

JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/T ××××—20××

公路钢结构桥梁制造和安装 施工规范

Technical Specification for Fabrication and Installation
of Highway Steel Bridge
(征求意见稿)

20××—××—××发布

20××—××—××实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

Technical Specification for Fabrication and Installation

of Highway Steel Bridge

(征求意见稿)

主编单位：中交第一公路工程局有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：20××年×月×日

2018 • 北京

前　　言

根据中华人民共和国交通运输部交公路函[2017]387号《关于下达2017年度公路工程行业标准制制订项目计划的通知》要求，由中交第一公路工程局有限公司作为主编单位，负责对《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》的制订编制工作。

本次制订的指导思想是：贯彻执行国家和行业的有关技术政策，大力推广公路钢结构桥梁的建设；落实公路钢结构桥梁制造和安装施工的工厂化、装配化、专业化、信息化、精细化等要求，促进公路桥梁建设的转型升级、提质增效；推进公路钢结构桥梁的标准化、智能化建造，提升公路桥梁的品质和耐久性，更好地体现“绿色公路”、“品质工程”的理念。

制订原则：总结近年来国内外钢结构桥梁制造和安装施工的工程经验以及相关科研成果，吸纳其中成熟的技术和工艺；重点突出技术、工艺的成熟性，兼顾先进性；强调对关键工序和关键技术工艺的控制，明确钢结构桥梁制造和安装施工中应遵守的准则和技术质量要求；借鉴国内外相关的钢结构桥梁制造和安装施工技术标准；与相关标准、规范和规程协调配套。

本次制订的主要内容为：

本规范的条文部分共13章，各章具体内容为：1 总则；2 术语、符号；3 材料；4 下料与加工；5 组装；6 焊接；7 预拼装、试拼装；8 成品尺寸与检验；9 涂装；10 包装、存放与运输；11 安装；12 工地连接；13 安装施工质量控制。

请各有关单位将执行本规范中所发现的问题和修改意见函告中交第一公路工程局有限公司（地址：北京市朝阳区管庄周家井，邮政编码：100024），以便下次制订时参考。

主编单位： 中交第一公路工程局有限公司

参编单位：

主编：

主要参编人员：

主审：

参与审查人员：

目 录

1 总则	1
2 术语	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 材料	4
3.1 一般规定	4
3.2 钢材	4
3.3 焊接材料	5
3.4 圆柱头焊钉	6
3.5 高强度螺栓连接副	6
3.6 涂装材料	7
3.7 密封材料	7
4 下料与加工	8
4.1 一般规定	8
4.2 下料	9
4.3 零件矫正与弯曲	11
4.4 零件机加工	13
4.5 零件基本尺寸	14
4.6 制孔	18
4.7 检验	20
5 组装	22
5.1 一般规定	22
5.2 组装	23
5.3 检验	31
6 焊接	33
6.1 一般规定	33
6.2 焊接	34
6.3 无损检测	40

6.4 构件矫正.....	47
6.5 检验	50
7 预拼装、试拼装.....	52
7.1 一般规定.....	52
7.2 预拼装.....	52
7.3 钢塔预拼装.....	55
7.4 试拼装.....	57
7.5 检验.....	59
8 成品尺寸与验收.....	61
8.1 一般规定.....	61
8.2 成品尺寸.....	61
8.3 检验.....	68
9 涂装.....	70
9.1 一般规定.....	70
9.2 除锈.....	70
9.3 厂内涂装.....	71
9.4 工地现场涂装.....	72
9.5 高强度螺栓连接摩擦面处理.....	72
9.6 检验.....	73
10 包装、存放和运输.....	75
10.1 一般规定.....	75
10.2 包装.....	75
10.3 存放	76
10.4 厂内转运.....	76
10.5 装卸.....	77
10.6 绑扎和运输.....	77
11 安装.....	78
11.1 一般规定.....	78
11.2 安装施工准备.....	80
11.3 支架上安装.....	83
11.4 悬臂拼装.....	85

11.5 提升安装	89
11.6 顶推安装	93
11.7 整体安装	95
11.8 转体安装	97
12 工地连接	99
12.1 一般规定	99
12.2 焊接连接	99
12.3 桩接连接	101
13 安装施工质量控制	106
13.1 一般规定	106
13.2 位置与高程	107
13.3 线形控制	109
13.4 内力与变形控制	110
附录 A 原材料复验规程	112
附录 B 钢材及加工缺陷的修补	115
附录C 钢材焊接工艺评定	116
附录D 圆柱头焊钉焊接工艺评定	122
附录E 焊接接头超声波探伤质量要求	124
附录F 焊接接头射线探伤质量要求	129
附录G 焊接接头磁粉探伤质量要求	132
附录H 渗透探伤	133
附录J 超声波相控阵检测要求和熔深评定	134
附录K 超声锤击	135
附录L 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法	139
附录M 高强度螺栓施拧工艺	142
本规范用词用语说明	149

1 总则

1.0.1 为适应公路钢结构桥梁建设的需要，保证钢结构制造、安装的工程质量和施工安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于公路桥梁钢结构工程的工厂化制造和工地现场的安装施工。对特大型、特殊结构或特殊地区的公路桥梁钢结构工程，可依据本规范制订专用技术标准指导施工。

1.0.3 公路桥梁钢结构工程的制造和安装施工，应建立健全质量保证体系，实施质量管理和质量控制。

1.0.4 公路桥梁钢结构工程的制造和安装施工，应建立健全安全生产管理体系，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 公路桥梁钢结构工程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。

1.0.6 公路桥梁钢结构工程的制造应使用经计量检定合格的计量器具，并应按有关规定进行操作。

1.0.7 公路桥梁钢结构工程的制造和安装施工，除应符合本规范的规定外，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 构件 member

钢结构桥梁单元的统称。



2.1.2 板单元 plate unit (plate element)

由若干零件组成的基本单元。包括顶板单元、腹板单元、底板单元、隔板单元等。



2.1.3 零件 part

组成钢结构桥梁的最小单元。其中盖板、腹板，箱形梁的顶板、底板、横隔板，板单元的面板、纵肋、横肋，拼接板，节点板级圆柱头焊钉为主要零件；其余为次要零件。



2.1.4 制造节段 manufacturing segment

钢结构在工厂加工制作时划分形成的构件块段。



2.1.5 预拼装 assembled in advance

在安装施工前，为保证构件的安装精度而进行的连续匹配拼装。

在安装施工前，为检验构件的制造精度，选择有代表性的局部构件而进行的拼装。

2.1.7 安装节段 Install the segmental

钢结构在现场分段架设时的构件块段。

2.2 符号

2.2.1 作用及作用效应

- P — 高强度螺栓设计预拉力
P_c — 高强度螺栓施工预拉力
T_o — 高强度螺栓初拧扭矩
T_c — 高强度螺栓终拧扭矩
T — 高强度螺栓检查扭矩

2.2.2 几何参数

- 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

2.2.3 其他

- K — 系数

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 钢桥制造所用材料应符合设计文件的要求和现行产品标准的规定。材料除应有生产厂家的质量证明书外，制造单位还应按相关标准和本规范附录A的规定进行抽样复验，复验合格后方可使用。

条文说明：

普通螺栓不复验。当质保书为标准 EN 10204 中类别 3.2 时不复验，监理确认即可。

3.1.2 按照各种材料相关要求进行存放、使用和回收，保证使用的材料合格可靠。

3.2 钢材

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

条文说明：

钢桥制造常用钢材为碳素结构钢、普通低合金钢（热轧、控扎或正火等），其有关现行标准见说明表 3.2.1。复合钢板的抽样检验，1 个母板取一组试件。对于只承受压力的附属结构或锚垫板采用的钢材，可不进行复验。材料的复验在监理的确认下，可前移至钢厂，单制造单位应派专人和监理共同到钢厂旁站取样。

说明表 3.2.1 钢材标准

序号	钢 号	标 准	说 明
1	Q345qC、Q345qD、Q345qE	《桥梁用结构钢》(GB/T 714)	正桥板材
2	Q370qC、Q370qD、Q370qE		
3	Q420qD、Q420qE、Q420qF		
4	Q460qD、Q460qE、Q460qF		
5	Q500qD、Q500qE、Q500qF		
6	Q345qNHD、Q345qNHE、Q345qNHF		
7	Q370qNHD、Q370qNHE、Q370qNHF		

序号	钢号	标 准	说 明
8	Q420qNHD、Q420qNHE、Q420qNHF		
9	Q460qNHD、Q460qNHE、Q460qNHF		
10	Q500qNHD、Q500qNHE、Q500qNHF		
11	Q550qNHD、Q550qNHE、Q550qNHF		
12	Q345B、Q345C、Q345D、Q345E	《低合金高强度结构钢》 (GB/T 1591)	正桥板材、 型材
13	Q235A、Q235B、Q235C、Q235D	《碳素结构钢》(GB/T 700)	附属结构板材

3.2.2 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。

3.2.3 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。

3.2.4 进口钢材产品的质量应符合设计和合同规定标准的要求，应进行进口商检及按规定标准检验其化学成分和力学性能。

3.2.5 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。钢材端边或断口处不应有分层、夹渣等缺陷。在加工过程中发现的钢材缺陷需要修补时，应符合本规范附录 B 的规定。

条文说明：

在加工过程中发现的钢材缺陷，应根据缺陷性质及构件的重要程度，决定换料或修补。

3.2.6 钢材材质及规格需要进行变更时，应经设计单位同意，并按有关规定程序履行变更手续。

3.2.7 大于或等于 8mm 钢板不得采用卷板或开平板。

3.3 焊接材料

3.3.1 焊接材料原则上应与设计选用的钢材相匹配。

条文说明：

钢桥制造常用焊接材料有关现行标准见说明表 3.3.1。对于国家现行标准没有列入的新焊接材料在抽样检验时可参照行业标准或企业标准执行。

说明表 3.3.1 焊接材料标准

序号	种 类	型 号	标 准
1	埋弧焊丝	H08A、H08MnA、H10Mn2、H08MnMoA 等	《熔化焊用钢丝》(GB/T 14957)
2	气体保护焊丝	实芯 ER49-1、ER50-1~6、ER69-1~3、 ER76-1、ER83-1 等	《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢 焊丝》(GB/T 8110)
		药芯 E501T、E551T 等	《碳钢药芯焊丝》(GB/T 10045)
3	焊 剂	HJ431、HJ350、SJ101、SJ103、SJ105、 SJ201、SJ301 等	《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》(GB/T 5293)
4	焊 条	W4303、E4315、E4316、E5003、E5015、 E5016 等	《非合金钢和细晶粒钢焊条》(GB/T 5117)
		E5515、E6015 等	《热强钢焊条》(GB/T 5118)

3.3.2 焊接材料的型号及规格应根据焊接工艺评定试验结果确定，并符合《非合金钢及细晶粒钢焊条》(GB/T 5117)、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》(GB/T 8110)、《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》(GB/T 5293)等技术规定。 CO_2 气体保护焊的气体纯度应大于 99.5%。

3.4 圆柱头焊钉

3.4.1 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)的规定。

3.5 高强度螺栓连接副

3.5.1 高强度螺栓连接副质量标准及检验应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T 1228)、《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T 1229)、《钢结构用高强度垫圈》(GB/T 1230)、《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) 的规定。

3.5.2 高强度螺栓连接副在运输、保管过程中应防雨、防潮，并应轻装、轻卸，防止损伤螺纹。

3.5.3 高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类保管，室内架空存放，堆放不宜超过五层。保管期内不得任意开箱，防止生锈和沾染污物。

3.5.4 高强度螺栓保管时间超过6个月后使用时，应按相关要求重新进行试验，合格后方可使用。

3.6 涂装材料

3.6.1 涂装材料应符合涂装设计和现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722) 的规定。

3.6.2 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。

3.7 密封材料

3.7.1 密封材料应符合设计的规定。

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

4 下料与加工

4.1 一般规定

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设计单位同意，并办理相关设计变更文件。

条文说明：

制造单位对设计图进行工艺性审查一般包括：

- 1 设计图的节段划分是否符合制造、运输、架设条件；
- 2 构件是否标准化、通用化以减少工装的制造量；
- 3 制造单位现有设备和条件是否适应；
- 4 焊缝布置是否合理及焊接变形对质量的影响；
- 5 选用的钢材品种规格是否与可能供应的相符；
- 6 制造数量、质量要求、运输方式是否明确。

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，并进行焊接工艺评定试验。钢桥制造应根据施工图和制造文件进行。

条文说明：

制造单位绘制施工图，推荐采用三维建模。钢桥制造推荐采用 BIM 技术。

4.1.3 设计相同的构件在制造精度上宜达到互换要求。

4.1.4 钢桥制造质量管理应有相应的制造技术标准、健全的质量管理体系和制造质量检验制度。

4.1.5 钢桥验收必须使用计量检定、校准合格的计量器具，并应按有关规定进行操作。

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生产。

4.1.7 钢桥制造完成后，制造单位应按照施工图和本章规定进行验收。

条文说明：

本章适用于钢箱梁、钢桁梁、钢板梁、钢塔、钢管拱、钢箱拱、钢锚梁等桥梁上部结构的钢结构。

4.2 下料

4.2.1 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 钢板在下料前应进行辊平、抛丸除锈、除尘及涂防锈底漆等处理。预处理后应移植钢板的牌号、规格等信息。
- 3 钢材的起吊、搬移、堆放过程中，应注意控制钢板的变形，禁止夹伤。
- 4 下料尺寸应按要求预留加工余量。
- 5 下料前应检查钢材的炉批号、材质、规格和外观质量。
- 6 钢板不做预处理时须得到监理工程师的认可。
- 7 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。当钢板纵向、横向力学性能相近，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。

条文说明：

- 2 规定不包括需要镀锌的钢板。对于厚度大于 32mm 的钢板，采购时通常对钢厂提出有关平整度的要求。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材，一般不要求进行喷涂防锈底漆。
- 3 通常不使用钢丝钳（老虎钳）夹钢板进行起吊，避免损伤钢板。

