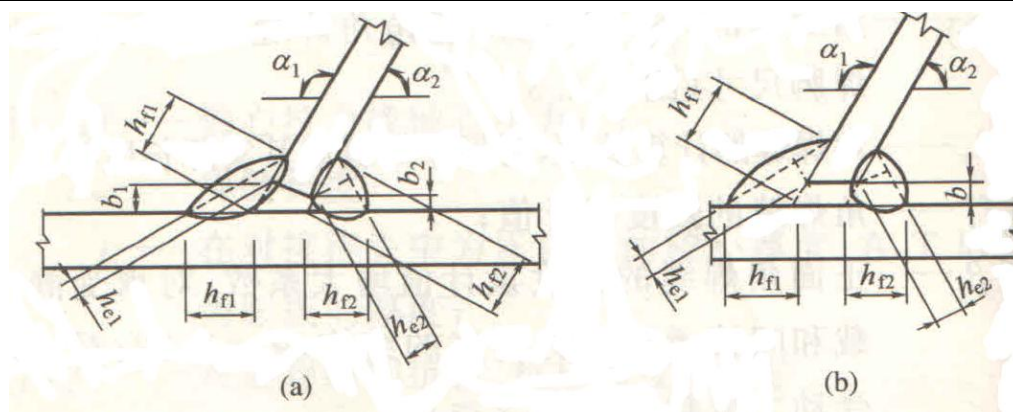


图 5.8.2-1 T 形接头角焊缝坡口细节

5.8.3 角焊缝的焊脚边比例宜为 1:1。当焊件厚度不等时，可采用不等的焊脚尺寸，与较厚焊件接触的最小焊脚尺寸和与较薄焊件接触的最大焊脚尺寸，应满足本规程第 9.2.3 条的要求。在承受动荷载的结构中，角焊缝焊脚边比例，对正面角焊缝宜为 1:1.5（长边顺内力方向）；对侧面角焊缝可为 1:1。角焊缝表面应做成凹形或直线形。

5.8.4 主要受力构件不得采用断续角焊缝。

5.8.5 次要构件或次要焊缝连接采用断续角焊缝时应符合以下规定：

- 1 当部件受压时，其相邻两焊缝在端与端之间的净距均不得大于按较薄部件厚度的 12 倍或 240mm；当部件受拉时，不得大于按较薄部件厚度的 16 倍或 360mm。
- 2 当焊缝用于连接加劲肋和一受压或受剪的板或其它部件时，焊缝间的净距不得大于加劲肋间距的四分之一。
- 3 布置在同一直线上的间断焊缝，在其所连部件的每一端均应设置焊段。
- 4 在拼合构件中，板件用间断焊缝连接时，在其板件端部每一边所布置的焊缝长度均不应小于该处最窄板件厚度的四分之三。

5.8.6 杆件与节点板的连接焊缝宜采用两面侧焊（见图 5.8.6-1），也可用三面围焊（见图 5.8.6-2）。承受静荷载的结构宜采用两面侧焊，承受动荷载的结构宜采用围焊。围焊的转角处必须连续施焊。当角焊缝的端部在被焊件转角处时，可连续地绕转角加焊一段 $2h_f$ 的长度（见图 5.8.6-1）。

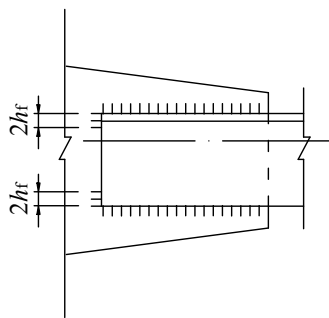


图 5.8.6-1 杆件与节点板连接的两面侧焊及焊件端部的绕焊

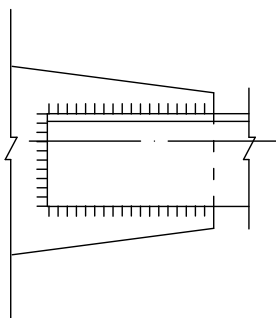


图 5.8.6-2 杆件与节点板连接的三面围焊

5.8.7 连接部件相互搭接长度不应小于最薄部件厚度的 5 倍，且各部件均应用两道横向焊缝相连。

5.8.8 采用焊接相连的两部件，当用厚度小于焊脚长度的填板隔开时，连接所用焊缝的焊脚尺寸应按填板厚度加大，填板边缘应与所连部件边缘齐平。当填板厚度不小于焊脚时，在填板和各部件之间均应采用能传递设计荷载的焊缝相连。

5.8.9 受力构件焊接不得采用圆孔和槽口塞焊，必要时应采用特殊的坡口并制定专门的焊接工艺。

5.8.10 各种形式焊缝的有效计算厚度 h_e ，应按以下规定采用：

- 1 T 形连接时，如竖板边缘有焊透的 K 形坡口，焊缝的有效厚度采用竖板的厚度。
- 2 直角角焊缝的有效厚度 h_e 采用焊脚尺寸 h_f 的 0.7 倍（见图 5.8.10-1）。

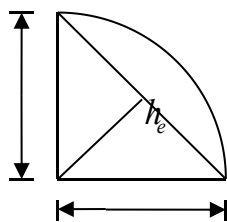


图 5.8.10-1 直角角焊缝截面图

3 斜角角焊缝的有效厚度取为（见图 5.8.10-2）：

$$h_e = h_f \cos \frac{\theta}{2} \quad (\theta \geq 60^\circ \text{时}) \quad (9.2.12-1)$$

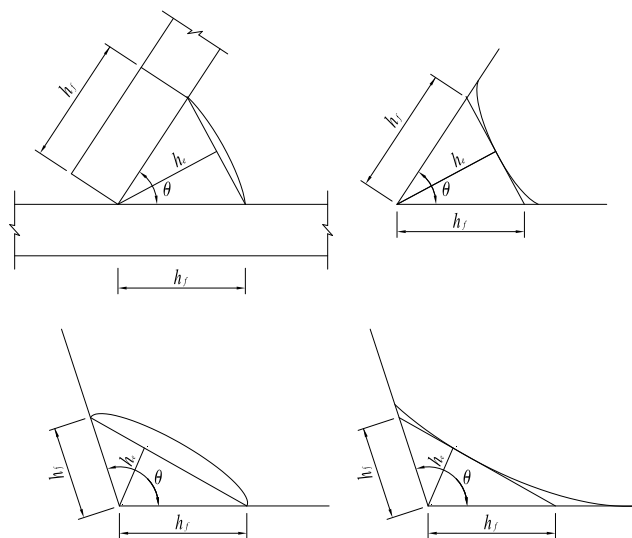
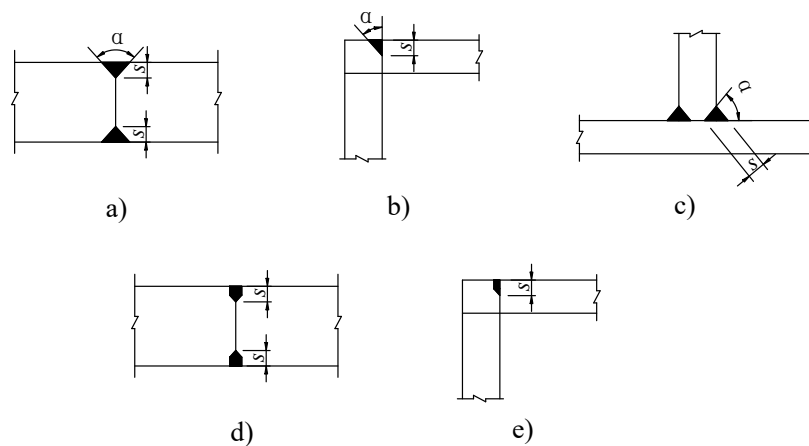


图 5.8.10-2 斜角角焊缝截面图

4 部分焊透焊缝设计应规定熔深尺寸。部分焊透的对接焊缝的有效厚度取为（见图 5.8.10-3）：坡口角度 $\alpha \geq 60^\circ$ 的 V 形坡口、U 形坡口、J 形坡口， $h_e = s$ ；坡口角度 $\alpha < 60^\circ$ 的 V 形坡口， $h_e = s - 3\text{mm}$ 。此处 s 为坡口根部至焊缝表面（不考虑余高）的最短距离。



a)、b)、c) V 形坡口；d) U 形坡口； e) J 形坡口

图 5.8.10-3 部分焊透的对接焊缝截面图

5.8.11 各种形式焊缝计算的有效长度 l_w 应按以下规定采用：

1 采用引弧板施焊的焊缝，其计算长度应取焊缝的实际长度；未采用引弧板时，应取实际长度减去 $2h_f$ 。

2 侧面角焊缝的计算长度，当受动荷载时，不宜大于 $50h_f$ ；当受静荷载时，不宜大于 $60h_f$ 。当计算长度大于上述的数值时，其超过部分在计算中可不予考虑。在全长范围内均传递内力的焊缝，其计算长度可不受此限。

3 侧面角焊缝或正面角焊缝的计算长度不得小于 $8h_f$ 。

4 当搭接接头钢板端部仅有两侧角焊缝连接时，每条侧面角焊缝长度不宜小于相邻两侧面角焊缝之间的距离；同时两侧角焊缝之间的距离不宜大于 $16t(t \geq 12\text{mm})$ 或 $200\text{mm}(t < 12\text{mm})$ ， t 为较薄焊件的厚度。

5.8.12 垂直于构件受力方向的对接焊缝必须全熔透，其厚度应不小于被焊件的最小厚度。焊缝宜双面施焊，坡口边缘应进行机械加工。

5.8.13 在对接焊缝的拼接处，当焊件宽度不等或厚度相差 4mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向将一侧或两侧做成坡度不大于 1:5 的斜角；当厚（或宽）差不超过 4mm 时，可采用焊缝表面斜度来过渡。

5.8.14 不得采用间断对接焊。部分焊透对接焊不得用于传递拉力，也不得用于传递绕焊缝纵轴的弯矩。

6 预拼装

6.1 基本规定

6.1.1 钢箱梁、钢槽梁、钢塔、钢管结构及结构复杂的钢板梁、钢桁梁、钢-混结合梁的钢构件制作完成后，应进行预拼装检验；钢板梁、钢桁梁构件制作完成后，应进行试拼装检验。

条文说明：

预拼装常用于以节段形式进行运输和安装的桥型，如：钢箱梁、钢槽梁、钢塔、钢管桁架及钢管拱肋等。较大跨径的斜拉桥和悬索桥、连续长度大且高度变化的钢板梁、钢桁梁、钢-混结合梁等结构复杂的结构目前均要求进行连续匹配预拼装。

6.1.2 预拼装是钢桥制造的重要工序，钢结构节段采用连续匹配的拼装方法，保证梁段间接口的匹配精度和桥梁整体线形精度。预拼装过程需完成接口的配切、临时连接件的安装、连接板配孔、线形调整等工作。

6.1.3 试拼装是为验证图纸的正确性、工艺的可行性和工装的合理性，选取钢桥梁部分典型构件在批量生产前进行试拼装，试拼装检测合格后，方可批量生产。

6.1.4 钢桥梁预拼装、试拼装前，应根据钢桥梁特点编制相应施工图和工艺文件。

6.1.5 钢桥梁预拼装、试拼装场地应具备足够面积，并具备配套的起吊设备，场地应平整、坚实，在预拼装过程中不应发生支点下沉。

6.1.6 参与预拼装、试拼装的构件均应检验合格，并应在涂装前进行。

条文说明：

参与预拼装的构件应制作完成并经验收合格，当相同构件批量制作时，可选择首批或1%~10%的代表性构件进行预拼装。

6.1.7 钢桥梁预拼装、试拼装检测时，应避开日照的影响。

6.2 预拼装

条文说明：

根据合同要求、设计文件规定或工程项目实际情况，需要进行预拼装的构件，应在制作厂进行预拼装，并编制预拼装方案。预拼装方法可采取实体预拼装或计算机模拟预拼装，应根据工程特点、设计要求、合同要求确定。推荐采用计算机模拟预拼装。

6.2.1 钢箱梁、钢槽梁、钢塔、钢管结构及结构复杂的钢板梁、钢桁梁、钢-混结合梁宜进行全桥连续匹配预拼装，且不少于 3 个节段。

条文说明：

预拼装可采用整体预拼装、分片/分段预拼装或累积连续预拼装。当采用累积连续预拼装时，两相邻单元连接的构件应分别参与两个单元的预拼装。

6.2.2 提交预拼装的构件应是经验收合格的产品，且将构件毛刺、电焊熔渣及飞溅清除干净。

6.2.3 预拼装应在专用的预拼装胎架上进行，梁段应处于自由状态。

6.2.4 预拼装时还应检查面板对接焊缝的工艺间隙、坡口以及接口是否平齐。

6.2.5 钢箱梁预拼装的主要尺寸应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 钢箱梁预拼装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条 件
1	预拼装长度 (L)	$\pm 2n$, ± 20 取 绝对值较小值	n 为梁段数
2	梁段中心线错位	≤ 2	梁段中心线与桥轴中心线偏差
3	旁弯 f	$3+0.1L$, 且任意 20m 测长内 ≤ 6	测桥面中心线的平面内偏差。L 为任意 3 个预拼装梁段长度，以 m 计。

4	纵向竖曲线	+10 -3	沿桥中心线测量横隔板处
5	接口错边量	≤ 1.5	梁段匹配接口处安装匹配件后
6	锚点间距	± 3.0	相邻节段两锚点
		± 10.0	最外侧两锚点

6.2.6 钢槽梁预拼装的主要尺寸应符合表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 钢槽梁预拼装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条 件
1	两相邻梁段上下翼缘错边量	2	—
2	两相邻梁段腹板错边量		—
3	跨 度	± 8	测两支座中心距离
4	试拼装全长	$\pm 2n, \pm 10$ 取绝对 值较小值	试拼装长度
5	相邻梁段中心距	± 3	测两侧腹板中心距
6	旁 弯	1/5000	桥梁中心线与其试拼装全 长1两端中心所连直线的偏 差
7	对角线差	4	单箱测两端断面对角线差
8	拱 度	+10 -5	与计算拱度相比
9	支点处高低差	4	三个支座处水平时, 另一支 座处翘起高度

6.2.7 钢塔预拼装的主要尺寸应符合表 6.2.7 的规定。

表 6.2.7 钢塔节段实体预拼装主要尺寸允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	条 件
1	预拼装长度	$\pm 2n$	两端节段横基线间距 n—节段数量
		± 2.0	相邻节段横基线间距
2	轴线错位	≤ 1.0	相邻节段纵基线对位偏差
3	对接错边	≤ 2.0	相邻节段板边错边

序号	项目	允许偏差 (mm)	条 件
4	轴线偏离度 (纵桥向)	$\leq 3.0\text{mm/L}$	L—预拼装长度, 以 m 计
5	轴线偏离度 (横桥向)	$\leq 2.0\text{mm/L}$	L—预拼装长度, 以 m 计
6	斜拉索锚管间距	± 3.0	相邻锚管中心线间距
		± 5.0	极边锚管中心线间距

6.2.8 钢管结构预拼装主要尺寸应符合表 6.2.8 的规定。

表 6.2.8 钢管结构预拼装主要尺寸及允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条 件
1	预拼装长度	$\pm 2n$, 且不大于 10	N 为节段数
2	接口错边量	≤ 2	——
3	轴线偏位	直径 $\leq 1\text{m}$, ≤ 1	——
		直径 $> 1\text{m}$, ≤ 2	——
4	拱形预拱度	+10 -5	与计算拱度相比
5	相邻构件位置 偏差	± 3	——
6	结构对角线差	± 4	——
7	平面外偏差	± 3	——

6.3 试装

条文说明:

试装是为了保证钢桥现场安装的进度和质量, 预先将桁梁或板梁的杆件按设计图纸要求组拼成多节间的片体或节段, 经检测验证后, 再将其拆开还原成各自杆件形式的一道工序。试装有平面主桁片试装、平面桥面系试装和立体节段试装。

试装的目的是为了验证图纸的正确性、工艺的可行性及工装的合理性, 同时也是对参与试装的杆件进行检测验收。

6.3.1 针对先孔法制作工艺, 试装就是一道验证检测工序, 采用配孔法制作工艺的, 允

- 6.3.2** 钢板梁杆件应进行首跨（也称为孔）试装，试装长度不少于 1 跨，
- 6.3.3** 钢桁梁杆件应进行首批试装，可采用平面试装，即主桁面试装和桥面系试装，也可采用立体试装，即节段试装。试装长度不少于 3 个节段或 5 个节间。
- 6.3.4** 钢板梁和钢桁梁在制造和安装过程中，未改变制造工艺、未更换主要加工设备、未出现杆件制造检测数据超差、未出现杆件安装检测数据超差时，后续杆件可不再试装。
- 6.3.5** 试装过程中应检查拼接处有无相互抵触情况，有无不易施拧螺栓处。
- 6.3.6** 试装时板层密贴，所用冲钉不得少于螺栓孔总数的 10%，螺栓不得少于螺栓孔总数的 20%。
- 6.3.7** 试装时必须用试孔器检查所有螺栓孔。钢桁梁的主桁杆件的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器，纵横梁、桥面系和联结系杆件的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.0mm 的试孔器。钢板梁的主梁腹板拼接螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器，其他结构拼接螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.5mm 的试孔器。
- 6.3.8** 试装应有详细记录，经鉴定合格后方可批量生产。
- 6.3.9** 钢板梁试装的主要尺寸应符合表 6.3.9 的规定。

表 6.3.9 钢板梁试装允许偏差

序号	项 目	允许偏差（mm）	条 件
1	跨度 L	±8	支座中心至支座中心
2	试装全长	±2n,±10 取 绝对值较小值	钢梁顶面长度，n 为节段数
3	主梁中心距	±3	——
4	纵向中心线位置	±2	每根主纵梁、横梁中心线偏差
5	主梁拱度	+10 -3	与计算拱度相比

6	平关节间对角线差	≤ 3	——
7	横联对角线差	≤ 4	——
8	主梁竖向倾斜	$\leq H/1000$, 且 ≤ 4	H 为主梁高度
9	相邻主纵梁高低差	≤ 2	
10	支点高低差	≤ 3	3 个支座处水平时, 另一个支座翘起高度
11	拼接口错边量	≤ 1	

6.3.10 钢桁梁平面主桁片试装主要尺寸应符合表 6.3.10 的规定。

表 6.3.10 钢桁梁平面主桁片试装主要尺寸及允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条 件
1	桁 高	± 2	上下弦杆中心距离
2	节 间 长 度	± 2	
3	试 装 全 长	$\pm n$, ± 5 取 绝对值较小值	n 为节间数
4	拱 度	± 3	当 $f \leq 60\text{mm}$ 时 (f 为计算拱度)
		$\pm 5f/100$	当 $f > 60\text{mm}$ 时 (f 为计算拱度)
5	共面度	≤ 6	主桁片侧位状态, 弦杆、腹杆中心线 水平面的共面度
6	桁面对角线差	$\leq H/3000$, 且 ≤ 4	H 为桁高
7	腹杆中心线位置	± 2	
8	两主桁弦杆高低 差	$\leq H/4000$	H 为桁高
9	主桁弦杆水平倾 斜	$\leq h/1000$, 且 ≤ 4	h 为弦杆高度
10	拼接口错边量	≤ 1	

6.3.11 钢桁梁桥面系试装主要尺寸应符合表 6.3.11 的规定。

表 6.3.11 钢桁梁桥面系试装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条 件
1	节间长度	± 2	
2	试装全长	$\pm n, \pm 5$ 取 绝对值较小值	n 为节间数
3	两主桁弦杆中心距	± 3	——

4	横梁中心距	± 3	
5	纵向中心线位置	± 2	每根弦杆、横梁中心线偏差
6	主梁拱度	$+10$ -3	与计算拱度相比
7	节间对角线差	$\leq B/4000$, 且 ≤ 4	B 为弦杆中心距
8	两主桁弦杆高低差	$\leq B/5000$	B 为弦杆中心距
9	主桁弦杆竖向倾斜	$\leq H/1000$, 且 ≤ 4	H 为弦杆高度
10	拼接口错边量	≤ 1	

6.3.12 钢桁梁节段试装主要尺寸应符合表 6.3.12 的规定。

表 6.3.12 钢桁梁节段试装主要尺寸及允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	条件
1	桁 高	± 2	上下弦杆中心距离
2	节 间 长 度	± 2	
3	试 装 全 长	$\pm n$, ± 5 取 绝对值较小值	n 为节间数
4	主桁中心距	± 3	
5	横梁中心距	± 3	
6	纵向中心线位置	± 2	每根弦杆、横梁中心线偏差
7	拱 度	± 3	当 $f \leq 60\text{mm}$ 时 (f 为计算拱度)
		$\pm 5f/100$	当 $f > 60\text{mm}$ 时 (f 为计算拱度)
8	端口对角线差	$\leq (B+H)/5000$, 且 ≤ 6	B 为弦杆中心距, H 为桁高。
9	桁面对角线差	$\leq (S+H)/5000$, 且 ≤ 6	S 为节间距, H 为桁高。
10	桥面对角线差	$\leq (S+B)/5000$, 且 ≤ 6	S 为节间距, B 为弦杆中心距
11	拼接口错边量	≤ 1	

6.4 计算机辅助模拟预拼装

6.4.1 构件除可采用实体预拼装外, 还可采用计算机辅助模拟预拼装方法, 模拟构件或单元的外形尺寸应与实物几何尺寸相同。

条文说明:

本规程提出计算机辅助模拟预拼装方法, 因具有预拼装速度快、精度高、节能环保、

经济实用的目的。钢结构组件计算机模拟拼装方法，对制造已完成的构件进行三维测量，用测量数据在计算机中构造构件模型，并进行模拟拼装，检查拼装干涉和分析拼装精度，得到构件连接件加工所需要的信息。构思的模拟预拼装有两种方法，一是按照构件的预拼装图纸要求，将构造的构件模型在计算机中按照图纸要求的理论位置进行预拼装，然后逐个检查构件间的连接关系是否满足产品技术要求，反馈回检查结果和后续作业需要的信息；二是保证构件在自重作用下不发生超过工艺允许的变形的支承条件下，以保证构件间的连接为原则，将构造的构件模型在计算机中进行模拟预拼装，检查构件的拼装位置与理论位置的偏差是否在允许范围内，并反馈回检查结果作为预拼装调整及后续作业的调整信息。当采用计算机辅助模拟预拼装方法时，要求预拼装的所有单个构件均有一定的质量保证；模拟拼装构件或单元外形尺寸均应严格测量，测量时可采用全站仪、计算机和相关软件配合进行。

6.4.2 推荐使用三维数字化检查手段进行数字化预拼装，通过数字化检查生成的模型与设计模型进行尺寸对比，检查预拼装尺寸。

6.4.3 当采用计算机辅助模拟预拼装的偏差超过本规程的有关规定时，应按本规程第 6.2、6.3 节的要求进行实体预拼装。

7 涂装

7.1 基本规定

7.1.1 涂装实施方案应符合设计文件要求，并应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)的规定。对于工地连接涂装和修复涂装应根据涂装部位、所处位置、数量、损伤原因及程度等明确涂装范围、工艺和标准，必要时制定作业指导书。

7.1.2 抗滑移系数试验方法应符合本规程附录 L 的规定。

7.1.3 涂装前应对构件自由边双侧倒弧，倒弧半径不小于 2.0mm。

7.1.4 钢构件出厂后，高强度螺栓连接面涂层的抗滑移性能（铝涂层或无机富锌防锈防滑涂料涂层）的保质期应为 6 个月。超过保质期后，应检验抗滑移系数，检验合格后方可使用。

条文说明：

本条规定抗滑移性能保质期为 6 个月，与高强度螺栓保质期一致，是指工地在正常保存情况下，高强螺栓孔部位表面抗滑移系数不小于 0.45。

7.1.5 钢梁所有内外表面的防腐涂装宜在工厂内全部完成，施工现场只进行现场焊缝处以及破损处的修补等小范围的涂装。

条文说明：

通常桥梁钢结构外表面最后一道面漆在构件安装完成后现场进行涂装。现场涂装时，两道面漆涂装间隔往往超过规定时间，涂装前需对全桥外表面进行清理及拉毛处理，工作量巨大；现场涂装质量受现场气候、环境等影响；现场涂装高空作业危险因素多；城市钢桥多在城区、河域环保要求更加严格，现场涂装不可能在封闭空间内施工，涂料污染无法控制。

7.2 除锈

7.2.1 在涂装前，应对钢构件表面进行除锈。喷砂前宜采用有机溶剂进行清洗，除去油污等影响涂装质量的污染。

条文说明：

外表面在涂装底漆前应采用喷射方法进行二次表面处理。内表面无机硅酸锌车间底漆基本完好时，可不进行二次表面处理。

7.2.2 除锈等级应符合设计规定，设计未规定时，应达到现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》（GB/T8923）规定的 Sa2.5 级，表面粗糙度根据防腐涂层体系的不同特性来匹配；对高强度螺栓连接面，除锈等级应达到 St3 级，表面粗糙度应达到 Ra50~100um，且除锈后的连接面宜进行喷铝、喷锌铝合金或者富锌涂料防锈处理，同时应清除高强度螺栓头部的油污及螺母、垫圈外露部分的皂化膜。

条文说明：

钢材及钢构件表面处理应严格按照设计规定的除锈方式进行除锈，并达到规定的除锈等级。钢结构在除锈处理前，应清除焊渣、毛刺和飞溅等附着物，对边角进行钝化处理，并应清除基体表面可见的油脂和其他污物。

钢构件除锈方式根据技术要求不同可采用手工或动力工具清理、喷射清理和酸洗清理等方法。喷射处理为钢结构的主要除锈方式，常用的两种方式为喷砂除锈和抛丸除锈。热镀锌、热喷锌（或铝）的钢材表面宜采用酸洗除锈。

钢材表面处理等级，应根据钢材表面的原始状态、可能选用的底漆和可能采用的除锈方法等确定。钢结构表面初始锈蚀等级和表面除锈等级可按设计文件和国家现行标准《涂料涂覆前钢材表面处理 清洁度的目视评定 第一部分：涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB/T8923.1 的规定确定。根据除锈方式钢构件表面除锈等级可分为：

- （1）喷射处理，控制等级一般为 Sa2.5 或 Sa3.0。
- （2）手工和动力工具处理，控制等级一般为 St3.0。

7.2.3 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。

7.3 工厂内涂装

7.3.1 厂内涂装宜在封闭的室内进行，涂装施工环境应符合以下要求：

- 1 构件和梁段表面不应有雨水或结露，相对湿度不应高 80%；
- 2 环境温度对环氧类漆不得低于 10℃，对水性无机富锌防锈底漆、聚氨酯漆和氟碳面漆不得低于 5℃。环境温度最高不超过 38℃。

7.3.2 涂装施工应符合以下规定：

- 1 涂装时，构件表面不得出现返锈现象，否则应重新除锈；
- 2 涂装材料或锌、铝涂层宜在除锈完成后 4h 内完成涂装；当所处环境的相对湿度小于 60%时，完成涂装时间不宜超过 12h。
- 3 各道漆的涂装间隔严格按涂装工艺执行，底漆、中间漆涂层的最长暴露时间不宜超过 7d；若超过上述时限，应用细砂纸将涂层表面打磨成细微毛面；
- 4 涂装后 4h 内应采取措施保护，避免遭受雨淋；
- 5 当涂装材料对工艺有特殊要求时，应执行其规定；
- 6 室外涂装时在风沙大雨天和雾天不得施工。

7.3.3 大面积喷涂时应采用高压无气喷涂，预涂或修补时可采用滚涂或刷涂。无机富锌防锈防滑涂料可采用空气喷涂或者无气喷涂，不得采用滚涂或者刷涂。

条文说明：

涂层结构形式主要有两类：底漆-中间漆-面漆、底漆-面漆。

构件涂装时，应选择配套合理的涂层方案。涂层的底漆应与构件表面有良好的附着力和长效的防锈作用，面漆应有较好防腐蚀、耐老化性能，中间漆介于底漆和面漆之间，应具有良好的屏蔽功能，同时增加漆膜的总厚度。

（1）涂装方法

应根据防腐涂层特点及施工条件合理选择涂装方法。防腐涂装方法主要有：刷涂法、滚涂法、空气喷涂法和无气喷涂法。

（2）涂装施工

钢结构防腐涂装施工工艺，应根据所用涂料的物理性能和施工环境条件选择，并符合产品说明书的规定。

所有进厂（场）涂装材料，应经复检合格后方可使用。同一涂装配套中的底漆、中间漆和面漆应有良好的相容性。

对二次涂装的构件，应清理干净其表面后才可进行现场涂装。进行二次涂装前，应对损坏部位进行补涂，其基层处理和涂刷道数、厚度均应符合设计要求。

钢构件金属热喷涂方法宜采用无气喷涂工艺，也可采用有气喷涂或电喷涂工艺。各项热喷涂施工作业指导书应对工艺参数（热源参数、雾化参数、操作参数、基表参数等）、喷涂环境条件及间隔时限等作出规定。构件表面单位面积的热浸镀锌质量，应符合设计文件的规定。钢构件进行热浸镀锌前，可采用除油和酸洗除锈的方法清理表面，同时应避免过度酸洗。

7.3.4 构件和梁段的现场对接焊缝两侧各 50mm 范围内不涂装，待现场拼装完成后进行，且总干膜厚度宜增加 10%。

7.3.5 对局部损伤的涂层，应按第 7.2.2 条的规定进行表面处理，并按原设计涂层补涂各层涂料。

7.3.6 涂装后，应进行构件和梁段标识。

7.3.7 构件和梁段的码放应在涂层干燥以后进行。

7.4 抗滑移连接面处理

7.4.1 在工地以高强度螺栓、高强度环槽铆钉连接的构件和梁段（连接面）抗滑移系数值应符合设计规定；设计未规定时，抗滑移系数出厂时不应小于 0.55，工地安装前的复检值应不小于 0.45。

7.4.2 抗滑移系数试验用的试件共制作 6 组，其中 3 组用于出厂试验，3 组用于工地复验。抗滑移系数试件应与构件和梁段同材质、同工艺、同批次制造，并应在同条件下运输、存放且试件的摩擦面不得损伤。设计文件对抗滑移系数试件的数量及规格有要求时，按设计文件执行。

7.5 涂装检验

7.5.1 在涂装施工前应对构件自由边缘双侧倒弧，倒弧半径不小于 2.0mm。

检验方法：观察检查。

7.5.2 涂装前构件表面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。

7.5.3 涂料品种、施工环境、每种涂料的涂层厚度均应符合设计要求及所用涂装材料产品说明书要求。

检验方法：用温、湿度计或摇表，露点仪等检查施工环境。用磁性测厚仪检查涂层干膜厚度。以钢梁构件为一个测量单元，每一个测量单元至少应选取三处基准表面，每一个基准表面测量五点，取其算术平均值。单个测试点的厚度不得低于规定厚度的 85%。

7.5.4 整个涂层对基体的附着力和层间附着力按《色漆和清漆漆膜的划格试验》（GB/T9286）规定进行划格法检验，检验结果不应低于 1 级；或按《色漆和清漆拉开法附着力试验》（GB/T5210）规定进行拉开法检验，结果应不低于 3MPa。

无机富锌防锈防滑涂料、水性无机富锌漆的涂层对基体的附着力采用拉开法检验，检验结果应不低于 4MPa。

环氧富锌底漆的涂层对基体的附着力采用拉开法检验，检验结果应不低于 5MPa。

铝涂层对基体的附着力检验应按《热喷涂金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金》（GB/T9793）规定进行划格检验，检验结束后，方格内的涂层不得与基体剥离；采用拉开法检验时，应不低于 5.9MPa。

检验方法：采用涂层附着力拉拔仪检查。

7.5.5 构件漆膜颜色应达到业主规定的色卡要求，涂层表面应平整均匀，无明显色差。不允许有剥落、起泡、裂纹、气孔、漏涂等缺陷，允许有不影响防护性能的轻微桔皮、流挂、刷痕和少量杂质颗粒；金属涂层表面应均匀一致，不允许有起皮、鼓泡、大熔滴、松散粒子、裂纹、掉块等缺陷。

7.5.6 涂装完成，构件的标识、编号应清晰完整。

检验方法：观察检查。

7.5.7 出厂前应检查涂层的总厚度。

检验方法：采用磁性测厚仪检查。

8 成品检验

8.1 基本规定

8.1.1 桥梁的钢结构制造完成后应进行检验，出厂前应进行验收。

8.1.2 对钢结构进行验收时，应具备下列文件：

- 1 产品合格证；
- 2 钢材、焊接材料、高强度螺栓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 工厂高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告；
- 5 焊缝无损检验报告；
- 6 焊缝重大修补记录；
- 7 产品试板的试验报告；
- 8 试拼装或预拼装检查记录；
- 9 涂装检测记录。

8.1.3 对钢结构进行计量时，应以施工图纸为依据。钢板应按矩形计算，但大于 0.1m^2 的缺角应扣除；焊缝重量应按焊接构件重量的 1.5% 计。

8.1.4 产品试板、抗滑移系数试件、以及吊耳和称重等位置用于加固及临时连接件所采用的钢材，应在合同中予以约定，并按实际投入进行计量。

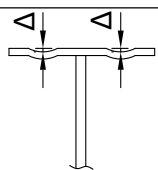
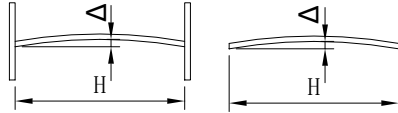
8.1.5 构件的内外表面不得有超标的凹痕、划痕、焊瘤、擦伤等缺陷，边缘应无毛刺。

8.1.6 构件的螺栓孔径、孔形的允许偏差应符合本规程第 4.6.3 条的规定。

8.2 成品基本尺寸

8.2.1 钢板梁成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.1 的规定。

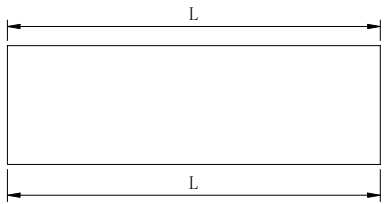
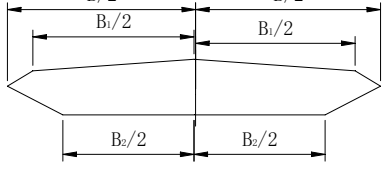
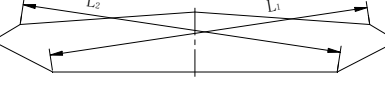
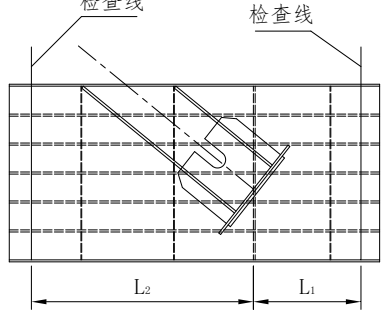
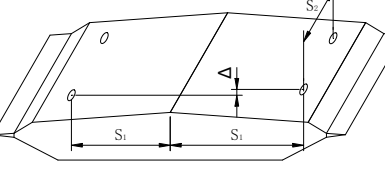
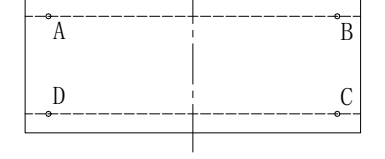
表 8.2.1 钢板梁成品尺寸允许偏差（mm）