4.2.2 切割时钢板应放平、垫稳，割缝下面应留有空隙。切割表面不应产生裂纹。

4.2.3 零件宜采用精密（数控、自动、半自动）切割下料。精密切割后边缘不进行机加工的零件应符合下列要求：

- 1 焊切面质量应符合表 4.2.3 的规定。

2 尺寸允许偏差应符合本规范第 4.5 节的规定。

3 切割面的硬度不超过 HV350。

表 4.2.3 焊切面质量

序号	名称	主要零件	次要零件	备注
1	表面粗糙度	$25 \mu m$	$50 \mu m$	按 GB/T 1031 用样板检测
2	崩坑	不允许	1000mm 长度内允许有 1 处 1.0mm	超差时按本规范附录 B 修补
3	塌角		圆角半径 $\leq 1.0mm$	
4	切割面垂直度		$\leq 0.05t$ (t 为板厚), 且 $\leq 2.0mm$	

条文说明:

3 对于切割面硬度, 当钢材的强度级别不大于 Q370 时一般不超过 HV350, 耐候钢及 Q370 以上强度级别的钢材通常按照设计要求执行。

4.2.4 剪切仅适用于次要零件或剪切后仍需要加工的零件。采用剪切工艺时, 钢板厚度不宜大于 12mm, 剪切边缘应平整、无毛刺、反口、缺肉等缺陷。剪切的尺寸允许偏差应为 $\pm 2mm$, 边缘缺棱应不大于 1mm, 型钢端部垂直度应不大于 2mm。剪切的反口应修平, 切割的挂渣应铲净。

条文说明:

为确保切割面的质量, 减少对母体金属性能的影响, 通常要进行切割工艺试验。进行焰切工艺评定的试件, 应根据各种不同的板厚分档分别进行焰切工艺评定试验。当厚度为 20mm 时, 其工艺评定的结果亦适用于不大于 20mm 的各种厚度的钢材; 厚度为 40mm 时, 其工艺评定的结果亦适用于大于 20mm 而小于等于 40mm 的各种厚度的钢材; 当厚度大于 40mm 时, 应按每 10mm 为一级, 分别进行工艺评定。焰切工艺评定试验时的钢板状态亦与生产用钢板相同。

通常要定期检查热切割工艺性能。方法是热切割制备 4 个样品: 选最厚的直接切割成形; 选最薄的直接切割成形; 典型厚度的锐角转角; 典型厚度的弯弧。对长度至少为 200mm 的边缘进行测量, 并根据要求的质量等级来检验。锐角转角和弯曲的样品边缘符合直线切割相应标准。

4.2.5 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 $\pm 2.0mm$ 。

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。

4.2.6 圆弧部位应修磨匀顺。**条文说明:**

钢箱梁所有外露钢板和型钢的切边均应倒 R2mm 圆角。横隔板弧形切口应采用数控精密切割，同时应对弧形切口（非焊接边）两侧进行倒棱 R2mm。

4.2.7 切割完毕后，对零件进行标识，应包括工号、图号、件号、板厚、材质、炉批号等信息。**4.2.8 焊接边缘的缺口或崩坑的修补应符合本规范附录 B 的规定。****4.3 零件矫正与弯曲****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℃。****条文说明:**

钢材在低温时塑性较差，为防止因冷矫引起脆断，故对冷矫时的环境温度加以限制。

4.3.3 采用热矫时，加热温度应控制在 600℃～800℃，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 零件矫正允许偏差应符合表4.3.6的规定。

表4.3.6 零件矫正允许偏差(mm)

序号	名称	允许偏差			简图
1	钢板平面度	$f \leq 1.0$			
2	钢板直线度	$f \leq 2.0$	全长范围	$L \leq 8m$	
		$f \leq 3.0$		$L > 8m$	
3	型钢直线度	$f \leq 0.5$			
4	角钢肢 垂直度	$\Delta \leq 0.5$	连接部位（角度不得 大于90°）		
		$\Delta \leq 1.0$	其余部位		
5	角钢肢、槽钢肢 平面度	$\Delta \leq 0.5$	连接部位		
		$\Delta \leq 1.0$	其余部位		
6	工字钢、槽钢、 H型钢腹板平面 度	$\Delta \leq 0.5$	连接部位		
		$\Delta \leq 1.0$	其余部位		
7	工字钢、槽钢、 H型钢翼缘垂直 度	$\Delta \leq 0.5$	连接部位		
		$\Delta \leq 1.0$	其余部位		

序号	名称	允许偏差	简图
8	钢管 纵向直线度	$f \leq 1.0/1000$	
9	钢管椭圆度	$f \leq 3d/1000$	

4.4 零件机加工

4.4.1 加工面的表面粗糙度不得大于 $Ra25\mu m$, 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 $Ra12.5\mu m$; 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。

4.4.4 坡口应采用机加工或精密切割, 过渡段坡口应打磨匀顺, 坡口尺寸及允许偏差依据工艺评定确定。

4.4.5 钢塔节段端面机加工应符合下列规定:

1 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。

2 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。

3 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。

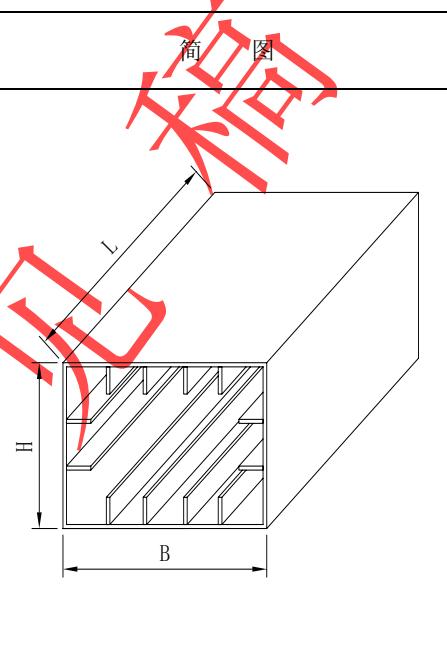
4 钢塔端面机加工前, 应设计定位工作平台。平台应具有足够刚度, 并应设置精确的定位调整设备, 其精度应满足钢塔节段端面机加工的要求。

5 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。

6 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。

7 钢塔节段端面机加工精度允许偏差应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 钢塔节段端面机加工精度允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
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 $\leq 42m^2$)	
		0.4/全平面 (面积 $> 42m^2$)	
4	表面粗糙度	$Ra 12.5 \mu m$	
5	钢塔节段端面对轴线的垂直度 (顺桥向、横桥向)	$1/10000$	

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。

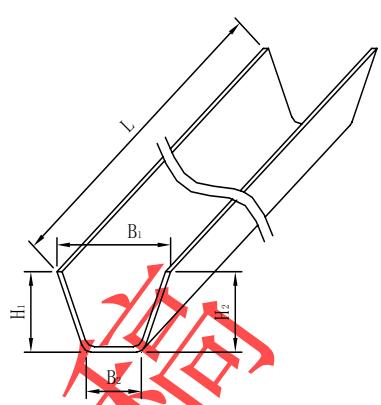
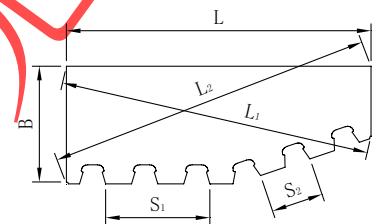
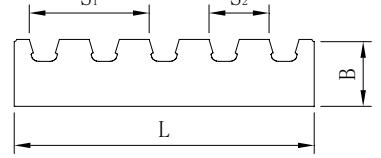
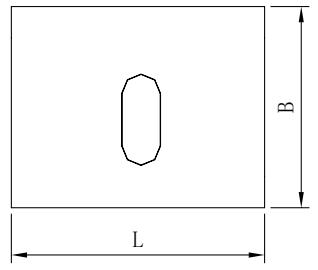
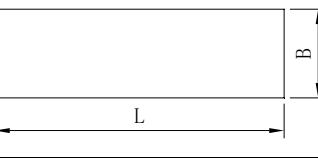
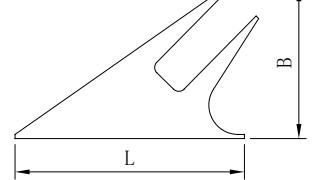
钢塔节段机加工通常根据设计规定的节段精度要求选择切削刀具、确定切削参数，并制定施工工艺及质量控制方法。在端面铣削前，设专人对端铣刀盘进行检查，检查刀片的型号、磨损及卡固情况等是否满足端铣要求。一般不使用磨损较大或失效的刀具进行机加工。

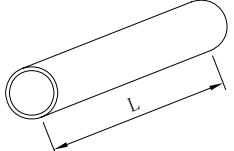
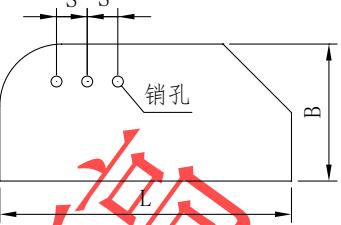
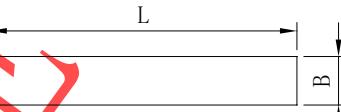
2 减少加工车间内的温度变化，防止阳光的直接照射及外部气流的影响，可降低机加工过程中钢塔节段的温度变形，提高加工精度。

4.5 零件基本尺寸

4.5.1 钢箱梁零件尺寸允许偏差应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 钢箱梁零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	U形肋	长度 L	±2.0	
		上宽 B1	+3.0, 0	
		下宽 B2	±1.5	
		高度 H1、H2	±1.5	
		两肢差 H1-H2	≤2.0	
		旁弯、竖弯	L/1000 且≤ 6.0	
2	顶板、底板、腹板	长度 L	±2.0 ^①	
		宽度 B	±2.0 ^①	
3	横隔板	长度 L、宽度 B	±2.0	
		任意两槽口中心距 S1	±2.0	
		相邻两槽口中心距 S2	±1.0	
		对角线差 L1-L2	≤5.0	
4	横隔板接板	长度 L	±2.0	
		宽度 B	与横隔板搭接 ±2.0	
			与横隔板对接 ±1.0	
		任意两槽口间距 S1	±2.0	
		相邻两槽口间距 S2	±1.0	
5	纵隔板	板件长度 L	±2.0	
		板件宽度 B	±1.0	
		钢管长度	±3.0	
6	风嘴板件	长度 L	±2.0 ^①	
		宽度 B	±2.0 ^①	
7	斜拉索锚箱	锚板长度 L	±2.0	
		锚板宽度 B	±2.0	

序号	名 称		允许偏差	简 图
		锚管长度 L	±3.0	
8	吊索 锚固 耳板	长度 L、宽度 B	±2.0	
		孔间距 S	±2.0	
		孔直径	±2.0 ^②	
9	中央 扣构 件	翼板长度 L、宽度 B	±2.0 ^①	
		腹板长度	±2.0 ^①	
		腹板宽度	±1.0 ^③	
10	其它 板件	长度 L	±2.0	
		宽度 B	±2.0	
11	检查 车轨 道	工 字 钢	长度 L	±2.0
			端面垂直度	≤2.0
		方钢长度 L		±1.0
12	其它 型钢	长度		±3.0
		端面垂直度		≤2.0
		球扁钢长度 L		±2.0

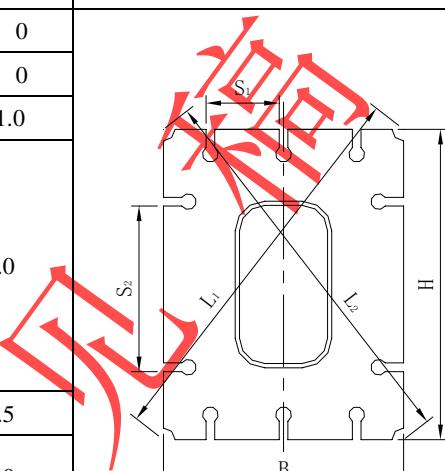
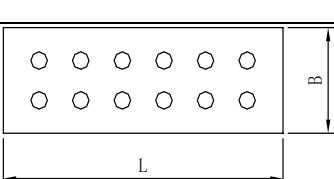
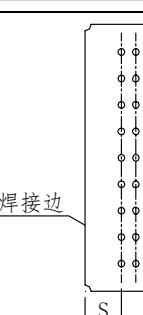
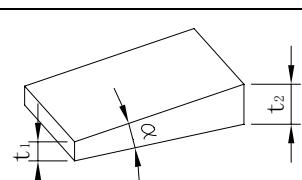
注： 长度留二次切头量的正差可根据工艺文件确定。

孔直径指根据工艺需求预钻的工艺孔径。

腹板宽度应根据翼板厚度配刨。

4.5.2 桁梁、板梁零件尺寸的允许偏差应符合表 4.5.2 的规定。

表 4.5.2 桁梁、板梁零件尺寸允许偏差(mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图	
1	桁梁的弦、斜、竖杆，横梁，纵梁，连接系构件，板梁主梁	盖板长度 L	±2.0 ^①		
		盖板宽度 B 箱形工形	+2.0, 0		
			±2.0		
		腹板宽度 B	根据盖板厚度及焊接接收缩量确定		
2	箱形构件内隔板	宽度 B≤1000	+0.5, 0		
		B>1000	+1.0, 0		
		高度 H	0, -1.0		
		对角线差			
		板边垂直度	H≤1000: ≤0.5 H>1000: ≤1.0		
		槽口中心距 S ₁ 、S ₂	±1.0		
		长度 L、宽度 B	±2.0		
3	拼接板	长度 L、宽度 B			
4	焊接接头板	孔至焊接边距离			
5	其余零件长度、宽度		±2.0 ^②		
6	楔形板 (支座垫板等)	厚度 t ₁ 、t ₂	±1.0		
		斜角 α	≤0.05°		

注： ① 长度留二次切头量的正差可根据工艺文件确定。

② 如工艺有特殊要求，可根据工艺文件确定。

③ 拼接板孔边距要求见表 4.6.4。

④ 桁梁中的桥面板块、桁梁腹板可参考表 4.5.1。

条文说明:

4 焊接接头板孔至焊接边距离允许偏差根据焊接收缩量确定,主要是因为接头板焊接坡口形式及尺寸各不相同,收缩量也各不相同;序号6规定了楔形板(例如支座垫板)的允许偏差。

4.5.3 钢塔零件尺寸加工允许偏差应符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3 钢塔零件尺寸加工允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	壁板和腹板、横梁盖板和腹板	长度 L、宽度 B	±2.0	
2	隔板	长度 L、宽度 B	±1.0	
		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤2.0	
		平面度 $2/1000$		
3	钢锚梁锚座板和锚垫板	长度 L、宽度 B	±1.0	
		平面度	≤0.2	
4	其它零件	长度 L、宽度 B	±2.0	
5	板边直线度 Δ		≤2.0	

4.6 制孔

4.6.1 钻孔前,应对工件进行校直或整平。

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±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
1	M8	10	+0.5, 0
2	M10	12	+0.5, 0
3	M12	14	+0.5, 0
4	M16	18	+0.5, 0
5	M20	22	+0.7, 0
6	M22	24	+0.7, 0
7	M24	26	+0.7, 0
8	M27	29	+0.7, 0
9	M30	33	+0.7, 0
10	>M30	>33	+1.0, 0

条文说明：

U形肋和板肋高强度螺栓连接孔的直径允许偏差为 mm。

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符合设计文件的规定。

表 4.6.4 螺栓孔距允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差				
		主要构件				次要构件
		钢箱梁	桁梁	板梁	钢塔	
1	两相邻孔距离	±0.5	±0.4	±0.4	±0.4	±1.0 ^②
2	同一孔群任意两孔距	±0.8	±0.8	±0.8	±0.8	±1.0 (±1.5) ^②
3	多组孔群两相邻孔群中心距	—	±0.8	±1.5	±0.8	±1.5
4	两端孔群 中心距	L ≤ 11m	±1.5 ^④	±4.0 ^①	±1.5 ^④	—
		L > 11m	±2.0	±8.0 ^①	±2.0	—
5	孔群中心线与 构件中心线的 横向偏移 ^③	腹板不拼接	—	2.0	2.0	—
		腹板拼接	—	1.0	1.0	—
6	构件任意两面孔群纵、横向错位	—	1.0	—	1.0	—
7	孔与自由边距 ^⑤	±2.0				

注： 连接支座的孔群中心距允许偏差。

括号内数值为附属件结构的允许偏差。

连接板安装后，不与其他构件相连的，正差不受此限。

桥面板单元 U 形肋两端的孔群中心距允许偏差，进行预拼装特配拼接板可放宽。

4.7 检验

4.7.1 下料应逐件检验或抽样检验，质量应符合本规范第 4.2 节的规定。

检验方法：观察检察，用游标卡尺、钢卷尺、拉力器、直角尺检查。

4.7.2 钢材切割面应无裂纹、夹渣、分层和大于 1mm 的缺棱。

检验方法：观察检察，有异议时做磁粉检查。



4.7.3 崩坑缺陷的修补应符合本规范附录 B 的规定。

检验方法：观察检察，有异议时做磁粉检查。

4.7.4 精密切割应符合本规范第 4.2.3 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、样块检查。



4.7.5 剪切允许偏差应符合本规范第 4.2.4 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、直角尺、钢板尺、样块检查。



4.7.6 手工焰切应符合本规范第 4.2.5 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、直角尺、钢板尺、样块检查。

4.7.7 矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕或损伤。

检验方法：观察检察。



4.7.8 零件矫正的允许偏差应符合本规范第 4.3.6 条的规定。

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



4.7.9 顶紧传力面的表面粗糙度不得大于 $Ra12.5\mu m$ ；顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 $0.01t$ ，且不得大于 $0.3mm$ 。

检验方法：观察检察，比照样块检查，用塞尺检查间隙。

4.7.10 零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使端面光滑匀顺。

检验方法：观察检察。

4.7.11 钢箱梁尺寸允许偏差应符合规范第 4.5.1 条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺检查。

4.7.12 桁梁、板梁零件基本尺寸的允许偏差应符合本规范第 4.5.2 条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺检查。

4.7.13 钢塔零件基本尺寸的允许偏差应符合本规范第 4.5.3 条的规定。

检验方法：用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺检查。

4.7.14 螺栓孔径允许偏差应符合本规范第 4.6.3 条的规定。

检验方法：用游标卡尺、试孔器检查实物。

4.7.15 螺栓孔距允许偏差应符合本规范第 4.6.4 条的规定；有特殊要求的孔距偏差应符合设计文件的规定。

检验方法：用游标卡尺、钢板尺、钢卷尺、拉力器检查实物。

4.7.16 螺栓孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度不得大于 Ra25μm，孔缘无损伤不平，无刺屑。不得采用冲孔、气割孔。

检验方法：观察检察，比照样块检查。

4.7.17 钢塔节段端面机加工应符合本规范第 4.4.5 条的规定。

检验方法：钢盘尺，精密激光跟踪测量系统，粗糙度测量仪或样块对比法。

5 组装

5.1 一般规定

5.1.1 组装前必须熟悉施工图和工艺文件，按图纸核对零件编号、外形尺寸、坡口方向及尺寸，确认无误后方可组装。

5.1.2 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，错开的最小距离应符合图 5.1.2 的规定。

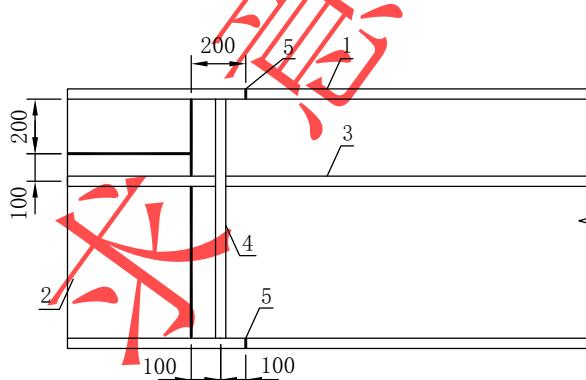


图 5.1.2 焊缝错开的最小距离（单位：mm）

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。

5.1.3 组装前必须彻底清除待焊区域的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物，

使其表面显露出金属光泽。清除范围应符合图 5.1.3 的规定。

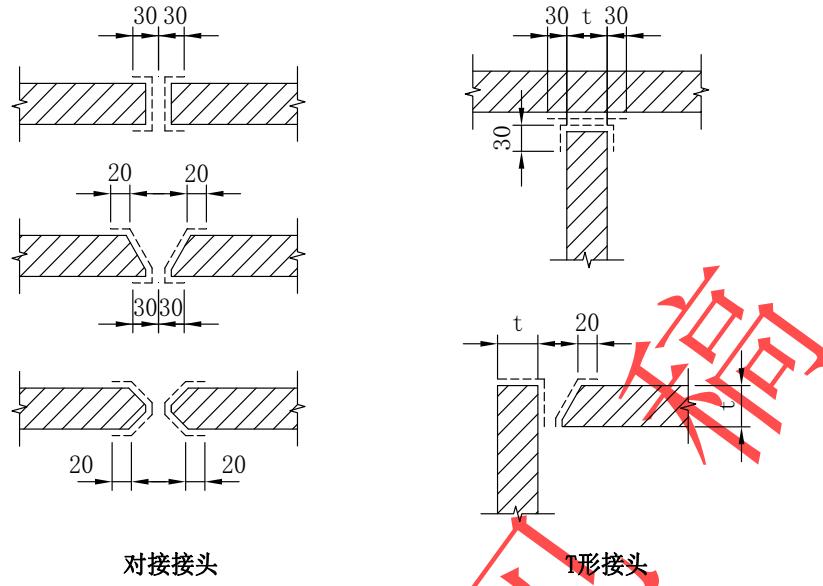


图 5.1.3 组装前的清除范围 (单位: mm)

5.1.4 采用先孔法的构件，组装时应以孔定位，用胎架组装时每一孔群定位不得少于用 2 个冲钉，冲钉直径不得小于设计孔径 0.1mm。

5.1.5 大型构件在露天进行组装时，工装的设计、组装及测量应考虑日照和温差的影响。

条文说明:

大型构件露天组装时，日照和温差会对构件尺寸精度有影响，故做此规定。

5.2 组装

5.2.1 构件应在胎架或平台上组装，组装胎架或平台应具有足够的强度、刚度，稳定可靠，满足支撑、定位、固定、操作等工作需要。U 形肋与桥面板宜采用自动定位组裝机組裝。

条文说明:

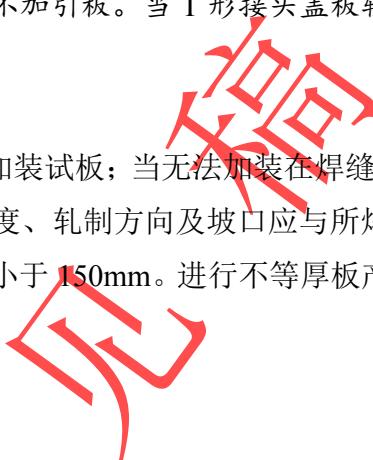
随着自动化水平的提高，板单元打磨、组装、定位、焊接已逐步采用自动化设备，U 形肋与桥面板的组裝采用自动定位组裝有利于提高质量。

5.2.2 构件组装应以纵、横基线作为定位基准。

5.2.3 采用埋弧焊焊接的焊缝，应在焊缝的端部加装引板，引板的材质、厚度、坡口应与所焊件相同；引板长度不应小于80mm。

条文说明：

引板包括引弧板和熄弧板。除个别情况无法放引弧板外，埋弧焊均一般采用引板。当有产品试板时，只要试板长度足够，则不加引板。当T形接头盖板较厚时，其盖板的引板适当减薄。



5.2.4 进行产品试板检验时，应在焊缝端部加装试板；当无法加装在焊缝端部时，应在相同环境相同条件下施焊。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，宽度每侧不得小于150mm。进行不等厚板产品试板检验时，可利用薄板进行等厚对接试验。

条文说明：

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



5.2.5 组装完成后应做好钢印编号，并防止损坏。涂装结束后应增加油漆标记。

5.2.6 钢箱梁板单元组装尺寸允许偏差应符合表5.2.6的规定。

表 5.2.6 钢箱梁板单元组装尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	简图
1	U形肋组装间隙 Δ	≤ 0.5 (局部1.0)	
	U形肋与横隔板的组装间隙 Δ	≤ 2.0	
2	板肋组装间隙 Δ	≤ 1.0	
	板肋垂直度 f	≤ 1.0	

序号	名 称		允许偏差	简 图
3	顶板 底板	U 形肋间 距 S	端部及横隔板处 其余部位	±1.0 ±2.0
		横隔板接板间距 S_2		±2.0
4	腹板			
加劲肋中 心距 S		端部及横隔板处 其余部位	±1.0 ±2.0	
5	斜拉 索锚 箱	锚箱组装位置 L_1 、 L_2		±1.5
		承力板组装角度 β (°)		±0.10
6	中央 扣	锚板组装角度 $(90-\beta)$ (°)		±0.10
		承力板与锚板组装间隙		≤ 0.2
7	吊索 锚固 耳板	斜、竖杆高度 H 斜、竖杆长度 L		±2.0 ±2.0
补强板组装间隙				≤ 0.5

条文说明:

- 1 规定了正交异性整体钢桥面 U 形肋与横隔板的组装间隙。当组装间隙超差时，通常按照以下做法焊接：
 - 1) 当间隙 $2mm < \Delta \leq 3mm$ 时，焊角尺寸 hf 适当加大， $hf = \text{原焊角尺寸} + \Delta$ 。
 - 2) 间隙 $3mm < \Delta \leq 5mm$ 时，焊前气刨 Δ 深的坡口，坡口焊满后匀顺焊接图纸规定的焊角。

3) 当间隙 $\Delta > 5\text{mm}$ 时, 焊缝按熔透焊接。首先从一侧气刨约 $2/3$ 板厚深坡口焊接, 然后背面气刨清根, 焊满坡口。

5.2.7 钢箱梁节段组装时, 应在横桥向设上拱度, 抵消安装就位后的重力挠度。

5.2.8 钢箱梁节段应采用连续匹配法组装, 每次组装的梁段数量不宜少于 5 段。胎架外应设置独立的测量控制网, 测量时应避免日照的影响, 轴线和主要定位尺寸应采用全站仪测量。

5.2.9 钢箱梁节段组装尺寸允许偏差应符合表 5.2.9 的规定。

表 5.2.9 钢箱梁节段组装尺寸允许偏差 (mm)

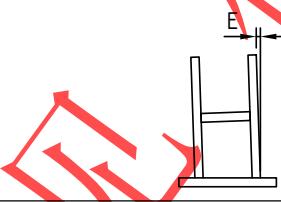
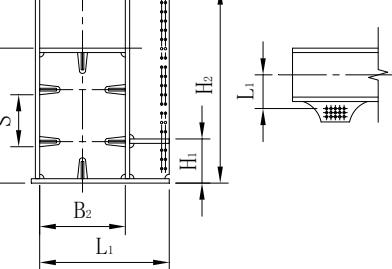
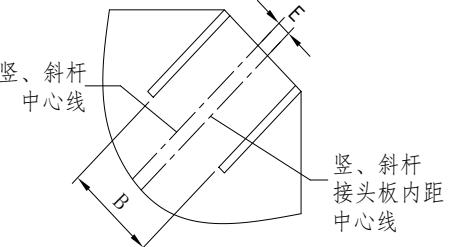
序号	名称	允许偏差		简图	
1	板单元拼接 对接板错边 Δ	≤ 0.5	当 $t < 25$ 时		
		≤ 1.0	当 $t \geq 25$ 时		
2	对接板间隙 a	± 2.0			
3	平底板与斜底板 对接错边量 Δ	≤ 1.0			
4	顶、底板板单元定位偏 差 Δ	≤ 2.0	板单元定位 线与理论线 的偏差		
5	梁段高度 H	± 2.0	梁端 拼接处		
6	长度 L	± 2.0			
7	腹板中心距	± 2.0	拼接处		
8	顶(底)板 宽	± 5.0	拼接处相对 差 ≤ 2.0		
	4车道	± 6.0			
	B ₁ (B ₂) 6车道	± 8.0			
9	横隔板垂直度偏差	≤ 3.0			
	横隔板间距	± 3.0			
10	纵隔板间距	± 2.0	拼接处		
11	旁弯 f	≤ 5.0	腹板边与理 论线的偏差		
12	两吊点横向中心距 B	± 4.0	返线到腹板 上		
13	两吊点纵向中心距 S	± 3.0	返线到腹板 上		

序号	名称	允许偏差		简图
14	两侧吊点纵向错位 Δ	± 2.0		返线到腹板上
15	对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 4.0	梁端横断面	
	吊点高度差 Δ	≤ 5.0	左、右吊点高低差	
16	桥面横坡 i	$\pm 0.1\%$		
17	纵桥向中心线偏差 Δ	± 1.0		