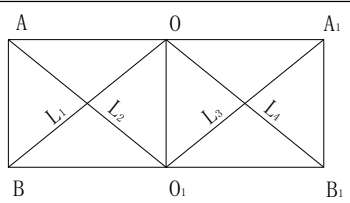
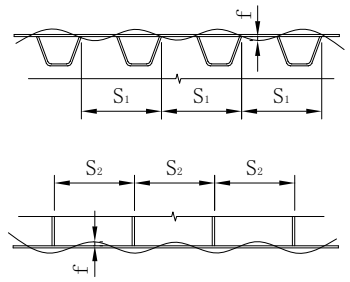
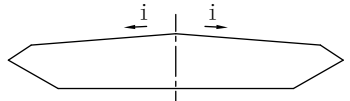
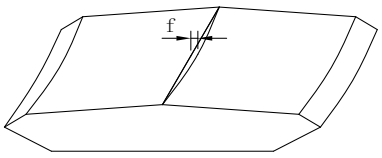
序号	名 称		允许偏差		备 注
1	跨度 L		±8		测量两支座中心距离
2	全长		±15		测量全桥长度
3	梁高	H≤2m	±2		测量两端腹板处高度
		H>2m	±4		
4	纵梁长度		+0.5, -1.5		测量两端角钢背至背之间距离
5	横梁长度		±1.5		
6	纵梁高度		±1		测量两端腹板处高度
7	横梁高度		±1.5		
8	纵梁、横梁旁弯		≤3		梁立置时在腹板一侧距主焊缝 100mm 处拉线测量
9	纵梁、横梁拱度		+3, 0		梁卧置时在下盖板外侧拉线测 量
10	主梁拱度 f		+5, 0	不设拱度	梁卧置时在下盖板外侧拉线测 量
			+10, -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 劲肋至下盖板间距离）
13	纵、横梁腹板平面度		h/500 且 ≤5		
14	主梁、纵横梁盖板对 腹板的垂直度		≤0.5	有孔部位	用直尺测量
			≤1.5	其余部位	
15	盖板平面度		≤0.5	有孔部位	
			≤2	其余部位	
16	板梁、纵梁、横梁腹 板平面度Δ		h/500 且 ≤5		

8.2.2 钢箱梁梁段成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 钢箱梁梁段成品尺寸允许偏差（mm）

序 号	名 称	允许偏差	简 图
--------	-----	------	-----

序号	名称		允许偏差		简图
1	梁长 L		± 4	以梁段两端检查线为基准, 合龙段长度根据实测结果确定	
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	腹板中心距		± 4	测量两端腹板中心距	
4	梁半宽 B/2 顶板半宽 B ₁ /2 底板半宽 B ₂ /2	2 车道	± 2.5	在梁段两端口测量宽度	
		4 车道	± 3		
		6 车道	± 4		
		8 车道	± 10		
5	端口尺寸	对角线差 L ₁ - L ₂	≤ 6		
		顶板与底板中心重合度	≤ 2		
6	锚箱位置	同一梁段两锚箱高差	≤ 5		
		锚箱距梁段端口长度 L ₁ 、L ₂	± 2		
7	吊点位置	横向中心距 S ₁	± 4		
		纵向中心距 S ₂	± 2		
		两吊点纵向错位 Δ	± 2		
		相对高差	≤ 5		
8	顶板	四角水平 (A、B、C、D)	± 3		
		相对高差	≤ 8		

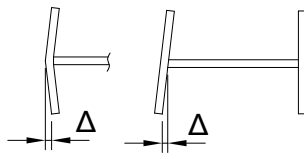
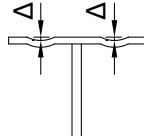
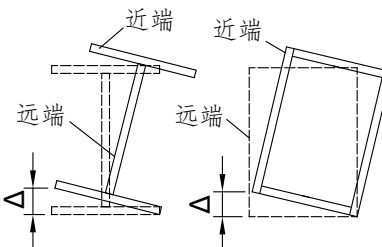
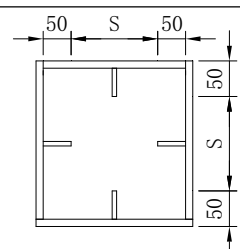
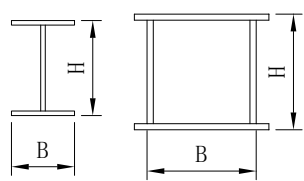
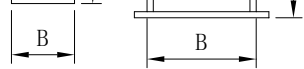
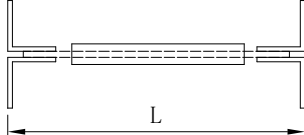
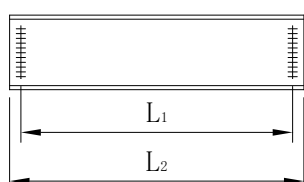
序号	名称		允许偏差	简图
		1/2 对角线差 $ L_1 - L_2 $ $ L_3 - L_4 $	≤ 8	
9	板面平面度	横桥向 f	S1/250	
		纵桥向 f	S2/500	
10	桥面横坡		$\pm 0.1\%$	
11	旁弯 f		$3+0.1L$ 且 ≤ 5	
12	扭曲		$10+0.2L$ 且 ≤ 10	
13	竖曲线或预拱度 (高程控制点)		$+(3+0.15L)$ 且 ≤ 12 , $-(3+0.15L)$ 且 ≥ -6	
14	两端支座连接孔中心距		± 20	对于整孔吊装的梁段, 支座中心至中心

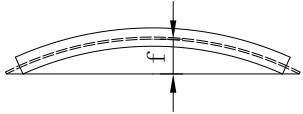
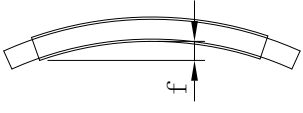
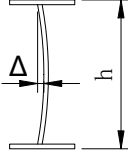
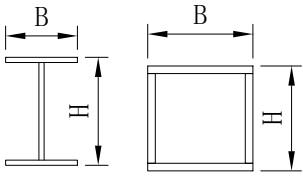
8.2.3 钢桁梁杆件成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 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	测量两端 腹板处高 度	
			对拼式：±1		
2		宽度 B	±1（腹板有拼 接）	每 2m 测 一次	
			±2（腹板无拼 接）		
3		长度 L	±4	测量全长	

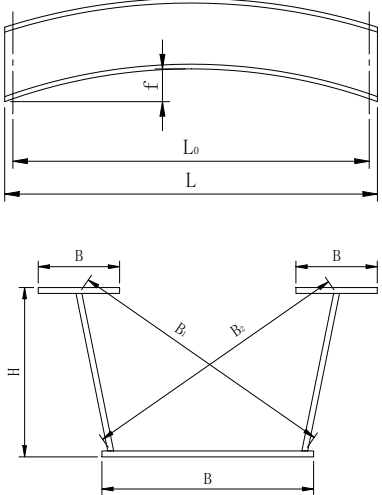
序号	名称	允许偏差		简图
4	箱形构件 对角线差	≤ 2 (边长 < 1000)	测量两端 箱口处两 对角线	
		≤ 3 (边长 ≥ 1000)		
5	弯曲	≤ 2 ($L \leq 4000$)	拉线测量	
		≤ 3 ($4000 < L \leq 16000$)		
		≤ 5 ($L > 16000$)		
6	整体节点弦杆节点板内侧宽度 B (涂装后的尺寸)	+1.5, 0	测孔群部位	
7	整体节点弦杆端口高度 H	± 1	测量两端腹板高度	
8	整体节点弦杆横梁接头板高度 H1、H2	± 1.5	接头板外端腹板处高度	
9	整体节点弦杆节点板内侧中心线距横梁接头板外侧孔的距离 L	± 1.5		
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)		

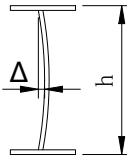
序号	名 称		允许偏差		简 图
11		盖板对腹板的垂直度 Δ	≤ 0.5 （有孔部位）	盖板宽度 ≤ 600	
≤ 1.5 （其余部位）					
≤ 1 （有孔部位）			盖板宽度 > 600		
≤ 1.5 （其余部位）					
12		盖板平面度	≤ 0.5	有孔部位	
≤ 2			其余部位		
13		扭曲	≤ 3	构件置于平台上，四角中有三角接触平台，悬空一角与平台间隙	
14	箱形构件盖腹板平面度		$S/750$ 且 ≤ 1	工地孔部位	 S: 孔群部位宽度
			$S/250$	其余部位	
			$L1/500$ 且 ≤ 5	纵向	
15	纵 梁	高度 H	纵梁: ± 1	测量两端腹板处高度	
横梁: ± 1.5					
16		盖板宽度 B	± 2	每 2m 测一次	
			± 1 （箱形腹板有拼接时）		
17	横 梁	长度 L	纵梁: $+0.5, -1.5$	测量两端角钢背至背之间距离	
横梁: ± 1.5					
18			$L_1 : \pm 1$	L1: 测量腹板极边孔距	
			$L_2 : \pm 5$		

序号	名 称		允许偏差		简 图
19		旁弯 f	≤ 3	梁立置时，在腹板一侧距主焊缝100mm处拉线测量	
20		上拱度 f	$+3, 0$	梁卧置时，在下盖外侧拉线测量	
21		腹板平面度 Δ	$h/500$ 且 ≤ 5		 h 为纵、横梁端面高度
22	联结系构件	高差 H	± 1.5	测量两端腹板处高度	
23		盖板宽度 B	± 2	每 2m 测一次	
24		长度 L	± 5	测量全长	
25		箱形构件对角线差	≤ 2	测量两端箱口处两对角线	

8.2.4 钢槽梁节段成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.4 的规定。

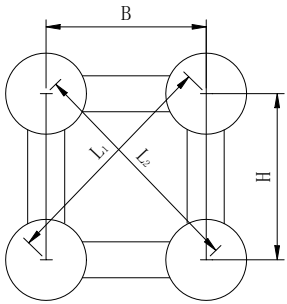
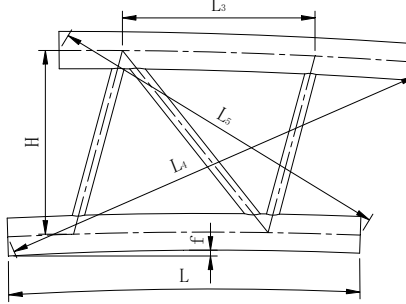
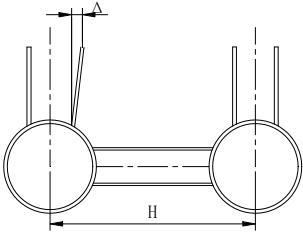
表 8.2.4 钢槽梁节段成品尺寸允许偏差（mm）

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	长度 L		± 15	
2	跨度 L_0		± 8	
3	梁高 (跨中和支点处腹板高度)	$H \leq 2m$	± 2	
		$H > 2m$	± 4	
4	顶板、底板宽度 B		± 2	
5	腹板间距 B_1 、 B_2		± 2	
6	拱度 f		$+10, -3$	

序号	名 称	允许偏差	简 图
7	旁弯 (桥梁中心线与理论值的偏差)	$\leq L/5000$ 且 ≤ 5	
8	顶板或底板对腹板的垂直度	≤ 2	
9	腹板平面度 Δ	$\leq h/350$ 且 ≤ 8	 h 为纵、横梁端面高度

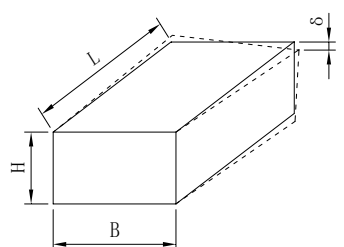
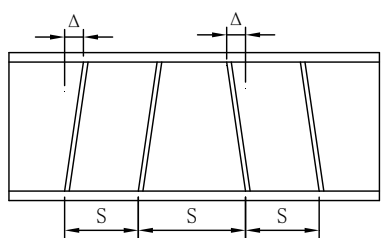
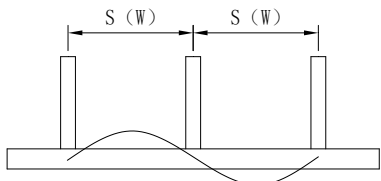
8.2.5 钢管拱节段成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.5 的规定。

表 8.2.5 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	
5	节点板间距 L_3	± 3	
6	纵向对角线差 $ L_4-L_5 $	≤ 4	
7	内弧偏离设计弧线 f	≤ 8	
8	节段平面度	≤ 3	
9	吊杆位置与设计位置的偏差	≤ 5	
10	扭曲	$\leq 1\text{mm/m}$, 且 ≤ 8	

8.2.6 钢塔成品尺寸的允许偏差应符合表 8.2.6 的规定。

表 8.2.6 钢塔成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	项 目		允许偏差		简 图
1	长度 L、高度 H		± 2		
2	宽度 B		± 2		
3	端口对角线相对差 D		≤ 3		
4	扭曲 δ		≤ 3	测点在两端横隔板与外壁板交点上	
5	横隔板垂直度偏差 Δ		≤ 2		
6	横隔板间距偏差 S		± 2		
7	旁弯		≤ 3		
8	板面平面度	纵向	W/300	W 为纵肋中心距 S 为隔板中心距	

9 存放及运输

9.0.1 构件包装应在涂层干燥后进行，包装和存放应保证构件不变形、不损坏、不散失。

9.0.2 大截面工形、箱形构件、桥面板块体采用裸装；长细杆件采用框架捆装，杆件之间应加垫层；拼接板采用盘装，板件之间应加垫；较小面积（体积）的零件采用箱装，箱内塞实，保持通风干燥；各种包装应保护摩擦面，使摩擦面不受损伤。

9.0.3 栓合发送的零件用螺栓拧紧，每个孔群不少于 2 个螺栓。

9.0.4 构件标识，采用喷字、钢印和二维码相结合的方式。

9.0.5 构件的存放场地应坚实、平整、通风且具有排水设施。支承处应有足够的承载力，不允许在杆件存放期间出现不均匀沉降。

9.0.6 构件存放要分种类码放整齐、不宜过高，防止倾覆、压坏变形。

9.0.7 构件的支撑点应设在自重作用下杆件不致产生永久变形处；超长杆件应有足够的支撑垫，并调整到自重弯矩为最小的位置上，以防杆件挠曲变形。

9.0.8 构件刚度较大的面宜竖向放置。

9.0.9 同类构件分层堆放时各层间的垫块应在同一垂直面上，构件叠放不宜过高。构件间应留有适当空隙，便于吊装人员操作和查对。

9.0.10 构件在场地存贮和运输时，应按拼装顺序编号，并按吊运顺序安排贮存位置。

9.0.11 构件运输时，应用钢丝绳将其牢靠固定，应在与钢丝绳接触的边缘加垫，防止损伤构件。

9.0.12 包装和发运应按铁路、公路及水上运输有关规定办理。

10. 现场安装

10.1 基本规定

10.1.1 本章适用于城市钢桥构件的工地组装、安装，包括支架法安装、悬臂拼装、顶推、滑移、整体、提升、转体等施工方法和工艺。

条文说明：

工地组装是指在工地现场按照规定的技术要求，将若干个零件或构件组成梁段的过程。安装是指利用不同的起重设备按照一定的程序把构件或梁段固定在设计位置并连接固定成桥的过程。

10.1.2 施工前，应根据工程工期要求、施工环境、工程特点、设备能力、经济效益和社会效益等安装工程要素选择合适的起重设备和安装方法。城市钢桥安装应尽可能减小对市民出行及交通的影响，快速施工。

10.1.3 钢桥安装设备选择应具备适应性、先进性、经济性、安全性，各种配套设备应组合合理，且有足够的安全储备。选择安装设备宜进行通用性和专用性比较，有条件的可配置自动控制系统。对涉及安全保护的重要配件、配套机构，应注明规格型号和性能。

条文说明：

通用钢结构安装设备有汽车及履带起重机、浮式起重机、塔式起重机、门式起重机、各类型千斤顶；专用设备有架桥机、缆索吊机、跨缆吊机、桥面吊机、顶推及顶升（提升）装置、模块车等。

10.1.4 钢构件在安装过程中应采取措施防止钢构件受到损伤、污染，损坏的涂层，应按照规定进行补涂。不得在现场对结构杆件进行未被批准的临时性的焊接和切割作业。

10.1.5 应根据桥梁工程的特点对专业性较强、结构复杂、施工难度大的施工项目制定相应的安全技术措施，对危险性较大的分部分项工程和超过一定规模的危险性较大的分部

分项工程按照有关文件执行。

条文说明：

城市钢桥安装危险性较大的分部分项工程主要包括：①用于钢结构安装的支撑体系；②采用非常规起重设备、方法且单件起吊重量在 10KN 及以上的起重吊装工程；③采用起重机械进行安装的工程；④起重机械安装和拆卸工程；⑤重量 1000KN 及以上的大型结构整体顶升、平移、转体等施工工艺；⑥采用新技术、新工艺、新材料、新设备可能影响工程施工安全，尚无国家、行业及地方技术标准的分部分项工程。

10.2 施工准备

10.2.1 桥梁安装技术准备应符合以下规定：

1 桥梁安装前对设计图纸进行校核与研究，请设计单位进行设计技术交底，了解领会设计意图和设计要求。

2 专项施工组织设计或专项施工技术方案应具备针对性、可行性和可操作性。专项施工组织设计或专项施工技术方案应包括工程概况、施工总体部署、施工现场平面布置、施工准备、主要临时结构设计、施工技术方案、主要施工保证措施、附件等。专项施工组织设计或专项施工技术方案应按规定进行审批，并应据此按规定进行技术交底。

条文说明：

专项施工组织设计或专项施工技术方案主要内容编制说明如下：

- 1) 工程概况主要包括编制依据、工程简介、现场施工条件等内容。
- 2) 施工总体部署包括主要工程管理目标、总体组织安排、总体施工安排、施工进度计划、总体资源配置。
- 3) 施工现场平面布置主要包括生产区、生活区、办公区等各类设施的布置安排；临时便道、便桥的位置及结构形式，对现场交通组织简要说明；确定构件拼装场地、材料堆放场、机械停放场等辅助施工生产区域的位置；确定施工现场临时用水、临时用电布置安排；确定现场消防设施的布置。
- 4) 施工准备主要包括技术准备、现场准备、资金准备等。
- 5) 主要临时结构设计包括总体布置、结构及构造、工程数量、说明书、计算书等。

6) 施工技术方案包括分部分项工程的施工工艺流程、施工方法及质量检验标准。

7) 主要施工保证措施包括进度保证措施、质量保证措施、安全管理措施、环境保护及文明施工管理措施、成本控制措施、季节性施工保证措施、交通组织措施、构（建）筑物及文物保护措施、应急措施等。

8) 附件包括方案比选、安全性验算评估、结构分析报告、计算书、施工图表等。

3 临时受力结构应满足施工需要及强度、刚度和稳定性要求。应对临时受力结构进行验算复核，对于复杂的大型临时结构宜由第三方进行验算复核。临时受力结构设计文件应规范、完整，符合施工图设计深度要求。

条文说明：

临时受力结构主要包括临时码头、栈桥（平台）、便道（桥）、各种支架、塔（扣）架、猫道、承重缆索系统、围堰、吊具等。应同步编制临时结构通道、步梯、临边防护等安全防护方案和拆除方案，在施工过程中严格执行。

4 对于方案中重要的施工过程或工况，宜通过仿真分析或模拟试验验证方案可靠性。对于重要、复杂的工艺应编制作业指导书，必要时进行工艺试验。

5 对拟采用新技术、新工艺、新材料、新设备的工程项目，应提前做好试验研究和论证等工作，保证工程施工能顺利进行。

10.2.2 现场资源准备应符合下列规定：

1 资源准备包括劳动力、工程材料和周转材料准备、施工设备和机具准备。

2 根据工程的特点，综合考虑工期目标和施工工艺方法等，以结构合理、高效精干、技术素质高、专业对口、施工经验丰富、各工种搭配科学合理的原则进行劳动力配备。

条文说明：

现场人员包括施工负责人、施工管理人员、施工技术人员、施工机械操作维护人员等。施工人员配备需满足下列要求：

1) 人员配备应满足施工作业需求，且分工明确，在施工前应建立并落实人员责任制。

2) 施工人员必须具备岗位所需的操作技能和管理能力, 特殊工种必须持证上岗, 试验检测人员应具备相应资质和经验。

3) 所有人员都需进行进场培训, 保证从业人员具备必要的施工生产知识、熟悉施工生产规章制度及操作规程, 培训完毕后应对培训人员进行考核。未经进场培训或者培训不合格人员不得上岗作业。

4) 项目部应向有关人员进行技术交底。技术交底要说明施工的要求, 对施工方案进行细化和补充, 说明作业时的安全注意事项。技术交底工作应留存记录。

5) 项目部应对进场施工人员进行动态管理。班组在有人员变动时应及时办理进退场手续。项目部应按时对作业人员进行排查, 避免出现未登记、未教育者上岗作业。

3 应根据施工方案确定工程材料和周转材料使用数量并编制使用和进场计划。工程构件、材料、半成品等进场需经验收合格后方可使用, 并应配置充足的安全防护用品。

4 应根据施工方案组织施工设备和机具配置数量进场。起重设备、运输车、船舶、安装工具应齐全、配套, 计量、测量和检验仪器配置数量、规格和性能应满足施工需要, 并检验合格, 状态良好。

5 特种设备(如龙门吊、船吊、塔吊、架桥机等)按照特种设备管理进行报检, 经检验检测机构检验合格, 并在特种设备安全监督管理部门登记后方可使用。专用设备应在使用前进行荷载试验, 并进行全面验收。

6 检验仪器设备精度应满足施工要求, 仪器设备在施工前应经计量标定, 标定合格后方可使用。

10.2.3 现场准备应符合下列规定:

1 施工前根据设计单位现场交桩的结果, 做好测量控制网的复测的工作。根据施工需要适当加密、优化, 建立施工测量控制网。

2 陆地施工场地应稳定, 上、下边坡和支挡、防排水设施应当完备。在安装过程中应排除交通、架空电线等干扰。施工道路均应接入施工场地, 施工用水、用电应按方案进行配备。

3 水上施工时, 场区应满足起重船或者运输船锚泊、作业需要。起重船吊装时应保证航道、码头、泊位、锚地的正常使用。

4 根据施工需要布置现场拼装场地和及拼装胎架。现场拼装场地要求平整，承载力满足设计要求。

5 拼装胎架要求坚实牢靠，胎架承重横梁应具有足够的刚度，横梁和支撑的局部变形不得大于 2mm。胎架安装完成后应进行检验测量，确保高程、线形、控制尺寸符合图纸工艺的要求，方可使用。对于复杂的胎架宜编写使用说明书以及技术交底。

条文说明：

受运输条件限制，有的钢桥很难在工厂做成较大节段吊装单元直接运输到现场安装，只能是将钢桥先加工成能够运输的单元或块体，运至桥位附近再进行现场组装成大的节段或整孔梁，然后进行安装。

6 施工前，开工所需的环保、安全、交通导改、航道占用等许可手续齐备，开工报告得到审批。

10.3 支架法安装

10.3.1 基本规定

支架法安装主要是指利用支架作为临时支撑，分节、分段吊装并连接成整体的施工方法，主要应用于简支梁、连续梁等的安装，支架上安装拱肋可参照使用。

10.3.2 临时支架设计应符合下列规定：

1 支架设计应受力简单明确、结构合理；支架的构造应便于制作、运输、安装、维护；宜采用通用和标准化构件，既可提高支架制作、安装质量，也为支架的周转使用提供便利，减少支架的材料浪费，减轻环境污染。

2 支架的宽度、高度、跨径布置应满足各构件在安装过程中的强度、刚度、稳定性和安全作业防护要求；应具备钢主梁就位后平面纠偏、高程及纵横坡精确调整等功能，设计时应当额外考虑钢构件精确调整就位的工况。

条文说明：

在支架上对钢构件进行纵横向调整的过程中可能对支架产生纵横向的水平力，支架验

算时除了考虑构件的自重荷载外还应考虑安装过程中进行构件调整所产生的其它荷载。

3 支架纵、横向顶部高程宜与梁底拼装线形相吻合，同时应考虑预拱度、支架受力、温度变形等影响；设计受限时可考虑用临时支座来满足梁底拼装线形的需要，临时支座必须进行专门设计，防止使用过程中失稳。

4 跨路或航道布设支架时，除按照要求设置交通导流及警示设施外，还应设置防撞设施，保证施工安全和交通安全。

5 临时支架宜采用设计标准化装配式支架、循环使用，并在使用前进行检查验收，以达到绿色建造的目的。

10.3.3 吊装设备选择应根据地形地貌、地基条件等现场环境和钢主梁分段设计选择吊装设备，吊装设备的使用应符合下列要求：

1 采用起重机吊装时，吊车的性能应满足作业高度、荷载、作业半径要求；吊装过程中吊车大臂与构件、临近建筑、支架或其他障碍物的间距应符合安全要求；地面平整度、坡度、地基承载力应满足起重机作业要求。

2 采用单机吊装时，当吊索与钢主梁存在夹角时尚需验算吊装对钢主梁结构的影响，必要时进行临时加固处理。

3 采用履带式起重机负重行走吊装时，实际荷载不得超过额定荷载的 70%，钢主梁离地高度不超过 50cm。

4 采用双机抬吊起吊重量不得超过两台起重机在该工况下允许起重量总和的 75%，单机的起吊荷载不得超过允许荷载的 80%。

5 采用门式起重机作为起吊设备时，构件重量不宜超过门式起重机额定荷载的 80%。

6 采用架桥机等专用设施进行安装时，应按照专用设施的作业规程施工，构件重量不得超过专用设施的额定能力，否则需要根据实际工况对架桥机等进行验算。

7 采用卷扬机、千斤顶等组装制作专用设施时（非标准），除应进行专项设计外，还应进行荷载试验。

10.3.4 安装顺序

1 应按照设计要求的节段和顺序进行安装，设计无要求时应符合安全、便利的原则。

2 在起重设备满足使用的前提下宜尽量减少分段，连续梁安装顺序宜先吊装墩顶位置钢构件分段，跨中位置进行合龙。

条文说明：

连续梁先吊装墩顶位置钢构件分段是为了确保支座位置的准确就位，支座位置由于受力集中钢梁设计时支座位置都有局部加强设计，支座位置安装准确有利于钢梁支座位置局部受力满足设计要求。

3 如限于现场条件必须进行横向分块时，首次安装的块段必须能够自稳，且应根据实际情况加设防倾措施，后续安装的构件应与已安装构件连接，形成稳定体系。

10.3.5 支架法安装作业应符合以下规定：

1 吊装设备选定后明确起重机械工况的选用、吊点的设置、吊耳的设计，钢丝绳和卸扣的型号、规格的选用，以及主要构件就位和几何位置的调整方法。

2 支架使用前必须经过验收，当地基为非刚性地基时，宜通过加载预压确认地基承载力及消除地基非弹性变形；安装过程中应安排专人观测支架的变形及沉降，超过方案设计允许值应暂停施工，采取措施消除异常后方可继续施工。

3 起重工作应按照相关要求统一信号、统一指挥；起降速度应均匀。

4 安装时应采取措施确保支座处螺栓及抗震锚栓准确就位，使支座与支座垫板密贴。采取的措施通常有：复核支座的安装位置，确保准确；钢箱梁吊装时，应根据节段构造设置临时补强措施，加强节段刚性，避免节段扭曲变形；钢箱梁支座处楔形板通过机加工保证斜度和栓孔的精度。

5 临时支座顶面应依据梁底纵坡调整角度，使支垫密贴稳定。

6 坡度较大时宜对梁段采取临时固定措施，如斜撑、拉索。

7 出现钢箱梁对接接口间隙过宽、间隙宽度不一致、对接处板错边量超差等问题时，应通过匹配件或定位件等临时工装进行矫正，达到规范要求。

条文说明：

提高钢主梁安装精度可采取如下预防措施：采用精密切割工艺、机加工工艺确保下料

尺寸精度及坡口精度，保证板边缘的质量要求；优化焊接工艺，减少焊接变形；采用连续匹配制作进行预拼装，并采取预拼装时进行余量二次切制，保证间隙均匀。

8 支架上焊接连接钢箱梁块件时，定位应预留焊接收缩量 and 反变形量，避免因此造成桥面局部高程超限，保证成桥后的桥面高程及横坡要求。

9 使用千斤顶顶升、横移、下放钢构件时，应采取保护措施预防千斤顶倾覆、泄压等造成构件倾斜、倾覆。

10 在支架上移动梁段时，应采用千斤顶、移位器、滑靴、轨道梁或滑道等专用工具，加力支点或反力点应设在轨道梁上。采用支架以外的反力点进行拖拉时，应验算支架强度、变形和抗倾覆稳定性。

11 连续梁宜整联落梁完成体系转换。

10.4 悬臂拼装

10.4.1 基本规定

悬臂拼装是指桥梁钢结构安装构件在无支架支撑状态下安装成桥的施工方法，悬臂拼装多用于桁架梁桥、拱桥钢拱肋、斜拉桥钢主梁的安装。

10.4.2 悬臂拼装设备应符合下列要求：

1 钢梁悬拼设备应根据钢梁结构形式、跨径大小、施工方案、工程进度、现场条件等因素选择，数量、性能应满足施工需要。

2 悬臂拼装所用的桥面吊机或缆索吊机应进行专项设计。桥面吊机应委托具有相应资质的专业单位加工制造，加工完成后应进行出厂质量验收。缆索吊机所用卷扬机、钢丝绳、滑轮组等机具和材料应采用状况良好的合格产品。

3 悬拼施工所用浮吊应具备船舶证书，符合船舶管理规定；应根据梁段吊点距离及重心偏离等参数进行安全性验算，浮吊在受荷最大时，抗倾覆稳定安全系数应大于 1.5。

4 用于悬拼的桥面吊机、缆索吊机使用前应进行全面的安全技术检查，并进行 1.25 倍设计荷载的静荷和 1.1 倍设计荷载的动荷起吊试验，经验收合格方可使用；浮吊在首次吊装前应进行试吊。

10.4.3 悬臂拼装应符合下列规定：

- 1 悬臂拼装应按照设计文件或施工方案规定的顺序、步骤进行，并进行施工全过程应力、变形监控。
- 2 施工前应按施工荷载对起吊设备进行强度、刚度和稳定性验算，其安全系数应不小于 2。节段起吊安装前，应对起吊设备进行全面安全技术验收，并应分别进行 1.25 倍设计荷载的静载和 1.1 倍设计荷载的动载试验。
- 3 避免在不利的大风或台风季节进行长悬臂状态下的主梁施工；不可避免时，应采取必要的临时抗风措施，保证结构在施工过程中的安全。
- 4 采用对称平衡悬臂施工时，桥墩或桥塔两侧的节段应对称起吊、平衡受力，最大不平衡力应符合设计规定。采取单悬臂装时，主体结构抗倾覆安全系数应大于 1.3。单悬臂拼装桁架拱桥时应采用边跨施加压重或边支点锚固，压重应合理配置压重载荷，并按监控指令要求分级加载、卸载。
- 5 斜拉桥塔区梁段拼装时，应设临时支架或托架，用于梁段的纵向移运、临时搁置、临时固定、线形调整、连接等各种作业；塔区梁段宜与下横梁或主塔临时锚固。
- 6 桁架梁桥主墩处梁段拼装时，应用临时支架进行支承，对梁段进行精确定位和锚固，防止悬拼过程中倾覆、失稳或变形。
- 7 双塔斜拉桥、梁桥和拱桥的主跨悬臂拼装应保持两悬臂基本同步，相差不宜超过 2 个节段，此时气候条件基本相同，有利于精度控制。
- 8 梁段拼装应按照吊装就位、调整定位、复核坐标与索力、固定、连接的顺序进行，其中复核坐标包括复核轴线、里程、标高，应满足设计及监控要求的目标线形。对于栓接悬拼施工，构件联结处所需冲钉数量应按所承受荷载计算决定，但不得少于孔眼总数的一半，其余孔眼布置精制螺栓，冲钉和精制螺栓应均匀安放；焊接悬拼施工时应将构件临时连接并挂设扣索后方可松钩。

10.4.4 合龙施工应符合下列规定：

- 1 合龙前应完成悬臂梁（拱）线形测量、调整，对合龙口进行 24h~48h 的环境温度、几何形状监测，确定合龙口调整方式及合龙段吊装、合龙时机。如合龙口姿态需要调整，可采用临时压重、调索、施加合龙段替换重的方法进行。
- 2 对于采用锁定合龙的斜拉桥、梁桥，应根据现场监测温度、线形观测结果，配切

合龙段尺寸，并在设定的温度下合龙。

3 焊接拱桥宜采用配切法合龙，合龙应在夜间低温时实施，并在日出前完成焊缝施焊；栓接拱桥宜采用无应力法合龙。拱肋合龙后、有支座临时约束的应先解除临时约束，再合龙其余杆件。

4 采用顶推合龙时，应对梁段纵向顶推装置可靠性进行分析计算，保证顶推过程结构安全，可采用临时压重或调索的方式对合龙口姿态进行调整。

5 合龙后应及时解除临时固结、进行体系转换。

10.5 顶推安装

10.5.1 基本规定

1 顶推安装多用于跨河、跨线、跨越峡谷的梁拱组合结构及等截面、变截面斜拉桥或梁桥的钢主梁安装。

2 钢主梁顶推施工应编制专项施工方案，结合现场情况对顶推施工所需的临时结构（顶推平台、临时墩等）场地进行合理规划，对顶推设施进行布置。

3 制订方案时应应对顶推施工过程进行分析计算，保证桥墩、梁体及临时墩受力满足顶推施工要求。方案应计算顶推及制动牵引力、各支点反力、施工过程中钢主梁应力、稳定性和悬臂挠度，复核支架、顶推支点局部加劲的强度。

4 钢梁结构的支点和顶推施力点处宜适当加固，并应采取措施防止结构在顶推过程中产生变形。

5 如在主体工程墩顶上设置顶推设备时，应将墩顶的竖向力和水平力提供给主体结构设计单位，对桥墩变位及裂缝宽度等进行复核。

10.5.2 顶推临时设施应符合下列要求：

1 顶推拼装平台应具有足够的强度、刚度，稳定可靠，满足支撑、定位、固定操作等工作要求。平台顶设置滑道和横向限位装置。拼装场地应设置顶推、控制作业区。拼装平台应使顶推梁体尾端的转角接近为零，以保证梁体线形一致。

条文说明：

顶推平台作为钢箱梁拼装和顶推工作的过渡，其位置选择时必须保证梁体在顶推过程

中的总体稳定和抗倾覆安全系数，综合考虑钢箱梁的刚度、内部结构尺寸以及与临时墩间距等方面确定最佳顶推平台长度，并满足经济性要求。合理的位置及长度可减少顶推临时墩和基础处理工作量。

2 临时墩设计应满足梁段自重及梁段纵、横桥向移动和高程调整的需要，同时需考虑梁体纠偏荷载、水流力、风荷载及其他施工荷载，应具有足够的强度、刚度、稳定性和作业面。

条文说明：

(1) 临时墩的设置应考虑结构受力、桥下交通、通航要求、临时墩的工程量、施工的难易程度及拆除方案以及海事、河务部门的具体要求等，并综合技术经济进行比较确定。

(2) 临时墩可以减少主梁的顶推跨径，从而减小顶推时最大正负弯矩和它所产生的主梁截面应力。临时墩应能承受顶推时容许最大竖向荷载和最大水平摩阻力引起的变形。临时墩拆除时，墩顶应与主梁底面脱离。