5.2.10 桁梁、板梁构件组装尺寸允许偏差应符合表 5.2.10 的规定。

表 5.2.10 桁梁、板梁构件组装尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差		简图
1	对接高低差 Δ_1	$t < 25$	≤ 0.5	
		$t \geq 25$	≤ 1.0	
	对接间隙 Δ_2	≤ 1.0		
2	盖板中心与腹板中心线偏移 Δ	≤ 1.0		
3	钢衬垫或陶质衬垫对接 焊接接头组装 ^①	α	$\pm 5.0^\circ$	
		Δ	≤ 0.5	
		S	$+6.0, -2.0$	
4	组合角钢肢高低差 Δ	连接部位	≤ 0.5	
		其余部位	≤ 1.0	
5	盖板倾斜 Δ	≤ 0.5		
6	组装间隙 Δ	≤ 1.0		

序号	名 称		允许偏差	简 图
7	斜杆、竖杆、横梁、纵梁、横肋、横联杆件	高度 H	插入式 ^②	
			拼接部位 ± 1.0	
			其余部位 ± 2.0	
8	纵梁、横肋、横联杆件	宽度 B	拼接部位 ± 1.0	
			其余部位 ± 2.0	
			箱形构件对角线差 $ L_1-L_2 \leq 2.0$	
10	整体节点 节点板垂直度 Δ		≤ 1.5	
11	宽度 B_1, B_2	节点板处 B_1	^②	
		接口处 B_2	$+1.5, 0$	
12	构件接头板组装尺寸 L_1		$+1.5, 0$	
13	高度 H, H_1, H_2		$+1.5, 0$	
14	箱形杆件横隔板间距		± 2.0	
15	锚箱锚管角度		$\leq 0.1^\circ$	锚管轴线与弦杆纵轴线夹角
16	加劲肋 间距 S	拼接部位	± 1.0	
		其余部位	± 2.0	
17	锚箱承压板垂直度		$\leq 0.1^\circ$	斜拉索轴线与锚箱承压板垂直度
18	锚点位置		± 3.0	锚点距相邻节点中心各向位置
19	整体节点内斜杆、竖杆接头板位置	与斜杆、竖杆中心线 偏离 Δ	≤ 0.5	
		斜杆、竖杆接头板内 距 B	$+1.0, 0$	
20	板梁主梁高度	$H \leq 2m$	$+2.0, 0$	
		$H > 2m$	$+4.0, 0$	
21	纵梁、横梁、连接系构件高度 H		$+1.5, 0$	

序号	名 称	允许偏差	简 图
22	磨光顶紧	局部缝隙 ≤0.2	

注：① S 和 a 应根据焊接试验确定。
② 可根据坡口深度、焊角尺寸及工艺方法调整。

条文说明:::

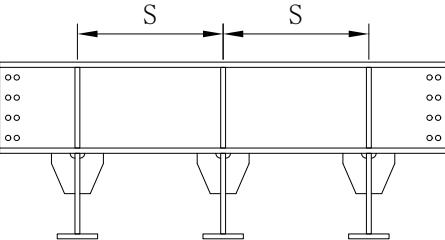
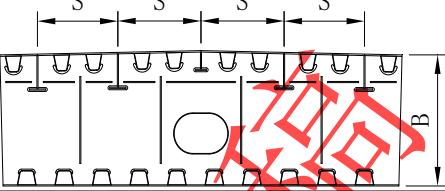
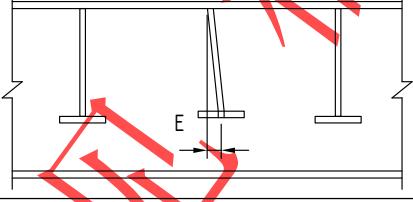
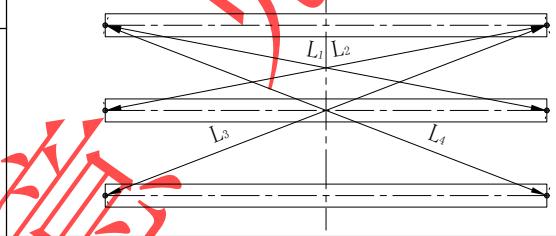
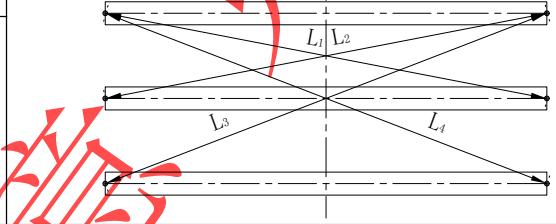
表 5.2.10 序号 3 规定了钢衬垫或陶瓷衬垫对接焊缝组装允许偏差，当组装间隙超出允许偏差时，需要有相应的焊接工艺评定。

5.2.11 主桁桁片、横联桁片、桥面板块组装尺寸允许偏差应符合表 5.2.11 的规定。

表 5.2.11 主桁桁片、横联桁片、桥面板块组装尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	主桁 桁片	极边孔距 L	+2.0, 0
2		桁高 H	+4.0, +2.0
3		弦杆端部孔与节点中 心距 L0	+2.0, 0
4		节点中心距 L1	+3.0, -1.0
5		斜杆接口位置 H1	+2.0, +1.0
6		斜杆中心线长度 L4、L5	+3.0, 0
7		对角线差 L2-L3	≤3.0
8		斜竖杆盖板接口错位	≤1.5
9		平面度	≤3.0
10		桁片平面外弯曲	≤4.0
11		扭曲 接口 桁片	≤2.0 ≤3.0
12	横联 桁片	全长 L	+9.0, +6.0
13		桁高 H	+3.0, 0
14		节点间距 L0、L1	±2.0
15		斜杆盖板接口横向错 位	≤2.0
16		平面度	≤3.0
17		桁片平面外弯曲	≤3.0
18		扭转	≤4.0
19	桥面	长度	±2.0
20	板块	宽度	+3.0, +2.0

注：检测点为杆件系统线与杆件极边孔中心线的交点

序号	名 称		允许偏差	简 图
21	① 横梁间距 S	横梁间距 S	±1.0	
22			±2.0	
23		连接部位	≤1.0	
24		其余部位	≤2.0	
	横梁平 面对角 线差	L ₁ -L ₂	≤2.0	
		L ₃ -L ₄	≤3.0	

注： ① 桥面板块中，未表示的内容可参考表 5.2.6。

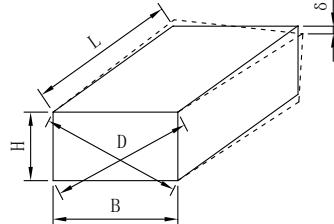
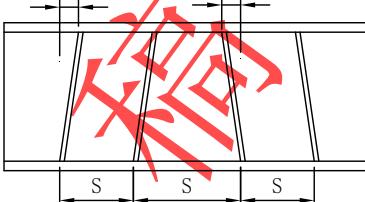
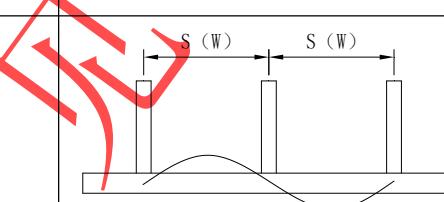
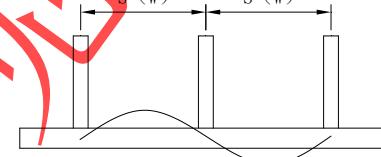
条文说明：

随着大跨度桥梁的发展，~~大节段钢桁梁整体吊装施工方法逐步采用，本规范特~~规定了钢桁梁主桁片、~~横联桁片、桥面板块，钢桁梁节段的~~相关内容。

5.2.12 钢塔节段组装应符合下列规定：

- 1 ~~钢塔节段组装应在专用组装胎架上进行，并用马板固定。在确保产品组装精度、控制变形的条件下尽量减少马板的数量。~~
- 2 ~~马板焊接与定位焊要求相同，在解除马板时不应伤及母材，解除后应对马板定位焊位置按工艺要求进行处理。~~
- 3 组装后的钢塔节段同一接缝两个端面各参数的允许偏差应同正或同负。
- 4 块体、钢塔节段及横梁组装允许偏差应符合表 5.2.12 的规定。

表 5.2.12 块体、钢塔节段及横梁组装允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	块体 钢塔节段 横梁	长度 L	※	
		宽度 B	±2.0	
		高度 H	±2.0	
		端口对角线相对差(D)	≤3.0	
		扭曲 δ	≤3.0	
2	横隔板	垂直度Δ	≤2.0	
		间距 S	±2.0	
3	钢塔节段旁弯		≤3.0	
4	壁板、腹板 单元纵肋间距	端部及隔板处	±1.0	

条文说明:

钢塔节段由若干板单元和块体组成。组装前熟悉施工图及工艺文件，依据施工图及技术文件核对每个零件、部件，不允许使用未经检验或检验不合格的零、部件进行组焊。在钢塔节段组装过程中，一般由基准线控制每一个被安装部件的位置，使其在允许的偏差范围内，以保证钢塔节段的整体尺寸精度。

5.3 检验

5.3.1 钢板接料应符合本规范第 5.1.2 条的规定。

检验方法：观察检查，用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查。

5.3.2 组装前应按本规范第 5.1.3 条的规定对焊接区域进行处理。

检验方法：观察检查，用钢卷尺检查。

5.3.3 采用先孔法的构件，组装时应符合本规范第 5.1.4 条的规定。

检验方法：观察检查。

5.3.4 钢箱梁节段组装尺寸允许偏差应符合本规范第 5.2.9 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

5.3.5 桁梁、板梁构件组装尺寸允许偏差应符合本规范第 5.2.10 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

5.3.6 主桁桁片、横联桁片、桥面板块的组装允许偏差应符合本规范第 5.2.11 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

5.3.7 块体、钢塔节段及横梁组装允许偏差应符合本规范第 5.2.12 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺检查。

5.3.8 组装定位焊应符合本规范第 6.2.8 条的规定。

检验方法：观察检察，用钢卷尺、钢板尺、焊角检测器检查。

待

禁

准

6 焊接

6.1 一般规定

6.1.1 焊工和无损检测人员应持证上岗。

6.1.2 焊接之前，必须通过试验进行焊接工艺评定，确定焊接工艺。当材料、工艺有变化时，应重新进行焊接工艺评定，确定焊接工艺。施焊时应严格执行焊接工艺，不得随意改变焊接参数。焊接工艺评定应符合本规范附录 C 的规定。

条文说明：

焊接工艺评定试验是确定焊接工艺的依据，通过评定选择合适的坡口形状和尺寸、焊接材料、焊接方法、施焊条件及工艺参数等，以保证焊接接头的力学性能达到设计要求。焊接工艺是焊工操作的技术依据，因此，焊工在施焊前必须掌握工艺，并严格执行，以保证钢桥的焊接质量。

6.1.3 焊接材料应通过焊接工艺评定确定；焊剂、焊条必须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、焊丝上的油锈等必须清除干净；CO₂气体纯度应大于 99.5%。烘干后的焊接材料应随用随取。当从烘干箱取出的焊接材料超过 4 小时时，应重新烘干后使用。焊剂在现场宜采用保温桶存储。

条文说明：

焊接材料行业发展较快，新的焊接材料不断出现，加之钢桥所用钢种也在增多，为保证材料的匹配性，规定焊接材料应通过工艺评定确定。采用混合气体时，其他气体的纯度，通常也有必要进行控制，满足相应要求。

6.1.4 焊接时应控制焊接变形，宜采用如下措施：

- 1 各节段的同类焊缝应采用统一的焊接方法、焊缝断面、焊道数量、焊接参数、施焊顺序和施焊方向。
- 2 采用反变形和预变形等措施，尽可能减少焊接角变形和弯曲变形。

3 采用外约束和内约束等措施，减少焊接变形量。

6.2 焊接

6.2.1 焊接工作宜在室内进行，施焊环境湿度应小于 80%；焊接低合金钢的环境温度不应低于 5℃，焊接普通碳素钢不应低于 0℃；主要构件应在组装后 24h 内焊接。

条文说明：

焊接施工环境温度低于本规范规定的温度时，通常停止焊接作业。如果由于某种原因必须进行焊接作业，需专项试验研究确定。通过大量的焊接试验证明，当环境温度低于本规范规定的温度时，对焊接接头采取焊前预热，焊后缓冷措施，也能满足焊接接头的性能和质量要求。焊前预热和焊后缓冷可以降低接头的冷却速度，防止接头产生淬火组织，从而防止产生裂纹。焊前根据母材的材质、板厚、接头的特点和环境温度的高低进行焊接工艺评定试验确定预热温度、保温缓冷措施，是必不可少的。严格执行焊接工艺非常重要，尤其是定位焊缝，需要特别注意。

6.2.2 在室外焊接时，应采取防风和防雨措施，满足第 6.2.1 条规定的环境要求；主要构件应在组装后 12h 内焊接；焊接前应去除待焊部位水分和浮锈。

6.2.3 雨、雪、大风、严寒等恶劣气候条件，不应进行焊接作业。

6.2.4 施焊前应按施工图及工艺文件检查确认待焊部位的坡口尺寸、根部间隙等符合要求。焊接前应彻底清除待焊（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：

在焊接前彻底清除待焊区域内的有害物，主要是为了保证焊接质量。虽然在组装前已进行了清理，但在焊接区仍有可能存在油、锈、水、熔渣飞溅及焊瘤、焊根等。多层焊的每一层必须将熔渣及缺陷清理干净再焊下一层。

6.2.5 焊前应检查并确认所使用设备的工作状态正常，仪表良好，齐全可靠。

6.2.6 焊前预热温度应通过焊接工艺评定确定；预热范围一般为焊缝每侧 100mm 以上，距焊缝 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:

焊前预热包括组装定位焊、返修焊及所有焊缝的焊前预热。预热温度由焊接性试验及工艺评定确定。

6.2.7 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、溢流和其他缺陷后，再焊下一层。

6.2.8 定位焊接应符合下列要求:

1 定位焊缝应距设计焊缝端部 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。

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。

条文说明:

应根据构件的构造特点确定定位焊缝长度及间距。一般情况下，对于厚板且长大构件适当增加定位焊缝长度，缩短其间距；薄板（不大于 8mm）减少定位焊缝长度并缩短其间距。定位焊缝的焊角尺寸不宜过大，也不能太小，最小一般为 4mm。

6.2.9 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。气体保护焊必须在距设计焊缝端部 60mm 以外的引板上引、熄弧。引熄弧板长边应不小于 80mm，坡口、板厚应与母材相同。当不能加引（熄）弧板时，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。

条文说明:

为获得完好的焊缝，必须将引熄弧引到正式焊缝之外 80mm。

6.2.10 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。

条文说明:

用埋弧焊进行返修焊时，坡口角度不应小于 60° ，根部留有半径大于 5mm 的圆弧。

为了彻底清除裂纹，在其两端各外延 50mm，能避免返修焊缝长度太短。

6.2.11 临时连接件、附属设施焊接不得简化焊接工艺规程对打磨、预热等措施的要求。

6.2.12 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，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。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应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，不得随意更改焊接工艺参数。
- 5 施焊所用设备、工具应性能良好，能正常工作。
- 6 每日每台班开始生产前或更改一种焊接条件时，应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 焊接前应清除圆柱头焊钉头部及钢板待焊部位（大于 2 倍圆柱头焊钉直径）的铁锈、氧化皮、油污、水分等有害物，使钢板表面显露出金属光泽。
- 8 受潮的瓷环在使用前应在 150°C 的烘箱中烘干 1~2 小时。
- 9 当环境温度低于 2°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。

6.2.13 焊缝修磨和返修焊应符合下列要求：

- 1 焊后应将焊缝两端的引（熄）弧板用气割切掉，并磨平切口，不得损伤母材。当不能加引（熄）弧板时，对引、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。
- 2 马板、临时连接件应在母材上方 3mm 处切割，应符合图 6.2.13 的规定，母材上超出的材料应用砂轮打磨匀顺。

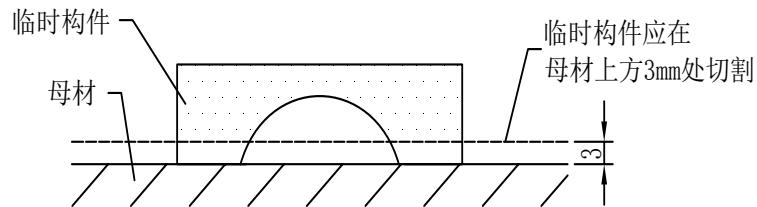


图 6.2.13 临时构件的去除（单位：mm）

3 焊脚尺寸、焊波或余高等超出表 6.5.1 上限值的焊缝应修磨匀顺。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。

4 焊缝不超差的咬边应修磨匀顺，焊缝咬边超过 1mm 或焊脚尺寸不足时，可采用手工电弧焊或 CO₂ 气体保护焊进行返修焊。

5 应采用碳弧气刨或其他机械方法清除焊接缺陷，在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口，并用砂轮磨掉坡口表面的氧化皮，露出金属光泽。

6 焊接裂纹的清除长度应由裂纹端各外延 50mm。

7 埋弧焊断弧返修焊缝时，应将焊缝清除部位的两端刨成不小于 1: 5 的斜坡，并搭接 50mm 再引弧施焊，焊后搭接处应修磨匀顺。

8 返修焊缝应按原焊缝质量标准要求检验，同一部位的返修焊一般不应超过两次。

9 圆柱头焊钉的补焊：缺焊焊缝长度超过周长的 1/4 或因其他顶点不合格的圆柱头焊钉应予更换重新焊接。缺焊长度未超过周长的 1/4 时可采用小直径低氢焊条补焊，补焊时预热 50℃～80℃。当钢板厚度达到手工焊要求预热的厚度时应预热，预热温度和手工焊要求的预热温度相同。对于焊钉焊缝不合格的，应切除，且不应伤及母材，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，并达到合格的焊接质量。

10 焊接缺陷修补方法按本规范附录 B 进行。

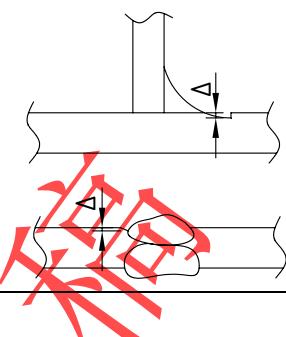
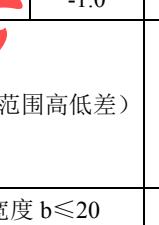
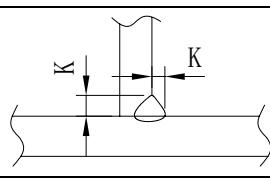
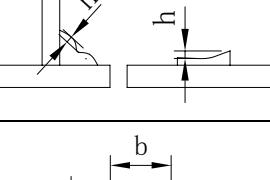
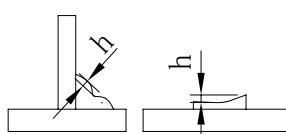
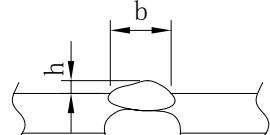
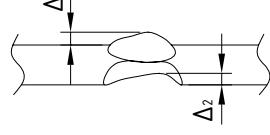
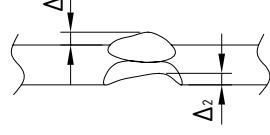
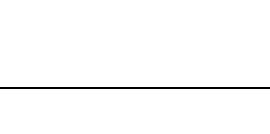
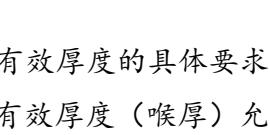
条文说明：

超差焊缝的修磨和返修，需监理批准。

6.2.14 焊接完毕且待焊缝冷却至室温后，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 6.2.14 的规定。外观检查不合格的焊缝，必须进行修补并打磨匀顺。

表 6.2.14 焊缝外观质量标准 (mm)

序号	名称	焊缝种类	质量标准		简 图
1	气孔	横向对接焊缝	不允许		
		纵向对接焊缝、主要角焊缝	直径小于 1.0	每米不多于 3 个，间距 < 20	

序号	名称	焊缝种类	质量标准		简图
		其余焊缝	直径小于 1.5	每米不多于 3 个, 间 距<20, 但焊缝端部 10mm 之内不允许	
2	咬边	受拉构件横向对接焊 缝、桥面板与弦杆角焊 缝、横梁接头板与弦杆 角焊缝、桥面板与 U 形 肋角焊缝（桥面板侧）、 竖向加劲肋角焊缝（腹 板侧受拉区）	不允许		
		受压构件横向对接焊 缝及竖向加劲肋角焊 缝（腹板侧受压区）	≤ 0.3		
		纵向对接焊缝、主要角 焊缝	≤ 0.5		
		其余焊缝	≤ 1.0		
3	焊脚 尺寸	主要角焊缝 K	$+2.0, 0$		
		其余角焊缝 K	$+2.0, 0$		
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	余高 铲磨 后的 表面	横向对接焊缝（桥面板 除外）	$\Delta_1 \leq 0.5$		
			$\Delta_2 \leq 0.3$		
			粗糙度 $50\mu\text{m}$		
7	有效 厚度	T形角焊缝	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		

条文说明:

参照对接焊缝余高的规定, 表 6.2.14 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 1.0mm。

6.2.15 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。

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。

6.2.16 产品试板检验应符合下列要求:

1 产品试板材质应与母材相同。焊缝应按表 6.2.16 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。

表 6.2.16 产品试板数量

序号	焊缝类型		接头数量	产品试板数量
1	受拉横向	接头长度 $\leq 1000\text{mm}$	32 条	1 组
	对接焊缝	接头长度 $> 1000\text{m}$	24 条	1 组
2	板单元横向对接焊缝		10 条	1 组
3	板单元纵向对接焊缝		30 条	1 组
4	全断面对接焊缝		10 个断面	平、立、仰焊缝各 1 组

2 焊接试板长度, 自动焊不得小于 600mm , 手工焊、 CO_2 气体保护焊不得小于 400mm 。

3 产品试板焊接完成后, 应先对供取样用的焊接试板做出标记, 并记录所在产品部位, 然后才能切割, 移送试验部门。

4 产品试板经焊缝外观和探伤合格后进行接头拉伸、弯曲和焊缝金属低温冲击试验(3个), 试样数量和试验结果应符合本规范附录 C 焊接工艺评定的有关规定。

5 工厂应从构件上引接, 总拼及桥址产品试板可单独施焊, 但必须与构件焊缝同材质、同工艺、同设备、同操作者, 在同一地点施焊, 禁止异地施焊产品试板。

6 若产品试板的试验结果不合格, 可在原试板上重新取样再试验, 如试验结果仍不合格, 则应先查明原因, 然后对该试板代表的焊缝进行处理。

条文说明:

产品试板试验结果不合格时, 先查明原因, 然后视具体情况消除应力处理或切开重焊。如果是由共性原因, 则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。

6.3 无损检测

6.3.1 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 $\sqrt{2}t$ （ 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。

6.3.2 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以后进行无损检测。

6.3.3 若焊接所在区域进行过扭曲修复，应进行二次检查。~~不得~~

6.3.4 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/T 19418)和《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》(GB/T 29712)的要求。距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合本规范附录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/T 11345)的规定。

6.3.5 钢箱梁焊缝无损检测的质量分级、检验方法、检验部位和等级应符合表6.3.5的规定。

表 6.3.5 钢箱梁焊缝无损检验质量等级及探伤范围

序号	焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	执行标准		探伤范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	顶板、底板、腹板对接接长焊缝	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			X射线	10%	GB/T 3323 B 级	GB/T 3323 II 级	焊缝两端各250mm(横向对接焊缝长度大于1200mm时，中部加探250mm)
2	顶板、底板、腹板纵向对接焊缝	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	端部1m范围为I级，其余部位为II级
			X射线	10%	GB/T 3323 B 级	GB/T 3323 II 级	顶板焊缝两端、中间250-300mm；底板、腹板焊缝两端各250-300mm
3	梁段间横桥向对接焊缝(环焊缝)	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长

序号	焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	执行标准		探伤范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
梁段间横桥向对接焊缝十字交叉处		I 级	X 射线	顶板 100%	GB/T 3323 B 级	GB/T 3323 II 级	焊缝横纵向各 250-300mm
				底板 30%			
				腹板 10%			
4	横隔板、纵隔板立位对接焊缝	II 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
5	纵隔板横位对接焊缝	II 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝两端各 1m
6	T 型接头和角接接头熔透角焊缝	I 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
7	腹板与风嘴顶板、斜底板间熔透角焊缝	I 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
8	连接锚箱或吊耳板的熔透角焊缝	I 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
		II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
9	吊索耳板与贴板外侧角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
10	锚拉板与顶板熔透角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
11	非支座横隔板与顶板、底板间角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	两端各 1m
12	非支座横隔板与腹板间角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
13	支座横隔板与顶板、底板、腹板间坡口角焊缝	II 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
14	纵隔板与顶板、底板、横隔板间坡口角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝两端各 500mm

序号	焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	执行标准		探伤范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
15	U形肋与顶板坡口角焊缝	II级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝两端各1m
16	U形肋与底板坡口角焊缝	II级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝两端各1m
17	U形肋、板肋嵌补段对接焊缝及角焊缝	II级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝全长
18	拆除临时连接件(含马板)的部位	II级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	拆除临时连接的部位
19	焊接试板	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长

条文说明:

随着正交异性钢桥面板疲劳问题日益突出，针对U形肋与顶板间80%熔深角焊缝，推荐采用超声波相控阵检测技术辅助检测。

6.3.6 钢桁梁、钢板梁焊缝无损检测的质量分级、检验方法、检验部位和等级应符合表6.3.6的规定。

表6.3.6 钢桁梁、钢板梁焊缝超声波探伤检测等级及探伤范围

序号	焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	执行标准		探伤范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	主要构件受拉的横向、纵向对接焊缝	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长
			X射线 ^①	10%	GB/T 3323 B级	GB/T 3323 II级	焊缝两端探250mm~300mm，焊缝长度大于6000mm时，中部加探250~300mm
2	主要构件受压的对接焊缝	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	横向为全长；纵向为两端各1m
3	接头板处T型熔透角焊缝	I级	超声波	100%	GB/T 11345 B级	GB/T 29712 2级	焊缝全长

序号	焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	执行标准		探伤范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
4	主要杆件箱型棱角焊缝和主要杆件工型角焊缝	II 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	两端孔范围并延长各 500 mm
5	弦杆纵肋角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	两端孔范围并延长各 500 mm
6	桥面板 U 肋坡口角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	焊缝两端各 1000 mm
7	工地环缝对接焊	I 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
8	贴角焊缝	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	两端螺栓孔部位并延长 500mm, 板梁主梁、箱梁及纵、横梁跨中加探 1000mm
9	产品试板	I 级	超声波	100%	GB/T 11345 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长
10	拆除临时连接件(含马板)的部位	II 级	磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952	拆除临时连接的部位

注: ① 厚度大于 30mm (不等厚对接时, 按薄板计) 的对接焊缝可按接头数量的 10% (不少于一个焊接接头) 加探检验等级为 C 级、质量等级为 I 级的超声波检验代替 X 射线探伤。探伤比例为焊缝条数的比例。全熔透焊缝, 以纵波对探头移动区的母材进行检测, 母材中不得存在影响横波对焊缝检测的缺陷; 否则, 必须调整检测技术或改变检测方法。

6.3.7 检测等级的规定如下:

检测等级分为 A、B、C、D 四个等级, 从检测等级 A 到检测等级 C, 逐级增加检测覆盖范围 (如增加扫查次数和探头移动区等), 并提高缺欠检出率, 检测等级 D 适用于特殊应用, 应根据构造实际状态制定书面检测工艺规程并考虑本规范的通用要求。通常, 检测等级和焊缝质量等级有关。相应检测等级可由焊缝检测标准、设计要求或其他文件规定。针对各种探头类型, 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) 附录 A 有关规定。

为避免几何形状限制相应检测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。

6.3.8 板厚小于等于 30mm (不等厚对接时, 按薄板计) 的主要构件受拉横向、纵向对接焊缝除应满足表 6.3.6 的规定外还应按接头数量的 10% (不少于一个焊接接头) 进行射线探伤。探伤范围为焊缝两端各 250~300mm, 焊缝长度不足 600mm 时,

全长射线探伤，焊缝长度大于 6000mm 时，中部加探 250~300mm；十字交叉（包括 T 字交叉）对接焊缝应在以十字交叉点为中心的 120~150mm 范围内 100% 射线探伤。焊缝的射线探伤应符合现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》（GB/T 3323）的规定，射线透照技术等级采用 B 级（优化级），焊缝内部质量应达到Ⅱ级，缺陷评定应符合本规范附录 F 的规定；厚度大于 30mm（不等厚对接时，按薄板计）的主要构件受拉横向、纵向对接焊缝除应满足表 6.3-2 的规定外还应按接头数量的 10%（不少于一个焊接接头）增加检测等级为 C 级质量等级为 I 级的超声波检测。此时焊缝余高应磨平，使用的探头折射角应有一个为 45°，探伤范围为焊缝两端各 500mm。焊缝长度不足 1000mm 时，焊缝全长超声波探伤，~~焊缝长度大于 1500mm 时，中部加探 500mm。~~