3 导梁是为了减小梁体在顶推过程中前端或尾端悬臂负弯矩而设置的钢桁梁或钢板梁结构，宜采用栓接连接，方便安装和拆除。

条文说明：

导梁与主梁连接时导梁底面应与主梁底板在同一个平面上，且表面平整顺直。顶推时，导梁前端将会产生很大的挠度，为确保导梁能顺利的上墩，抵消大悬臂下的挠度，以满足顶推的需要，导梁前端宜设顶升滑动装置或将导梁前端底缘设计成向上圆弧形，以便导梁上墩时，能起过渡作用。

4 导梁长度一般为顶推跨径的 0.6~0.8 倍，其与梁体连接处的刚度应协调，连接强度应满足梁体顶推时的受力要求。当采用单导梁时，应验算其横向稳定性；当使用 2 个以上导梁时，导梁之间宜设置横向联系，加强横向稳定性。导梁前端的最大挠度应不大于设计规定。

条文说明:

导梁设置在主梁前端,导梁长度、刚度应根据顶推跨度、主梁刚度、主梁受力以及临时墩的最大支反力等进行选取。导梁的刚度在满足稳定和强度的条件下,选用较小的刚度及变刚度的导梁,将在顶推时减小最大悬臂状态的负弯矩,使负弯矩的2个峰值比较接近。此外,在设计中要考虑动力系数,使结构有足够的安全储备。为减轻自重最好采用从根部至前端为变刚度的或分段变刚度的导梁。

5 导梁应由专业厂家加工,并在厂内完成预拼。为满足运输和安装要求,导梁宜采用分段设计,节间拼装应平整,其中轴线允许偏差应不大于5mm,纵、横间底面高程允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ 。

6 拼装平台和临时墩顶均应布置滑道,并应在滑道面涂抹润滑材料,减小摩擦系数。滑道梁长宽根据计算确定,满足钢梁底板局部应力的要求。

10.5.3 顶推施工作业应符合下列规定:

1 顶推前应对施工过程进行分析计算,保证梁体及临时支撑墩受力满足设计要求。顶推施工宜根据梁体长度、顶推跨度、支承墩所能承受的水平推力等条件,选择适宜的顶推方式。

条文说明:

(1) 顶推方式分为拖拉式顶推、自平衡楔进式顶推、步履式顶推等。拖拉式顶推驱动可采用卷扬机拖拉、穿心千斤顶拖拉、连续千斤顶顶推等方式。

(2) 单点顶推法是顶推驱动装置集中布置在梁体的某一处或某一截面上。其特点是所需设备数量少,易于操作管理及施工同步,但设备功率相对较大,对支撑支架或墩台的反力较大。单点顶推法适用于被推梁体吨位相对较小或支架刚性相对较大的工程项目。

(3) 多点顶推法是在支撑梁体的每个支点上均设置顶推驱动装置。为保证施工同步,采取集中控制,分级调压,并在各机组和观测点设置急停按钮,任一急停按钮均可使全部机组同时停止工作。其特点是所需顶推设备的功率相对较小,对支撑支架或墩台的反力相对较小,但所需设备数量较多,且分散,操作管理难度相对较大,施工同步控制是关键。多点顶推法适用于被推梁体吨位相对较大或支架刚性相对较小的工程项目。

2 较高支墩（架）在顶推前应进行承载力检验。必要时可沿顺桥方向采取钢丝绳捆绑、设置撑拉杆等措施，以增加其纵向稳定性。

3 顶推应保证对称同步性，使梁体匀速前移。

4 采用单点或多点水平千斤顶方式顶推时，实际总顶推力应不小于计算顶推力的 2 倍。多点顶推时，导梁到达并支承于某个临时墩，应及时设连续千斤顶参与顶推，尽早实现多点顶推，各点的水平千斤顶应同步运行。

条文说明：

顶推力是按照多种因素如滑动装置的摩擦系数和滑动装置使用中变形情况以及梁段底板的平整度等均较为理想的状态下考虑的。为了防止因发生意外使水平顶力过小而影响顶推工作的顺利进行，实际顶推力要按计算顶推力的 2 倍考虑。多点顶推时，纵向各墩的水平千斤顶如不同步运行，将加重早启动千斤顶的负担，甚至超过其顶推能力，从而使顶推工作不能顺利进行，因此要求千斤顶需同步运行。

5 宜在墩台上设置导向装置，防止梁体在顶推过程中产生偏移。顶推过程中，宜对梁体的轴线位置、墩台的变形、主梁及导梁控制截面的挠度和应力变化等进行施工监测；发生异常情况时，应停止顶推，查明原因并进行处理后方可继续施工。

条文说明：

导向装置的设置应综合考虑顶推原理以及钢梁的断面结构形式。导向装置一般设置在临时墩的钢垫梁上或者永久墩墩顶。导向装置设置时应与导向滑道之间预留可调间隙，以适应在顶推过程中的导向控制的需要。导向调节时利用水平千斤顶或者调节螺丝进行调节、预紧、纠偏。

6 顶推时至少应在两个墩上设置保险千斤顶。如遇顶推故障需采用竖向千斤顶将梁顶高时，最大顶升高度不得超过设计规定或不得大于 10mm，起顶的反力值不得大于计算反力的 1.1 倍。

7 竖曲线钢主梁顶推时，拼装平台线形及过渡段应同处一圆弧曲线内，曲线应符合

设计要求。顶推过程中滑道高程应在同一竖向平面内，计算、控制滑道进出口的高程。计算水平顶推力时，应考虑正负纵坡的影响。

8 弯桥平曲线顶推时，拼装平台平面及梁体均应符合设计线形。导梁宜采用直线形，但与主梁连接时，应设置一定偏角，使导梁前端的中心落在设计线形的中线上，梁体沿设计线形前进。落梁时，应控制曲梁的几何偏心扭转。

10.5.4 梁体顶推到位后的落梁应符合下列规定：

1 落梁前拆除墩、台上的滑动装置时，梁体的各支点应均匀顶起，其顶力应按设计支点反力的大小进行控制，顶起时相邻墩各顶点的高差应不大于 5mm，同墩两侧梁底顶起时高差应不大于 1mm。

2 落梁时，应根据受力情况控制分批落梁次数和落梁顺序。同一墩、台的千斤顶应同步运行，落梁反力的允许偏差应为±10%的设计反力。

3 永久支座应在落梁前进行安装。

10.6 滑移安装

10.6.1 基本规定

滑移安装多用于梁体受现场条件限制无法直接吊装就位，搭设支架不影响桥下通航或通行的情况，在中小跨度钢箱梁、斜拉桥塔区梁段安装被广泛应用。

10.6.2 滑移施工临时设施应符合下列规定：

1 滑移支架的主要功能是存梁和移梁，要满足承受钢梁自重和梁段纵、横桥向移动和高程调整的需要。

2 滑道梁作为构件滑移的承重梁应具有足够的强度、刚度和稳定性。根据滑移支架跨径、上部承受荷载计算确定滑道梁型号，滑道梁可采用工字梁或钢箱梁。滑道梁顶面高程略低于安装钢梁的梁底设计高程，以便钢梁块件高程定位时有调整的余地。

3 滑道顶面宜采用不锈钢板且应连续、平整，两侧设置限位板，也可采用槽钢开口向上作为滑道。滑道上涂抹润滑材料以减小摩擦系数。

4 滑块可采用聚四氟乙烯板块、聚四氟乙烯复合板块或重物移运器，每个梁段对称布置 4 个滑块，前后滑块之间宜采用型钢拉杆临时连接，滑块与钢梁之间设置钢凳，钢凳

与滑块、钢梁之间临时焊接或栓接。

5 滑移牵引设施布置应根据牵引力大小和桥梁的具体工况，在编制滑移架梁实施性施工组织设计时加以规定。梁段滑移可采用顶推或拖拉的方式进行。顶推驱动可采用夹轨爬行器，拖拉驱动可采用卷扬机、连续千斤顶、穿心千斤顶等。

10.6.3 滑移施工作业应符合下列规定：

- 1 正式滑移前，应进行试滑移，检查牵引动力系统的机械性能和检测启动牵引力。
- 2 水平牵引应保证对称同步性，带动梁体匀速前移。
- 3 滑块与梁体接触位置由于应力集中必要时采取临时补强措施，保证梁体整体稳定性。
- 4 滑移过程中对梁体的平面位置及高程进行施工监测，发生偏位时，应停止滑移，纠偏完成后方可继续滑移。
- 5 滑移梁段在下滑道纵坡为平坡或下坡时，应设置可靠的制动卷扬机起牵引制动作用。
- 6 滑移完毕时，滑道上应设置横移平台及纵向限位装置，用于调整横桥向偏位及拖拉到位时里程方向的精确定位。

10.7 整体安装

10.7.1 基本规定

- 1 整体安装适用于采用架桥机、起重机、浮吊或液压模块车对整孔钢梁或大节段钢梁的安装。
- 2 整体安装应制订专项施工方案，且应根据大节段构件的构造特点、重力、作业环境条件和起重能力等因素综合考虑选择安装方法。
- 3 安装施工前，应对施工中使用的各种临时设施、受力装置和临时受力结构，以及吊架、吊具和索具等，进行专门设计和受力分析的计算验算。
- 4 对运输大节段钢箱梁的船舶，应按装载和运输条件下的各种工况，对船舶的强度进行核算和加固计算，并应对船体进行必要的加固处理，同时应对船舶的稳定性进行安全验算。
- 5 安装施工前，应对拟安装施工孔跨的跨径、墩台顶面的高程和纵横向轴线、支座

的安装情况等进行复核测量，确认其各项误差在允许偏差范围内，且墩台满足规定的质量标准后，方可进行安装。

10.7.2 整体安装设备应符合下列要求：

1 钢梁整体安装设备应根据钢梁结构形式、跨径大小、施工方案、工程进度、现场条件等因素选择，数量、性能应满足施工需要。

2 整体安装所用桥面吊机、架桥机、提升系统等应进行专项设计，由相应资质的专业厂家制造，并具有出厂合格证。起重设备、吊架和吊具等应经试吊确认安全后方可用于正式施工，吊具应定期进行探伤检查。

3 采用液压模块车进行桥梁整体驮运安装时对模块车选型需具备以下要求：（1）具备足够的承载力；（2）具备较大的同步升降能力；（3）具备变形协调功能，使受运结构在运输过程中不会产生过大内力以致损坏；（4）具备精确定位能力，满足梁体按设计要求安装就位。

4 浮吊应具备船舶证书，符合船舶管理规定；应根据梁段吊点距离及重心偏离等参数进行安全性验算，浮吊在受荷最大时，抗倾覆稳定安全系数应大于 1.5；浮吊在首次吊装前应进行试吊。

10.7.3 整体安装作业应符合下列规定：

1 采用架桥机安装作业时，其抗倾覆稳定系数应不小于 1.3；架桥机过孔时，起重小车应位于对稳定最有利的位置，且抗倾覆稳定系数应不小于 1.5。

2 采用起重船安装作业时，起重船在进入安装位置后应根据流速、流向、风向和浪高等情况抛锚定位，定位时不得利用桥墩墩身带缆；在起重船定位和钢梁架设安装过程中，船体和梁体均不得对桥墩或承台产生碰撞。

3 采用模块车整体驮运架设时，施工场地条件应满足模块车设备拼装、调试、正常运行及新桥拼装的需要。施工场地承载力、平整度、纵横坡满足模块车驮运的要求。

4 整体安装应按照施工方案规定的顺序、步骤进行；一孔或一个大节段梁安装宜在一天内完成，当天无法完成时，宜采取加固措施。

5 钢梁采用多吊点或多支承点整体安装时，应保证各点运动同步差在允许范围内。

6 整体安装时，钢梁在起落过程中应保持水平；梁体的两端应同步缓慢起落，并不

得冲击临时支座，钢梁就位时，应设置必要的装置对梁体的空间位置进行精确调整。

7 钢梁的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，使大节段钢梁在导向装置的引导下较为准确地就位；精确定位时宜采用三维调节装置，对大节段钢梁的平面位置和高程进行反复精确调整，使之达到设计要求的安装精度。

8 在墩顶设置的临时支座，其形式和位置应符合设计规定，梁底与支座应密贴，各支座顶面相对高差不得超过 4mm。

9 应根据结构特点和施工技术方法进行施工监测，监测安装过程结构的移动位移、移动速度、运动同步差及牵引力、关键部位应力应变、结构变形、环境参数等，并控制在允许范围内。

10.8 提升安装

10.8.1 基本规定

提升安装适用于悬索桥加劲梁、钢塔、大节段钢构件的安装。

10.8.2 专项施工方案应符合下列规定：

1 提升方法应根据现场环境、结构特点、设备性能、作业效率等因素综合确定；提升设备应满足提升速度和提升能力的要求，可采用塔式起重机、浮吊等定型起重设备或缆载吊机、缆索吊、提升架等专用起重设备。

2 应对提升系统进行施工阶段的结构分析和验算，保证基础及结构的强度、刚度和稳定性。

3 应对被提升构件进行施工阶段的结构分析和稳定性验算，控制构件变形和应力，尤其对提升吊点及临时支承点部位，必要时进行局部结构加强。

4 利用永久结构作为提升支承时，应验算提升过程对永久结构的影响。

5 多吊点提升系统应分析验算提升（卸载）不同步效应，宜采用能实现吊点受力均衡、结构姿态调整、位移同步/不同步控制、分级加/卸载的控制系统或采取设置平衡梁减少吊点等措施降低不同步效应影响。

6 提升系统应具备停电、设备等故障时可自动处于安全停止状态的功能。

7 被提升结构多数为异型时，可设计可调节吊具适应异型构件的安装姿态。

8 采用液压提升系统提升安装时，各吊点液压提升油缸额定荷载不应小于对应吊点

荷载标准值的 1.25 倍，宜为 1.5 倍以上，多个提升油缸组合的吊点，宜采用同一型规格的提升油缸。单根钢绞线设计拉力值宜取破断拉力的 25%~35%，不得超过其破断拉力的 50%。

10.8.3 提升安装设备应符合下列规定：

- 1 跨缆吊机、缆索吊机、提升架及提升机构应进行专项设计，总体安全系数不小于 1.5。
- 2 跨缆吊机、塔吊及其它起重机应由有资质的专业厂家制造，并具有出厂合格证。
- 3 缆索吊机、提升架所用卷扬机、钢丝绳、滑轮组、千斤顶、油泵、钢绞线、工具锚、吊具等机具和材料应采用状况良好的合格产品。
- 4 缆载吊机、缆索吊机等拼装式起重设备使用前均应进行全面的安全技术检查，并进行 1.25 倍设计荷载的静荷和 1.1 倍设计荷载的动荷起吊试验，经验收合格方可使用；塔吊、浮吊、提升架首次吊装前应全面技术检查，并进行试吊。
- 5 提升系统应具备停电、设备等故障时可自动制动的安全保护功能。

10.8.4 钢塔节段提升安装应符合下列规定：

- 1 首节钢塔安装应采用定位支架、垫块、限位板等辅助固定措施，校正合格后应及时可靠固定。首节钢混结合段连接预埋构件的安装精度问题，钢塔柱与混凝土塔墩结合部位的施工质量问题，是影响钢塔安装精度和钢塔受力的关键。
- 2 应设置节间定位导向装置及节间定位匹配装置。
- 3 应在下部已安装构件形成稳定、安全的结构后再往上安装。
- 4 钢塔分节安装过程中应采取控制构件变形和温度效应的措施，确保施工过程中结构安全及最终线形。
- 5 应分析竖向压缩变形对结构的影响，并应根据结构特点和影响程度采取预调安装标高。
- 6 每节钢塔定位轴线应从基准控制轴线的转点引测，不得从上节钢塔的轴线引出，分节安装的标高和轴线基准点向上传递时，应对风荷载、环境温度和日照对结构变形的影响进行分析、预测和调整。

10.8.5 提升安装作业应符合下列规定：

- 1 提升作业前，对提升通道进行观测，采取措施清除提升通道的障碍物。对提升系统、被提升构件、提升吊点、加固部位、导向限位等进行检查、验收。
- 2 提升时应对关键部位应力应变、结构变形、基础沉降、地锚位移量、主索吊重垂度等进行监测。
- 3 应选择风力、能见度等各项气象指标符合要求的时段进行提升。
- 4 提升作业应在被提升构件与胎架之间的连接解除之后进行。宜通过分级加载的试提升和吊离 20-30cm 悬停的期间进行全面检查并确认无误后再正式提升，保证提升安全。
- 5 构件提升至设计位置后，应进行平面位置及高程的校正，并及时固定，防止发生失稳或倾覆。
- 6 提升过程中应对各提升点负荷、高差进行监测，使其提升过程偏差在允许范围内。
- 7 用于保证塔架、门架等高耸的提升系统结构稳定的缆风绳在提升过程中不得进行转换。
- 8 悬索桥钢梁安装过程中，应根据监控指令，及时顶推主索鞍，保证施工过程中索塔应力及索塔偏位在安全范围内。

10.9 转体安装

10.9.1 转体安装适用于拱桥钢拱肋平转及竖转安装、钢塔竖转安装、钢梁桥及斜拉桥平转安装。

10.9.2 有平衡重转体施工应符合下列规定：

- 1 对跨径较大、转动体系重心较高的拱桥，宜主采用环道与中心支承相结合的转盘结构；对中、小跨径的拱桥，可采用中心支承的转盘结构。平衡重宜视情况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；如采用临时配重，应保证锚固设施安全、可靠。
- 2 应待拱肋节段拼装连接完成并检验合格后，方可分批、分级张拉扣索。对扣索的索力应进行监测，其允许偏差为 $\pm 3\%$ 。张拉达到设计控制应力时，拱圈应脱离支架成为以转盘为支点的悬臂平衡状态。且应根据合龙高程（考虑合龙温度）的要求精调张拉扣索。
- 3 扣索宜采用钢绞线和带墩头锚的高强钢丝等高强度材料，其安全系数应大于 2。采用多扣点时，应控制好扣索的同步张拉，使拱肋的截面应力处于允许的受力状态。

4 扣索和锚索之间宜通过置于扣、锚支承（桥台或立柱）的顶部交换梁相连接。扣索的锚点高程不宜低于扣点，采用千斤顶张拉扣索时应分级进行，并应同时对结构内力及挠度进行监测，直至拱肋脱离支架。

5 扣索张拉到位、拱肋卸架后，应有 24h 的观测阶段，检验锚固、支承体系的可靠程度。同时应观测拱结构的变形状态及其随气温变化的规律，确定转体前拱顶的高程。

6 转动前应进行试转，试转角度为 3° ，检验转动体系统的可靠性，转体时应控制速度，平转角速度不宜大于 $0.01-0.02\text{rad/min}$ 或悬臂端的线速度不宜大于 $1.5-2\text{m/min}$ 。

7 转体牵引系统宜选用同步、连续液压千斤顶，千斤顶的实际牵引力不小于计算牵引力的 2 倍。

10.9.3 无平衡重转体施工应符合下列规定：

1 转体系统由锚固体系、转动体系和位控体系等构成。对尾索张拉、扣索张拉、拱体平转、合拢卸扣等工序，施工时应进行索力、轴线、高程等监测。

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、分组交叉张拉，并应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、 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $3/8$ 跨径处设立平面位置和高程监测点，且应在全面检查支撑、锚梁、轴套、拱铰、拱体和锚碇等的质量，经分析确认安全后，方可进行张拉。扣索分级张拉时，应对称于拱体按由下向上的次序进行。张拉过程中应随时进行监测，各索内力的相对偏差应控制在 5KN 以内。

4 转体前应对全桥各部位进行检查，符合要求后方可正式转动；转体时以风缆控制拱体的转速，风缆的走速在启动和就位阶段宜控制在 $0.5\sim 0.6\text{m/min}$ ，中间阶段宜控制在 $0.8\sim 1.0\text{m/min}$ 。

5 两岸拱体转至设计位置就位后，应对其高程和轴线进行测量，不符合设计要求时应进行调整，且宜按设计要求的合龙温度进行合龙施工。合龙后卸索应对称、均衡、分级进行。

10.9.4 竖转施工应符合下列规定：

1 竖转法施工中的转动系统由转动铰、提升体系、锚固体系等构成。竖转施工宜采用横向连接成整体的双肋为一个转动单元。

2 采用扣塔或提升架进行竖转时，扣索和拉索宜选用钢丝绳或钢绞线，扣索系统应经计算确定，钢丝绳的安全系数不得小于 6，钢绞线的安全系数不得小于 2，锚碇的抗拔、抗滑安全系数不得小于 2。

3 索塔的设计应充分考虑偏载、荷载变化和风力等因素的不利影响，应保证其强度、刚度及稳定性满足拱肋竖转施工的要求。

4 转动铰宜根据推力大小选用钢制的销轴铰、钢板包裹混凝土的弧形面铰或球面铰；转动铰应转动灵活，接触面应满足局部承压的要求。

5 转动前应进行试转，检验转动系统的可靠性。竖转速度宜控制在 $0.005\text{--}0.01\text{rad/min}$ 范围内，提升重量大者宜采用较低的转速，转动过程应保持平稳。

10.9.5 钢梁桥、斜拉桥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，并由专业加工厂家精加工而成，承重系统、环道及撑脚满足承载力、加工安装精度、摩擦系数等要求。

2 水平转体转动系统宜采用同步、连续液压千斤顶作为牵引系统并采用计算机控制，千斤顶的实际牵引力不小于计算牵引力的 2 倍。

3 转体前应进行称重试验，并计算得到转动体的不平衡力矩、偏心距、摩擦阻力及静摩擦系数，从而确定转体作业所需动力大小及配重布置。

4 转体前试转体及正式转体控制应符合本规程 10.9.2-6 的相关规定。

5 大风、暴雨等恶劣天气不得进行转体施工。

10.10 线形控制

10.10.1 线形控制应制定专项技术措施，根据不同的桥型和施工方案采取不同的控制方法和标准。线形控制宜采用无应力状态法。线形控制包括制造线形控制和安装线形控制，应统一制订方案，统一实施，不得相互独立、脱节。

10.10.2 用于线形控制的结构分析设计参数、边界条件和分析结果应经设计单位复核认可；有异议时，应进行核对排除差异，否则不得使用。

10.10.3 制造线形应考虑温度变形、吊装变形的影响。钢结构节段组装、试拼装、预拼

装时的支承状态与其工作时的支撑状态不同时，应考虑二者的变形差值。

10.10.4 安装线形主要考虑影响因素有安装方法和步骤、制造偏差、气温、吊装构件的变形、支承或结构变形、施工荷载等，应采取措施消除不利影响，提高安装精度。

10.10.5 安装高程应设预拱度，预拱度包括结构自身预拱度和施工需要的预拱度 2 个部分。

条文说明：

预拱度为抵消梁、拱、桁架等结构在荷载作用下产生的挠度，而在施工或制造时所预留的与挠度方向相反的预设量，当结构自重和活载产生的最大竖向挠度超过计算跨径的 $1/1600$ 时设置。结构自身预拱度按结构自重恒载和 $1/2$ 活载频遇值计算的长期挠度之和设置。而施工需要的预拱度则包括根据安装方法的不同，钢构件节段安装时产生的额外变形，以及模板、支架承受施工荷载引起的弹性和非弹性变形。

10.10.6 简支梁的预拱度应在全跨范围内按二次抛物线设置；连续梁预拱度应在每孔的全跨范围内按二次抛物线设置。

10.10.7 施工高程应测量定位准确，如临时墩支架变形应通过调整支垫高度进行消除。

10.10.8 高程相对于施工控制基准值误差不大于 10mm，横向误差不大于 5mm。

11 主要桥型安装

11.1 基本规定

- 1 本章适用于城市各类钢结构桥型的安装，主要包括钢结构梁桥、拱桥钢拱肋、斜拉桥钢索塔和钢主梁、悬索桥钢加劲梁及人行天桥等各类桥型的安装工法选择及关键点控制等施工内容。
- 2 钢桥安装应依据设计文件和规范进行，实现设计意图，满足工程质量、安全、环保和职业健康安全要求，做到节能环保，打造品质工程、绿色工程。
- 3 施工方法应根据工程结构特点，地形、地貌、水文、气象等环境条件和合同要求，结合施工单位的工程经验和技术水平合理选择。施工方法的选择要有针对性，以解决钢桥安装工程的难点、重点问题。

条文说明：

随着桥梁钢结构技术的发展进步，桥梁钢结构安装施工方法越来越多，主要包括支架法安装、悬臂拼装、顶推、滑移、整体安装、提升、转体等方法。这些方法分别具有各自的特点和适用条件，施工单位应根据桥梁结构、构件特点及现场条件选择最优的施工方法。

安装方法分类：

- （1）按起重设备分类有：汽车及履带起重机、门式起重机、塔式起重机、架桥机、缆索吊机、桥面吊机、浮式起重机、千斤顶或非标起重设备等直接吊装法或组合吊装法；
- （2）按安装位置分类有：原位安装法、移位安装法。原位安装法主要采用起重设备直接在支架上原位吊装或无支架整体安装；移位安装法主要指通过顶推、滑移、拖拉、转体等方法进行安装；
- （3）按安装时构件内力变化分类有：无应力安装法和有应力安装法。一般支架原位安装或无支架整体安装及滑移法多属于无应力安装法，在安装施工设计时应优先采用无应力安装法。如采用顶推、悬臂拼装、转体安装等有应力安装时应进行施工过程控制，保证其内力、变形、线形及高程符合设计要求。

表 11.1-1 各类钢桥安装方法选用推荐表

桥型		支架法	悬臂拼装	顶推	滑移	整体	提升	转体
梁式桥	简支梁	√			√	√	√	

	连续梁	√	√	√	√	√		√
	拱桥钢拱肋	√	√				√	√
	斜拉桥钢主梁		√	√	√			√
	悬索桥加劲梁			√			√	
	钢塔						√	√

11.2 梁桥安装

11.2.1 基本规定

- 1 本节适用于钢结构梁桥的工地安装，包括简支或连续结构的钢板梁、钢箱梁、钢桁梁、钢-混组合梁等。
- 2 安装前应对临时支架、支承、吊车等临时结构和钢梁结构本身在不同受力状态下的强度、刚度和稳定性进行验算。
- 3 安装前应按构件明细表核对进场的杆件和零件，查验产品出厂合格证、钢材质量证明书。
- 4 对杆件进行全面质量检查，对装运过程中产生缺陷和变形的杆件，应进行矫正。
- 5 安装前应对桥台、墩顶面高程、中线及各孔跨径进行复测，误差在允许偏差内方可安装。
- 6 工地安装焊缝应进行焊接工艺评定，评定结果应符合有关技术规范的规定，并制定实施性焊接施工工艺。同一部位的焊缝返修不能超过两次，返修后的焊缝应按原质量标准进行复验，并且合格。
- 7 高强螺栓连接摩擦面的抗滑移系数应对随梁发送的试板进行检验，检验结果应满足设计要求。安装时，摩擦面应干燥、整洁，间隙处理应符合相关技术规范规定。
- 8 钢梁吊装、运输过程中构件不应出现设计不允许的变形、碰撞损伤或漆面损坏，严禁在工地安装已变形的构件。

11.2.2 工法选择

- 1 城市梁式钢桥可采用支架法、悬臂拼装法、顶推、滑移、整体、提升、转体等方法进行安装。

条文说明：

城市钢桥工地施工必须考虑对周边环境的影响，例如保证交通通畅、居民出行便利和噪声控制及保证施工安全等问题，施工限制条件多，施工过程相对复杂。钢梁安装优先考虑支架法、滑移法等无应力安装方法。对于跨线、跨路、跨河的桥梁，为避免影响交通通畅，可采用顶推法施工。特别重要交通位置钢梁安装为了缩短工期可采用整体驮运、整体吊装等施工方法。

11.2.3 关键节点控制

1 钢梁安装支架应按设计的要求设置预拱度，同时考虑支架基础沉降及支架弹性变形及非弹性变形，必要时考虑焊接变形及温度的影响。

条文说明：

设计预拱度考虑上部结构的恒载和 $1/2$ 活载所产生的竖向挠度，施工时应考虑支架基础沉降及支架弹性变形及非弹性变形。钢梁顶部对接焊缝明显多于底部对接焊缝时，顶部焊接收缩量，还应考虑焊接变形的影响。

2 钢梁支架卸载应按照设计规定的程序进行，千斤顶卸力时要统一指挥，步调一致，均匀卸力，按纵横两个方向分级同步对称卸载。

条文说明：

钢梁支架卸载指钢梁安装就位并完成工地连接后，需要将钢梁荷载由支架承受转换到各墩柱受力的体系转换过程。

3 采用顶推安装钢梁时，钢梁顶推到位落梁时，应根据受力情况控制分批落梁次数和落梁顺序。同一墩、台的千斤顶应同步运行，各墩台间升降高差不大于 10mm，落梁反力的允许偏差应为 $\pm 10\%$ 的设计反力。

4 施工过程中应对墩柱应力；主梁标高、应力、温度；主梁合龙前大气温度与合龙端标高、间隙变化的对应关系进行监测。

条文说明:

梁式桥监测的重点是主梁标高和结构应力及温度监测，高墩还需要增加墩柱偏位监测。

11.3 拱桥安装

11.3.1 基本规定

1 本节适用于拱桥钢拱肋构件的工地安装，包括钢管混凝土拱桥、劲性骨架拱桥及钢箱拱桥。

2 施工组织设计中应对安装所采用的主要施工设备、临时辅助设施及其组成的结构进行各种工况下的强度、刚度和稳定性验算。

3 采用单肋安装或单肋合龙时，其临时锁定结构应有足够的强度、刚度和稳定性。

4 拱肋架设前，应掌握桥梁建设所在地区历史气象及水文资料，设置现场简易气象监测站，并与当地气象、水文监测部门取得联系，建立气象、水文提前预报机制。安装应避开可能导致安全事故发生的恶劣天气，并采取必要的防患措施保证已安装的结构构件在恶劣天气期间的安全。

11.3.2 工法选择

1 钢拱肋的安装方法可采用支架法、缆索吊机法、转体法、拱上吊机法、整体提升法、顶推法等。

2 支架法一般适用于较小跨度拱桥钢拱肋的安装，整个施工过程桥跨结构处于无应力状态，对于大跨度拱桥从施工角度跟经济角度不太适合。

3 缆索吊装施工法是大跨度拱桥实现自架设施工的主要方法之一。在峡谷或水深流急的河段上，或在通航的河流上需要满足船只的顺利通行，缆索吊装由于具有跨越能力大、水平和垂直运输机动灵活、适应性广、施工比较稳妥方便等优点，而在拱桥施工中被广泛采用。

4 转体法在不中断车辆通行的公路与铁路上以及不允许断航的河道上特别适用。

5 拱上吊机法适用于桁架拱桥，将桁架分别预制，用专用吊机悬臂吊装就位直至合龙。

6 垂直提升法适用于具备可垂直提升的通航或地面条件，但存在水深流急、地质松软、垂直距离过高等不适合搭建落地支架的钢结构拱桥。

7 梁拱组合结构体系可采用顶推法施工。

条文说明：

施工单位宜采用设计推荐的安装方法，并制定详细的钢拱肋架设的施工组织设计，报监理等相关单位批准后实施。钢拱肋的安装方法与设计方法不一致时，应征得设计和监理单位的同意，并应按规定的程序进行必要的设计变更。

11.3.3 关键节点控制

1 拱脚预埋件的安装精度必须进行严格控制。

条文说明：

安装前必须重新复核全桥测量控制网的精度；定位支架和预埋段必须采用钢支撑作加固，确保新浇混凝土产生的侧压力、振捣及施工作业不会使预埋件发生偏移。

2 缆索吊装体系和斜拉扣挂体系应进行专门设计，对索塔、扣塔、主索、扣索、抗风、地锚等结构均应按有关规定经过设计计算确定，对索塔、扣塔和吊装过程中形成的拱肋还应进行施工稳定性验算。

条文说明：

缆索吊机是一种能兼作垂直与水平运输的起重设备，因承重索高悬空中，不受地形与操作场地限制，适宜于大型起重设备无法达到的山川河谷地区，其设备简单、装拆运输便利、起吊高度大、吊运速度快，缆索吊装是拱桥最常用的安装方法之一。

对于节段悬拼的拱桥安装，一般需设置斜拉扣挂系统，作为拱肋合龙前节段保证稳定与拱轴线形微调措施。

3 拱肋节段安装就位后，对拱肋平面位置、高程及整体线型进行调整，满足设计及规范要求后方可实施合龙。

条文说明：

(1) 缆索吊装法根据对拱肋内力及线形的监控结果，通过扣索、抗风索对拱肋进行全面线形、内力调整直至满足设计要求。

(2) 转体法采用平转牵引系统调整拱肋轴线，利用竖转扣索调整拱肋高程。

(3) 整体提升法待拱肋节段提升初步到位后，通过提升油缸微调拱肋安装高程，通过临时系杆的放张调整拱轴线形，通过提升塔结构调整拱肋安装在纵桥向和横桥向安装位置。精调拱肋安装平面位置、高程和线形至满足设计及规范要求。

4 拱肋的合龙通常采用自然合龙或强迫合龙方法，可实现纵移的连续式拱桥，宜采用主动合龙方法，临时连接后在无应力状态下焊接合龙段节间环焊缝的方式。

条文说明：

自然合龙：合龙前进行至少 48h 温度连续观测，测量合龙口长度，切割合龙段余量，在温度稳定时段的低温下安装合龙段就位，一端临时连接，另一端等待温度上升至合龙口闭合时锁定，在无应力状态下施焊合龙段连接环焊缝，以确保结构内力和线形满足设计要求。强迫合龙与自然合龙的区别是安装合龙段就位并一端临时连接后，另一端并非等待温度上升，而是根据敏感性分析结果采用拉、压等措施强迫合龙口闭合。主动合龙则是利用连续式拱桥可实现纵向移动和竖向转动的特点，主动调整合龙口姿态，使合龙口两端标高、轴线、转角偏差调整一致，纵向里程留出余量，然后在温度稳定时段纵移合龙的方法，该方法可保证合龙段杆件按设计理论长度制造及安装。

5 拱肋合龙后解除施工辅助措施的体系转换过程，应按施工计算所规定的程序，有序、对称、均匀地进行。在整个过程中应跟踪观测拱肋轴线和标高的变化，采取措施及时调整，使成拱后的轴线满足设计要求。

6 施工过程中应对主拱安装标高；拱座标高、水平位移；连拱中间墩柱的应力；分段、分层施工的主拱，已成部分关键部位的应力；中承式和下承式拱桥的吊杆索力；肋拱桥横梁的标高；采用斜拉扣挂施工和缆索吊装施工的拱桥，应对索塔变形、索塔应力、扣索索力、锚索索力以及环境温度进行监测。