6.3.9 桥面板 U 形肋角焊缝缺陷评定应符合本规范附录 G 的规定。当设计要求对桥面板 U 形肋焊缝采用超声波相控阵技术对熔深评定时，~~检测比例为 100%，检测范围为焊缝两端各 1000mm，超声波相控阵检测要求和熔深评定应符合本规范附录 J 的规定。~~

6.3.10 弱磁性材料焊缝需进行渗透探伤时，~~应符合现行标准《无损检测 渗透检测》（GB/T 18851）、《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》（GB/T 26953）的规定，焊缝质量应达到Ⅱ级；缺陷评定应符合本规范附录 H 的规定。~~

6.3.11 进行局部超声波探伤、~~渗透探伤或磁粉探伤的焊缝，当发现裂纹或其他缺陷较多时，应扩大该条焊缝的探伤范围，必要时可延至全长；对于局部射线探伤的焊缝，当发现超标缺陷时，应加倍检测。~~

6.3.12 用射线(RT)、超声波(UT)、磁粉(MT)、渗透(PT)等多种方法检测的焊缝，应达到各自的质量要求，方可认为该焊缝合格。

6.3.13 钢箱梁焊缝超声波锤击应符合以下规定：

- 1 为减少焊缝残余应力，对设计要求部位进行超声波锤击处理，锤击部位包括：锚固耳板与吊耳补强板间角焊缝、锚固吊耳与横隔板间熔透角焊缝的焊趾，如图 6.3.13 所示。
- 2 需要锤击的焊缝应在外观检查并探伤合格后进行。
- 3 焊缝超声波锤击的工艺及检验标准应符合本规范附录 K 的规定。

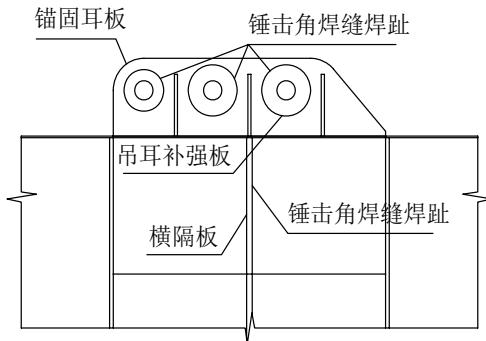


图 6.3.13 超声波锤击部位

禁
止

条文说明:

如果设计文件没有特别要求，可不进行超声波锤击。

6.3.14 桁梁焊缝超声波锤击应符合以下规定：

1 需要锤击的焊缝应在外观检查并探伤合格后进行。要求超声波锤击的构件部位包括：

(1) 下弦杆节点板穿出上水平板围焊缝端部 150mm 范围内，如图 6.3.14-1 所示。

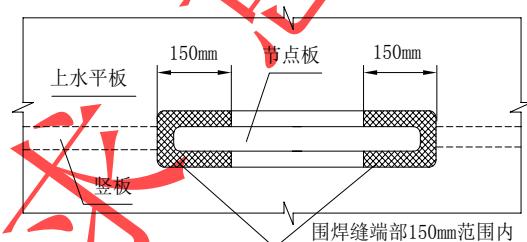


图 6.3.14-1 下弦杆节点板穿出上水平板围焊缝端部

(2) 锚拉板与上弦杆上水平板间角焊缝端部 150mm 范围内，如图 6.3.14-2 所示。

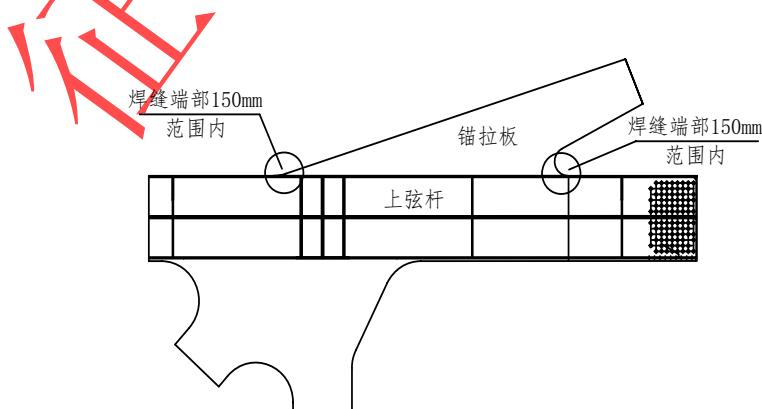


图 6.3.14-2 锚拉板与上弦杆上水平板间角焊缝端部

(3) 上弦杆横梁下盖板接头板角焊缝端部 150mm 范围内, 如图 6.3.14-3 所示。

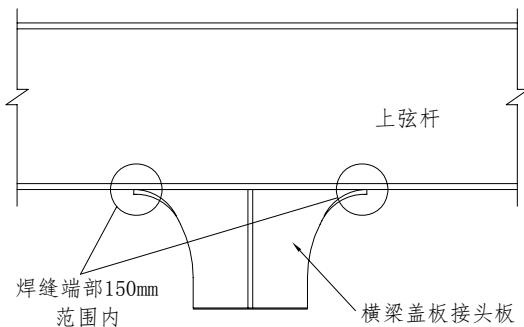


图 6.3.14-3 上弦杆横梁下盖板接头板角焊缝端部

(4) 腹杆腹板与弦杆节点板间角焊缝端部 150mm 范围内, 如图 6.3.14-4 所示。

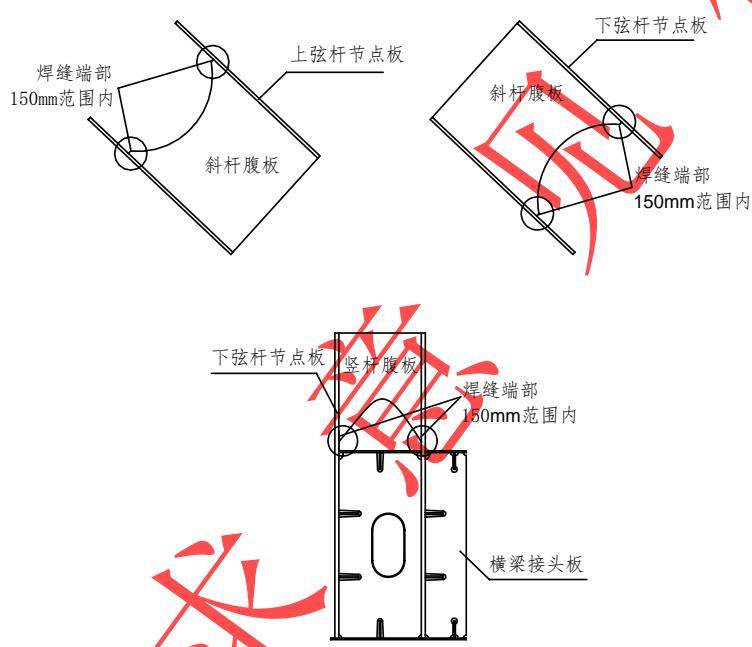


图 6.3.14-4 腹杆腹板与上下弦杆节点板间角焊缝端部

(5) 横梁接头板与横梁、腹杆间熔透角焊缝端部 150mm 范围内, 如图 6.3.14-5 所示。

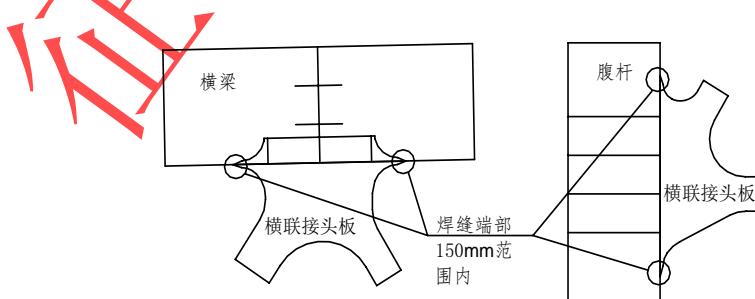


图 6.3.14-5 横联接头板与横梁、腹杆间熔透角焊缝端部

2 焊缝超声波锤击的工艺及检验标准应符合本规范附录 K 的要求。

3 检验人员和监理工程师应现场检查和确认。

条文说明:

常规无损检测方法中，超声波和射线检测方法都是主要探测被检物体的内部缺陷。射线探伤成本高、操作复杂、检测周期长且对裂纹、未熔合等危害性缺陷检出率低，同时对检测周围环境有特殊的人员防护要求。超声波探伤则正好相反，操作简单、快速，对裂纹、未熔合的检测灵敏度高，对检测环境无过高要求。这一现象，透照厚度越大表现的越明显。《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2011)规定，设计要求全熔透的一、二级焊缝应采用超声波进行内部缺陷的检验，超声波探伤不能对缺陷做出判断时才采用射线探伤。德国铁路钢桥附加技术条件《Eisenbahnbrücke Zusätzliche Anforderungen für Stahlbrücken 804.4101》规定母材板厚 $\geq 30\text{mm}$ 的对接焊缝可采用超声波探伤代替射线探伤。

6.4 构件矫正

6.4.1 矫正后的板单元、构件和梁段表面不应有凹痕和其他损伤。

6.4.2 冷矫的环境温度不应低于 5°C ，矫正时应缓慢加力，冷矫的总变形量不应大于变形部位原始长度的2%。时效冲击值不满足要求的拉力构件，不得冷矫。

6.4.3 热矫时加热温度应控制在 $600^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ ，严禁过烧，不宜在同一部位多次重复加热，温度降至室温前，不得锤击钢材和用水急冷。当设计文件有特殊要求时，矫正方法及矫正温度应满足设计文件要求。

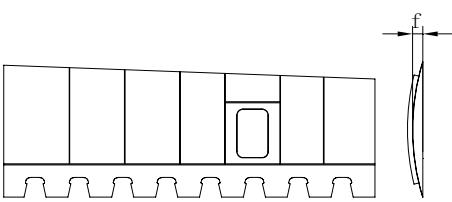
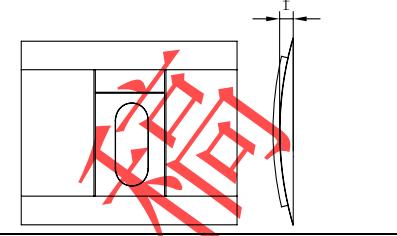
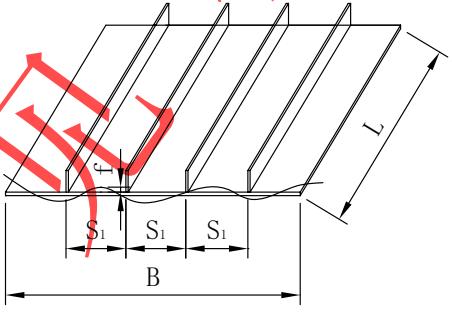
条文说明:

随着新材料的应用，部分新钢种对矫正有特殊要求，故规定了“设计文件有特殊要求时，矫正方法及矫正温度应满足设计文件要求”。

6.4.4 板单元矫正的允许偏差应符合表 6.4.4 的规定。

表 6.4.4 板单元矫正的允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	顶板	横向平整度 $S_1/250$	
	纵向平整度	≤ 5.0	
	四角不平度	≤ 5.0	
	横、纵隔板接板垂直度	≤ 2.0	

序号	名 称	允许偏差	简 图
2	板 横隔板	纵向、横向平面度 f ≤ 2.0	
3	纵隔板	平面度 f ≤ 2.0	
4	风嘴	顶板、导风板平面度 f $S_1/250$ S_1 为纵肋间距	

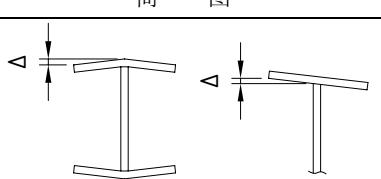
6.4.5 钢箱梁梁段矫正的允许偏差应符合表 6.4.5 的规定。

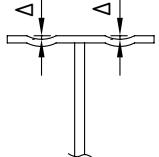
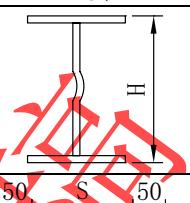
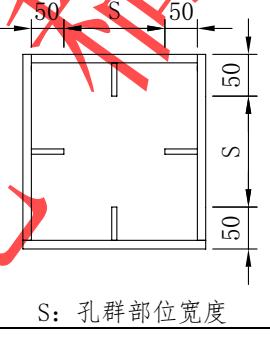
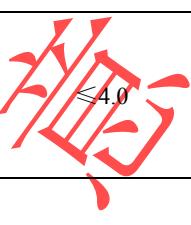
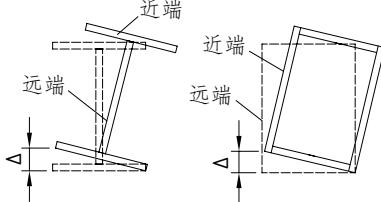
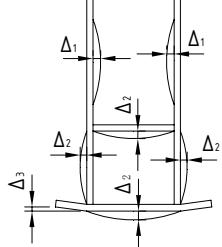
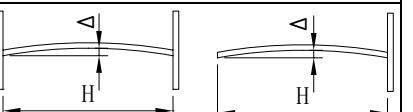
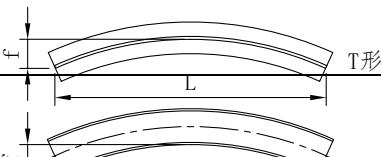
表 6.4.5 钢箱梁梁段矫正的允许偏差 (mm)

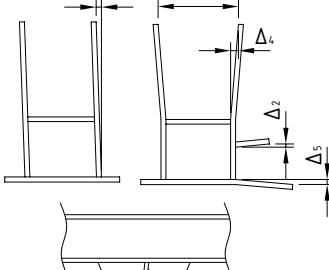
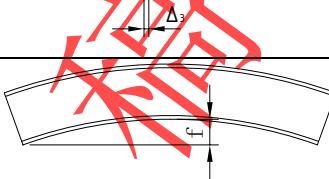
序号	名 称	允许偏差	简 图
1	横断面对角线差	≤ 4.0	工地接头处的横断面
2	旁弯 f	≤ 5.0	单个梁段
3	扭曲	每米不超过 1.0, 且每段 ≤ 8.0	每段以两边隔板处为准
4	箱形梁拱度	$+10.0, -5.0$	