条文说明：

拱桥的监测重点主要是拱肋的线形、索力和应力以及吊装系统在施工过程中的缆索吊机及扣索塔架的索塔偏位及应力、缆索系统索力及变形，环境温度等监测。

11.4 斜拉桥安装**11.4.1 基本规定**

- 1 本节适用于斜拉桥钢索塔及钢主梁的工地安装。
- 2 索塔施工必须设置登高安全通道、安全网、临边护栏等安全防护装置。
- 3 索塔施工安全技术方案中应对高空坠物、雷击、强风、寒暑、暴雨、飞行器等制定具体的防范措施，实施中应加强检查。
- 4 钢主梁段、斜拉索、锚具及附属件应验收合格后方能在工地架设安装。
- 5 施工过程中应对索力、高程、塔柱变形及环境温度进行观测。当索力和高程超过设计允许偏差时，应按施工控制的要求进行调整。
- 6 悬臂施工时应按设计要求对称进行。

11.4.2 工法选择

- 1 钢索塔安装方法一般有汽车及履带起重机、浮式起重机、塔式起重机、爬升式起重机法等。具体采用何种吊装方案，要结合每个索塔的实际情况、经济水平等条件综合考虑后确定。

条文说明：**(1) 汽车及履带起重机、浮式起重机法**

- 主要优点：1) 吊装重量大，安全性能高；2) 不需要现场安装与拆除，快捷，灵活；3) 成熟产品，可快速投入使用。

主要缺点：受索塔高度限制，一般用于塔高 80m 以下索塔节段吊装。

(2) 爬升式起重机法

主要优点：1) 经济性好，造价低于塔吊；2) 直接安装在塔柱上，不需要另设基础。

主要缺点：1) 目前尚无成熟成品，技术上需要开发；2) 属专用设备，推广使用比较困难；3) 施工速度慢，占用关键线路较长，安、拆难度均较大；4) 作用半径小，需要浮吊将塔段喂到其作业范围内；5) 不能兼顾钢塔柱安装其他作业，如主动横撑安装等。

(3) 塔式起重机法

主要优点：1) 成熟产品，经适当修改即可投入使用；2) 标准设备，适用性强；3) 施工速度快，效率高，安全可靠性好；4) 作用半径大，覆盖面广，可满足所有钢塔柱施工中所有作业要求。

主要缺点：1) 一次性投入大，资金回收期较长；2) 需要强大的基础。

2 斜拉桥钢主梁塔区及边跨梁段一般采用起重机、浮吊直接吊装就位或吊装后滑移就位的安装方法。标准梁段常采用桥面吊机悬臂拼装工艺进行安装。

11.4.3 索塔关键节点控制

1 底部钢混结合段预埋件定位测量和钢索塔安装前，应按二等控制网精度建立安装专用控制网，必要时进行专门设计和论证。底部钢混结合段预埋件平面位置偏差应不大于 2mm，高程偏差应不大于 1.5mm。

条文说明：

钢混结合段是高钢塔的基础，一方面由于钢塔柱节段是在工厂内加工好，现场安装只是场内预拼装的再现，其空间位置不能像混凝土塔柱节段一样可以逐段调节，故底部钢混结合段的空间位置要求十分准确（因其误差随着塔柱的安装呈放大趋势）。

2 塔柱相对位置采用全站仪直接测量，倾斜率采用全站仪、激光准直仪测量，高程采用全站仪天顶测距法测量，接口金属接触率采用 0.04mm 塞尺检查。所有检测项点均满足规范要求后，再施拧高强度螺栓。

条文说明：

目前，国内较高钢塔节段间连接普遍采用的是端面金属接触与高强度螺栓共同受力的连接构造。

3 倾斜式钢索塔施工时应及时设置主动横撑等措施控制钢塔柱的安装线形。索塔垂直度应不大于 $1/4000$ 索塔高。钢塔节段安装时考虑预留压缩量。

条文说明：

随着塔柱的不断升高，人字形构造的塔柱将产生较大的水平内倾位移和内倾力。为保证塔柱施工的安全，确保索塔横向线形及内力，必须根据计算在塔柱的不同高度设计主动横撑，并施加一定的主动力。每道撑杆施加水平力时，主要控制塔柱横向位移，塔柱内应力值只作为辅助控制指标。水平撑杆上宜设置应力测试传感器，以监控水平力的变化情况。

4 塔段测量时考虑风力、温度、日照影响，选择凌晨温度平均、风力小时进行测量，以真实反映塔柱状态。测量时注意起重设备与塔段相互关系，当有附墙与钢塔相连时，必须将起重设备保持自身平衡，减少起重设备对钢塔的影响。

5 双肢或多肢钢塔，宜设置连接横撑以提高静风稳定能力，抑制施工期风振效应。单肢且高度较高、截面较小的钢塔，可与设计、监控单位联合进行静风稳定和涡激振动等动态分析，必要时可采取抑振措施。

条文说明：

桥塔主体施工过程中，桥塔实为一上端自由的悬臂结构。桥塔本身结构在顺桥向较为细柔，双肢或多肢钢塔采用横撑彼此连接后，可有效抑制风振效应。单肢且高度较高、截面较小的钢塔因固有周期长，在低风速下易发生振动，钢塔此时应力一般不受控，但较大的塔顶变形和周期性摆动对现场施工作业将造成不利影响，如安装对位、焊接连接和作业人员安全感受等。经计算分析确需采取抑振措施的，可采取拉结缆风绳、安装质量或液压调谐阻尼器等措施。

11.4.4 钢主梁关键节点控制

1 当设计采用非塔、梁固结形式时，必须采取塔、梁临时固结措施，且解除临时固结的程序必须经设计确认。在解除过程中必须对拉索索力、主梁标高、索塔和主梁内力与

索塔位移进行监控。

条文说明：

（1）斜拉桥按照塔、梁、墩相互结合方式，可划分为飘浮体系、半飘浮体系、塔梁固结体系和刚构体系。目前，大跨度斜拉桥多采用飘浮体系和半漂浮体系。

（2）飘浮体系的特点是塔墩固结、塔梁分离。主梁除两端有支承外，其余全部用拉索悬吊，属于一种在纵向可稍作浮动的多跨弹性支承连续梁。

（3）半飘浮体系的特点是塔墩固结，主梁在塔墩上设置竖向支承，成为具有多点弹性支承的多跨连续梁。

（4）非塔、梁固结体当采用悬臂施工时，塔柱处主梁需临时固结，以抵抗施工过程中的不平衡弯矩和纵向剪力，由于施工不可能做到完全对称，成桥后解除临时固结时，主梁会发生纵向摆动，施工时应进行监控。

2 钢主梁节段间的焊接连接或高强度螺栓连接必须严格按照相关技术规范的要求实施，确保连接质量。

条文说明：

斜拉桥钢主梁节段之间连接的接头往往会成为结构的薄弱点，其质量可靠与否直接关系到钢主梁斜拉桥施工的成败，是斜拉桥钢主梁悬臂拼装施工的关键技术。

3 施工过程中应对索塔轴线、应力；主梁标高、应力、温度；斜拉索索力；主梁合龙前大气温度与合龙端标高变化的对应关系进行观测。对温度变化比较敏感的监测参数的监测，宜选择温度比较稳定的时间段进行。

条文说明：

斜拉桥主梁标高（尤其是主梁悬臂长度较大时）和斜拉索索力对温度比较敏感，对主梁标高监测通常要求在清晨日出前进行，阴雨天气等温度稳定的时段也可，以避免日照温差的影响；对斜拉索索力监测通常要求在夜间进行。

4 施工过程误差宜控制在以下允许范围内:

- (1) 钢结构应力: $\pm 10\%$;
- (2) 斜拉索索力: $\pm 5\%$;
- (3) 斜拉桥主梁悬臂施工节段标高: $\pm 10\text{mm}$;
- (4) 斜拉桥主梁合龙端标高: $\pm 15\text{mm}$;
- (5) 斜拉桥桥塔偏位相对于控制值之间的误差: $\pm 10\text{mm}$;
- (6) 斜拉桥铺装前桥面标高相对于控制值之间的误差: 纵向 $\pm 10\text{mm}$; 横向 $\pm 5\text{mm}$ 。

5 主梁合龙严格按照设计或监控单位的合龙顺序及工艺进行施工。

条文说明:

对于大跨度斜拉桥这样复杂结构体系的主梁施工, 大悬臂状态下结构线形及内力的控制以及合龙施工顺序与体系转换, 是施工中技术难度很大且非常关键的工作, 需要选择正确的结构分析理论和方法、采取合理的施工方法和程序、制订严密的质量控制措施与要求、实施严格的施工组织与管理才能取得最终的成效。

11.5 悬索桥安装

11.5.1 基本规定

- 1 本节适用于悬索桥钢索塔及钢加劲梁的工地安装。
- 2 索塔完工后, 必须测定裸塔倾斜度、跨距和塔顶标高, 作为主缆线形计算调整的依据。
- 3 索夹、吊索安装完毕, 并完成各项吊装设备安装及检查工作, 加劲梁方可适时运输与吊装。
- 4 吊装前必须进行试吊, 吊装必须符合高空作业及水上作业的安全规定。安装时应避免相邻梁段发生碰撞。
- 5 悬索桥加劲梁安装施工时, 如遇 5 级以上大风及雨、雪、雾天气时, 应停止施工操作。

11.5.2 工法选择

- 1 悬索桥钢索塔安装工艺与斜拉桥钢塔基本相同, 可采用浮式起重机法、爬升式起

重机法、塔式起重机法。

2 悬索桥加劲梁根据不同结构类型、建设条件有不同的安装方法。钢桁加劲梁通常采用整体节段架设，单根杆件架设及平面构架架设，钢箱加劲梁只能采用整体的节段提升法架设。加劲梁根据吊装设备的不同，主要采用跨缆吊机、缆索吊机、轨索滑移、桥面吊机等方法进行安装施工。

条文说明：

(1) 跨缆吊机可适用于各类型加劲梁的大节段吊装，跨径适应能力强，但需要相应具备大节段制造、运输和垂直起吊的条件。

(2) 缆索吊机吊装方式常用于千米以下跨径悬索桥施工，加劲梁起吊重量一般在 150t 以下拼装法施工的钢桁加劲梁的架设，或者山区等复杂地形条件下的悬索桥加劲梁架设施工。

(3) 桥面（悬臂）吊机一般适用于钢桁架梁的悬臂拼装，吊装顺序与缆索吊和跨缆吊机法不同，吊装顺序从桥塔位置开始，向跨中和锚碇方向架设。

3 特殊梁段吊装主要采用梁段荡移法或梁段支架安装。

条文说明：

加劲梁特殊梁段内容包括：索塔和锚碇附近梁段、无索区梁段、陆地及浅滩区梁段、合龙段、刚性中央扣梁段等。

4 自锚式悬索桥加劲梁主要采用的施工方法有顶推法、支架大节段吊装法和满堂支架法等。

条文说明：

自锚式悬索桥由于独特的结构特点，使得其加劲梁施工方法与地锚式悬索桥有所不同，根据制造场地、运输方式、水文条件、通航条件及自身桥梁结构特点等，加劲梁采用不同的施工方法。

(1) 顶推法施工的特点是临时支架用量小，施工不受季节、地形、水文条件的影响，梁体节段加工采用工厂标准化作业，加工速度快质量高，但顶推时加劲梁内力交替变化，

加劲梁线型控制相对较复杂。该法一般适用于无法使用大型吊装设备吊装梁体及跨既有通行线路的桥梁。国内自锚式悬索桥采用顶推法施工的较为普遍。

(2) 支架大节段吊装法的特点是梁体直接就位安装, 施工工艺及施工控制相对简单, 施工速度相对较快, 但临时墩、支架要求刚度较大, 用量相对较大, 起吊设备要求高, 对箱梁制造线形要求高, 增加了梁内附加应力。该法一般适用于运输条件好、方便使用大型起吊设备吊装梁体的桥梁。

(3) 满堂支架法的特点是施工方便、难度小, 梁段的线形比较容易控制, 桥梁整体性较好, 但临时支架用量大。该法一般适用于运输条件差无法使用大型吊装设备吊装梁体, 施工时不要求通航和通行的桥梁。

11.5.3 关键节点控制

1 悬索桥加劲梁的架设顺序严格按照设计或监控单位的要求进行。

条文说明:

(1) 悬索桥加劲梁的架设方法按其推进方式分, 主要有两种: 1) 先从跨中节段开始向两侧主塔方向推进; 2) 从索塔附近节段开始向跨中及桥台推进。

(2) 从索塔位置开始吊装, 便于施工操作和管理。通过索塔电梯, 施工人员和小型机具、材料等可以很方便地从索塔横梁位置到达已架设好的桥面, 而且施工人员可以很方便地在主桥各跨之间往返。

(3) 从跨中开始吊装加劲梁, 则工作人员须通过空中猫道才能到达主跨内已吊装完成的加劲梁段上, 增加了施工难度。而此架设方法的优点是: 主缆与加劲梁的变形都较小, 加劲梁在架设过程中的内应力小, 且靠近塔柱的梁段是主缆达到或接近最终线形时就位的, 这样可使索塔附近的梁段施工更容易适应主缆线形。

2 加劲梁吊装到位后, 梁段之间通过临时连接件相连接, 用以承受梁段在架设过程中的轴力和剪力, 并保护连接处箱梁顶板不致损坏。

条文说明:

根据悬索桥加劲梁安装受力特点, 刚开始安装时, 加劲梁上口合龙, 下口张开, 一般

直至 $2/3$ 以上梁段完成吊装后，下口方才逐渐闭合，根据上述特点，开始时只安装加劲梁上口匹配销钉与临时连接件，下口临时连接件待后期闭合后方可安装。

3 钢箱梁安装过程中，应根据监控指令，及时顶推主索鞍，保证施工过程中索塔应力及索塔偏位在安全范围内。

条文说明：

在钢箱梁吊装期间，根据对索塔允许偏位计算结果，以及对索塔偏位进行的定期监测，通过与索塔允许偏位比较，以索塔偏位为主控目标，经过多次顶推完成索鞍顶推施工，以确保悬索桥在施工期间的安全。

4 无索区梁段吊装前进行加劲梁线形测量，根据测量结果进行无索区线形调整控制计算，通过计算确定无索区线形调整值。

条文说明：

无吊索梁段线形调整有两种方式：一是通过千斤顶配合支架系统调整；二是借助临时吊索与吊机吊放配合调整。为减少计算误差，无索区梁段线形调整宜安排在全桥钢箱梁架设完成之后进行。

5 悬索桥加劲梁施工过程中应对索塔轴线、应力；主缆线形、索股索力、索鞍偏位、主缆温度；主梁标高、应力；吊杆索力、索夹位置进行观测。

条文说明：

在加劲梁吊装过程中，各阶段主缆及加劲梁线形的变化相当大。为了保证施工顺利，并最终达到设计线形，需要在施工中对主缆及加劲梁线形进行实时监控，对每个吊装阶段进行分析计算，并对后续施工进行预测和指导。

6 加劲梁合龙前，对合龙段两侧梁段长度，以及合龙段处空间现有长度进行测量，记录索股及梁段温度。按照预定的合龙方案和合龙温度对加劲梁实施合龙。

条文说明:

悬索桥加劲梁合龙方法有温差法和牵拉预偏法。温差法就是利用温度变化将会对合龙空间的影响来实现,温差和梁长越大,温差合龙的效果越明显。采用牵拉预偏法即就是牵拉已安装梁段,为合龙段留出安装空间,逐步放松牵拉力,安装临时连接件,完成合龙段安装。实践中,常采用在低温时段牵拉预偏的方法施工。

11.6 人行天桥安装

11.6.1 基本规定

1 天桥安装应注重安全,优质,快速,文明。做到不影响或少影响当地交通。精心施工,保证质量。

2 施工前应对施工地点现有交通做调查统计,与交通管理部门共同商定施工期间交通管理的方式和措施;商议时需与施工方法,施工机械的配置方案一并研究。

3 施工前应对施工地点的环境做细致调查,在决定施工方案时应减少对当地环境的尘土,噪音,震动,焊光等污染。

4 施工现场应有必要的围挡,确保行人,车辆通行安全,且有利于工地维持整洁。

11.6.2 运输与吊装

1 运输吊装前应制定技术方案,尽量采用大分段或整体安装的方法,并宜选择在夜间施工,减少对交通和行人的影响。对构件吊装方法,沿途道路障碍处理措施,交通疏导,现场的杆线和电车馈线停运与恢复时间及协作配合的指挥方式,安全措施等都应有安排。

2 分段安装经体系转换而成的连续体系或空间结构,应制定技术方案和相应的施工验算,使最后形成的结构的内力,高程、线形与设计相符。

12 工地连接

12.1 基本规定

12.1.1 本节适用于构件在工地现场的焊接连接、摩擦型高强度螺栓连接、冷铆（摩擦型高强度环槽铆钉连接的施工）和热铆连接。

条文说明：

现场焊接受焊接环境、操作空间及焊接方式等影响总体质量不如工厂焊接，城市钢桥多为跨路、跨线的高架桥、立交桥，交通及环保要求高，现场焊接施工时间长、污染严重，城市钢桥要逐步取消或避免现场焊接。

12.1.2 构件工地连接的顺序应符合设计的规定，且工地连接应在构件就位、固定并经检查合格后进行。

12.1.3 工地连接应符合连接工艺评定及作业指导书要求。

12.1.4 对焊接与高强度螺栓混用连接，宜先进行高强度螺栓初拧后焊接，焊缝检验合格后再进行高强度螺栓终拧。

12.1.5 焊接与高强度环槽铆钉混合使用时，宜先进行高强度环槽铆钉连接，再进行焊接。

12.1.6 工地连接作业宜在有护栏的作业平台上进行，进行高空连接作业应符合高空作业安全规程。

12.2 焊接连接

12.2.1 工地焊接连接时的环境要求应符合下列规定：

1 工地焊接时应设立防风、防雨和防冰雪设施，遮盖全部焊接处。焊件表面潮湿或暴露于雨、冰雪中时严禁焊接。

2 气体保护焊焊接作业区的最大风速宜不超过 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宜不超过 8m/s。超出上述范围时，应采取有效措施，保证焊接电弧区域不受到影响。

3 焊接作业区的相对湿度应小于 80%。

4 焊接时的环境温度宜不低于 5℃；当环境温度低于 0℃但不低于-10℃时，应采取加热或防护措施，同时应保证接头焊接处各方向不小于 100mm 范围内的母材温度不低于 20℃或规定的最低预热温度，且在焊接过程中均不应低于这一温度。

5 环境温度低于-10℃仍要实施焊接作业时，必须进行相应环境条件下的焊接工艺评定试验，并应在评定合格后再进行焊接；不符合上述规定时，严禁施焊。

6 在箱梁内焊接时应有通风防护安全措施和高温天气的降温措施。

12.2.2 焊接作业应符合下列规定：

1 焊接的作业条件应符合现行国家标准《焊接与切割安全》（NB9448）的有关规定，焊工应持证上岗。

2 待焊接区的表面和两侧应均匀、光洁，应无毛刺、裂纹和其他对焊缝质量有不利影响的缺陷，且不得有影响正常焊接和焊缝质量的氧化皮、铁锈、油污、水份等污染物和杂质。

3 焊接材料储存场所应干燥、通风良好，应由专人保管、烘干、发放和回收，并应有详细记录。

4 焊条使用前应按使用说明书进行烘干。烘干后的焊条使用时应置于保温桶中，随用随取。

5 焊剂使用前应按规定的温度进行烘焙，严禁使用已受潮或结块的焊剂。

6 在箱梁内焊接时，除应有正常的通风要求外，尚应采取有效措施防止可燃混合气的聚集及大气中富氧。在进入封闭空间前，应进行毒气、可燃气、有害气和氧气量等的测试，确认符合要求后方可进行作业。

12.2.3 焊接接头应符合下列规定：

1 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，并应对焊缝区域进行除锈。工地焊接应在除锈后的 12h 内进行。

2 焊接坡口尺寸应符合工艺文件的要求，坡口组装间隙偏差超过规定但不大于较薄

板厚度 2 倍或 20mm 两值中较小值时，可在坡口单侧或双侧堆焊。

3 对接接头的错边量不应超过本规程的规定。

4 接头间隙中严禁填塞焊条头、板条等杂物。

12.2.4 焊接工艺应符合下列规定：

1 焊接施工前应进行焊接工艺评定试验，焊接工艺评定的环境应真实反映工程施工现场的实际条件。

2 应根据焊接工艺评定试验的结果编制焊接工艺文件，用于指导现场的焊接作业，施焊时应严格执行既定的焊接工艺。

3 焊接时，采用的焊接工艺和焊接顺序应能使构件的变形和收缩量最小。

4 定位焊应距设计焊缝端部 30mm 以上，其长度为 50mm～100mm，间距为 400mm～600mm，厚板（50mm 以上）和薄板（不大于 8mm）应缩短定位焊间距；定位焊缝的焊脚尺寸不得大于设计焊脚尺寸的 1/2；定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷，对于开裂的定位焊，必须先查明原因，然后再清除开裂的焊缝，并在保证构件尺寸正确的条件下补充定位焊；在焊缝交叉处不应进行定位焊。

5 焊前预热温度和道间温度要求应通过焊接工艺评定确定，预热范围为焊道两侧 100mm 范围以上，距离焊缝 30mm～50mm 范围内测温；定位焊焊接时预热温度宜高于正式施焊预热温度 20℃～50℃。

6 多层焊接时宜连续施焊，且应控制层间温度，每一层焊缝焊完后应及时清理检查，应在清除药皮、熔渣、溢流和其它缺陷后再焊下一层。

7 埋弧自动焊必须在距设计焊缝端部 80mm 以外的引板上引、熄弧；引板长度应不小于 100mm，坡口、板厚应与母材相同；当不能设置引板时，熄弧处打磨后采用气体保护半自动焊或焊条电弧焊补焊，焊后将焊缝修磨匀顺；埋弧自动焊焊接过程中，应待焊缝稍冷却后再敲去熔渣。

8 在埋弧自动焊过程中不宜断弧，如有断弧则应将停弧处刨成不小于 1:5 的斜坡，并搭接 50mm 再引弧施焊，焊后搭接处应修磨匀顺。

9 单面焊双面成型的焊缝应在坡口背面贴严、贴牢焊接工艺规定的陶瓷衬垫。

10 施工人孔开设应避开跨中和支点处等受力集中区域，开孔宜布置在加劲肋之间，开设椭圆孔，人孔封堵焊接宜采用气体保护焊单面焊双面成型工艺，焊缝质量等级为 I 级。

12.3 摩擦型高强度螺栓连接

12.3.1 一般要求

1 高强度螺栓连接副应按批号配套发运和使用，应有出厂质量保证书，不得改变螺栓的出厂状态；每套连接副为一根螺栓、一个螺母、两个垫圈，并应配套使用。高强度螺栓连接副不得重复使用。

2 高强度螺栓施工应遵守安全作业规程。应在施工平台或吊篮上进行，具备安全防护设施。

3 当环境温度低于 -10°C ，或摩擦面潮湿、暴露于雨雪中时，不应进行高强度螺栓施工作业。

4 高强度螺栓连接副的周边有焊接、切割作业时，应采取隔热降温措施予以保护。

12.3.2 高强度螺栓连接副的运输和场内保存应符合下列要求：

1 高强度螺栓连接副在运输过程中，应轻装、轻卸，防止损坏螺纹，防雨、防潮。

2 工地存储高强度螺栓连接副时，应放在干燥、通风、防雨、防潮的仓库内，高强度螺栓连接副应按包装箱上注明的批号、规格分类保管；室内架空存放，堆放时应有防止生锈、潮湿及沾染脏物等措施，底层应以木板垫高通风，垫高 30cm 以上；靠近墙时，高墙至少 50cm；堆放不宜超过 5 层。入库和现场使用时要建立库存明细表和发放登记表，加强管理。

3 高强度螺栓连接副在安装使用前不应随意开箱。

4 高强度螺栓连接副的保管时间不应超过 6 个月。当保管时间超过 6 个月后使用时，应重新进行扭矩系数试验，检验合格后，方可使用。

5 高强度螺栓连接副使用开箱时，应核对螺栓直径、长度；高强度螺栓连接副使用前应进行外观检查，表面油膜正常无污物时方可使用。

6 高强度螺栓连接副使用过程中不得淋雨，不得接触泥土、油污等脏物。

7 安装时，领取相应规格、数量、批号的高强度螺栓连接副，当天没有用完的连接副，必须装回干燥、洁净的包装箱内，妥善保管并尽快使用完毕，不得乱放、乱扔。领用高强度螺栓一般不得以短代长或以长代短。

12.3.3 工地摩擦面抗滑移系数应符合下列要求：

1 抗滑移系数检验应以钢结构制作检验批为单位，每一检验批 6 组，其中 3 组用于出厂试验，3 组用于工地复验；单项工程的构件摩擦面选用两种以上表面处理工艺时，则每种表面处理工艺均需检验。

2 抗滑移系数检验用的试件由制作厂加工，试件与所代表的构件应为同一材质、同一摩擦面处理工艺、同批制作，使用同一性能等级的高强螺栓连接副，并在相同条件下同批发运。

3 由制造厂处理的钢结构构件的摩擦面，安装前应复验所附试件的抗滑移系数。抗滑移系数值应符合设计规定，设计未规定时，抗滑移系数出厂时应不小于 0.55，工地安装前的复验值应不小于 0.45。当抗滑移系数检验不符合上述规定时，构件摩擦面应重新处理。处理后的构件摩擦面应按本规定重新检验。

4 抗滑移系数试件制作及试验方法按附录 L 执行。

12.3.4 摩擦型高强度大六角头螺栓连接工艺及质量检验按附录 M 执行。

12.3.5 工地栓接连接后的防腐涂装应符合下列规定：

1 高强度螺栓连接副施拧完毕并经检查验收合格后，对连接处的板缝和高强螺栓连接副的外露部分，应及时进行封闭和涂装处理。

2 栓接面和拼接板在涂装前应去除毛刺、飞边，保证栓接面平整。

3 对栓接板的搭接缝隙部位，应按现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T722) 的规定，采用密封材料进行密封处理。

4 对栓接板和高强度螺栓连接副的外露部分，应按现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T722) 的规定，在清洁处理后，对螺栓的头部进行打磨，然后涂刷 1~2 道环氧富锌底漆或环氧类磷酸锌底漆 $50\mu\text{m}\sim 60\mu\text{m}$ ，再按相邻部位的配套体系涂装中间漆和面漆。

12.4 高强度环槽铆钉连接

12.4.1 一般要求

1 高强度环槽铆钉连接副由一个高强度环槽铆钉和一个配套的套环组成，配套使用的高强度环槽铆钉连接副应由同一生产厂家制造，且必须有生产厂家提供的产品质量保证书（合格证）。

2 当环境温度低于 -10°C ，或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时，不应进行高强度环槽铆钉连接副的施工作业。

3 高强度环槽铆钉连接副的施工应在具备安全防护设施的施工平台或吊篮上进行，且应遵守安全作业规程。

4 高强度环槽铆钉连接副受火焰作用时，应采取隔热降温措施予以保护。

12.4.2 高强度环槽铆钉连接副的运输和场内保存应符合下列要求：

1 高强度环槽铆钉连接副的包装箱上应注明批号、规格和数量。在运输过程中，应防雨、防潮，并应轻装、轻卸，防止磕碰损伤连接副。

2 工地存储高强度环槽铆钉连接副时，应放在干燥、通风、防雨、防潮的仓库内，其中套环存储环境温度不宜超过 50°C 。高强度环槽铆钉连接副应按包装箱上注明的批号、规格分类保管；室内存放时，应有防止生锈、潮湿及沾染脏物等措施。入库和现场使用时要建立库存明细表和发放登记表，加强管理。

3 高强度环槽铆钉连接副使用开箱时，应核对铆钉直径、长度；高强度环槽铆钉连接副使用前应进行外观检查，表面油膜或镀层正常无污物的方可使用。

4 安装时，领取相应规格、数量、批号的高强度环槽铆钉连接副，不得以短代长或以长代短。

12.4.3 工地摩擦面抗滑移系数应符合下列要求：

1 检验批可按分部工程（子分部工程）所含高强度环槽铆钉用量划分：每5万个高强度环槽铆钉用量的钢结构为一批，不足5万个高强度环槽铆钉用量的钢结构视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种处理工艺应单独检验。每批3组试件。

2 工地抗滑移系数检验用的试件由制作厂加工，试件与所代表的构件应为同一材质、同一摩擦面处理工艺、同批制作，使用同一性能等级的高强度环槽铆钉连接副，并在相同条件下同批发运。

3 抗滑移系数试验应采用双摩擦面的两钉或三钉拼接的拉力试件，抗滑移系数试件

制作及试验方法按附录 L 执行。

4 工地摩擦面抗滑移系数复验值应不小于 0.45。当抗滑移系数检验不符合上述规定时，构件摩擦面应重新处理。处理后的构件摩擦面应按规定重新检验。

12.4.4 高强度环槽铆钉连接副的连接孔应为正圆柱形，孔壁表面粗糙度（MMR） $Ra \leq 25\mu m$ ，孔边缘无损伤不平，无毛刺、铁屑等。制孔应采用钻孔，不得采用冲孔、气割孔。连接孔径允许偏差见表 12.4-1，孔距及允许偏差参照现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定执行。

表 12.4-1 连接孔径及允许偏差（单位：mm）

公称直径	20	22	24	27	30
孔径	22.0	24.0	26.0	30.0	33.0
允许偏差	+0.5,0	+0.5,0	+0.5,0	+0.7,0	+0.7,0

12.4.5 摩擦型高强度环槽铆钉连接工艺及质量检验按本规程附录 N 执行。

12.5 热铆连接

12.5.1 铆接前需修整全部钉孔，使之同心并确保穿钉顺利。

12.5.2 铆接件装配时，必须将板件上的钉孔对齐，用相应规格的螺栓拧紧，螺栓数量不应少于铆钉孔数的 25%，并应均布。

12.5.3 铆合部分的螺栓拧紧后，用 0.3mm 的千分页试插板间空隙，插入深度不能大于 20mm。

12.5.4 铆钉杆加热应均匀，用风动铆钉枪时，铆钉加热温度为 900～1100℃，铆接的终铆温度控制在 450～600℃之间。

12.5.5 加热的铆钉穿钉前应清除表面附着的杂质和氧化皮，过烧的以及有裂纹、气孔的铆钉不应使用。

12.5.6 铆时应经常检查风压，施铆风压不应小于 0.55MPa。

12.5.7 铆合开始应首先进行必要的垂直镦打，达到钉孔填实，然后再晃动风枪形成钉帽，并注意刻伤板面。

12.5.8 铆合顺序应先铆没有螺栓、冲钉的孔，然后再去掉螺栓、冲钉，铆合其余钉孔。螺栓不得拆除过早、过远，以免板层产生缝隙。

12.5.9 铆合作业愈快愈佳，锤击时间应在 20s 左右，使用直径大于 25mm 铆钉时，应用两支铆钉枪对铆，或用冲击式风顶。

13 现场修补

13.1 基本规定

13.1.1 钢结构涂装宜在工厂内全部完成，工厂涂装效率高质量好，工地只对某些部位进行补涂。工地补涂包括工地连接后的焊接接缝涂装、螺栓连接涂装、施工损伤的修补涂装。

13.1.2 工地涂装宜搭设平台和防护设施，或使用专用的设备，如检修车、移动平台、吊篮等，以保障涂装作业安全。搭设平台和防护设施的安装、使用、拆除应编制专项施工方案，并进行审批。专用的设备应有合格证，并经进场验收状况良好。

13.1.3 工地涂装作业属于高空作业的，临时设施、工艺设备、安全防护及操作规程应满足高空作业相关要求。涂装作业在水上施工的，尚应符合水上作业的相关要求。

13.1.4 工地涂装作业应避开大风、暴雨雪、严寒、冰冻等不良天气。

13.1.5 工地涂装作业应严格按照涂装工艺标准执行，不得随意改变流程，降低标准和作业条件。

13.2 焊缝工地涂装

13.2.1 对接焊缝涂装范围为焊缝两侧各 150mm；局部损伤修复时，涂装范围应比受损的范围大 30mm。

条文说明：

焊接的高温会损伤焊缝两侧涂装。扩大受损处涂装范围是为了保证受损部位全部得到修复，不因施工偏差而遗漏。

13.2.2 对于局部损伤修复、工地焊缝处采用机械打磨应达到 St3 级。

13.3 栓接部位工地涂装

13.3.1 栓接板的搭接缝隙小于或等于 0.5mm 时，采用涂料和腻子密封处理；缝隙大于 0.5mm 时，采用航空密封胶密封。

13.3.2 栓接部位外露底涂层、螺栓，涂装前应进行必要的清洁处理。首先对螺栓头部打磨处理，然后刷涂 1-2 道环氧富锌底漆或环氧磷酸锌底漆 50~60um，再按相邻部位的配套体系涂装中间漆和面漆。

13.4 涂装检验

13.4.1 涂层表面应平整、均匀一致，无漏涂、起泡、裂纹、气孔和返锈等现象，允许轻微橘皮和局部轻微流挂，以及由钢板外表面缺陷（标准允许范围内）所引起的视觉不平整。

13.4.2 施工中随时检查湿膜厚度以保证干膜厚度满足设计要求。干膜厚度采用“85-15”规则判定，即允许有 15%的读数可低于规定值，但每一单独读数不得低于规定值的 85%。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能超过设计厚度的 3 倍。

13.4.3 涂料涂层附着力。当检测的涂层厚度不大于 250um 时，各道涂层和涂层体系的附着力按划格法进行，不应低于 1 级；当检测的涂层厚度大于 250um 时，附着力试验按拉开法进行，涂层体系附着力不小于 3MPa。

13.4.4 锌、铝涂层附着力应按照现行《热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金》（NB/T9793）规定的方法进行。当采用切格试验时，如果没有出现涂层从基体上剥离或金属涂层层间分离，则认为合格；当采用拉伸试验时，应不小于 5.9MPa。

13.5 安全、环保保障措施

13.5.1 工地涂装单位必须建立完善的安全、环境管理体系，设立健全的安全、环境领导机构，成立专门机构负责安全、环境管理工作，按照相关法律法规、政策、标准开展管理活动。

13.5.2 应全面排查钢梁工地涂装相关的工作活动和设施设备，制定全面完善的安全操作规程，规范配备使用劳动保护用品。

13.5.3 应根据工地涂装的危险特性规范编制应急预案，要建立互动机制，定期组织教育培训、演练，对预案进行评审及修订，实现持续改进。

13.5.4 应重点防范物体打击、机械伤害、触电、高处坠落、灼烫、车辆伤害、火灾、

中毒和窒息、坍塌等 9 类安全事故，应做到有效防范。

13.5.5 应重点防范油漆飘洒污染，防止水体土壤污染。

14 安装质量检验

14.1 基本规定

14.1.1 本节适用于钢桥安装验收过程中的质量检验。

14.1.2 对安装使用的各种原材料、构件进场以及每道工序完成后，都应按相关标准进行检验，保证符合设计和施工技术规范的要求。

14.1.3 质量检验采用的计量器具必须经计量检定、校准合格；质量检验人员应由专职的质量检查员担任，持证上岗，且必须在其考试合格项目认可范围内作业。

14.1.4 质量检查记录、质量证明文件等过程材料应完整齐全、真实有效、具有可追溯性。

14.2 外观质量

14.2.1 梁底与支座以及支座底与垫石顶不应有缝隙。

14.2.2 钢主梁线形不应弯折、变形。

14.2.3 钢主梁内外表面不应有凹痕、划痕、焊疤，电弧擦伤等缺陷，边缘应无毛刺并打磨圆角。

14.2.4 焊缝均应平滑，无裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、焊瘤等外观缺陷，预焊件的装焊应符合设计要求。

14.2.5 高强度螺栓连接摩擦面应保持干燥、整洁，不应有飞边、毛刺、焊接飞溅物、焊疤、氧化铁皮、污垢等，除设计要求外摩擦面不应涂漆。

14.2.6 钢梁防护外观质量应符合下列规定：

1 涂层流挂、皱皮、水纹印的最大面积应不大于 900mm^2 ，在任何 1m^2 范围内不得多于 2 块。

2 不得出现起泡、裂纹、起皮、大熔滴、松散粒子、裂纹、掉块及返锈，应无漏涂。

14.2.7 钢主梁防护如有损伤应修复。

14.3 实测项目

14.3.1 梁式钢桥安装实测项目应符合表 14.3-1 及 14.3-2 的规定。

表 14.3-1 钢梁安装实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位（mm）	钢梁纵轴线	≤10	全站仪：每跨测 3 处
		两跨相邻端横梁 中线相对偏位	≤5	尺量：测各相邻端横梁
2	高程（mm）	墩台处	±10	水准仪：每墩台测 3 处
		两跨相邻端横梁 相对高差	≤5	水准仪、尺量：测各相邻端横梁
3	固定支座处支承	简支梁	≤10	尺量：测每固定支座
	中心偏位（mm）	连续梁	≤20	
4	焊缝尺寸		满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 3 处
5△	焊缝探伤			超声波：检查全部
6△	高强螺栓扭矩		±10%	扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个

表 14.3-2 顶推施工梁实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位 (mm)		≤ 10	全站仪：每段测 2 处
2△	落梁反力		满足设计要求；设计未要求时， ≤ 1.1 倍的设计反力	查油压表读数：检查全部
3△	支点高差 (mm)	相邻纵向支点	满足设计要求；设计未要求时， ≤ 5	水准仪：检查全部
		同墩两侧支点	满足设计要求；设计未要求时， ≤ 2	

14.3.2 斜拉桥钢箱梁段的安装实测项目应符合表 14.3-3、表 14.3-4 和表 14.3-5 的规定。

表 14.3-3 斜拉桥钢箱梁段的支架安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	≤ 10	全站仪：每段测 2 处

2	相邻节段间对接错边 (mm)	≤ 2	尺量：每段接缝最大值
3	梁段的纵向位置 (mm)	≤ 10	全站仪：测每段中心坐标
4△	梁顶高程 (mm)	± 10	水准仪：测梁段两端中心
5	梁顶四角高差 (mm)	≤ 10	水准仪：测四角
6	焊缝尺寸	满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 3 处
7△	焊缝探伤		超声波：检查全部
8△	高强螺栓扭矩	$\pm 10\%$	扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个

表 14.3-4 斜拉桥钢箱梁段的悬臂拼装实测项目

项次	检查项目			规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	L≤200m		≤10	全站仪：每段测 2 处
		L>200m		≤L/20000	
2△	索力 (KN)			满足设计和施工控制要求, 且 最大偏差≤10%设计值	测力仪：测每索
3△	梁锚固点高程	梁段		满足施工控制要求	水准仪：测每个锚固点或梁段顶面 2 处
	或梁顶高程 (mm)	合龙后	L≤200m	±20	
			L>200m	±L/10000	
4	塔顶偏位 (mm)			满足设计及施工控制规定	全站仪：测塔顶各边中点
5	梁顶四角高差 (mm)			≤20	水准仪：测四角
6	相邻节段对接错边 (mm)			≤2	尺量：测每段接缝最大处
7	焊缝尺寸			满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 3 处
8△	焊缝探伤				超声波：检查全部
9△	高强螺栓扭矩			±10%	扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个

表 14.3-5 组合梁斜拉桥钢梁段悬臂拼装实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位	$L \leq 200\text{m}$	≤ 10	全站仪：每段侧 2 处
		$L > 200\text{m}$	$\leq L/20000$	
2	相邻节段对接错边 (mm)		≤ 2	尺量：每段接缝最大值
3△	索力 (KN)		满足设计及施工控制规定	测力仪：测每索

4△	梁锚固点高程或梁顶高程 (mm)	梁段	满足施工控制要求	水准仪：测每个锚固点或梁段顶面 2 处
		两主梁高差	≤10	
5	塔顶偏位 (mm)		满足设计及施工控制规定	全站仪：测塔顶各边中点
6	焊缝尺寸		满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 3 处
7△				超声法：检查全部
8△	高强螺栓扭矩		±10%	扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个

注：1.L 为跨径，计算规定值或允许偏差时以 mm 计。

2.项次 5 仅合龙段检查。

14.3.3 悬索桥加劲梁安装实测项目应符合表 14.3-6 的规定。

表 14.3-6 悬索桥钢加劲梁安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	吊点偏位 (mm)	≤30	全站仪：测每吊点
2	同一梁段两侧对称吊点处梁顶高差 (mm)	≤20	水准仪：测每吊点处
3△	相邻节段匹配高差 (mm)	≤2	尺量：测每段接缝最大处
4	焊缝尺寸	满足设计要求	量规：检查全部，每条焊缝检查 2 处
5△	焊缝探伤		超声波：检查全部
6△	高强螺栓扭矩	±10%	扭矩扳手：检查 5%，且不少于 2 个

14.3.4 拱桥安装实测项目应符合表 14.3-7、14.3-8 及 14.3-9 的规定。

表 14.3-7 拱桥转体施工实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	封闭转盘和合龙混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按附录 D 检查
2△	轴线偏位 (mm)	L/6000，且不超过 30	全站仪：测 5 处
3	跨中拱顶面高程 (mm)	±20	水准仪：测拱顶两侧及中心线处
4	同一横截面两侧或相邻上部	10	水准仪：测 5 处

	构件高差 (mm)		
--	-----------	--	--

表 14.3-8 拱桥劲性骨架安装实测项目

项次	检 查 项 目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	$L/6000$, 且 ≤ 40	全站仪: 每骨架测 5 处
2	高程 (mm)	$\pm L/3000$	水准仪: 测拱顶、拱脚及各接头点
3△	对称点相对高差 (mm)	$\pm L/3000$, 且 ≤ 40	水准仪: 测各接头点
4△	焊缝探伤	满足设计要求	超声法: 全部检查

表 14.3-9 钢管拱肋安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	$\leq L/6000$, 且 ≤ 50	全站仪: 测 5 处
2	拱肋高程 (mm)	$\pm L/3000$, 且不超过 ± 50	水准仪: 测拱脚、 $L/4$ 跨、 $3L/4$ 跨、拱顶 5 处
3△	对称点相对高程 (mm)	$\leq L/3000$, 且 ≤ 40	水准仪: 测各接头点
4	拱肋接缝错边 (mm)	≤ 0.2 倍壁厚, 且 ≤ 2	尺量: 测每个接缝最大值
5	焊缝尺寸	符合设计要求	量规: 检查全部, 每条焊缝检查 3 处
6△	焊缝探伤		超声波: 检查全部
7△	高强螺栓扭矩	$\pm 10\%$	扭矩扳手: 检查 5%, 且不少于 2 个

14.3.5 钢塔安装实测项目应符合表 14.3-10 的规定。

表 14.3-10 钢塔安装实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	安装高度 H		$\pm 2n$, 且全部 ≤ 10	全站仪: 测各节段
2	垂直度	顺桥向	$H/4000$	全站仪: 测各节段
		横桥向	$H/4000$	
3	塔柱中心距 B		± 4.0	钢板尺: 测各接头部位
4	对接口错边量		≤ 2.0	尺量: 检查各接口

5	横梁中心处高程的相对差		≤ 4.0	水准仪：测横梁中心处
6	端面金属接触率	塔柱壁板	$\geq 50\%$	塞尺：检查各接头部位
		塔柱腹板	$\geq 40\%$	
		加劲肋板	$\geq 25\%$	
7	斜拉索锚固点间距		$L: \pm 6, L1: \pm 12$	全站仪：测各锚固点

注：n 为节段数量，L 为相邻锚点间距，L1 为极边锚点间距。

14.3.6 钢梁防护实测项目应符合表 14.3-11 的规定。

表 14.3-11 钢梁防护涂装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	除锈等级	满足设计要求；设计未要求时，热喷锌或铝 Sa3.0，无机富锌底漆及其他 Sa2.5（St3）	样板对比；全部检查
2△	粗糙度 R_2 （ μm ）	满足设计要求；设计未要求时，热喷锌或铝 60-100，无机富锌底漆 50-80，其他 30-75	按设计要求检查，设计未要求时用对比样块；全部检查
3△	总干膜厚度（ μm ）	满足设计要求；设计未要求时，干膜厚度小于设计值的测点数量 $\leq 10\%$ 。任意点的干膜厚度 $\geq$ 设计值的 90%	按设计要求检查，设计未要求时用测厚仪检查；抽查 20%且不少于 5 件，每 10m ² 测 10 点，且不少于 10 点
4△	附着力（MPa）	满足设计要求	按设计要求检查，设计未要求时用拉开法检查；抽查 5%且不少于 5 件，每件测 1 处

14.3.7 桥梁总体实测项目应符合表 14.3-12 的规定。

表 14.3-12 桥梁总体实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桥面中线偏位（mm）		≤ 20	全站仪：每 50m 测 1 点，且不少于 5 点
2	桥面宽（mm）	车行道	± 10	尺量：每 50m 测 1 个断面，且不少于 5 个断面
		人行道	± 10	

3	桥长 (mm)		+300, -100	全站仪或钢尺: 检查中心线处
4	桥面高程	L < 50m	±30	水准仪: 桥面每测每 50m 测 1 点, 且不少于 3 点; 跨中、桥墩(台)处应布置测点
	(mm)	L ≥ 50m	± (L/5000+20)	

注: L 为桥梁跨径, 计算规定值或允许偏差时以 mm 计。

14.3.8 工地焊接连接质量检验实测项目应符合下列规定:

1 焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔夹液、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷。

检查数量: 每批同类构件抽查 10%, 且不应少于 3 件; 被抽查构件中每一类型焊缝按条数抽查 5%, 且不应少于 1 条; 每条检查 1 处, 总抽查数不应少于 10 处。

检验方法: 观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查, 当存在疑义时采用渗透或磁粉探伤检查。

2 焊缝无损检验质量应满足设计要求。

检查数量: 超声法全数检查; 射线法按设计要求进行检查, 如设计未要求时, 按 10% 抽查, 且不应少于 3 条。

检验方法: 检查超声波探伤、射线探伤记录。

3 安装焊缝坡口角度的允许偏差应控制在 $\pm 5^\circ$, 钝边的允许偏差应控制在 1.0mm。

检查数量: 按坡口数量抽查 10%, 且不少于 3 条。

检验方法: 焊缝量规检查。

4 焊缝尺寸应满足设计要求。

检查数量: 全数检查, 每条焊缝检查 3 处。

检验方法: 焊缝量规检查。

5 焊接质量检验还应符合本规程 6.1 小节的规定。

14.3.9 圆柱头焊钉的焊缝检验实测项目应符合下列规定:

1 焊钉根部焊脚应均匀, 焊脚立面的局部未熔合或不足 360° 的焊脚应进行修补。

检查数量: 按总焊钉数量抽查 1% 且不应少于 10 个。

检验方法: 观察检查。

2 焊缝沿圈柱头焊钉轴线方向的平均高度应不小于 0.2d; 最小高度应不小于 0.15d, 在钢板侧, 焊趾的平均直径和应不小于 1.25d (d 为圆柱头焊钉直径)。

3 焊钉焊接后应进行弯曲试验检查, 随机抽取进行 30° 弯曲检验, 弯曲后焊缝和热

影响区不应有肉眼可见的裂纹。

检查数量：随机抽取，每件检查圆柱头焊钉总数的 1%。

检验方法：焊钉弯曲 30° 后用角尺检查和观察检查。

14.3.10 摩擦型高强度螺栓连接质量检验应符合本规程附录 M 要求。

14.3.11 摩擦型高强度环槽铆钉连接质量检验应符合本规程附录 N 要求。

15 桥面铺装

15.1 基本规定

15.1.1 本章适用于钢桥面铺装采用改性沥青混合料、浇筑式沥青混合料、热拌和温拌环氧沥青混合料、冷拌环氧沥青混合料、超高韧性混凝土及环氧薄层的施工。

15.1.2 钢桥面铺装施工应进行施工组织设计，并保证合理的施工工期。

15.1.3 钢桥面铺装施工前应建立质量保证体系和质量管理体系。

15.1.4 施工安全应符合下列规定：

1 施工前应制定安全生产管理制度和突发事件应急预案，建立安全生产管理体系。

2 沥青拌和站和施工现场应按相关规定设置消防设施，防腐层和防水粘结层施工时严禁烟火。

3 施工人员应得到必要的劳动保护，有高空坠落危险的地段应设置防护网，桥面铺装施工期间当其他工序施工存在坠落物危险时，应在该部位设置警示标志，必要时暂停施工。

15.1.5 施工前应建立健全环保管理体系，制定保护环境、节能减排和文明施工的实施方案，减少工程施工过程中对环境的污染。

15.1.6 钢桥面铺装施工宜避开雨季，严禁在下雨、下雪、结露等不利气候条件下施工。

15.1.7 喷砂除锈、防腐层和防水粘结层施工环境温度应不低于 10℃且钢板表面温度应高于空气露点 3℃以上，空气相对湿度应不高于 85%。

15.1.8 钢桥面铺装施工宜全桥封闭，应避免与可能污染铺装界面的其他工序交叉施工。各工序施工时应保持基面清洁干燥，不得有水分或油污残留。已施工完毕的区域应进行保护，严禁油脂和杂物等污染。

15.1.9 每道工序完工后应按规定进行质量检查，合格后才能进入下道施工工序。经检查不合格时应返工。

15.1.10 铺装结构层施工宜避免设置施工缝。当无法避免时，横向施工缝应距横肋或横梁位置 1m 以上，且磨耗层和保护层的横缝应错开 1m 以上；纵向接缝应距纵腹板位置 30cm 以上，且上下层的纵缝应错开 30cm 以上。

15.1.11 对于数量、规模大的桥面工程，为避免长时间施工导致的不利影响，STC 层应分幅、分段施工。分幅、分段尺寸应满足每个幅段浇筑时间可控制在 10h~12h 的要求。

15.2 施工准备

15.2.1 建设单位应组织设计、施工、监理单位进行技术交底。

15.2.2 施工单位应根据设计文件、施工合同、施工条件等确定施工方案，进行施工组织设计。

15.2.3 施工单位应对施工、试验、机械、管理等岗位人员进行必要的技术和安全管理培训。

15.2.4 应按照有关规定建立工地试验室，工地试验室配备的试验人员和试验仪器应满足工程施工的需要，且试验仪器应通过国家法定计量机构的检验标定。

15.2.5 施工设备应符合下列规定：

1 沥青混合料运输设备的数量应根据运距及拌和站的拌和能力确定，应保持施工现场与拌和站之间的有效联系和施工的连续性。

2 应配备性能良好的沥青混合料摊铺机，摊铺机数量应根据工作面宽度和摊铺机抗离析性能综合确定，当由于摊铺机螺旋布料器过长造成混合料离析时，应缩短摊铺机摊铺宽度，并增加摊铺机数量。

3 改性沥青混合料碾压施工宜配置水平震荡压路机。

15.2.6 施工前材料检查应符合下列规定：

1 工程开工前必须检查材料来源和质量。对沥青、集料等主要材料，供货单位必须提交最新的检测报告。对不包含在试验检测机构资质范围内的检测参数，可委托专业单位进行检测，并作为材料质量控制和工程验收的依据之一。

2 各种材料都必须在施工前以“批”为单位进行检查，不符合要求的材料不得进场。材料试样的取样数量与频度按现行试验规程的规定进行。

3 正式施工前，各种原材料试验结果及据此进行的目标配合比和生产配合比设计结果，应按规定取得认可后，方可使用。

4 对防水粘结层材料、沥青等重要试样，应在检验后留样封存 2 年。封存的防水粘结层材料不应少于 5kg，改性沥青不应少于 15kg。

15.3 铺筑试验段

15.3.1 试验段实施应由有关各方共同参加，及时商定有关事项，明确试验结论。

15.3.2 钢桥面铺装各个工序正式施工前应实施试验段，包括钢桥面板的喷砂除锈、防水粘结层涂布、沥青混合料铺筑等工序，实施前应制定试验段实施方案。

15.3.3 沥青混合料试验段可选择在混凝土桥上进行，其他各工序试验段都应在钢桥面

板上进行。

15.3.4 喷砂除锈、防腐层、防水粘结层和缓冲层试验段面积均不宜小于 100m²，沥青混合料铺装试验段的长度不宜小于 100m。

15.3.5 通过钢桥面板喷砂除锈试验段应达到下列目的：

- 1 确定喷砂机的机械数量和组合方式。
- 2 确定钢砂的材料类型、钢丸与棱角砂的混合比例。
- 3 确定喷砂机的行走速度、单位时间的喷砂量。

15.3.6 通过防腐层试验段和防水粘结层试验段应确定材料的混合比例、施工工艺和用量等。

15.3.7 通过缓冲层试验段应确定缓冲层的施工工艺和材料用量。

15.3.8 通过沥青混合料铺装试验段应达到下列目的：

- 1 检验各种施工机械的类型、数量及组合方式是否匹配。
- 2 验证混合料配合比设计，确定生产配合比。
- 3 通过试拌确定拌和机的上料速度、拌和时间、拌和温度等。
- 4 通过试铺确定摊铺温度、摊铺速度、摊铺宽度、自动找平方式、松铺系数、接缝方式等。
- 5 对需碾压的沥青混合料确定压路机的碾压组合、碾压顺序、碾压温度、碾压速度及遍数等碾压工艺。
- 6 对浇注式沥青混合料还需确定搅拌运输设备的搅拌温度、搅拌时间等。
- 7 对环氧沥青混合料还需验证在容留时间内是否能完成碾压成型。
- 8 补充完善施工组织设计。

15.3.9 试验段施工结束后，承包人应就各项试验内容提交完整的试验段总结报告。如果试验段检测结果存在不合格情况，应进行相应调整，重新铺试验段，检测合格后方可施工。

15.4 表面除锈及防腐层施工

15.4.1 钢桥面板应进行喷砂除锈处理。对小面积维修和无法进行机械喷砂除锈的桥梁，其钢桥面板可采用打磨等其他工艺进行除锈处理。

15.4.2 喷砂除锈前应先用工具打磨平整钢桥面板表面锐边、飞溅、不光滑焊缝等缺陷。

15.4.3 喷砂除锈前应全面调查记录全桥锈蚀、污染状况，被油脂污染的钢板表面除锈

前应采用溶剂法或碱洗法去除油污，并按 ISO 8502-9 标准的试纸测试，氯化物含量应不超过 0.014%（约 $7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ）。在钢桥面板锈蚀较严重的地方，应按 ISO 8502-1 标准以铁氰化钾试纸测试，以无蓝点视为合格。

15.4.4 行车道喷砂除锈应采用全自动无尘喷砂设备，桥面边角部位、吊索区等特殊部位可采用手持压缩空气喷砂设备施工。

15.4.5 喷砂除锈用金属磨料应符合《涂覆涂料前钢材表面处理》（GB/T 18838）的有关规定，应采用颗粒形状为丸粒和砂粒的金属磨料配合使用，其比例应视粗糙度要求、钢桥面板表面状况在施工前通过试验段确定。

15.4.6 喷砂除锈后的钢桥面板，其清洁度应达到 Sa2.5 级，粗糙度应达到 $60 \sim 100 \mu\text{m}$ ；人工小范围打磨工艺除锈的清洁度应达到 St3.0 级。

15.4.7 应在除锈后 4h 内完成钢桥面板上第一层涂层施工。

15.4.8 防腐层施工前应将防腐层材料充分搅拌均匀。

15.4.9 防腐层涂布应均匀，对于漏涂、龟裂、流坠、针眼和气泡等缺陷应及时修补。

15.4.10 防腐层表干前，严禁接触；实干前应采取措施防止受损，且应避免淋雨、浸水及其他介质污染。

15.5 防水粘结层施工

15.5.1 防水粘结层施工应符合下列规定：

- 1 施工前应对工作面进行清洁处理，清除油污、水分及其他污染物。
- 2 如设置防腐层，应在防腐层彻底固化并检验合格后，进行防水粘结层施工。如未设置防腐层，应在喷砂除锈后 4h 内完成第一层防水粘结层施工。
- 3 防水粘结层材料在涂布前应采用动力搅拌器充分搅拌均匀。
- 4 如采用喷涂方式，喷涂前应对桥梁栏杆和其他易受喷涂飞溅影响的桥梁部位进行防护；喷涂作业时，当风速较大导致出现洒布斑痕，应采取有效的防风遮挡措施，风速大于 10m/s 时不得施工。
- 5 涂布应均匀，对于漏涂、龟裂、流坠、针眼和气泡等缺陷应及时修补。

15.5.2 甲基丙烯酸甲酯树脂防水粘结层施工应符合下列规定：

- 1 应采用动力搅拌器将混合前、混合后的材料充分搅拌均匀。
- 2 甲基丙烯酸甲酯树脂应采用高压无气喷涂设备进行喷涂作业。
- 3 甲基丙烯酸甲酯树脂可采用一层或两层施工，干膜总厚度应不小于 2mm 。当采用

两层施工时，每层湿膜厚度应不小于 1.2mm，应在第一层涂膜实干后立即喷涂第二层。

- 4 甲基丙烯酸甲酯树脂新旧接头处，新涂层应在旧涂层上至少搭接 50mm。
- 5 应在甲基丙烯酸甲酯树脂固化后辊涂施工丙烯酸树脂粘结剂。
- 6 应在丙烯酸树脂粘结剂实干后进行下一道工序施工。

15.5.3 环氧树脂防水粘结层施工应符合下列规定：

- 1 环氧树脂混合后应在要求的容留时间内完成涂布，超过容留时间的环氧树脂应废弃。
- 2 在坡度较大的地段施工时，如发生环氧树脂流淌现象导致胶膜厚度不均，应进行补涂处理。
- 3 施工完毕后，应有足够的养生时间。
- 4 养生结束后，现场检测指标满足要求方可进行下道工序施工。

15.5.4 溶剂型沥青粘结剂防水粘结层施工应符合下列规定：

- 1 宜采用辊涂或喷涂法施工。
- 2 用于浇注式沥青混合料与钢桥面板之间的粘结层时，应涂布 2 层，每层用量宜为 100~200g/m²。第一层宜沿顺桥方向涂布，实干后方可涂布第二层，第二层涂布方向应与第一层垂直。
- 3 用于缓冲层底涂层时，可只涂布一层。
- 4 应在溶剂型沥青粘结剂完全干燥后施工保护层。

15.6 改性沥青砂胶缓冲层施工

15.6.1 矿粉含水率不应大于 1%。

15.6.2 宜采用具有加热拌和功能的设备进行拌和，拌合温度宜为 200~230℃，拌合时间不宜低于 1h，拌和均匀后应无结团现象。

15.6.3 应采用人工刮铺法或机械摊铺法施工，施工厚度宜为 3~5mm，施工温度宜为 200~230℃。

15.6.4 施工完毕后对于气泡和脱空现象应及时修补。

15.7 粘层施工

15.7.1 改性乳化沥青粘层施工应符合下列规定：

- 1 宜采用洒布车喷洒，洒布速度和喷洒量应保持稳定。
- 2 乳化沥青破乳、水分完全蒸发后应及时铺筑沥青混合料，避免粘层被污染。

15.7.2 环氧树脂粘结剂 III 型粘层施工应按照本规程第 15.5.3 条执行。

15.7.3 环氧沥青粘层施工应按照本规程第 15.5.4 条执行。

15.7.4 改性沥青粘层施工应符合下列规定：

- 1 应采用沥青洒布车施工，保证喷洒的均匀性。喷洒时如有漏喷，应及时进行人工补洒。
- 2 改性沥青喷洒温度不宜低于 170℃。

15.8 改性沥青混合料施工

15.8.1 改性沥青 SMA 施工应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。当压实度达不到设计标准时，可采取提高施工温度 5~10℃ 或掺加降低改性沥青高温粘度的改性剂等措施。

15.8.2 改性沥青 SMA 使用钢轮压路机碾压时，宜采用质量 10 吨以上的水平震荡压路机。SMA 用于磨耗层时不宜使用轮胎压路机碾压，当 SMA 用于保护层时，可采用轮胎压路机碾压。用于边角部位碾压时，宜采用质量约 2 吨的小型压路机。

15.9 浇注式沥青混合料施工

15.9.1 浇注式沥青混合料拌和应符合下列规定：

1 宜采用具有矿粉加热干燥功能的拌和设备，矿粉加热温度宜为 80~120℃。矿粉加热的情况下，集料加热温度宜为 260~280℃；矿粉不加热的情况下，集料加热温度宜为 290~320℃。

2 干拌时间宜为 10~20s，加入沥青结合料后拌和时间宜为 60~90s，拌和后出料温度宜为 220~240℃。

15.9.2 浇注式沥青混合料运输应符合下列规定：

- 1 应采用具有加热、拌和功能的专用运输设备。
- 2 搅拌运输设备应预热至 130~140℃，待混合料装入后应连续搅拌升温。搅拌运输设备的限制温度宜设定为 220 ~ 240℃，最高不应超过 250℃。
- 3 在搅拌运输设备中应至少搅拌 45min 方可进行摊铺。
- 4 装入运输设备后宜在 4h 内完成运输、摊铺施工，如无法在规定时间内完成摊铺施

工时，应适当降低混合料温度，且储存时间不应超过 6h。超过规定时间的混合料应予以废弃。

5 搅拌运输设备的数量应根据运距及拌和站的拌和能力确定，应保持施工现场与拌和站之间的有效联系和施工的连续性。

15.9.3 浇注式沥青混合料摊铺应符合下列规定：

- 1 应采用专用摊铺机械摊铺；在摊铺机无法摊铺到的边带、中央分隔带及人行道位置宜采用人工摊铺。
- 2 摊铺前宜采用不低于摊铺厚度的钢板或木板设置侧向模板。
- 3 运输车宜在摊铺机行走方向的前方将混合料卸在桥面板上。摊铺机的布料器左右移动使熨平板前充满混合料，并前行摊铺混合料至规定厚度。
- 4 接缝应进行预热处理或使用预制贴缝条。
- 5 摊铺速度宜为 1.5～3m/min，并按照拌和站的拌和能力调整，摊铺过程中不应停机待料。
- 6 混合料应满足摊铺和易性要求，240℃时刘埃尔流动性不宜大于 60s。
- 7 摊铺中出现气泡或鼓包等缺陷时，应立即用钢针由气泡顶部插入放气。

15.9.4 碎石撒布应符合下列规定：

- 1 碎石宜采用基质沥青预拌裹覆，沥青用量宜为 0.2%～0.5%。
- 2 宜采用自行式撒布机撒布。
- 3 碎石撒布量应根据现场试验确定，覆盖率宜控制在 50%～90%。
- 4 碎石撒布后，应及时嵌入浇注式沥青混合料中。

15.10 热拌和温拌环氧沥青混合料施工

15.10.1 热拌和温拌环氧沥青混合料拌和应符合下列规定：

- 1 热拌环氧沥青混合料拌和前应将环氧树脂主剂和固化剂分别加热至 50~60℃，沥青应加热至 150~165℃。温拌环氧沥青混合料拌和前应将环氧树脂主剂加热至 82~92℃，固化剂和沥青的混合物加热至 125~135℃。
- 2 热拌和温拌环氧沥青混合料拌和时，应符合表 15.10.1 的规定。

表 15.10.1 热拌和温拌环氧沥青混合料拌和条件

混合料类型	干拌时间（s）	湿拌时间（s）	出料温度（℃）
-------	---------	---------	---------

热拌环氧沥青混合料	5~20	35~50	170~185
温拌环氧沥青混合料	3~10		150~140

3 热拌和温拌环氧沥青混合料的出料温度超出容许温度范围时，应予以废弃。

15.10.2 热拌和温拌环氧沥青混合料运输应符合下列规定：

- 1 运输车辆应采取防积水、漏水措施。
- 2 运料车车厢内宜涂薄层植物油，避免环氧沥青混合料粘附车厢内。
- 3 出料时均应登记运料单，记录该车各盘料的出料温度，及该车第一盘料及最后一盘料的装料时刻。
- 4 混合料运输中应采取覆盖保温措施，并在卸料前检测混合料温度。

15.10.3 热拌和温拌环氧沥青混合料摊铺应符合下列规定：

- 1 摊铺过程中应随时检查摊铺层厚度及路拱、横坡，根据使用的混合料总量与面积校验平均厚度。
- 2 摊铺机应缓慢、匀速、连续不间断地摊铺。
- 3 摊铺速度不宜超过 3m/min，同时应根据供料能力及混合料容留时间适当调整。
- 4 摊铺过程中应及时清除螺旋布料器与熨平板之间已结团的混合料。
- 5 摊铺后的环氧沥青混合料应表面均匀，无离析、波浪、裂缝、拖痕、鱼尾纹等现象。

15.10.4 热拌和温拌环氧沥青混合料碾压应符合下列规定：

- 1 碾压应紧跟摊铺机进行，碾压过程分为初压、复压、终压三个阶段，压路机组合方案可参照表 15.10.4-1 执行，具体碾压遍数与压路机组合应通过试验段确定，在施工时可根据现场情况适当调整。

表 15.10.4-1 压路机组合参考方案

铺装结构层位	初压	复压	终压
保护层	轮胎压路机	双钢轮压路机	轮胎压路机
磨耗层	双钢轮压路机	轮胎压路机	双钢轮压路机

- 2 碾压温度应符合表 15.10.4-2 的规定。

表 15.10.4-2 碾压温度（℃）

混合料类型	初压温度	复压温度	终压温度
热拌环氧沥青混合料	≥ 155	≥ 110	≥ 90
温拌环氧沥青混合料	≥ 82	-	≥ 65

3 碾压应分段控制，压路机隔离剂应采用植物油，严禁采用水、柴油、废机油。

4 碾压时压路机驱动轮面向摊铺机，由低到高，依次连续均匀碾压，相邻碾压带重叠 $1/3$ 轮宽。

5 碾压过程中严禁压路机突然转向或掉头。压路机起动、停止必须减速缓行，严禁紧急制动。

6 施工应避免设置接缝，如因特殊原因需设置接缝时，应采用 $45^\circ \sim 60^\circ$ 的斜接缝。切缝前应预先画线，且不得带水切割。切割时机应通过试切确定，保证切缝平顺，切面平整。

7 碾压完毕后应及时检查表面是否有鼓包、已结团的混合料或推挤裂缝等情况，对存在的问题应及时处理。

8 热拌环氧沥青混合料从拌和出料到复压结束时间宜控制在 2h 以内，超过 3h 应废弃。

15.10.5 热拌环氧沥青混合料养生期不宜低于 5~10d，具体时间应根据环境温度与现场马歇尔试件试验结果确定。养生期间严禁车辆通行。

15.10.6 在养生期内应检查是否有鼓包。发现鼓包时应立即用钢针由包顶插入放气，用环氧胶填满，并用手持夯锤将鼓包击平。

15.11 冷拌环氧沥青混合料施工

15.11.1 冷拌环氧沥青混合料拌和应符合下列规定：

1 集料的含水率不应大于 1%。

2 拌和机宜设置在施工现场附近。

3 冷拌环氧沥青结合料各组分应按比例混合并用动力搅拌机搅拌均匀，搅拌时间不应少于 120s。集料和矿粉宜先在拌缸内干拌 5~10s，再加入结合料拌和，湿拌时间不宜少于 70s。

15.11.2 冷拌环氧沥青混合料运输和摊铺应符合下列规定：

1 应根据现场冷拌环氧沥青混合料拌和时间、运输时间和摊铺时间确定合理的运料车装料数量，摊铺过程中不宜等料，每车料应在规定的时间内摊铺完毕。

2 混合料的运输和摊铺时间应根据冷拌环氧沥青混合料容留时间确定。

3 宜全幅施工，摊铺速度宜为 2~5m/min。

15.11.3 冷拌环氧沥青混合料碾压应符合下列规定：

1 初压宜采用钢轮压路机静压 1~2 遍，复压宜采用轮胎压路机碾压 3~5 遍。

2 碾压应分段控制，压路机隔离剂应采用植物油，严禁采用水、柴油、废机油。

15.11.4 冷拌环氧沥青混合料养生期不宜低于 3~5d，具体时间应根据环境温度与现场马歇尔试件试验结果确定。养生期间严禁车辆通行。

15.12 超高韧性混凝土（STC）桥面铺装

15.12.1 桥面预处理应符合下列规定：

1 对于新建钢桥，应对桥面进行清洗；对于没有锈蚀的桥面无需进行喷砂除锈。

2 对于旧钢桥铺装翻修施工时，应先清除原铺装层并清洗桥面，后对桥面进行抛丸除锈。其施工应符合以下规定：

(1) 清除原铺装层及粘结层的过程中，不得损伤桥面钢板；

(2) 清除完毕后，应检查钢桥面板范围内有无孔洞（如栓接区域个别高强螺栓缺失处）。若有，应在焊接栓钉前对孔洞进行填补，以防止 STC 在摊铺施工过程中的流失；

(3) 清除桥面的油、油脂、盐分及其它污垢，并清洗桥面。在桥面达到干净、干燥条件后，方可进行抛丸除锈施工；

(4) 抛丸除锈前，应检查钢桥面板的外观，确保表面无锐边、飞溅、不光滑焊缝及切割边缘等缺陷，否则必须通过打磨加以消除，锋利的边角必须处理成半径为 2mm 以上的圆角；

(5) 抛丸除锈完成后，应立即检查钢板的清洁度和粗糙度；

(6) 抛丸除锈完成后，应对除锈后的钢板进行保护，防止二次污染。

3 桥面预处理其它施工要求应符合 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》相关规定。

15.12.2 栓钉焊接应符合下列规定：

1 栓钉焊接前钢桥面应清洁干燥，无水、氧化皮、锈蚀、非可焊涂层、油污、灰尘等杂质。

2 焊接前应清除栓钉上的油污、锈迹等杂质。瓷环应保持干燥状态，受潮瓷环应高温烘干 2h 以上，烘干温度宜为 120℃~150℃。

3 应按设计的栓钉布置位置在钢桥面板上划墨线定位。当栓钉加密时，定位中应先

定位出普通位置点，再定位出加密位置点。

4 当栓钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时，应将栓钉偏离焊缝边界 2cm～3cm，严禁直接在焊缝上焊接栓钉。

5 栓钉焊接前，宜采用手磨机对每个栓钉位置进行局部打磨，打磨范围直径为 3cm～5cm，确保焊接处钢面板表面平整、光滑、洁净。

6 宜采用电弧螺柱焊机焊接栓钉。焊接时，应按要求正确操作，确保焊接质量。

7 栓钉焊接的电流、电压等工艺参数应通过焊接工艺评定确定。工艺评定采用在同母材规格的试板上试焊 10 个栓钉，其中 5 个做拉伸试验，5 个做弯曲试验，试验结果应符合国家标准 GB/T 10433 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》的规定。