6.4.6 栓梁、板梁构件矫正的允许偏差应符合表 6.4.6 的规定。

表 6.4.6 栓梁、板梁构件矫正的允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	盖板对腹板的垂直度 Δ 有孔部位	当 $b \leq 600$ 时 ≤ 0.5	
		当 $b > 600$ 时 ≤ 1.0	

序号	名 称		允许偏差	简 图
	其余部位		≤ 1.5	
2	盖板 平面度	有孔部位	≤ 0.5	
		其余部位	≤ 1.0	
3	腹板平面度		$\leq h/500$ 且 ≤ 2.0	
4	箱形构件盖 腹板平面度	工地孔部位	$S/750$ 且 ≤ 1.0	
		其余部位	$S/250$ 且 ≤ 3.0	
	纵向		$L_1/500$ 且 ≤ 5.0	
5	箱形构件对 角线差 $ L_1-L_2 $	边长 < 1000	≤ 2.0	
5		边长 ≥ 1000	≤ 4.0	
6	工形、箱形构件的扭曲		≤ 3.0	
7	整体节点构件节点板平面度		$\Delta_1 \leq 1.0$ $\Delta_2 \leq 1.0$ $\Delta_3 \leq 1.5$ (栓孔部位)	
8	板梁、纵梁、横梁腹板平面度 Δ		$h/500$ 且 ≤ 5.0	
9	T 形、工形、 箱形构件的 弯曲；纵梁、 横梁的旁弯 f	$L \leq 4000$	≤ 2.0	
		$4000 < L \leq 16000$	≤ 3.0	
		$L > 16000$	≤ 5.0	

序号	名 称	允许偏差	简 图
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	≤ 1.0 (不许内弯)	
11	整体节点下盖板平面度 Δ_5	≤ 2.0	
	板梁拱度 (不设拱度)	+5.0, 0	
	板梁拱度 (设拱度)	+10.0, -3.0	
	纵梁、横梁拱度	+3.0, 0	

6.4.7 钢塔构件矫正的允许偏差应符合表 6.4.7 的规定。

表 6.4.7 钢塔构件矫正的允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	壁板平面度	纵向	$W/300$
		横向	$S/500$
2	横隔板	弯曲度	≤ 2.0

6.5 检验

6.5.1 焊接检验应符合本规范第 6.1 节、第 6.2 节和第 6.3 节的规定。

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

6.5.2 构件矫正应符合本规范第 6.4 节的规定。

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

6.5.3 矫正后的构件表面不得有凹痕和其他损伤。

检验方法: 观察检查。

6.5.4 冷矫时应符合本规范第 6.4.2 条的规定。

检验方法：观察检察，用测温计检查。

6.5.5 热矫时应符合本规范第 6.4.3 条的规定。

检验方法：观察检察，用测温计检查。



7 预拼装、试拼装

7.1 一般规定

7.1.1 预拼装和试拼装应采用专用平台或胎架，并宜在厂房内进行。平台或胎架应有足够的强度、刚度和稳定性，基础和地基应有足够的承载力。

条文说明：

通常对钢箱梁、钢塔进行预拼装，对钢桁梁、钢板梁进行试拼装。规定在室内进行，是为了减少环境影响，检验制造工艺、精度控制等技术措施的效果。

为消除温差影响，并有足够的时间完成所有工作，宜在无日照影响下进行测量作业，并应有详细的检查记录。

7.1.2 预拼装、试拼装时，应模拟构件在现场拼装时的受力状态。

7.1.3 预拼装、试拼装施工时，应符合起重吊装、高空作业安全管理的相关规定。

7.2 预拼装

7.2.1 钢箱梁预拼装应按施工图纸规定的连接顺序进行，每轮预拼装数量不宜少于 5 段，每次留 1 段参与下一轮预拼装匹配。

条文说明：

梁段的节段长度大于 20m 时，可采用 3+1 或 2+1 的模式。

7.2.2 每轮预拼装均应测量调整标高，预拼装胎架顶面（即梁段底）纵、横向线型应与设计要求的梁底线型相吻合。预拼装线型应符合施工监控方案要求。

7.2.3 钢箱梁节段预拼装主要尺寸允许偏差应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 钢箱梁节段预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许偏差	备 注
1	预拼装长度 L		$\pm 2n, \pm 20.0$; 取绝对值较小者	n 为梁段数, 测最外侧两锚箱或吊点间距
2	顶板宽 B	2 车道	±5.0	
		4 车道	±6.0	
		6 车道	±8.0	
3	梁高 H	H ≤ 2m	±2.0	测量两端腹板处高度
		H > 2m	±4.0	
4	两箱梁中心距		±5.0	测两侧腹板中心距
5	两相邻吊点纵距		±3.0	测锚箱或吊点间距
6	梁段中心线错位		≤1.0	梁段中心线与桥轴中心线偏差
7	断面对角线差	单箱	≤4.0	
		双箱	≤8.0	
8	左右支点高度差 (吊点)		≤5.0	左右高低差
9	竖曲线或预拱度		+10.0, -5.0	L 为预拼装长度, 以 m 计。 测横隔板处桥面标高。
10	旁弯		$3.0+0.1L_m$ 且 ≤ 6.0	测桥面中心线的平面内偏差。L _m 为任意 3 个预拼装梁段长度, 以 m 计。
11	两相邻梁段接口错边量		≤1.0	梁段匹配接口处安装匹配件后
12	纵肋直线度 f		≤2.0	梁段匹配接口处
13	螺栓孔孔距		±1.0	相邻梁段 ^①
14	扭曲		≤5.0	三个支座处水平时, 另一支撑处翘起高度 (指每一个梁段)

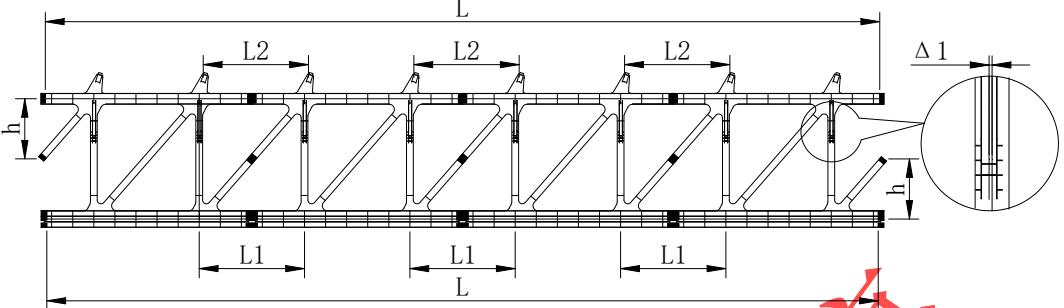
注: ① 对于特配拼接板可不受此限。

7.2.4 钢桁梁节段预拼装主要尺寸允许偏差应符合表 7.2.4 的规定。

表 7.2.4 钢桁梁节段预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

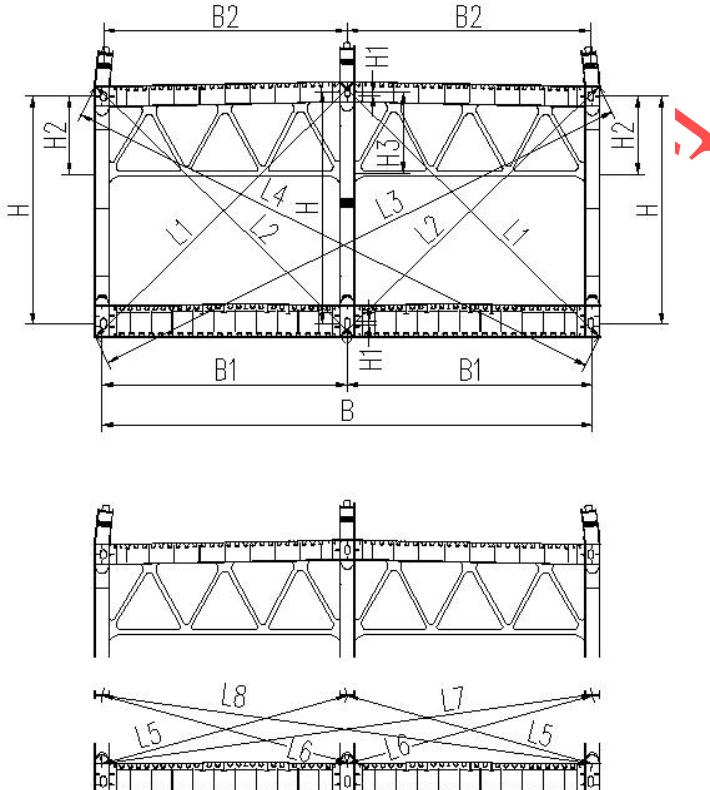
序号	名 称	允许偏差	备 注
1	预拼装长度 L	$L/10000$ 且 ≤ 10.0	三片主桁预拼装弦杆极边孔距
2	两相邻节点间距 L1	±3.0	两相邻节段的相邻节点纵向间距
3	两相邻锚点间距 L2	±5.0	两相邻节段的相邻锚箱锚点纵向间距
4	1/2 斜杆接口位置 h	±2.0	预拼装端部斜杆端头孔群与上弦杆腹板孔群距离
5	横联顺桥向位置偏移量 Δ1	≤5.0	各横联中心与竖杆中心线的偏移量

序号 1~5 简图:

序号	名称	允许偏差	备注
			
6	主桁中心线直线度（旁弯）	≤ 10.0	中桁、边桁中心线与预拼装全长两端中心连线的偏差，测节点处
7	桁片纵向偏移 $\Delta 2$	≤ 5.0	下弦同一节点编号处两边桁节点连线，测量中桁节点连线的偏移量
8	平面对角线差	$ L1-L2 $	预拼装全长范围，两边桁之间，n为预拼装节段数量
		$ L3-L4 $	单个节段，两边桁之间
		$ L5-L6 $	单个节段，边桁与中桁
9	纵梁至主桁距离 $L0$	≤ 2.0	预拼装两端，下层桥面纵梁、结合段上层桥面纵梁腹板中心至主桁中心距离
序号 7~9 简图： 			
10	桁高 H	± 3.0	
11	桁宽	$B1$	节点处及预拼装全长两端的边桁与中桁弦杆中心距
		B	节点处及预拼装全长两端的两边桁弦杆中心距
12	锚点间距 $B2$	± 5.0	同一节点编号处边桁与中桁锚点的横向距离
13	端面对角线差	$ L1-L2 $	预拼装两端横断面，边桁与中桁
		$ L3-L4 $	预拼装两端横断面，边桁之间
14	斜杆处横断面面对角线差	$ L5-L6 $	预拼装两端横断面，斜杆端部至与之相连接的上弦杆（下弦杆）端部，边桁与中桁

序号	名称	允许偏差	备注
	$ L7-L8 $	≤ 5.0	预拼装两端横断面，斜杆端部至与之相连的上弦杆（下弦杆）端部，边桁之间
15	节点中心高度差 H1	+5.0, 0	节点处两边桁弦杆中心与中桁弦杆中心点的高度差（中桁高于边桁时差值为正）
16	横联高度 H2、H3	± 5.0	上弦杆到横联水平撑杆的竖向距离

序号 10~16 简图：



17	预拱度	当计算拱度 $\leq 60\text{mm}$	± 3	各节点位置的下弦杆下水平板处
		当计算拱度 $> 60\text{mm}$	$\pm 5f/100$, 且 ≤ 10.0	
18	下层桥面标高	± 5.0		桥面板四角有横梁位置
19	上层桥面标高	± 8.0		桥面板四角有横梁位置
20	节段间对接错边	≤ 1.5		节段焊接接口处安装匹配临时件后
21	桁片垂直度	≤ 3.0		上、下弦杆中心线横向偏移

7.3 钢塔预拼装

7.3.1 钢塔节段预拼装可采用竖直方式（立式）或水平方式（卧式），也可采用计算机模拟预拼装。

条文说明:

计算机模拟预拼装的具体做法是，每个钢塔节段加工完成并经检验合格后，用高精度激光测量跟踪系统进行测量，测量结果形成数字模型，用计算机模拟预拼装，其结果可以与实物预拼装结果比较，同时可指导钢塔节段加工和预拼装。当预拼装结果与计算机模拟预拼装结果有较大差异时，应进行分析，并在以后钢塔节段制作时作必要的修正处理。计算机模拟预拼装也可用于钢箱梁、钢桁梁和钢板梁。

7.3.2 钢塔节段立式预拼装应符合下列规定：

- 1 立式预拼装应按照设计连接顺序依次两两进行，并对端面接触率、螺栓孔的位置、轴线偏位等情况进行检查。
- 2 立式预拼装工作平台应具有足够的刚度及顶面平面精度，其刚度应满足不因荷载增加产生变形，其平面精度应不小于钢塔柱端面加工精度。
- 3 立式预拼装前，应将端面上存留的残留物清除干净。金属接触率检查前应清除接触面边缘的机加工毛刺，避免其对金属接触率的影响。
- 4 金属接触率检查：以 0.04mm 的塞尺插入深度不超过板厚的 1/3 为密贴，插入深度超过板厚的 1/3 为不密贴；测量点按设计规定执行，每个顶紧处都应有检查记录。
- 5 采取两节段立式预拼装合格后还应进行多节段卧式预拼装，每轮不宜少于 5 个节段。
- 6 立式预拼装主要尺寸允许偏差应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 钢塔节段立式预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许误差	备 注
1	预拼长度 (L)	$\pm 2.0 \times n$	n—预拼装钢塔节段数量
2	垂直度	$\leq 1.0/6000$	
3	错边量	≤ 2.0	个别角点, 3.0mm
4	端面金属接触率	壁板	$\geq 50\%$
		腹板	$\geq 40\%$
		加劲肋	$\geq 25\%$

7.3.3 钢塔节段卧式预拼装应符合下列规定：

- 1 卧式预拼装应使用预拼装胎架，胎架要有足够的刚度及平整度，其刚度应满足不因荷载的增加而产生变形。
- 2 应设置临时连接匹配件并标识。
- 3 金属接触率检查前，应清除接触面边缘的机加工毛刺，以减少对金属接触率的影响。

- 4 端面金属接触率检查：以 0.2mm 的塞尺检查，其塞入面积不超过 25%。
- 5 用试孔器检查所有的螺栓孔，所有螺栓孔应 100% 自由通过较设计孔径小 1.0mm 的试孔器方可认为合格。