8 每个工作日（或班）施焊前，应按规定的焊接工艺参数在试板上试焊 2 个栓钉并进行检验，检验合格后方可进行施工。

9 焊接完成后，应清除墨线、焊渣、瓷环和杂物。

10 栓钉的焊接质量不满足要求时，应敲除栓钉，并重新焊接栓钉。

11 当环境温度低于 0℃，或环境相对湿度大于 80%，或钢板表面潮湿时，不得焊接栓钉。雨雪天气严禁露天作业。

15.12.3 防腐层涂装施工应符合下列规定：

1 栓钉焊接完成后，应在 STC 覆盖的钢桥面四周 0.5m 范围内进行防腐涂装。防腐层施工应符合下列规定：

（1）防腐涂装层施工应在栓钉焊接完成后立即进行；

（2）防腐涂装层施工前，应采用高压风机清除基面的杂质或灰尘；

（3）防腐涂装层施工应在桥面除锈、清理后 4 小时内完成；

（4）喷涂作业宜采用高压无气喷涂法，局部补涂时可采用刷涂法，要求油漆表面色泽均匀，漆膜无流挂、针孔、气泡、裂纹等缺陷；

（5）防腐层涂刷其它施工应满足 JT/T 722《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》、JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》相关要求。

15.12.4 钢筋网安装应符合下列规定：

1 如钢筋位置与栓钉布置有冲突，可适当调整钢筋位置。

2 钢筋网在界接头处应与相对应的锚固钢筋准确连接，搭接方式应符合设计要求。

3 钢筋网安装中的其它施工应满足 JTG D62《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设

计规范》、JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》、JTG/T J23《公路桥梁加固施工技术规范》相关要求。

15.12.5 STC 浇筑应符合下列规定：

1 STC 宜在工厂将各种固体原料及减水剂预拌为干混料，经包装后运输到施工现场，通过与水拌合成浇筑用混凝土。

2 原材料及干混料的计量应采用电子计量设备，并应定期校验。干混料生产单位每月应至少自检一次。每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

3 原材料、干混料应储存于干燥、通风、防潮、不受雨淋的场所，并按品种、批号分别堆放，不得混堆混用，且应先存先用。当对干混料的质量有怀疑或受潮或存放时间超过 3 个月时，应重新取样复验，只有复验合格，干混料才可使用。

4 STC 的拌合应根据工程规模、施工工艺和进度要求合理配备搅拌设备，应采用强制式搅拌机。

5 STC 湿拌应符合下列规定：

(1) 拌合前应根据施工配合比，准确计量干混料、水的重量。干混料的容许偏差不应大于 2%，水的容许偏差不应大于 1%。

(2) 拌合时置于同一包装件中的干混料应一次搅拌完成，不得分盘搅拌；

(3) 搅拌前应清理搅拌设备上残存的废渣、垃圾等杂物，确保搅拌设备清洁、干燥；

(4) 干混料在下料和搅拌过程中，应采取防扬尘措施，防止扬尘污染环境；

(5) 搅拌第一盘拌合料前，应润湿搅拌机，并排尽积水。拌合时，每台班结束后应对搅拌机进行清洗，剔除结硬的混凝土块，并更换严重磨损的搅拌叶片；

(6) 搅拌应保证拌合物质量均匀，出机拌合物中不得有钢纤维结团现象，同一盘混凝土的均质性应符合 GB 50164《混凝土质量控制标准》的规定。

6 搅拌时间应根据拌合物的黏聚性、均质性及搅拌机类型，经试拌确定，并应符合下列规定：

(1) MPC 立轴行星式搅拌机搅拌时间不应少于 6min，且拌合物流化后继续搅拌不应少于 2min；

(2) 双轴卧式搅拌机搅拌时间不应少于 10min，且拌合物流化后继续搅拌不应少于 2min。

7 STC 拌合物的坍落度，应在搅拌地点和浇筑地点分别随机取样检测，每一工作班

不应少于两次。评定时应以浇筑地点的测值为准。

8 STC 的运输宜采用混凝土搅拌运输车或泵送方式输送。运输过程中应保证拌合物均匀, 不产生分层、离析。

9 浇筑前, 应对钢桥面板表面及边界接缝处混凝土面进行洒水润湿, 但不得有积水。

10 STC 布料应均匀、连续, 并符合下列规定:

- (1) 宜采用专用布料机均匀、准确布料;
- (2) 无专用布料机时, 应采用泵车布料。布料时, 应及时移动泵杆, 保证布料均匀;
- (3) 不宜采用翻斗车直接卸料的方式进行布料;
- (4) 布料松铺系数宜控制在 1.0~1.1 之间。

11 STC 振实应保证混凝土密实、纤维分布均匀。避免出现拌合物离析、分层以及纤维裸露出结构表面等情况。并应符合下列规定:

- (1) 宜采用专用高频振动整平机; 无专用振动整平机时, 可采用振动梁;
- (2) 宜采用高频平板振动器、手执式振动器作为振捣辅助设备、工具; 不得采用人工插捣方式振捣;
- (3) 摊铺前, 应根据摊铺厚度、塌落度大小, 通过工艺试验确定摊铺速度、振动频率及振动时间;

(4) 摊铺过程中, 应派专人进行摊铺厚度检查并及时反馈, 必要时进行修正。

12 STC 浇筑过程中的抹面宜采用搭设于两侧轨道上的工作台车作为工作平台, 人员在工作台车上进行抹面作业。抹面后混凝土表面应无刮痕痕迹。在抹面过程中, 用铝合金直尺检测成型后的表面平整度, 检测结果应符合规定要求。

15.12.6 STC 湿接缝浇筑应符合下列规定:

- 1 应严格按设计要求设置接缝。
- 2 浇筑 STC 前应在接缝位置设置竖向模板。模板安放后板身应稳固、竖直。
- 3 湿接缝浇筑前, 应对接缝面进行凿毛处理。凿毛施工应符合以下规定:
 - (1) 接缝凿毛断面上应有大量钢纤维裸露在外, 并无遗留松散残渣和屑末;
 - (2) 凿毛宽度不应小于 2cm;
 - (3) 浇筑 STC 前, 应对凿毛面进行洒水湿润, 但不能有积水。
- 4 对于设置异型加强钢板的 STC 接缝, 加强钢板的焊接施工应满足以下规定:
 - (1) 焊接加强钢板前, 应确保该区域的钢桥面板平整、光滑、洁净;

(2) 加强钢板在其周边通过角焊缝与钢面板连接, 宜采用间断焊缝;

(3) 焊接施工完成后, 应清除接缝区域的焊渣等杂物。

5 湿接缝 STC 浇筑的要求应符合本规程 15.12.5 的规定。

15.12.7 STC 养护应符合下列规定:

1 STC 养护应包括摊铺后的保湿养护和终凝后的高温蒸汽养护。

2 STC 摊铺完成后, 应及时喷水雾使已浇筑完成的混凝土面保持湿润状态, 并及时用养生薄膜覆盖进行保湿养护, 并应符合下列规定:

(1) 养生薄膜应搭接铺设, 搭接位置宜采用方木或砂粒覆盖, 搭接宽度应大于 20cm;

(2) 覆盖养生薄膜时, 不应损坏 STC;

(3) 保湿养护过程中, 应加强巡查力度, 发现有缺水部位时, 应及时补水养护;

(4) STC 终凝后 (一般为 48 小时), 即应撤除养生薄膜并开始高温蒸汽养护。

3 高温蒸汽养护宜采用蒸汽锅炉、蒸汽管道和蒸汽养护棚等设备, 并应符合下列规定:

(1) 养护前, 应根据养护面积计算好蒸汽锅炉功率、架子和保温棚的规格、数量;

(2) 养护前, 应根据现场条件和养护要求确定架子搭设、锅炉布置及养护方案;

(3) 蒸汽养护棚应具有足够的强度、刚度、稳定性和密封性, 顶面不应积水;

(4) 养护过程中温度控制宜采用自动控制系统。应合理设置监控点, 确保能有效监控蒸汽养护棚内温、湿情况;

(5) 养护温度在 $80^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ 时, 养护时间不应少于 72h。养护温度在 90°C 以上时, 养护时间不应少于 48h。养护相对湿度不应低于 95%;

(6) 蒸汽高温养护时的升温阶段, 升温速度不应大于 $12^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。养护结束后, 降温速度不应大于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$;

(7) 对于 STC 分幅、分段施工, 蒸汽养护棚覆盖范围至少应超过接缝 2m。

15.12.8 STC 表面糙化处理应符合下列规定:

1 STC 表面糙化处理后, 其层间抗剪强度和抗拉拔强度应符合设计要求。

2 采用抛丸法糙化 STC 表面时应符合下列规定:

(1) 抛丸施工前应通过试验确定 STC 表面的粗糙度指标;

(2) 抛丸施工前应清除 STC 表面的油渍、锈迹、杂物, 积水等杂质, 确保桥面干燥、洁净;

(3) 大面积抛丸施工前应通过抛丸工艺试验, 确定最佳丸料规格、丸料流量即最佳电机负载、抛丸设备行走速度等关键工艺参数;

(4) 抛丸过程应连续作业, 如因特殊原因造成抛丸停机, 在下次重抛之前应将机器倒退 30cm 左右, 再重新开始抛丸, 待机器行走过去后, 应及时检查搭接区域抛丸质量, 如有遗漏再进行补抛;

(5) 抛丸施工时, 抛丸设备两次施工行车道之间需搭接 1cm~5cm 宽度;

(6) 抛丸后应清洗桥面, 确保 STC 表面具有良好的清洁度, 无浮灰、浮浆、碎屑等杂物; 并对桥面进行保护, 避免二次污染桥面;

(7) 在面层施工前, 抛丸施工不宜过早进行。如过早进行, 不利于裸露钢纤维的防锈蚀。

15.13 薄层环氧施工

15.13.1 基本规定

1 薄层环氧铺装施工应选择具有相关工程经验的技术人员和具有专业机具设备的单位来完成。钢桥面机动车道铺装施工时应有相关工程经验第三方进行质量监控。

2 薄层环氧铺装施工应有详细的施工组织设计, 施工完成前应对相关工艺的施工人员进行培训, 并建立质量管理与控制体系。

3 薄层环氧铺装施工前应对施工路段实行封闭, 并采取必要的施工安全措施。施工时应安排专人管理和指挥施工机械与人员通行, 确保施工安全, 避免施工机械和人员污染已经处理过的钢桥面、混凝土等基面, 保证工作基面洁净和干燥。

4 对于工程量大的项目, 在正式施工前应进行不少于 50m² 的试验段施工, 以检验各工序控制的正确性和人员安排的合理性。

5 铺装施工工期安排应尽可能避开雨季施工。施工中遇雨必须立即停工, 下雨后宜最少 3 天后经湿气检测证实基面干燥无潮气后才能重新施工。

15.13.2 施工工艺

1 薄层环氧防滑铺装的主要施工工艺流程如下: 基层表面预处理→设置施工边界→环氧胶黏剂配比与搅拌→摊铺环氧胶→撒布骨料→固化, 回收浮粒→再次进行薄层环氧铺装→面固化, 回收浮粒→开放交通。

2 钢板表面除锈处理

(1) 应选用全自动无尘抛丸设备进行表面处理。抛丸时应同时检查钢板的清洁度与

粗糙度,要求清洁度达到 Sa2.5 级,粗糙度达到 $30\sim 100\ \mu\text{m}$;对抛丸机处理不到的地方采用喷砂与人工打磨的方式辅助处理,人工打磨后,应用小型切割机在钢板上“井”字式划痕,以保证铺装层与钢板的粘结性能。

(2) 在钢板除锈前应测量大气温度,湿度及钢板温度,要求大气相对湿度小于 85%,钢板温度高于露点温度 3°C 以上。且钢板温度低于 13.5°C 时不得进行处理。

(3) 应在除锈后 4 小时内完成钢板上底层铺装,以对除锈后的钢板进行密封保护,铺装前用特定溶剂对钢板进行闪锈处理并短暂改变钢板张力性能。

3 设置施工边界:基面处理并打扫清洁后,采用胶带分区,圈定施工区域。

4 环氧胶黏剂配比与搅拌:将环氧胶黏剂 A,B 组分按规定的配比放入容器,用手持式搅拌设备搅拌,搅拌头须为螺带式叶片。搅拌速度应为 300-400 转/分钟,须搅拌 3-4 分钟。

5 摊铺环氧胶黏剂:将搅拌均匀的胶黏剂倾倒入施工区,采用橡胶齿耙对环氧胶黏剂进行摊铺,铺满整个施工区域。环氧胶黏剂用量为 $1.0\text{L}/\text{m}^2\sim 1.2\text{L}/\text{m}^2$,按搅拌胶的体积除以施工面积来控制。

6 搅拌后胶黏剂的有效使用时间为 15~30 分钟。摊铺过程中应严格控制时间,避免环氧由于初凝而失去活性。

7 撒布骨料:将环氧胶黏剂刮涂均匀并自流平后 5-15 分钟后开始撒布骨料,将骨料用专用喷撒车或人工的方式均匀撒布在胶黏剂上,直至胶黏剂被骨料完全覆盖,不得有漏撒、撒布不均匀等现象。当有胶黏剂渗透过骨料时,继续覆盖,直到撒布面无环氧渗出,使骨料与胶黏剂充分结合,且密实。骨料撒布量为不少于 $5\text{kg}/\text{m}^2$ 。

8 在环氧胶黏剂初步固化并失去流动性,强度尚未完全形成时人工取出胶带。以防止环氧胶黏剂完全固化后,胶带与环氧凝固在一起污染分界面。收残余骨料

9 待铺装层固化 3-4 小时后,可使用清扫机械与人工相结合的方式对浮粒进行回收清扫,并采用高压无油压缩空气吹除表面浮粒。

10 可按 3 至 9 进行多层薄层环氧铺装施工直至达到相应的厚度要求。

11 待全部工作面施工完毕,即可撤除所有警示工具及设备,开放交通。

15.13.3 施工质量管理与检查验收

1 桥面铺装施工必须得到开令后方可施工。

2 施工过程中应由专门的质量检查机构负责施工质量的检查与试验。

3 施工单位在施工过程应应对施工材料及施工质量进行自检，监理单位和质量监督单位进行抽检，并对施工单位的自检结果进行认定。当发现有异常时，应追加检查。检查项目及频率见表 15.13.3-1。

表 15.13.3-1 施工检查项目及频率

检测项目		技术要求	检测频率	检测方法
环氧胶黏剂	粘度	1.0~5.0 Pa.s	1 次/批	GB/T 10247
	凝胶时间（25℃）	15-30 min	1 次/批	GB/T 1728
	抗拉强度	≥10 MPa	1 次/批	GB/T 1040
	断裂伸长率	≥45%	1 次/批	GB/T 1040
	与钢板粘结强度（25℃）	≥10MPa	1 次/批	拉拔试验
骨料	粒径	1-5mm	1 次/批	JTG E42-2005 T0327
	莫氏硬度	≥6 级	1 次/批	划痕法
	坚固性	≤5%	1 次/批	JTG E42-2005 T0340
	含水率	≤1%	1 次/批	JTG E42-2005 T0330
	小于 0.075mm 颗粒含量（水洗法）	≤1%	1 次/批	JTG E42-2005 T0310
钢板除锈	清洁度	Sa2.5 级	2 点/100 m ²	对比 GB8923-88 标准图片
	粗糙度	30~100 μm	2 点/100 m ²	塑胶贴纸法
混凝土表面处理		表面清洁，粗糙，无浮浆	2 点/100 m ²	目测
沥青路面表面处理		表面清洁，粗骨料裸露，无沥青膜裹附	2 点/100 m ²	目测
环氧胶用量		按设计值	1 点/100 m ²	消耗量/工作面
骨料用量		按设计值	1 点/100 m ²	消耗量/工作面
铺装厚度		按设计值	1 点/100 m ²	现场测量
施工温度		实测	1 点/200 m ²	现场测量
施工湿度		实测	1 点/200 m ²	现场测量

4 搅拌时应控制环氧 A、B 组分混合比例和搅拌速度，时间和均匀性。

5 摊铺时应控制环氧涂层的均匀性和涂布量。并多次测定气温，下卧层温度，材料温度以及空气相对湿度，还要测定露点温度，测量结果应记录在案。

6 对铺装层厚度的控制，除应量取摊铺厚度外，还应校验由每一天使用的材料总量与实际铺装的面积计算出的平均厚度。

7 施工单位的质量检查结果应及时反馈并整理成表。当发现异常时，应停止施工，分析原因并找出影响因素，采取具体措施加以解决，经监理单位同意后方可复工。

8 铺装施工的重要工序和部位应拍摄照片，并作为实态记录保存。

16 附属设施安装

城市钢桥附属设施通常包括支座、排水系统、伸缩缝、栏杆、护栏、路灯照明系统等设施。

16.1 支座安装

16.1.1 支座安装应符合下列基本要求：

- 1 支座的类型、规格和技术性能应满足设计要求和有关规范的规定，具有产品合格证，经验收合格后方可安装。
- 2 对先安装后灌浆的支座，灌浆材料性能应满足设计要求，灌注密实，不得出现空洞、缝隙。
- 3 支座上下各部件纵轴线应对正。当钢结构跨度较大时，安装温度与设计基准温度不同时，应通过计算设置支座顺桥向预偏量。
- 4 支座不得发生偏歪、不均匀受力和脱空现象。滑动面上的四氟滑板和不锈钢板不得有划痕、碰伤等，位置正确，安装前应涂上硅脂油。
- 5 支座与桥梁上、下部的连接应满足设计要求并符合施工技术规范的规定。
- 6 支座钢构件及连接件表面应按设计要求进行防护处理。

16.1.2 支座安装实测项目应符合表 16.1-1 和表 16.1-2 的规定。

表 16.1-1 支座安装实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	支座中心横桥向偏位（mm）		≤2	尺量：测每支座
2	支座中心顺桥向偏位（mm）		≤5	尺量：测每支座
3△	支座高程（mm）		满足设计要求； 设计未要求时±5	水准仪：测每支座中心线
4	支座四角高差 （mm）	承压力≤5000KN	≤1	水准仪：测每支座
		承压力>5000KN	≤2	

注：对直接安放于垫石上的支座，表中项次 4 不检查。

表 16.1-2 斜拉桥、悬索桥的支座安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1△	竖向支座的纵、横向偏位 （mm）	≤5	全站仪、钢尺：每支座纵、横各测 2 点

2△	支座高程 (mm)	± 10	水准仪：每支座测 5 处
3	竖向支座垫石钢板水平度 (mm)	≤ 2	水平仪、钢尺：每支座测 5 处
4	竖向支座滑板中线与桥轴线平行度 (mm)	1/1000 滑板长度	全站仪、钢尺：每支座测滑板中线两端
5	横向抗风支座支挡竖直度 (mm)	≤ 1	角度仪：每支座测 5 处
6	横向抗风支座与支挡表面 平行度 (mm)	≤ 1	卡尺：每支座测 5 处
7	支挡表面与横向抗风支座 表面间距 (mm)	± 2	卡尺：每支座测 5 处

16.1.3 支座安装外观质量应符合下列规定：

- 1 支座表面应无污损及灰尘，支座附近无建筑垃圾和其他杂物。
- 2 支座防护层应无划伤、剥落。
- 3 防尘罩应无缺失、无损坏。

16.2 伸缩装置安装

16.2.1 伸缩装置安装应符合下列基本要求：

- 1 伸缩装置种类、规格及技术性能应满足设计要求并符合有关规范的规定，具有产品合格证，并经验收合格后方可安装。
- 2 伸缩装置两侧预留槽口的尺寸和局部加强构造应满足设计要求，锚固钢筋应定位准确、无缺失并焊接牢固。
- 3 伸缩装置处不得积水。

16.2.2 伸缩装置安装实测项目应符合表 16.2 的规定。

表 16.2 伸缩装置安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度 (mm)	满足设计要求	尺量：测每道
2△	缝宽 (mm)	满足设计要求	尺量：每道每 2 米测 1 处
3	与桥面高差 (mm)	≤ 2	尺量：伸缩装置两侧各测 5 处

4	纵坡（%）	一般	±0.5	水准仪：每道测 5 处
		大型	±0.2	
5	横向平整度（mm）		≤3	3m 直尺：每道顺长度方向检查伸缩装置 及锚固混凝土各 2 尺
6	焊缝尺寸		满足设计要求；设计未要求时，按焊缝质量二级	量规：检查全部，每条焊缝检查 2 处
7△	焊缝探伤			超声法：检查全部

注：1.项次 2 应按安装时气温折算。

2.项次 6、7 应为工地焊缝。

16.2.3 伸缩装置安装外观质量应符合下列规定：

- 1 伸缩装置无渗漏、变形、开裂。
- 2 伸缩缝及伸缩装置中无阻塞活动的杂物。
- 3 焊缝无裂纹、焊瘤、夹渣、未焊透、电弧擦伤。
- 4 锚固混凝土表面不应存在外观质量缺陷。

16.3 排水管安装

16.3.1 桥面排水设施的设置应符合设计要求，排水管应畅通无阻。

16.3.2 桥面泄水口应低于桥面铺装层 10～15 mm；落水管安装应牢固可靠，与铺装层及防水层之间结合密实，无渗漏现象；金属落水管应进行防腐处理。

16.3.3 落水管下端至少应伸出构筑物底面 100～150mm。落水管宜通过竖向管道直接引至地面或雨水管线，其竖向管道应采用抱箍、卡环、定位卡等预埋件固定在结构物上。

16.3.4 桥面泄水口位置允许偏差应符合表 16.3 的规定。

表 16.3 桥面泄水口位置允许偏差

项目	允许偏差mm	检验频率		检验方法
		范围	点数	
高程	0；－10	每孔	1	用水准仪测量
间距	±100		1	用钢尺量

16.4 栏杆安装

16.4.1 栏杆安装应符合下列基本要求：

- 1 应采用验收合格的栏杆及其他构件。

2 栏杆应在人行道板铺完后方可安装。

3 栏杆安装应牢固，其杆件连接处的填缝料应饱满平整，强度应满足设计要求。

16.4.2 栏杆安装实测项目应符合表 16.4 的规定。

表 16.4 栏杆安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	栏杆平面偏位 (mm)	≤ 4	全站仪、钢尺：每 200m 测 5 处
2	扶手高度 (mm)	± 10	水准仪、尺量：抽查 20%
	柱顶高差 (mm)	≤ 4	
3	接缝两侧扶手高差 (mm)	≤ 3	尺量：抽查 20%
4	竖杆或柱纵、横向垂直度 (mm)	≤ 4	铅锤法：抽查 20%，每处纵、横向个测 1 处

16.4.3 栏杆安装外观质量应符合下列规定：

1 杆件接缝处应无开裂。

3 栏杆线形应无异常突变。

16.5 钢护栏安装

16.5.1 钢桥上钢护栏安装应符合下列基本要求：

1 钢护栏各构件、零件应经验收合格后方可安装。

2 应按设计要求的施工阶段安装护栏。

3 护栏防护及端头、断缝处理应满足设计要求。

16.5.2 钢桥上钢护栏安装实测项目应符合表 16.5 的规定。

表 16.5 钢护栏安装实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	平面偏位 (mm)	≤ 4	全站仪、钢尺：每 200m 测 5 处
2	立柱中距 (mm)	± 10	尺量：抽检 10%
3	立柱纵、横桥向垂直度 (mm)	≤ 2	铅锤法：抽检 10%
4	横梁高度 (mm)	± 5	尺量：抽检 10%
5	与底座连接焊缝探伤	满足设计要求	按设计要求的方法检查，设计未要求时采用超声法探伤；抽检 20%，

			且不少于 3 条
--	--	--	----------

16.5.3 钢桥上钢护栏安装外观质量应符合下列规定：

- 1 焊缝应无裂纹、焊瘤、夹渣、电弧擦伤及设计不允许出现的外观缺陷。
- 2 防护层损伤应修复。

16.6 照明安装

16.6.1 灯柱、灯杆的电气装置及其接地装置必须符合设计要求，并符合相关的国家现行标准。

16.6.2 灯柱底座应提前安装。底座设置在混凝土护栏上或混凝土桥面板上时，可在施工混凝土时预埋；底座设置在钢桥面上时，底座宜在梁段加工时焊接至钢主梁上。

16.6.3 底座位置和高程应符合规范要求。灯柱安装时用吊车将灯杆吊起，对接在底座上用螺栓连接牢固。灯柱安装应保证灯柱的竖直度。

17 钢结构分部检验评定

17.1 基本规定

17.1.1 城市钢桥钢结构分部工程质量检验评定应按分项工程、分部工程逐级进行。

17.1.2 分部工程、分项工程应在施工准备阶段按表 17.1.2 进行划分。

表 17.1.2 分部、分项工程划分表

序号	分部工程	子分部工程	分项工程
1	桥跨承重结构	钢索塔	钢塔制作、钢塔安装、钢塔防护涂装
2		钢梁	钢板梁制作、钢桁梁制作、钢箱梁制作、钢梁安装、顶推施工梁、钢梁防护
3		拱桥钢拱肋	钢拱肋制作、钢拱肋安装、转体施工拱、劲性骨架安装、钢拱肋防护
4		斜拉桥钢主梁	钢箱梁制作、组合梁钢梁制作、支架上安装钢箱梁、悬臂拼装钢梁、钢梁防护
5		悬索桥钢加劲梁	加劲梁制作、加劲梁安装、加劲梁防护
6	附属工程及桥梁总体		支座安装、伸缩装置安装、栏杆安装、钢护栏安装、桥梁总体等
7	桥面系		防水层、防水粘结层、沥青混合料铺装、混凝土铺装（模板、钢筋、混凝土）

17.1.3 城市钢桥钢结构分部工程质量检验评定应符合下列规定：

- 1 分项工程完工后，应根据本规程进行检验，对工程质量进行评定。
- 2 分部工程完工后，应汇总评定所属分项工程质量资料，检查外观质量对工程质量进行评定。
- 3 隐蔽工程在隐蔽前，应由施工单位通知监理工程师和相关单位进行隐蔽验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件。隐蔽工程检查记录可按表 17.1.3 进行。

表 17.1.3 隐蔽工程检查记录

年 月 日

编号：

隐检编号		委托单位	
工程名称		施工单位	
隐检部位			
隐检内容			

检查情况					
处理意见					
签字	设计单位	建设单位	监理单位	施工单位	记录人

17.2 工程质量检验

17.2.1 分项工程应按本规程进行质量控制，对实测项目、外观质量和质量保证资料等检验项目分别检查。

17.2.2 分项工程质量应在所使用的原材料、半成品、成品及施工控制要点等符合本规程的规定，无外观质量限制缺陷且质量保证资料真实齐全时，方可进行检验评定。

17.2.3 实测项目检验应符合下列规定：

- 1 对检查项目按规定的检查方法和频率进行随机抽样检验并计算合格率。
- 2 本规程规定的检查方法为标准方法，采用其他高效检测方法应经比对确认。
- 3 应按式（17.2.3）计算检查项目合格率：

$$\text{检查项目合格率}(\%) = \frac{\text{合格的点(组)数}}{\text{该检查项目的全部检查点(组)数}} \times 100 \quad (17.2.3)$$

17.2.4 检查项目合格判定应符合下列规定：

- 1 关键项目的合格率应不低于 95%，否则该检查项目为不合格。
- 2 一般项目的合格率应不低于 80%，否则该检查项目为不合格。
- 3 有规定极值的检查项目，任一单个检测值不应突破规定极值，否则该检查项目为不合格。

17.2.5 外观质量应进行全面检查，并满足规定要求，否则该检验项目为不合格。

17.2.6 工程应有真实、准确、齐全、完整的施工原始记录、试验检测数据、质量检验结果等质量保证资料。质量保证资料应包括下列内容：

- 1 所用原材料、半成品和成品质量检验结果；主要包括：钢材复验、焊材复验、高

强度螺栓连接副复验、涂装材料复验等。

- 2 隐蔽工程施工记录和桥梁施工监控资料；
- 3 质量控制指标的试验记录和质量检验汇总图表；
- 4 施工过程中遇到的非正常情况记录及其对工程质量影响分析评价资料；
- 5 施工过程中如发生质量事故，经处理补救后达到设计要求的认可证明文件等。

17.2.7 检验项目评为不合格的，应进行整修或返工处理直至合格。

17.3 工程质量评定

17.3.1 工程质量等级应分为合格与不合格。

17.3.2 分项工程、分部工程质量评定应有符合表 17.3.2 规定的资料。

表 17.3.2-1 分项工程质量检验评定表

分项工程名称：工程部位：（桩号、墩台号、孔号）所属建设项目（合同段）：

所属分部工程名称：所属单位工程：施工单位：分项工程编号：

基本要求		1. 2.															
实 测 项 目	项次	检查项目	规 定 值 或 允许偏差	实测值或实测偏差值										质量评定			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平 均 值、代 表值	合 格 率 (%)	合 格 判 定	
外观质量													质量保证资料				
工程质量等级评定																	

检验负责人：检测：记录：复核：年 月 日

表 17.3.2-2 分部工程质量检验评定表

分部工程名称：工程部位：（桩号、墩台号、孔号）

所属单位工程：

所属建设项目（合同段）

施工单位：分项工程编号：

分项工程			备注
分项工程编号	分项工程名称	质量等级	
外观质量			
评定资料			
质量等级			
评定意见			

检验负责人：

记录：

复核：

年 月 日

17.3.3 分项工程质量评定合格应符合下列规定：

-
- 1 检验记录应完整。
 - 2 实测项目应合格。
 - 3 外观质量应满足要求。

17.3.4 分部工程质量评定合格应符合下列规定：

- 1 评定资料应完整。
- 2 所含分项工程及实测项目应合格。
- 3 外观质量应满足要求。

17.3.5 评定为不合格的分项工程、分部工程，经返工、加固、补强或调测，满足设计要求后，可重新进行检验评定。

附录 A 原材料复验规程

A.1 检验频率

A.1.1 进场钢材的应根据同批钢材量来确定检验批量的标准值，每个检验批抽取一个试件进行化学分析和力学性能的试验。同批应由同一厂家、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。若订货为探伤钢板，尚应抽取每种板厚的 10%（至少一块）进行超声波探伤。

A.1.2 加工单位首次使用的焊接材料应进行化学成分和熔敷金属力学性能检验；连续使用的同一厂家、同一型号的焊接材料，实芯焊丝逐批进行化学成分检验，焊剂逐批进行熔敷金属力学性能检验，药芯焊丝和焊条每一年进行一次熔敷金属力学性能检验。

A.1.3 圆柱头焊钉进厂后按照生产批号逐批复验，每批抽样 3 套。

A.1.4 高强度螺栓连接副按其生产批号逐批复验，每批抽样 8 套。

A.1.5 环槽铆钉连接副按其生产批号逐批复验，每批抽样 8 套。

A.1.6 涂装材料（含铝丝）按生产批号逐批进行抽样复验，同一批号抽取样品一个。

A.2 检验项目

A.2.1 钢材检验项目

- 1 审核生产厂家提供的《质量证明书》和质量检验试验资料；
- 2 化学成分：复验 C、Si、Mn、P、S 元素含量；
- 3 力学性能：屈服强度 R_{el} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A、弯曲（ 180° ）、冲击功 KV2、断面收缩率（Z 向性能钢）、屈强比；
- 4 超声波探伤：对于有探伤要求的钢板；

5 Z 向拉伸检测：对于有 Z 向拉伸要求的钢板。

A.2.2 焊接材料复验项目

- 1 审核生产厂家提供的《质量证明书》和质量检验试验资料；
- 2 药芯焊丝：检验熔敷金属的化学成分（复验 C、Si、Mn、P、S、Ni 元素含量）和力学性能（屈服强度 R_{el} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A、冲击功 KV2）；
- 3 手工焊条：检验熔敷金属的化学成分（复验 C、Si、Mn、P、S、Ni 元素含量）和力学性能（屈服强度 R_{el} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A、冲击功 KV2）；
- 4 埋弧焊焊丝：检验焊丝化学成分（复验 C、Si、Mn、P、S、Ni 元素含量）和熔敷金属的力学性能（屈服强度 R_{el} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A、冲击功 KV2）；
- 5 埋弧焊焊剂：化学成分（复验 P、S 元素含量）。

A.2.3 圆柱头焊钉复验项目

- 1 化学成分：复验 C、Si、Mn、P、S、 Al_t 元素含量；
- 2 力学性能：屈服强度 R_{el} 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A。

A.2.4 高强度螺栓连接副复验项目

- 1 审核生产厂家提供的《质量证明书》和质量检验试验资料；
- 2 楔负载试验；
- 3 螺母的保证载荷；
- 4 螺母硬度；
- 5 垫圈硬度
- 6 连接副扭矩系数（平均值和标准偏差）。

A.2.5 环槽铆钉连接符复验项目

- 1 审核生产厂家提供的质量证明书；
- 2 硬度；
- 3 拉脱力；

4 夹紧力。

A.2.5 涂装材料复验项目：

1 审核生产厂家提供的《质量证明书》和质量检验试验资料；

2 涂装材料具体复验项目如下：

(1) 无机硅酸锌车间底漆：干燥时间、附着力；

(2) 环氧富锌防锈底漆：不挥发物含量、不挥发物中的金属锌含量、附着力；

(3) 环氧云铁中间漆（厚浆型）：不挥发物含量、弯曲性、附着力；

(4) 环氧磷酸锌封闭底漆：不挥发物含量、干燥时间、附着力；

(5) 环氧沥青涂料：不挥发物含量、耐冲击性、附着力；

(6) 氟碳面漆：氟含量（主剂）、不挥发物含量、细度、耐冲击性、附着力；

(7) 无机富锌防锈防滑涂料：干燥时间、附着力；

(8) 铝丝：化学成分；

(9) 油漆商提供近期环氧富锌底漆耐盐雾试验检验报告，氟碳面漆耐人工加速老化性能的检验报告。

3 检验结果中如有某项指标存在争议时，应在该批涂装材料再随机抽取一个样品，重新进行检验。

条文说明：

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，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为供应商保证项目，不作为用户必检项围。

附录 B 钢材及加工缺陷的修补

B.0.1 缺陷的修补方法应符合表 B 的规定

表 B 超标缺陷修补方法

序号	缺陷种类	修补方法
1	钢材表面麻坑划痕等	深度为 0.3~1mm 时，可修磨匀顺（栓接面位置可不打磨）；深度超过 1mm 时，应在补焊后修磨匀顺。
2	钢材边缘局部的层状裂纹	深度不超过 5mm 时，可先按本规程第 4.9.12 条第 5、6 款的规定清除裂纹后补焊并修磨。
3	气割边缘的缺口（或崩坑）	深度为 2mm 以内的，用砂轮磨顺；超过 2mm 的，磨出坡口补焊后修磨匀顺。
4	焊缝裂纹及弯曲加工时产生的边缘裂纹	清除裂纹，按补焊工艺补焊后修磨匀顺。
5	电弧擦伤	深度不大于 0.5mm 的缺陷，用砂轮磨顺；深度大于 0.5mm 的缺陷，补焊后用砂轮磨平。
6	焊瘤	用砂轮磨掉或用气刨清除掉后修磨匀顺。

附录 C 钢材焊接工艺评定

C.1 一般要求

C.1.1 焊接工艺评定（以下简称“评定”）是编制焊接工艺的依据。

C.1.2 评定条件应与产品条件相对应，评定必须使用与产品相同的钢材及焊接材料。

C.1.3 制造厂应根据钢材类型、结构特点、接头形式、焊接方法、焊接位置等制订评定方案，拟定评定指导书，按本规程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必须进行评定，在同一制造厂已评定并批准的工艺，可不再评定；遇有下列情况之一者，应重新进行评定：

- 1 钢种改变；
- 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 $\pm 10\%$ 以上；
- 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在 -2mm~+6mm 以上）；
- 7 预热温度低于规定的下限温度 20°C 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漆而焊接时又不进行打磨的。

C.1.5 评定包括对接接头试验、熔透角接试验和 T 形接头试验。

C.2 试板

C.2.1 试板宜选用碳当量偏上限的母材制备。

C.2.2 对接接头、全熔透或部分熔透 T 形接头试板代表的板厚范围按表 C.2.2 执行。

表 C.2.2 对接接头、全熔透或部分熔透 T 形接头试板厚度（mm）

序号	试板板厚	产品板厚	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	$25 < t \leq 80$	$0.5t \leq \delta \leq 1.3t$	

C.2.3 T形接头埋弧自动焊试板可按每一焊脚尺寸在表 C.2.3 中选择一种盖、腹板厚度组合。

表 C.2.3 T型接头埋弧自动焊试板厚度（mm）

序号	焊脚尺寸	试板厚度	
		腹板	盖板
1	6.5×6.5	8~12	12~16
2	8×8	10~16	16~24
3	10×10	14~24	20~40
4	12×12	>20	>28

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、探伤要求确定。

C.2.5 试板的制作应符合本规程的技术要求。

C.3 检验及试验

C.3.1 焊缝的外观质量应符合本规程第 5.4.1 条的规定。

C.3.2 焊缝应全长进行超声波探伤，对接焊缝、熔透角焊缝质量等级应达到Ⅰ级，不熔透角焊缝质量等级应达到Ⅱ级。

C.3.3 样坯截取位置应根据焊缝外形及探伤结果，在试板的有效利用长度内作适当分布。试样加工前允许样坯冷矫正。

C.3.4 力学性能试验项目、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（个）

试件型式	试验项目	试样数量	试验方法
对接接头试件	接头拉伸试验	1	按 GB/T 2650~ 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	
熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	
	低温冲击试验	6	
	接头硬度试验	1	
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，可以用正、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 1.0mm 处各 3 个；如果接头为异种材质组合，熔合线外 1mm 分别取样。

3 板厚<12mm 的对接焊缝、焊缝有效厚度≤8mm 的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。

C.3.5 力学性能试验验收应符合下列规定：

1 当拉伸试验结果（屈服、抗拉强度及拉棒的伸长率）不低于母材标准值时，则判为合格；当试验结果低于母材标准值，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若试验结果不低于母材标准值，则仍可判为合格，否则，判为不合格。

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，则判为合格；当试验结果未满足上述要求，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若试验结果满足上述要求，则仍判为合格，否则，判为不合格。

3 各种钢材焊接接头的冲击功应符合表 C.3.5 的规定。若冲击试验的每一组（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，则判为合格；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，且低于规定值的试验结果不多于 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），则可仍判为合格，否则，判为不合格。

表 C.3.5 焊接接头的冲击功规定值

钢材牌号	Q345q			Q370q			Q420q		
质量等级	C	D	E	C	D	E	C	D	E
试验温度	0℃	-20℃	-40℃	0℃	-20℃	-40℃	0℃	-20℃	-40℃
对接焊缝和熔透角焊缝	34J			41J			47J		

注：1 试验温度可按照设计规定。

2 板厚≤20mm 的薄钢板接头冲击功规定值为 27J。

4 当焊接接头的硬度值不大于 HV380 时，则判为合格，否则，判为不合格。

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

C.3.6 每一评定应作一次宏观断面酸蚀试验，试验方法应符合现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验方法》GB 226 的规定；单道焊缝的成型系数应为 1.3~2.0。

C.4 焊接工艺评定报告

C.4.1 “评定”报告应包括下列内容：

- 1 母材和焊接材料的型（牌）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 焊缝外观及探伤检验结果；
- 5 力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果；
- 6 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板材质应与生产用钢板相同，按较厚板选用。

D.1.2 圆柱头焊钉的力学性能和化学成分应符合规定要求。

D.1.3 瓷环应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

D.1.4 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 级以上的钢种改变。
- 2 焊钉直径或焊钉端头镶嵌（或喷涂）稳弧脱氧剂的改变。
- 3 焊机与配套焊枪形式、型号与规格的改变。
- 4 瓷环材料与规格的改变。
- 5 焊接电流变化 $\pm 10\%$ 以上，焊接时间为 1s 以上时变化超过 0.2s 或 1s 以下时变化超过 0.1s。
- 6 焊钉伸出长度和提升高度的变化分别超过 1mm。
- 7 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规程第 5.4.2 条的要求，焊脚饱满。

D.2.3 圆柱头焊钉评定试验数量为 6 个，一组 3 个进行敲击 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 弯曲试验采用锤击圆柱头焊钉的方法，弯曲角度为 30° 。当焊钉焊脚未出现肉眼可见裂缝时，该焊钉焊缝判为合格，否则为不合格。弯曲试验的 3 个焊钉全部合格，则该组弯曲评定试验合格，若出现 2 个不合格，该组弯曲评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做，加倍补做的全部合格后，该组弯曲评定试验合格。

D.3.2 焊钉拉伸试验断裂在焊钉部位，且拉力载荷满足 GB/T 10433 的规定，则焊钉焊缝合格，否则为不合格。当 3 个焊钉焊缝全部合格时，则该组拉伸评定试验合格。若拉伸试验出现 2 个不合格，该组拉伸评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做试验，加倍补做的全部合格后，该组拉伸评定试验合格。

D.4 焊接工艺评定报告

D.4.1 “评定”报告应包括下列内容：

- 1 钢板、焊钉规格、化学成分和力学性能等；
- 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 结论。

附录 E 焊接接头超声波探伤质量要求

焊接接头超声波探伤方法和探伤结果分级应符合《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 的规定，并同时满足本附录的要求。

E.0.1 超声波探伤的距离-波幅曲线应符合表 E.1 的规定。

表 E.1 距离—波幅曲线灵敏度

焊缝质量等级		板厚（mm）	判废线	定量线	评定线
对接焊缝 I、II 级		10-46	φ 3×40-6db	φ 3×40-14db	φ 3×40-20db
		>46-80	φ 3×40-2db	φ 3×40-10db	φ 3×40-16db
全熔透角焊缝 I 级		10-80	φ 3×40-4db	φ 3×40-10db	φ 3×40-16db
			φ 6	φ 3	φ 2
角焊缝	部分熔透角焊缝	10-80	φ 3×40-4db	φ 3×40-10db	φ 3×40-16db
II 级	贴角焊缝	10-25	φ 1×2	φ 1×2-6db	φ 1×2-12db
		>25-80	φ 1×2+4db	φ 1×2-4db	φ 1×2-10db

注：1 角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其他孔形试块。
2 φ 6、φ 3、φ 2 表示纵波探伤的平底孔参考反射体尺寸。

E.0.2 缺陷评定

超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征，如有怀疑时应采取改变探头角度、增加探伤面、观察动态波形、结合结构工艺特征作判定，如对波型不能准确判断时，应辅以其他检验作综合判定。

最大反射波幅位于长度评定区（II 区）的缺陷，其指示长度小于 10mm 时按 5mm 计。
相邻两缺陷各向间距小于 8mm 时，两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

E.0.3 检验结果的等级分类

最大反射波幅位于长度评定区（II 区）的缺陷，根据缺陷指示长度和多个缺陷的累计长度按表 E.2 的规定进行分级。满足表 E.2 质量等级要求的判为合格；不满足表 B.2 质量等级要求的判为不合格。

表 E.2 长度评定区缺陷等级评级（mm）

评定等级	板厚	单个缺陷指示长度	多个缺陷的累积指示长度
对接焊缝Ⅰ级	10-80	t/4，最小可为8	在任意9t焊缝长度范围内不超过t
对接焊缝Ⅱ级		t/2，最小可为10	在任意4.5t焊缝长度范围内不超过t
全熔透角焊缝		t/3，最小可为10	
角焊缝		t/2，最小可为10	

最大反射波幅不超过评定线的缺陷，均评为Ⅰ级。

反射波幅位于弱信号评定区（Ⅰ区）的非裂纹性缺陷，均评为Ⅰ级。

超声波探伤判定为裂纹、未熔合、未焊透（对接焊缝）等危害性缺陷者，应判为不合格。

反射波幅位于判废区（Ⅲ区）的缺陷，无论其指示长度如何，应判为不合格。

E.0.4 缺陷限值应符合表 E.3 的要求。

表 E.3 缺陷限值

序号	缺陷名称	说明	缺陷限值
1	裂纹	除显微裂纹（ $hl\leq 1mm^2$ ）、弧坑裂纹（见序号2）以外的所有裂纹	不允许
2	弧坑裂纹		不允许
3	气孔及密集气孔	缺陷必须满足下列条件及限值： a) 投影区域或断裂面内缺陷总和的最大尺寸； b) 单个气孔的最大尺寸； ——对接焊缝； ——角焊缝； c) 单个气孔的最大尺寸	1% $d\leq 0.3s$ $d\leq 0.3a$ 3mm
4	局部密集气孔	密集气孔的整个区域应合计并计算下述两个区域（即：包含所有气孔的封闭区或以焊缠宽度为直径的圆）中面积较大者的百分比。 多孔区应当是局部性的，应当考虑隐戴其他种类缺陷的可能性。 缺陷必须满足下列条件和限值： a) 投影区域或断裂面内缺陷总和的最大尺寸； b) 单个气孔的最大尺寸； ——对接焊缝； ——角焊缝； c) 局部密集气孔的最大尺寸	4% $d\leq 0.3s$ $d\leq 0.3a$ 2mm

5	条形气孔 虫形气孔	长缺陷： ——对接焊缝； ——角焊缝；， 任何条件下，条形气孔、虫形气孔 的最大尺寸	不允许
		短缺陷： ——对接焊缝； ——角焊缝；， 任何条件下，条形气孔、虫形气孔 的最大尺寸	$h \leq 0.3s$ $h \leq 0.3a$ 2mm
6	固体夹杂（铜夹杂除 外）	长缺陷： ——对接焊缝； ——角焊缝；， 任何条件下，固体夹杂的最大尺寸	不允许
		短缺陷： ——对接焊缝； ——角焊缝；， 任何条件下，固体夹杂的最大尺寸	$h \leq 0.3s$ $h \leq 0.3a$ 2mm
7	铜夹杂		不允许
8	未融合		不允许
9	未焊透		不允许
10	咬边		$h \leq 0.5\text{mm}$

E.0.5 不合格的缺陷，应予返修，返修区域修补后，返修部位及补焊受影响的区域，应按原探伤条件进行复验，复探部位的缺陷应按本附录评定。

附录 F 涂料性能要求和试验方法

F.1 车间底漆

钢桥用车间底漆技术要求和试验方法见表 F.1。

表 F.1 钢桥用车间底漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标		试验方法
		含锌车间底漆	不含锌车间底漆	
1	在容器中状态	搅拌后无硬块，呈均匀状态		目测
2	不挥发物含量，%	40~60	35~55	GB/T 1725
3	不挥发份中的金属新含量，%	30~50	—	HG/T 3668
4	表干时间，min	≤5		GB/T 1728
5	焊接与切割	合格		GB/T 6747
6	弯曲与成型	合格		GB/T 6747

F.2 防锈底漆

钢桥用防锈底漆技术要求和试验方法见表 F.2。

表 F.2 钢桥用防锈底漆技术要求和试验方法

序号	项目		技术指标			试验方法
			无机富锌底漆	环氧富锌底漆	环氧磷酸锌底漆	
1	容器中状态		搅拌均匀后无硬块，呈均匀状态，粉料呈微小均匀粉末状态			目测
2	不挥发份中的金属新含量，%		≥80	≥70	——	HG/T 3668
3	耐热性，℃		400℃，1h 漆膜完整， 允许变色	250℃，1h 漆 膜完整，允许 变色	——	GB/T 1735
4	不挥发物含量，%		≥75		≥60	GB/T 1725
5	干燥 时间	表干，h	≤0.5	≤2		GB/T 1728
		实干，h	≤8	≤24		
6	附着力，拉开法，MPa		≥3	≥5		GB/T 5210
7	耐冲击性，cm		——	50		GB/T 1732
8	抗滑移 系数	初始时	≥0.55	——	——	GB/T 50250
		安装时（6 个月）	≥0.45			

F.3 环氧封闭漆

环氧封闭漆技术要求和试验方法见表 F.3

表 F.3 环氧封闭漆技术要求和试验方法

序号	项目		技术指标	试验方法
1	在容器中状态		搅拌后无硬块，呈均匀状态	目测
2	不挥发物含量，%		50-70	GB/T 1725
3	粘度，ISO—4 杯，秒		≤60	GB/T 6753.4
4	细度 μm		≤60	GB/T 6753.1
5	干燥 时间	表干，h	≤2	GB/T 1728
		实干，h	≤12	
6	附着力 MPa		≥5	GB/T 5210

F.4 环氧中间漆

环氧中间漆技术要求和试验方法见表 F.4。

表 F.4 环氧中间漆技术要求和试验方法

序号	项目		技术指标			试验方法
			环氧（厚浆）漆	环氧（云铁）漆	环氧玻璃鳞片漆	
1	在容器中状态		搅拌后无硬块，呈均匀状态			目测
2	不挥发物含量，%		≥75	≥75	≥80	GB/T 1725
3	干燥 时间	表干，h	≤4	≤4	≤4	GB/T 1728
		实干，h	≤24	≤24	≤24	
4	附着力 MPa		≥5			GB/T 1732
5	弯曲性，mm		≤2	≤2	/	GB/T 6742
6	耐冲击性，cm		50			GB/T 5210

F.5 耐候面漆

耐候面漆技术要求和试验方法见表 F.5。

表 F.5 面漆技术要求和试验方法

序号	项目		技术指标			试验方法
			丙烯酸脂肪族 聚氨酯面漆	氟碳面漆	聚硅氧烷 面漆	
1	不挥发物含量, %		≥60	≥55	≥70	GB/T 1725
2	溶剂可溶物氟含量, %		/	≥24 (优等品) ≥22 (一等品)	/	HG/T 3792-2006 中附录 B
3	细度, μm		≤35			GB/T 6753.1
4	干燥 时间	表干, h	≤2	≤2	≤2	GB/T 1728
		实干, h	≤24	≤24	≤24	
5	附着力 MPa		≥5			GB/T 1732
6	弯曲性, mm		≤2			GB/T 6742
7	耐冲击性, cm		50			GB/T 5210
8	耐磨性 500r/500g		≤0.06	≤0.05	≤0.04	GB 1768
9	硬度		≥0.6			GB/T 1730 B 法
10	附着力, MPa		≥5			GB/T 5210
11	适用期, h		≥5			HG/T 3792-2006 中 5.11
12	重涂性		重涂无障碍			HG/T 3792-2006 中 3.12

附录 G 碳弧气刨的缺陷与钢桥抗疲劳性能

碳弧气刨是目前国内常用的焊缝清根、开坡口、缺陷焊缝刨槽修复的工艺

碳弧气刨是使用石墨棒或碳棒与工件间产生的高温电弧热将金属熔化，同时用压缩空气将这些熔化金属吹掉，从而在金属上刨削出沟槽的一种热加工工艺。

但是在钢桥制造加工中大量采用碳弧气刨无论对产品质量、环境污染、人体伤害的负面影响必须充分引起重视：

碳弧气刨过程中，因急速加热和冷却以及局部的化学反应，在刨削表面及临近区产生增碳现象和热影响区，引起金相组织劣化和材质硬化。

碳弧气刨后，在刨槽表面由于金属高温熔化后被压缩空气急冷所形成产生一层硬脆且不容易清除的碳化铁硬化层，

由于碳棒材料主要由碳或石墨组成、操作不慎容易造成焊缝渗碳、夹碳现象而产生气孔和裂纹、影响焊缝质量，降低钢桥结构抗疲劳性能。

碳棒剥落的铜皮熔化后，还会在刨槽的表面形成铜斑、引起焊缝热裂纹

同时由于碳弧气刨所用碳棒采用沥青作粘结剂，因此碳弧气刨作业时，产生的有害气体中含有毒性较大的有致癌作用的苯并(a)芘，

同时碳弧气刨操作时还产生大量的烟雾、粉尘污染、噪音较大、弧光辐射。

因此本规程建议钢桥加工不宜采用碳弧气刨加工。尤其一级焊缝的反面清根和缺陷修复应采用角形铣刨机或磨光机清根、打磨。

附录 H 热铆与钢桥连接

钢结构的连接特别是钢桥的现场连接和分段总装连接的质量控制一直是困扰国内外广大钢桥设计及施工人员的难题。常用的焊接和栓接均各有弊端和不足，而热铆连接兼有焊接和栓接的优势，但传统的热铆工艺由于施工复杂、效率低而被渐忘渐远；但是用热铆技术制造的一座座寿星钢结构却以其悠久的历史 and 优良的品质不断提醒和嘲弄我们对传统工艺的遗弃。如何用现代科学技术对优秀的传统工艺进行革新和改造，让热铆技术这一历史瑰宝重放异彩，是新一代钢桥建设者的责任和使命。

目前钢结构的现场连接主要采用现场焊接、螺栓连接、铆合连接、销接这四种方法，以及由此衍生的栓焊结合、铆焊结合等工法。而销接仅作为一般临时结构施工或对变形要求不高的构件进行铰接使用，

连接方式	技术特点	连接质量	常见病害	后期养护	成本
焊接	1、通过加热使母材与熔敷金属熔合，本质是通过两种材料中的原子或分子间的扩散和结合成整体的过程 2、施工方便、工作效率高 3 受现场气候、环境、温度影响较大	1、焊接工艺和焊工水平直接影响其质量； 2、存在热影响区、残余应力、焊接变形； 3、会改变材料化学成分、降低材料物理性能。	1、疲劳裂纹 2、气孔 3、夹渣 4、未融合 5、咬肉、咬边	1、焊缝内部质量修复困难 2、返修会影响母材性能	低
栓接	1、几乎不受天气、环境、温度影响， 2、施工工艺及连接设备较简单； 3、连接安全可靠，传力均匀	1、易发生滑移、失效、松弛、不宜作为受振动、冲击构件的连接 2、不够美观 4、不会引起材料成分的相变；	1、螺栓摩阻力容易损失、降低、失效、摩擦面加工困难 2 长期振动荷载下易松动、滑移、变形、断裂 3、连接付制造成本高。	1、拆卸、安装方便 2、利于检修	高
铆接	1、工艺复杂，效率较低； 2、受天气影响小； 3、连接强度高。	1、连接强度高于栓接强度； 2、不存在热影响区、残余应力、焊接变形	1、铆孔充盈不足 2、铆头成型不规则。	铆杆切除困难	较低

自从 19 世纪初发明电弧焊接以后，就以其节约钢材、减轻自重、操作方便、密闭性好，能进行全位置焊接等优势成为钢结构制造的首选工艺，也是钢结构现场连接的主要手

段。但专业人士认为钢桥的现场连接采用电弧焊接的缺陷也是不容忽视和难以回避的。特别近年在役钢桥大量焊缝节点普遍出现的疲劳延迟裂缝已引起有关设计、科研、及广大施工人员的关注和审视

由于焊接是一个钢材局部的迅速加热和冷却的热循环过程，焊缝两侧母材和熔敷金属在焊接时会发生组织和性能变化，焊缝受到工件本体的约束而不能自由热胀冷缩，冷却后在焊件中便产生了焊接残余应力和残余变形，甚至出现脆化、淬硬 或软化现象，使结构性能和强度下降，且钢材强度越高，故影响越大。

1978~1981 年美国对其二十个州和加拿大安大略省的钢桥进行调查，81%的钢桥有疲劳裂纹存在，从桥梁建成通车到疲劳裂纹的出现，最长的 33 年，最短的 5 年，大多数是 10 多年时间

基于上述现场焊接的某些不足，钢桥现场连接也大量采用高强螺栓连接和栓焊结合的连接工艺。即通常所说的工厂焊接、现场栓接或现场栓焊组合的方法。虽然采用高强螺栓连接的连接副加工精度高、费用大，但是容易控制质量，且操作简便，生产效率高，连接安全可靠，传力均匀，不需大型专用设备，而得到设计和施工人员的广泛应用。但钢桥现场高强螺栓连接也有较明显的不足之处：

1、根据有关设计规范和经验，高强螺栓连接主要采用摩擦型连接，也就是以外剪力达到螺栓拧紧力所提供的与钢板接触面的最大摩擦力为极限值，因此一般摩擦型高强螺栓连接使用的抗滑移系数设计值较低（见下表），因此连接节点的螺栓用量较多，节点板和夹板面积大，摩擦面加工困难，从而增加用钢量、增加了工程费用。

高强螺栓连接使用的抗滑移系数设计值

在连接处构件接触面的分类	μ
没有浮锈且经喷丸处理或喷铝的表面	0.45
涂抗滑型无机富锌漆的表面	0.45
没有轧钢氧化皮和浮锈的表面	0.45
喷锌的表面	0.40
涂硅酸锌漆的表面	0.35
仅涂防锈底漆的表面	0.25

2、根据设计规范和实际施工情况，高强螺栓孔为普通孔隙型制孔，螺栓孔径与螺栓直径之间的孔隙率近 10%，见下表（高强度螺栓公称直径 d 与孔径 D 的对应关系），因此高强螺栓连接钢桥在长期振动或遇强震，以及长期剪力滞作用下容易发生滑移、失效、松弛而引起结构变形量大，影响甚至危及桥梁使用。

高强螺栓直径与开孔孔径的对应关系

螺栓直径 d	18	20	22	24	27	30
螺栓孔径 D	20	22	24	27	30	33

- 3、高强螺栓连接副质量要求高，制作成本大，用钢量多，现场连接成本增加。
- 4、高强螺栓连接的螺帽、螺母等均高出构件表面，既影响结构外观，又容易积水积灰。

铆接作为一种古老的连接方式一度在钢结构制造中被大量采用，其优点是通过铆钉与钢板的挤压、顶紧，使铆杆墩粗，同时铆杆在冷却时径向收缩增加连接板的摩阻力。因冷铆仅限于直径较小、钢板较薄、受力要求不高的构件，故在重要的结构中很少采用，大量使用的是热铆工艺，传统工艺将铆钉加热至一定温度后穿进连接钢板，然后通过外力将铆钉墩粗并通过击打钉模形成半圆形钉帽，使钢板进行过盈铆合，由于铆杆在铆合中墩粗，铆杆在冷却过程中径向收缩，会增加钢板间的压紧力，当构件受力时产生更大的摩阻力，能承受较大的冲击荷载和振动、相较焊接没有热影响区和残余应力及残余变形；相较高强螺栓连接节点强度更高、更耐冲击和振动、安全性能好、而且铆杆较高强螺栓加工简单、价格低廉兼有焊接和栓接的优势。国内外现存的大多数寿星钢结构，如建于法国的艾菲尔铁塔---国内上海的外白渡桥、天津的解放桥、兰州黄河大桥、 钱塘江大桥等均是铆合连接，包括现代的武汉长江大桥、南京长江大桥等也均采用的是铆接结构

由于铆接施工时铆钉加热困难、穿孔、施铆的劳动强度大，技术要求高，工作效率低，所以在大型钢结构施工中慢慢被焊接、栓接所替代。但正是因为热铆工艺的优越性能，从来就没有被广大科研、设计、施工人员所遗忘，不断用现代先进的科学技术和高科技和工艺进行改革和创新，并取得了突破，在有关领导和专家的指导下，由中国建筑金属结构协会、北京航空航天大学、西南交大、中铁大桥设计院、北京百善重工以及上海、江苏、深圳、济南等诸多单位的部分设计、研发、制造、施工单位联合攻关，经过多年不懈努力终于成功研制出成套智能热铆机系列样机，用以进行和完成钢桥和其他钢结构的热铆连接工程。

附录 I 抗疲劳钢桥面焊缝残余应力测试报告

一、 试件介绍

通过做“标准试板（以下简称试板）”、“等边 U 肋+顶板（以下简称试件）”两种试件来退火实验，然后通过“盲孔法”检测退火先后的应力变化，收集数据并分析退火对试件的焊接残余应力变化。

类别	序号	组别	热处理温度	试件名称（各 1 件）		
U 肋板和桥面角焊缝	1	T-N	不做热处理	TN-1	TN-2	TN-3
	2	T-620	热处理温度 620℃	T620-1	T620-2	T620-3
对接试板焊缝	1	B-N	不做热处理	BN-1	BN-2	/
	2	B-620	热处理温度 620℃	B620-1	B620-2	B620-3

➤ T-N 与 T-620 作为热处理试件对照组，B-N 与 B-620 作为热处理试板对照组。

1、U 肋与桥面角接焊缝试件

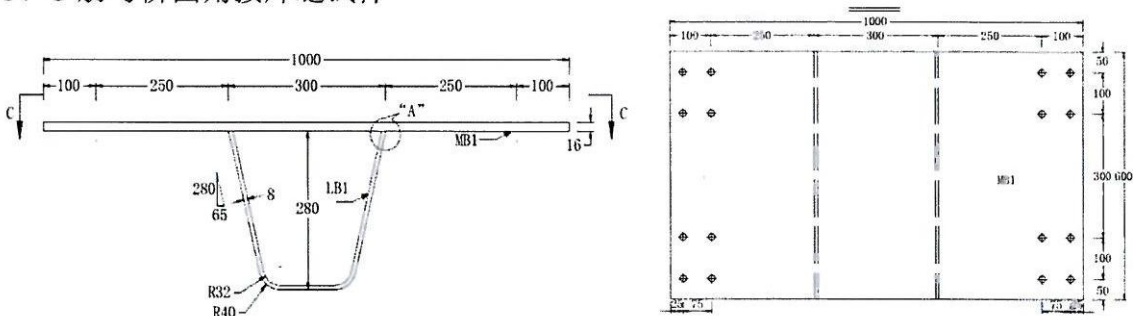


图 1.1 试件加工图

2、对接板，试板（焊后）规格：PL16*266*300。

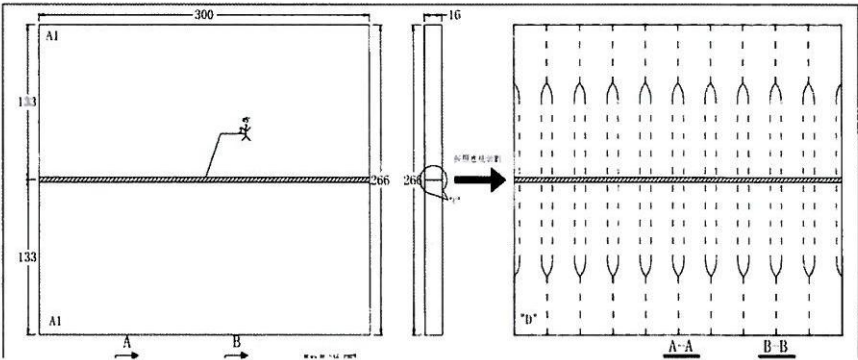


图 1.2 试板加工图

二、 测试方案

在测试焊接残余应力的过程中，默认平行于焊缝的同一水平线上的残余应力是一样的，因此在同一水平线上选取 2 到 3 个点进行测量。

假设热影响区为 10mm，由于热影响区的焊接残余应力相对于其他地方更大，所以应该着重测量热影响区的焊接残余应力。本次测试将先在桥面板一侧热影响区测试 3 组残余应力，分别在距离焊缝边缘为 2-3mm、4-5mm 的水平线上测试 2 组数据，每组测试 3 个点位，在热区边缘即距离焊缝边缘 10mm 的区域测试两组共 2 个点位。在母材区域，选取距离焊缝边缘 15mm、20mm 的水平线上每条水平线测试 1 组共两个点位的残余应力。在 U 肋上采取和桥面板上对称的距离进行测试，因此初步计划每条焊缝两侧测试 26 个点位，焊缝上根据焊缝的具体宽度等进行实际测试，预计测试 2 个点位。一条焊缝预计测试 28 个点，具体测试点位可根据实际过程中测量情况进行调整。

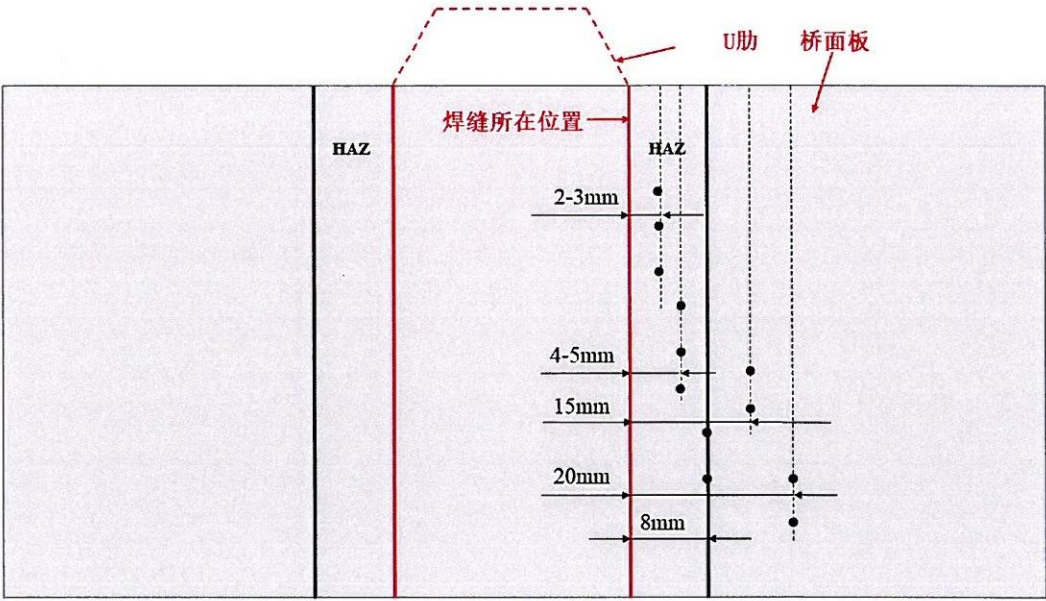


图 2.1 盲孔法钻孔位置分布方案

三、 测试过程

在桥面板试件焊接残余应力的测试中，为了避免测试结果的偶然性，选取了退火前的三个桥面板试件以及两块对接板作为测试对象，另外准备了退火后的三个桥面板试件和三块对接板作为退火后的测试对象，以此来对比退火前后的焊接残余应力。

首先，在焊缝两侧用手砂轮进行打磨以去掉表面铁锈和孔洞，在打磨出两块对称的长 300mm、宽 50mm 的光滑面后，在焊缝两侧按照之前制定的实验方案进行应变片的粘贴，其中由于焊缝平面为大致为 45° 的倾斜面，应沿着焊缝表面打磨光滑后粘贴应变片（如图 2 所示）。在粘贴完所有应变片后，将四根导线分别接入设备的对应的不同接口，调试好设备后进行测试，先记录下初始的应变值，然后进行钻孔，钻孔直径为 2mm、深度为 2mm 左右，钻孔后记录下释放了残余应力后的应变值，再根据盲孔法标准进行相应的转换，最终计算出纵向残余应力（平行于焊缝方向）以及横向残余应力（垂直于焊缝方向）。

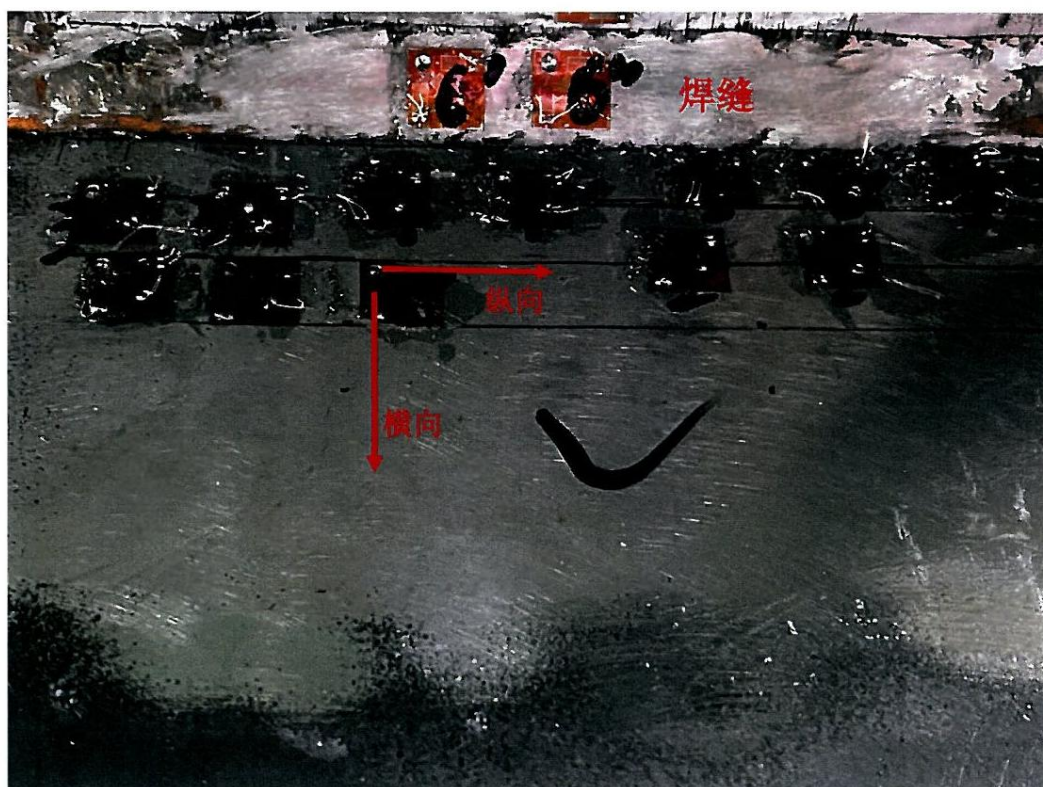


图 3.1 实际应变片的分布

四、测试数据

1. 桥面板试件应力变化趋势图

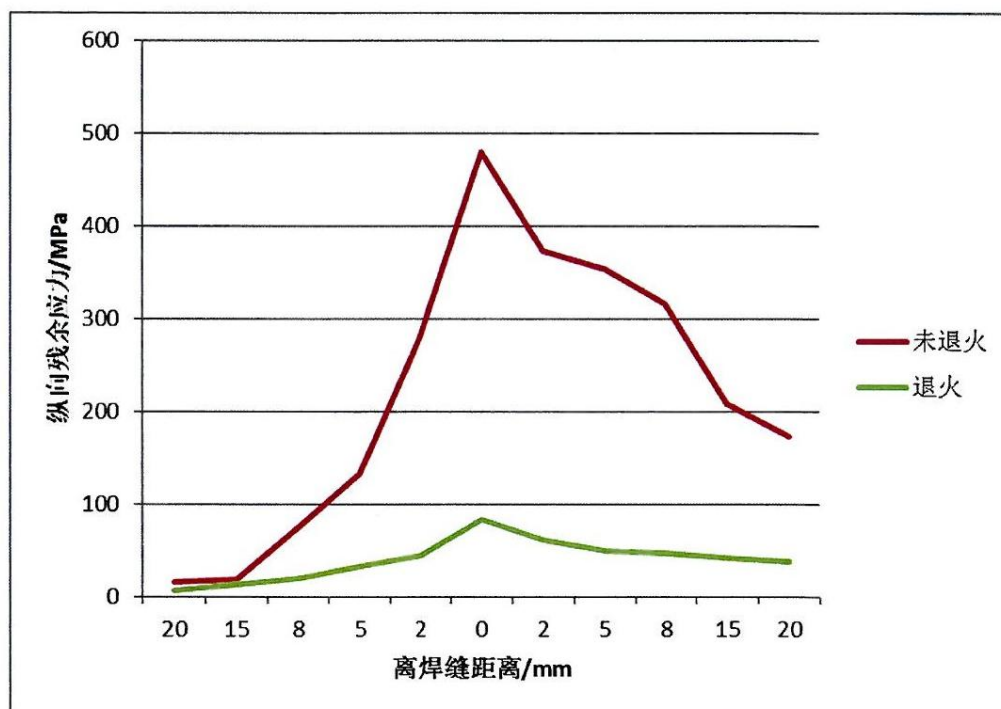


图 4.1 退火前后桥面板试件纵向残余应力变化

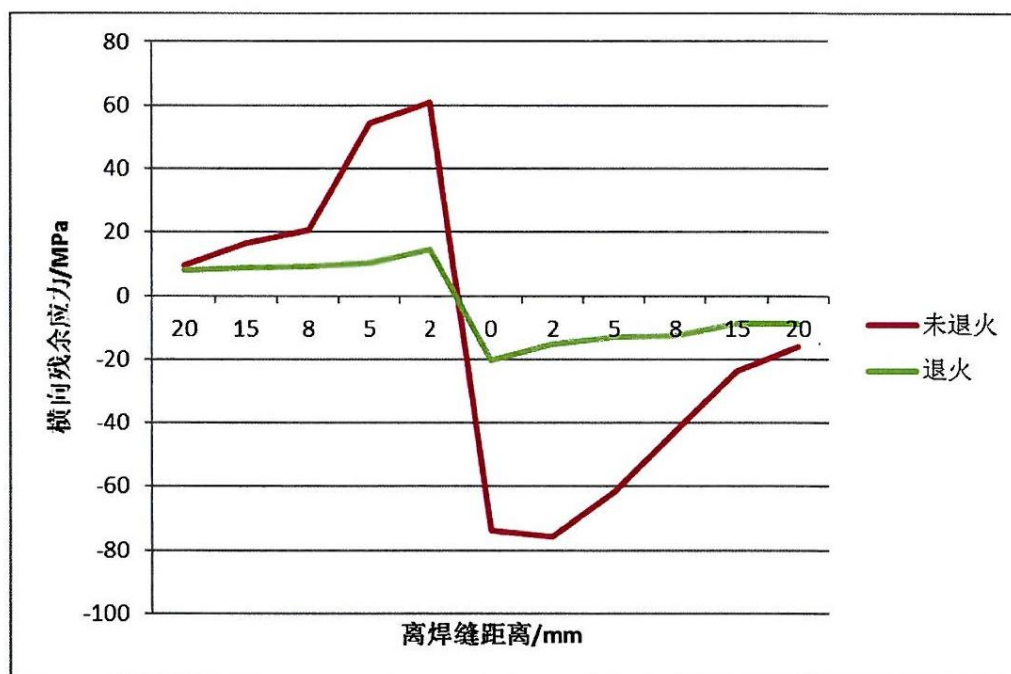


图 4.2 退火前后桥面板试件横向残余应力变化

2. 对接试板应力变化趋势图

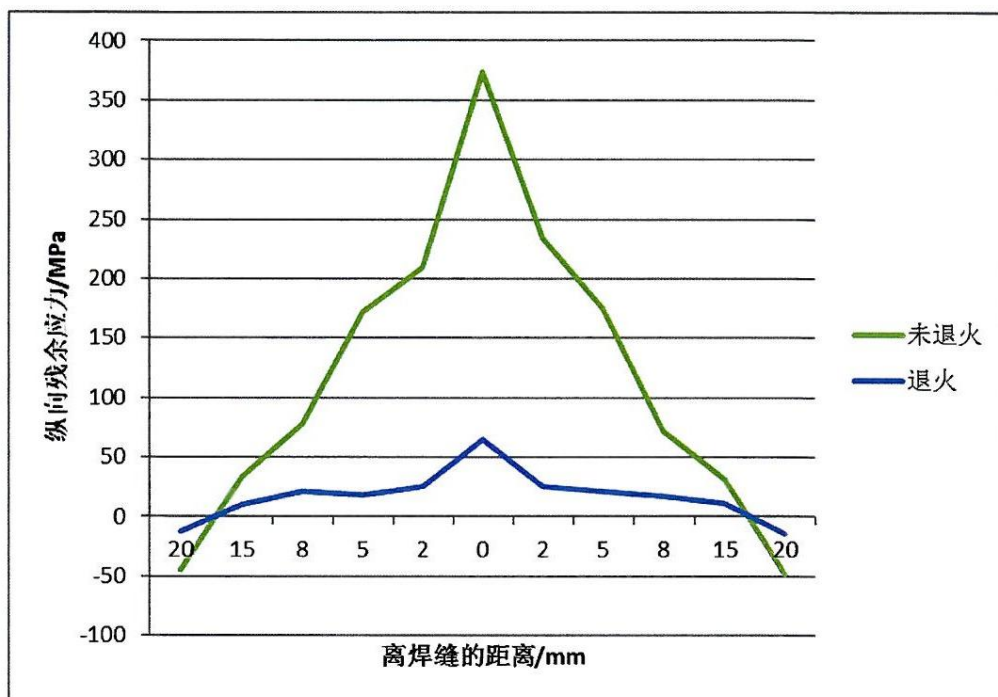


图 4.3 退火前后对接板纵向残余应力变化

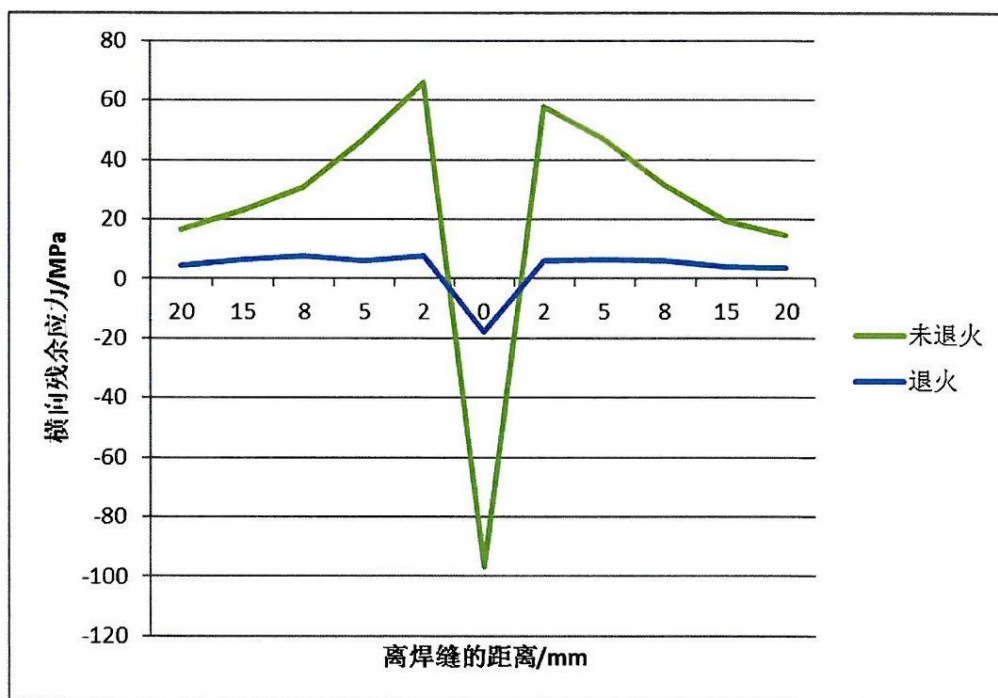


图 4.4 退火前后对接板横向残余应力变化

五、结果分析

通过分析上述测试结果，发现退火之后的试件，桥面板试件以及对接板的焊接残余应力都明显下降，并且残余应力越大的地方消除的量值越大，焊缝上以及焊接热影响区（距离焊缝 2mm 和 5mm 的位置）的纵横两个方向的焊接残余应力通过退火都可以消除 80%左右，而其他距离焊缝较远的区域，因为本身受焊接热变形不大，残余应力远小于焊缝和热影响区，所以通过退火消除的残余应力的量值不如焊缝和热区，大概在 50%。

附录 L 抗滑移系数试验方法

L.1 基本规定

L.1.1 检验批可按分部工程（子分部工程）所含高强度螺栓或高强度环槽铆钉用量划分：每 5 万套高强度螺栓或高强度环槽铆钉用量的钢结构为一批，不足 5 万套高强度螺栓或高强度环槽铆钉用量的钢结构视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种处理工艺应单独检验。每批 3 组试件。

L.1.2 抗滑移系数试验应采用双摩擦面的两栓或三栓拼接的拉力试件，如图 L.1.2 所示。

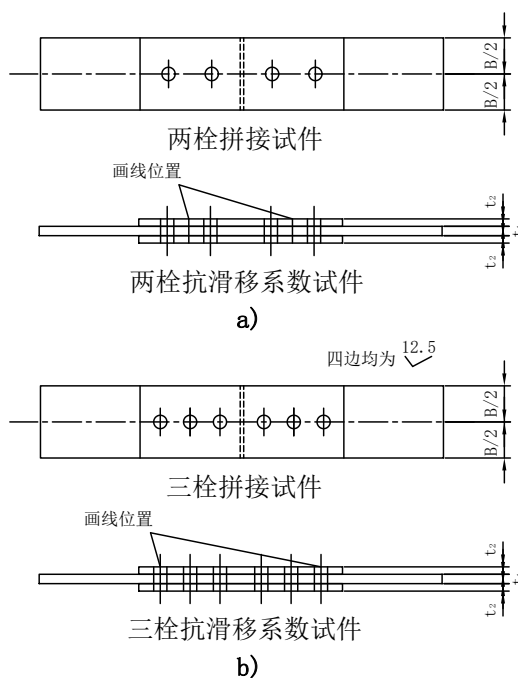


图 L.1.2 抗滑移系数试件图

L.2 试验方法

L.2.1 试验用的试验机误差应在 1% 以内。

L.2.2 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。

L.2.3 测定抗滑移系数的试件为拉力试件。

L.2.4 测定抗滑移系数的试件应有钢桥制造单位加工，试件与所代表的钢桥应为同一材质、同一批次制作，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。

L.2.5 测定抗滑移系数的试件为双面拼装试件，其试件尺寸如附录图 L.1.2 所示。

L.2.6 试件的钢板厚度 t_1 、 t_2 应为所代表的钢桥中有代表性部件的钢板厚度，试件的

宽度 B 应按表 L.2.6 确定。

表 L.2.6 抗滑移系数试件的宽度 (mm)

螺栓直径 d	16	20	22	24	27	30
板宽 B	100	100	105	110	120	120

L.2.7 试件加工应符合图 L.1.2 的规定。

L.2.8 试件板面应平整、无油污，孔边、板面无飞边、毛刺。

L.2.9 按图 L.1.2 所示进行试件组装，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 (0.95~1.05) P (P 为高强度螺栓设计预拉力)。

L.2.10 将试件装在试验机上，使试件的轴线与试验机夹具中心线严格对中，在试件侧面画直线，划线位置如图 L.1.2 所示，测出高强度螺栓预拉力实测值，然后进行拉力试验，平稳加载，加载速度为 3~5kN/s，拉至滑动测得滑动荷载 N。

L.2.11 在试验中发生以下情况之一时，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 试件侧面划线发生错动。

L.3 抗滑移系数的计算

抗滑移系数 M 按下式计算，取两位有效数字。

$$f = \frac{N}{m \cdot \sum P}$$

式中：

N—由试验机测得的滑动荷载 (kN，取 3 位有效数字)；

m—摩擦面数，取 m=2；

ΣP—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)。

附录 M 高强度螺栓施拧工艺

M.1 一般要求

M.1.1 高强度螺栓连接副的紧固宜采用扭矩法施工和“松扣、回扣法”检查、验收。若试验数据足够、准确的情况下也可采用“紧扣法”。

M.1.2 高强度螺栓连接副应按批号配套发运和使用，应有出厂质量保证书，不得改变螺栓的出厂状态。

M.1.3 高强度螺栓连接副不得重复使用。

M.1.4 雨雪天气不得进行螺栓施拧作业。雨雪后施工，应保证栓接板面干燥。

M.1.5 每套螺栓为一根螺杆、一个螺母、两个垫圈，并应配套使用。

M.1.6 高强度螺栓副终拧检查合格后方可根据设计要求和涂装工艺进行涂装。

M.1.7 高强度螺栓施拧作业应遵守相关安全规定。

M.2 高强度螺栓连接副和构件栓接面的保护、保管

M.2.1 高强度螺栓入库和现场存放时应清点检查，按包装箱上注明的规格、批号分类存放，要作好防潮、防尘工作，防止高强度螺栓表面状况改变和锈蚀。入库和现场使用时要建立库存明细表和发放登记表，加强管理。

M.2.2 高强度螺栓连接副应安排专人保管、分配和发放。保管人员对领取的螺栓应及时归集，以便于确定下一批螺栓的到货数量。

M.2.3 领取高强度螺栓时，应按照当天需要使用定额（含自定损耗量）的规格和数量进行领取。整箱领用，零数部分采用布袋装取，使用前不得拆除塑料包装。应指派专人领取高强度螺栓，搬运过程中要轻拿轻放，防止螺纹碰伤。

M.2.4 领用高强度螺栓不得以短代长或以长代短。

M.2.5 高强度螺栓严禁现场随地堆放，没有用完的高强度螺栓立即放入箱中封闭，禁止现场裸露过夜。

M.2.6 在吊装运输、存放过程中，应防止栓接面沾染脏物和油污。

M.2.7 栓接面和拼接板涂装前应去除毛刺、飞边，确保栓接面平整。

M.3 施工前准备

M.3.1 高强度螺栓应按附录 A 进行复验，按施工条件测取扭矩系数，扭矩系数平均值应在 0.110~0.150 范围内，其标准偏差应不大于 0.010，同时应记录测试环境温度等相关

数据。

M.3.2 扭矩系数试验过程以模拟现场施工的方式进行，高强度螺栓安装、拧紧、初拧和终拧应按安装施工过程规定的步骤进行测试，同时试验的环境、温度也应该尽可能与施工状态保持一致。

M.3.3 由于温度与湿度对扭矩系数有一定影响，当现场施工时温度与湿度变化较大时，应在施工前，重新测定扭矩系数，以便及时调整终拧扭矩。

M.3.4 工地扭矩系数测定，以试验平均值作为该批螺栓的扭矩系数来计算终拧扭矩。扭矩系数测定在轴力计上进行，每批 8 套，每一连接副只能试验一次，不得重复使用。

M.3.5 螺栓预拉力值 P 应控制在表 M.3.5 所规定的范围内，超出该范围者所测得扭矩系数无效。

表 M.3.5 高强度螺栓预拉力（KN）

序 号	性能 等级	螺纹规格	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
1	8.8S	设计预拉力 P	45	80	125	150	175	230	280
		施工预拉力 Pc	50	90	140	165	195	255	310
2	10.9S	设计预拉力 P	55	100	155	190	225	290	355
		施工预拉力 Pc	60	110	170	210	250	320	390

M.3.6 进行组装连接副时，螺母下的垫圈有倒角的一侧应朝向螺母支承面。试验时，垫圈不得发生转动，否则试验无效。

M.3.7 进行连接副扭矩系数试验时，应同时记录环境温度。试验所用的机具、仪表及连接副均应放置在该环境内至少 2h 以上。

M.3.8 对于损伤严重的栓接板面，应按相应涂装工艺重新处理。

M.3.9 高强度螺栓施拧前应检查确认板缝中无杂物。

M.3.10 参加施工的人员应接受技术培训，熟悉高强度螺栓施工的要点、程序及注意事项。

M.3.11 施工扳手的标定与校正应符合下列规定：

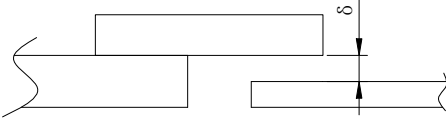
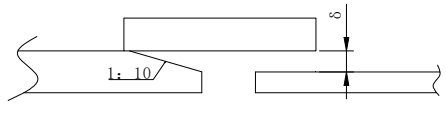
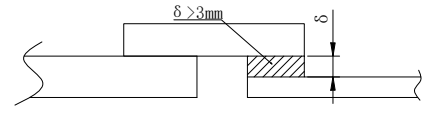
- 1 施拧用电动扳手和定扭矩讯响扳手应编号使用，每台电动扳手和控制器及稳压电源，应固定配套编号，不得混杂。
- 2 标定好的电动扳手在使用过程中严禁随意调节控制器的旋纽，并指定专人使用。

M.4 高强度螺栓连接副的安装

M.4.1 高强度螺栓安装具体要求如下：

- 1 悬臂拼装法架设时，冲钉用量按受力计算确定并不得少于孔眼总数的 50%，其余孔眼布置高强度螺栓。冲钉和高强度螺栓应均匀地安装。
- 2 在安装过程中，不得使用螺纹损伤及沾染脏物的高强度螺栓连接副，不得用高强度螺栓兼做临时螺栓。
- 3 组装时，螺栓头一侧及螺母一侧应各置一个垫圈，垫圈有内倒角的一侧应朝向螺栓头、螺母支承面。
- 4 高强度螺栓连接副朝向原则：箱型构件四面连接部位，螺母朝外；工型构件盖板连接部位，螺母朝外。
- 5 安装高强度螺栓时，螺栓应能自由穿入孔内，如遇螺栓不能自由穿入栓孔时，不得强行将螺栓打入。
- 6 安装高强度螺栓时应对施拧部位的拼接板与构件的间隙进行检查，当拼装出现摩擦面间隙时，应按表 M.4.1 要求处理。

表 M.4.1 摩擦面间隙处理

序号	简 图	处理方法
1		$\delta < 1\text{mm}$ 时不予处理
2		$\delta = 1\sim 3\text{mm}$ 时，将板厚一侧磨成 1：10 的缓坡，使间隙小于 1mm。用砂轮打磨时，应使打磨方向与受力方向垂直。
3		$\delta > 3\text{mm}$ 时加垫板，垫板厚度不小于 3mm，垫板厚度和摩擦面处理方法应与构件相同。

M.4.2 高强度螺栓紧固分初拧、终拧两步进行。高强度螺栓在初拧、终拧时，连接处的螺栓应按照一定的顺序施拧，确定施拧顺序的原则为：由螺栓群中央向外拧紧，从接头刚度大的部位向约束小的方向拧紧。初拧、终拧应在同一工作日完成。

M.4.3 施拧时，应通过螺母施加扭矩。施力应连续、平稳，螺杆和垫圈不得随螺母一起转动，若垫圈发生转动，应更换螺栓重新施拧。

M.4.4 冲钉和临时螺栓的更换，应在已安装的螺栓副初拧后进行。高强度螺栓更换顺

序：除用普通螺栓、冲钉的孔群部位，其余孔群先安装高强度螺栓并进行初拧（或复拧），然后把原普通螺栓部位替换成高强度螺栓进行初拧，最后再将冲钉替换成高强度螺栓并进行初拧（或复拧）。

M.4.5 初拧（或复拧）的顺序应该从栓群中心向四周进行。

M.4.6 初拧后应用白油漆标明螺栓与螺母、垫圈与钢板间的相对位置，经初拧检查合格后方许终拧。

M.4.7 根据初拧标记线的变化情况，进行终拧自检，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，则该螺栓终拧漏拧或出现异常，应补拧或更换。终拧自检合格后，应作出终拧标记线(红色)，专检合格后作出黄色标记。螺栓紧固施拧顺序，如图 M.4.7 所示。

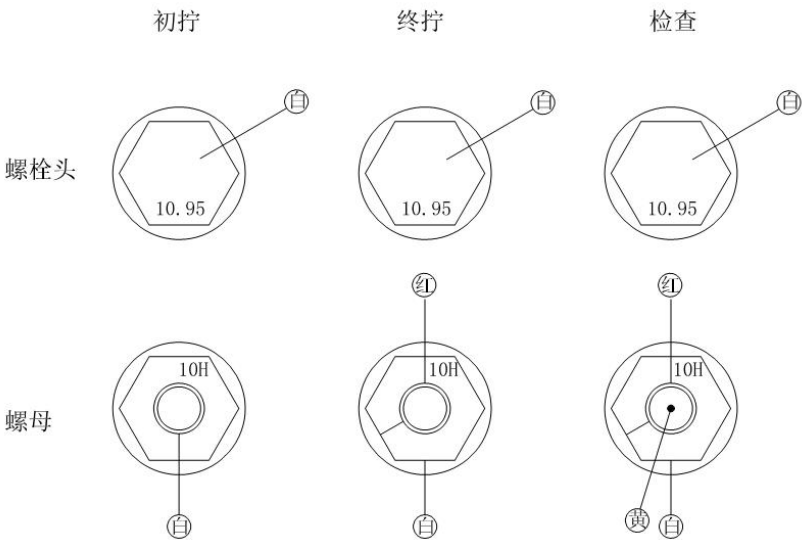


图 M.4.7 螺栓紧固施拧顺序示意图

M.4.8 每批高强度螺栓连接副的终拧扭矩由下式计算确定。扭矩系数值随各种自然及人为因素而变化，应以现场扳手标定测出的扭矩系数为准。

$$T_c=K\times D\times PC$$

式中：Tc-为终拧扭矩（N·m）

K-为扭矩系数平均值,由试验确定；

D-为螺栓直径（mm）；

PC-为施工预拉力（kN），如表 M.3.5 所示。

M.4.9 终拧时要作好每把扳手的施工记录。

M.5 质量检查

M.5.1 高强度螺栓连接副施工质量的检查应按照自检、专检、监理检查的程序进行。

M.5.2 当天施拧的高强度螺栓于 24h 内检查完毕，并作好检查记录。

M.5.3 每个栓群和节点进行 100%检查，对每个栓群或节点上的高强度螺栓连接副按总数的 10%，但主桁及纵、横梁连接处不少于 2 套，其余节点不少于 1 套进行终拧扭矩检查；监理单位全部见证终拧扭矩检查。

M.5.4 检查之前，检查扳手应标定，其扭矩误差不得大于使用扭矩值的 $\pm 3\%$ 。

M.5.5 高强螺栓连接副编号总原则，以节点为单位，按接头位置、栓接面和孔位分类编号，从 1 开始中的自然数字由节点中心向外流水编号的具体孔位。

M.5.6 初拧检查

1 初拧（或复拧）后的全部高强度螺栓连接副应逐个用敲击法检查。

2 用重约 0.3 kg 的小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，如颤动较大者即认为不合格，应予复拧，复拧扭矩等于初拧扭矩。

M.5.7 终拧检查

1 终拧后的全部高强度螺栓连接副应检查初拧后的油漆标记是否发生错动，以判断终拧时有无漏拧。

2 高强度螺栓连接副终拧到位后，外露丝口不得少于两个丝口。

3 终拧扭矩检查应在终拧后 4 小时之后，24 小时以内完成。

4 终拧扭矩检查抽取接口螺栓群螺栓总数的 5%，每个接口抽检螺栓的不合格率不得超过抽检总数的 20%，如超过，应继续抽查直至累积合格率超过抽检总数的 80% 为止。每一螺栓群中检查的数量为其总数的 10%，其中不得少于 2 套螺栓。对欠拧者（含漏拧者）要补拧，补拧需使用检查扳手直接施拧到终拧值，不得使用电动扳手 2 次施拧；对超拧者（含垫圈转动者）要更换，更换后需使用检查扳手直接施拧到终拧值并做好标记（标记为在螺栓处画双红线）。

5 检查终拧扭矩的方法宜选用“松扣、回扣法”，即先将被检螺栓副划标记线，然后将螺母拧松约 30° ，再用检查扳手把螺母拧到原来位置，记录此时的扭矩值。若该扭矩值在 $0.9 \sim 1.1TC$ 范围内，则为合格，否则不合格；若采用紧扣法，紧扣检查扭矩由试验确定，并在测定紧扣检查扭矩时，应确认高强度螺栓预拉力的误差应在设计预拉力的 2% 范围内，检查时，测得螺母与螺栓刚发生微小相对转角时扭矩应在 $0.9 \sim 1.1$ 检查扭矩范围内为合格。

若试验数据足够、准确的情况下也可采用“紧扣法”，若采用“紧扣法”，施工前需进行“紧扣检查扭矩试验”。

6 采用“松扣、回扣法”检查终拧扭矩，先在螺栓、螺母的相对位置划一细直线作为标记，然后将螺母拧松 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。再用检查扳手把螺母重新拧紧至原来位置（使所划细直线重合），测取此时的扭矩应在 $0.9T_{ch} \sim 1.05T_{ch}$ 范围内为合格。

$$T_{ch}=K \cdot P \cdot d$$

T_{ch} -检查扭矩（Nm）；

K-高强度螺栓连接副的扭矩系数工地复验平均值；

P-高强度螺栓的设计预拉力；

d-高强度螺栓公称直径（mm）。

7 检查合格后在螺栓群边注明检查人员姓名和检查日期，及时进行高强度螺栓处的腻缝和涂装。

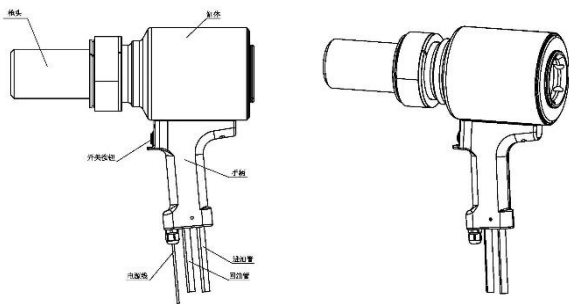
附录 N 高强度环槽铆钉连接工艺

N.1 施工前准备

- N.1.1 连接板面应检验合格；对于损伤严重的,应按相应涂装工艺重新处理。
- N.1.2 连接前应检查确认板缝中无杂物。
- N.1.3 参加施工的人员应接受技术培训，熟悉摩擦型高强度环槽铆钉连接工艺的要点、程序及注意事项。
- N.1.4 高强度环槽铆钉连接应采用专用的液压环槽铆钉机，其主要结构由液压泵站（图 N.1.4-1）、传输油管和铆枪（图 N.1.4-2）构成。



图 N.1.4-1 液压铆接泵站图



N.1.4-2 铆枪结构示意图

其中枪头由铁砧、卡瓣、内套筒、随动套、退位组、退位组前等组成，如图 N.1.4-3 所示。其中铆枪的卡瓣、退位组、退位组前为易损易耗件。

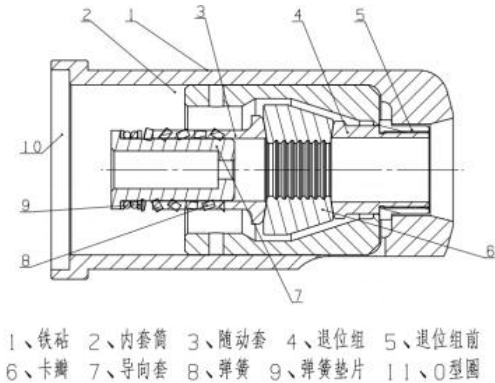


图 N.1.4-3 枪头结构示意图

施工前铆枪和泵站连接完好，系统开机自检无报警；铆枪爪片上无异物，铆枪顶铁表面无污物、裂纹、划痕等缺陷。

N.2 高强度环槽铆钉连接副的安装

- N.2.1 高强度环槽铆钉连接副的安装应在钢结构构件中心位置调整准确后进行，应采用同一制造厂家生产高强度环槽铆钉和配套的套环。

N.2.2 安装时摩擦面应保持清洁、干燥，构件连接处钢板表面应平整、无焊接飞溅、无毛刺，并不得在雨中进行安装作业。

N.2.3 安装时，高强度环槽铆钉穿入方向应以方便铆接为准，但方向宜一致。

N.2.4 高强度环槽铆钉连接副安装时应自由穿入连接孔内，不得强行敲入。对不能自由穿入铆钉的连接孔，应采用铰刀或钻头进行修整或扩钻，修整后孔的最大直径不应大于1.2倍铆钉直径，且修整孔数量不应超过该节点连接孔数量的25%。铰孔或扩钻前应将该孔四周用临时螺栓紧固，使板层密贴，防治钢屑或其他杂物掉入板层缝隙中，严禁采用气割方法扩孔。铰孔或扩钻的位置应作施工记录。

N.2.5 安装施工时，每个节点穿入足够数量的冲钉和临时螺栓，不得采用塞焊对连接孔进行焊接。

N.2.6 高强度环槽铆钉不得作为定位使用。

N.2.7 高强度环槽铆钉连接副安装时，每个节点上应穿入的临时螺栓和冲钉数量，由安装时可能承担的载荷计算确定，不得少于节点螺栓总数的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%。

N.2.8 悬臂拼装法架设时，冲钉用量按受力计算确定并不得少于孔总数的50%，其余孔使用高强度环槽铆钉连接副；采用顶推施工时，应先对高强度环槽铆钉连接副进行铆接，铆接合格后方可进行顶推施工。

N.2.9 环槽铆钉连接副安装前，将临时螺栓做一般拧紧至板层密贴，对因板厚公差、制造偏差或安装偏差等产生的摩擦面间隙，应按表M.4.1的要求处理。

N.3 高强度环槽铆钉连接副的铆接

N.3.1 高强度环槽铆钉连接副的铆接，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。

N.3.2 冲钉和临时螺栓的更换，应在已安装的高强度环槽铆钉连接副铆接完成后进行。高强度环槽铆钉连接副更换顺序：除用临时螺栓、冲钉的孔群部位，其余孔群先安装高强度环槽铆钉连接副并铆接，然后把原临时螺栓部位替换成高强度环槽铆钉连接副进行铆接，最后再将冲钉替换成高强度环槽铆钉连接副并进行铆接。

N.3.3 铆接作业步骤（图N.3.3）为：(1)螺栓穿入连接孔后，将套环套在环槽螺栓上，图N.3.3①；(2)铆枪枪头套在栓杆尾部，枪口铁砧抵住钉套端面，按下铆枪的开关，工具启动，铆枪卡瓣抓紧栓杆尾部，铁砧开始推动套环，直到四周紧贴无任何间隙，见图N.3.3②；(3)铆枪持续工作，铁砧逐步将套环挤压在栓杆的环形沟槽上，套环锁闭完成，见图

N.3.3③；(4)达到设计夹紧力后，栓杆尾部同栓杆拉断分离，安装完成，见图 N.3.3④。

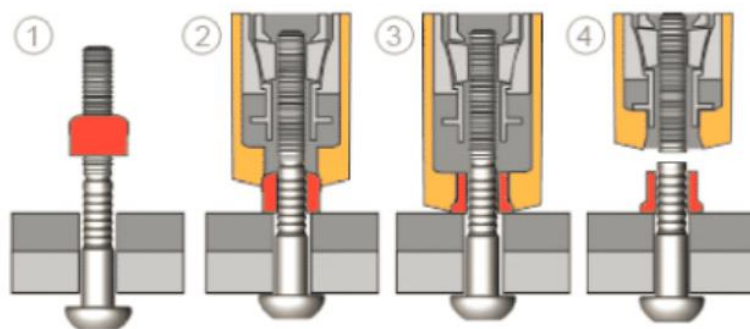


图 N.3.3 铆接作业步骤图

N.4 质量检查

N.4.1 高强度环槽铆钉连接副施工质量的检查应按照自检、专检、监理检查的程序进行。专检应由专职质量检查员进行。

N.4.2 检查符合下列要求：

1 对铆接完成后的环槽铆钉连接副进行普查，检查套环是否发生塑性变形，若未发生塑性变形须重新铆接或拆除套环后重新更换环槽铆钉和套环进行铆接；

2 随机对每个节点 10%的环槽铆钉铆接后的成形尺寸进行检查，主桁、板梁主梁及纵、横梁连接处不少于 2 套，其余节点不少于 1 套进行成形尺寸检查；监理单位全部见证成形尺寸检查。

3 成形尺寸抽检发现不符合规定的，应拆除铆钉后更换铆钉和套环重新进行铆接，并加倍进行检查，如仍有不合格者，需对该节点的剩余环槽铆钉连接副进行检查。

N.4.3 每座钢桥均应有下列施工、检查记录：

- 1 环槽铆钉连接副的入厂复验数据；
- 2 连接面抗滑移系数试验数据；
- 3 铆接质量复查记录。

N.4.4 检查合格后在铆钉群边注明检查人员姓名和检查日期，及时进行高强度环槽铆钉处的腻子缝和涂装。

本规程用词说明

1 执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

（1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

（2）表示很严格，在正常情况均应这样做的用词：

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用词：

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的写法为：“应按……执行”或“应符合……要求或者规定”。

引用标准名录

- 《厚度方向性能钢板》(GB/T 5313)
- 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》(GB/T 709)
- 《厚钢板超声检测方法》(GB/T 2970)
- 《热轧钢材表面质量的一般要求》(GB/T 14977)
- 《不锈钢冷轧钢板和钢带》(GB/T 3280)
- 《不锈钢热轧钢板和钢带》(GB/T 4237)
- 《不锈钢复合钢板和钢带》(GB/T 8165)
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T1228)
- 《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T1229)
- 《钢结构用高强度垫圈》(GB/T1230)
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》(GB/T 1231)
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T3632)
- 《环槽铆钉连接副技术条件》(GB/T36993)
- 《铆钉技术条件》(GB 116)
- 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433)
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370)
- 《悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件》(JT/T 694)
- 《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T 4-2019)
- 《公路桥梁盆式橡胶支座》(JT/T 391-2019)
- 《公路桥梁板式伸缩装置》(JT/T 1269-2019)
- 《公路桥梁梳齿板伸缩装置第 3 部分：整体锚固式伸缩装置》(JT/T1270.3-2019)
- 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》(JT/T 327-2019)
- 《钢的弧焊接头缺陷质量分级指南》(GB/T 19418)
- 《焊缝无损检测超声检测验收等级》(GB/T 29712)
- 《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》(GB/T 11345)
- 《碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法》(JB/T 6046)
- 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)
- 《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定》(GB/T 8923)

《涂料涂覆前钢材表面处理 清洁度的目视评定 第一部分：涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》（GB/T 8923.1）

《色漆和清漆漆膜的划格试验》（GB/T 9286）

《色漆和清漆拉开法附着力试验》（GB/T 5210）

《热喷涂金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金》（GB/T9793）

《焊接与切割安全》（NB9448）

《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）

《涂覆涂料前钢材表面处理》（GB/T 18838）

《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）

《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》（GB/T 10433）

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）

《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23）

《混凝土质量控制标准》（GB 50164）

《钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验方法》（GB 226）

城市钢结构桥梁制作及安装技术规程

条文说明