6 钢塔节段卧式预拼装主要尺寸允许偏差应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 钢塔节段卧式预拼装主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许误差	备 注
1	钢塔节段间预拼装		预拼长度 (L)	$\pm 2.0 \times n$ n—钢塔节段数量
2			垂直度	$\leq 1.0/6000$
3			错边量	≤ 2.0 个别角点 $\leq 3.0\text{mm}$
4	端面接触率	壁板	$\geq 50\%$	
		腹板	$\geq 40\%$	
		加劲肋	$\geq 25\%$	
5	钢塔节段与横梁预拼装		对角线 (D)	≤ 3.0
6			横梁水平度 (两端)	± 3.0
7			钢塔节段中心距 (B1、B2)	± 2.0
8	错边量		≤ 2.0	注：钢塔节段中心距由桥位测量结果确定。

条文说明：

卧式预拼装一般在具有相当精度的测量仪器的控制下完成，重点控制钢塔整体直线度和线型。预拼装施工与检测均应在温度恒定时进行，并施加必要的轴向力，以保证与实际受力状态接近，以准确测量端面金属接触率。

7.3.4 预拼装检测合格后应进行拼接板配制，并按图编号，以便现场安装核对。

7.4 试拼装

7.4.1 钢桁梁、钢板梁应按试拼装图进行试拼装。首批制造的钢桥或改变工艺装备（包括工艺装备大修）时，均应进行有代表性的局部试拼装；成批连续生产的钢桥，每生产 15 孔试拼装一次。

7.4.2 用于试拼装的构件均应检验合格，试拼装应在构件涂装前进行。

7.4.3 试拼装应在测平的胎架上进行，构件应处于自由状态。钢板梁应采用整孔试拼装；钢桁梁应采用平面试拼装。简支桁梁试拼装长度应不少于半跨，连续桁梁试拼装长度应包括所有节点类型。

7.4.4 试拼装时，应使板层密贴，冲钉不宜少于螺栓孔总数的 10%，螺栓不宜少于螺栓孔总数的 20%，冲钉和螺栓数量分别不得少于 2 个。

条文说明：

试拼装中用冲钉使构件定位，用螺栓使板层密贴。如果使用较少的冲钉和螺栓能起到定位和密贴的作用，且能通过试孔器的检验，应该视为合格。这样可使更多的螺栓孔进行试孔器检查，试拼装用螺栓的直径与设计选用的螺栓相同。

7.4.5 试拼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。

7.4.6 试拼装时，应用试孔器检查所有螺栓孔。钢桁梁主桁的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器；桥面系和联结系的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小于 1.0mm 的试孔器；钢板梁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，钢板梁其他螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.5mm 的试孔器。

7.4.7 磨光顶紧处应有 75%以上的面积密贴，用 0.2mm 塞尺检查，其塞入面积不得超过 25%。

7.4.8 钢桁梁试拼装的主要尺寸应符合表 7.4.8 的规定。

表 7.4.8 钢桁梁试拼装的主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名称	允许偏差	备注
1	桁高	±2.0	上下弦杆中心间距
2	节间长度	±2.0	—
3	旁弯	$l/5000$	桥面系中线与其试拼装全长 l 的梁段中心所连直线的偏差
4	试拼装长度	±5.0	$l \leq 50000$
		$\pm l/10000$	$l > 50000$
5	拱度	±3.0	当 $f \leq 60$ 时 (f —计算拱度)
		$\pm 5f/100$	当 $f > 60$ 时 (f —计算拱度)
6	对角线	±3.0	每个节间
7	主桁 两片主桁	±3.0	—

序号	名 称		允许偏差	备 注
	中心距	三片主桁	±2.5	边桁至中桁的中心距离
			±5.0	边桁至中桁的中心距离

7.4.9 钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 7.4.9 的规定。

表 7.4.9 板梁试拼装的主要尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	备 注
1	梁高 H	±2.0	H≤2m
		±4.0	H>2m
2	跨度 L	±8.0	支座中心至中心
3	全长	±15.0	全桥长度
4	主梁中心距	±3.0	—
5	拱度	+10, -3.0	与计算拱度相比
6	旁弯	L/5000	桥梁中心线与其试拼装全长 L 的两端按中心所连直线的偏差
7	两相邻梁段上下翼缘错边量	≤2.0	
	两相邻梁段腹板错边量	≤2.0	
	相邻两主梁横断面对角线差	≤8.0	
	两片梁相对拱度差	≤4.0	—
8	平联节间对角线差	≤3.0	—
9	横联对角线差	≤4.0	—
10	主梁倾斜	≤5.0	—
11	支点处高低差	≤3.0	三个支座处水平时，另一支座处翘起高度

7.4.10 试拼装应有详细检查记录和分析总结，经验收合格后方可批量生产。

7.5 检验

7.5.1 梁段预拼装应符合本规范第 7.1 节和第 7.2 节的规定。

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

7.5.2 钢塔立式预拼装和卧式预拼装应符合本规范第 7.3 节的规定。

检验方法：钢尺、全站仪、钢板尺、塞尺。

7.5.3 试拼装时，应使板层密贴，冲钉及螺栓数量应符合本规范第 7.4.4 条的规定。

检验方法：观察检察，用塞尺检查。

7.5.4 试拼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。

检验方法：观察检察。

7.5.5 试拼装时，螺栓孔通过率应符合本规范第 7.4.6 条的规定。

检验方法：观察检查，用试孔器检查。

7.5.6 磨光顶紧处应符合本规范第 7.4.7 条的规定。

检验方法：观察检查，用塞尺检查。

7.5.7 钢桁梁、钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差应分别符合本规范第 7.4.8 条、第 7.4.9 条的规定。

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

注

示

正

8 成品尺寸与验收

8.1 一般规定

8.1.1 钢桥制造完成后应进行检验，出厂前应进行验收。

8.1.2 钢桥验收时，应具备下列文件：

- 1 产品合格证；
- 2 钢材、焊接材料和涂装材料的出厂质量证明书及复验资料；
- 3 焊接工艺评定报告及其它主要工艺试验报告；
- 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 预拼装或试拼装验收报告；
- 9 涂装检测记录。

8.1.3 钢桥计量时，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、吊耳、称重等位置加固及临时连接件采用的钢材，应按实际重量计入产品重量。

8.2 成品尺寸

8.2.1 板单元作为成品发运时，出厂前基本尺寸允许偏差应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 板单元基本尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	顶板 底板	长度、宽度	$\pm 2.0^{\circ}$	
		对角线相对差	≤ 4.0	
		横向平整度	$S_1/250$	
		纵向平整度	≤ 5.0	
		四角不平度	≤ 5.0	

序号	名 称	允许偏差	简 图
2	横隔板	板边直线度	≤ 3.0
		接板垂直度	≤ 2.0
		长度 L	± 2.0
		宽度 B	$\pm 2.0^{\circ}$
		对角线差 $ L_1-L_2 $	≤ 5.0
3	纵隔板	平面度 f	$\leq 1/1000$
		板边直线度 f	≤ 2.0
		长度、宽度	± 2.0
		对角线差 $ L_1-L_2 $	≤ 5.0
4	腹板 风嘴	平面度 f	≤ 2.0
		长度 L、宽度 B	$\pm 2.0^{\circ}$
		板边直线度	≤ 3.0
		平面度 f	$S_1/250$

注：① 有切头时长度可放宽；

② 搭接构造可放宽。

8.2.2 钢箱梁梁段制造基本尺寸允许偏差应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 钢箱梁梁段制造基本尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称		允许偏差	简 图
1	梁长	顶板长度 L_1	± 2.0	以梁段两端检查线为基准，合龙段长度根据实测结果确定
		底板长度 L_2		
2	梁高	梁段中心处 H	± 2.0	测量两端口，以底部为基准
		边高 H_1 、 H_2	± 3.0	
3	腹板中心距		± 3.0	测量两端腹板中心距
4	梁半宽 $B/2$	2 车道	± 2.5	在梁段两端口测量宽度
	顶板半宽 $B_1/2$	4 车道	± 3.0	

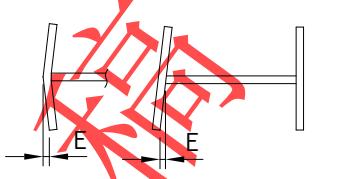
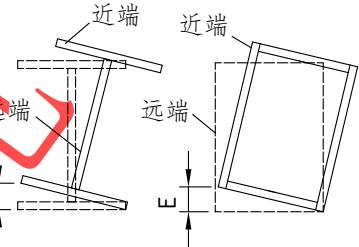
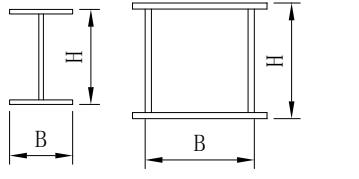
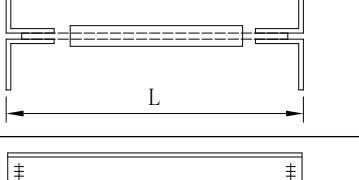
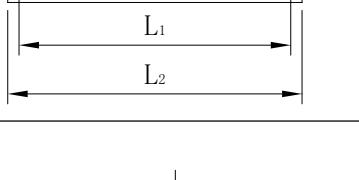
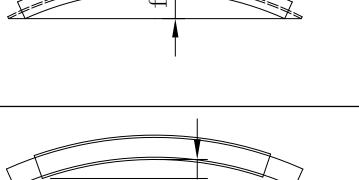
序号	名 称		允许偏差		简 图
	底板半宽 $B_2/2$	6 车道	± 4.0		
5	端口尺寸	对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 6.0		
		顶板与底板中心重合度	≤ 2.0		
6	锚箱位置	同一梁段两锚箱高差	≤ 5.0		
		锚箱距梁段端口长度 L_1, L_2	± 2.0		
7	吊点位置	横向中心距	± 4.0		
		两吊点纵向错位	± 2.0		
		相对高差	≤ 5.0		
8	顶板	四角(A、B、C、D)水平	± 3.0		
		相对高差	≤ 8.0		
		1/2 对角线(AO, BO, A_1O, B_1O)差	≤ 8.0		
9	板面平面度	横桥向 f	$S_1/250$		
		纵桥向 f	$S_2/500$		

序号	名 称	允许偏差	简 图
10	桥面横坡	$\pm 0.1\%$	
11	旁弯 f	$3.0+0.1L$	

8.2.3 钢桁梁构件及梁段基本尺寸应符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 桁梁构件及梁段基本尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差	简 图
1	主 桁 梁 构 件	高度 H 插入式 : $-0.5, -2.0$ 对拼式: ± 1.0	测量两端腹板处高度
2		宽度 B ± 1.0 (腹板有拼接) ± 2.0 (腹板无拼接)	每 2m 测一次
3		长度 L ± 4.0	测量全长
4		箱形构件 对角线差 ≤ 2.0 (边长 < 1000) ≤ 3.0 (边长 ≥ 1000)	测量两端箱口处两对角线
5		弯曲 ≤ 2.0 ($L \leq 4000$) ≤ 3.0 ($4000 < L \leq 16000$) ≤ 5.0 ($L > 16000$)	拉线测量
6		整体节点 弦杆节点 板内侧宽度 B $+1.5, 0$	测孔群部位
7		整体节点 弦杆端口 高度 H ± 1.0	测量两端腹板高度
8		整体节点 弦杆横梁 接头板高 度 H_1, H_2 ± 1.5	接头板外端 腹板处高度

序号	名 称	允许偏差	简 图
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	± 2.0	
10			
11		扭曲 ≤ 3.0	
12			
13			高度 H 纵梁: ± 1.0 横梁: ± 1.5 ± 2.0
14			
15			盖板宽度 B ± 2.0 ± 1.0 (箱形腹板有拼 接时)
16			
17			
18	纵 梁	长度 L $L_1: \pm 1.0$ $L_2: \pm 5.0$	
19			
20	横 梁	旁弯 f ≤ 3.0	
21			
22	上拱度 f	$+3.0, 0$	
23			

序号	名 称	允许偏差			简 图
18	腹板平面度 Δ	$h/500$ 且 ≤ 5.0			
19	联结系统构件	高差 H	± 1.5	测量两端腹板处高度	
20		盖板宽度 B	± 2.0	每 2m 测一次	
21		长度 L	± 5.0	测量全长	
22		箱形构件对角线差	≤ 2.0	测量两端箱口处两对角线	

条文说明:

序号 6 中的“节点板内侧宽度 B”是涂装后的尺寸，序号 17 中的 h 为纵、横梁端面高度或纵向加劲肋至下盖板间距离。

8.2.4 钢桁梁节段基本尺寸允许偏差应符合表 8.2.4 的规定。

表 8.2.4 钢桁梁节段基本尺寸允许偏差 (mm)

序号	名 称	允许偏差		简 图
1	桁高 H	± 2.0	相邻节段桁高差 ≤ 2	
2	极边孔距 L	± 1.0		
3	锚管间距 B1	± 3.0		
4	主桁中心线直线度 (旁弯)	≤ 3.0	中桁、边桁中心线与两端中心连线的偏差, 测节点处	
5	桁片纵向偏移 Δ	≤ 3.0	弦杆中桁节点与两边桁节点的纵向偏移量	
6	平面对角线差	$ L1-L2 \leq 5.0$	两边桁之间	
		$ L3-L4 \leq 3.0$	边桁与中桁	

序号	名 称	允许偏差		简 图
7	桁宽	B1: ± 2.5	节点处两端的边桁与中桁下弦杆中心距	
		B: ± 5.0	节点处两端的两边桁下弦杆中心距 (相邻节段桁宽差≤2)	
8	端面对角线差	$ L1-L2 \leq 3.0$	两端横断面, 边桁与中桁	
		$ L3-L4 \leq 5.0$	两端横断面, 边桁之间	
9	节点中心高度差	H1: +5.0, 0	节点处两边桁弦杆中心与中桁弦杆中心点的高度差 (中桁高于边桁时差值为正)	
10	锚点间距	B2: ± 5.0	同一节点编号处边桁与中桁锚点的横桥向距离	
11	下层桥面标高	± 5.0	桥面板四角有横梁位置	
12	上层桥面标高	± 6.0	桥面板四角有横梁位置	
13	桁片垂直度	≤ 3.0	上、下弦杆中心线横向偏移	

8.2.5 钢板梁的基本尺寸允许偏差应符合表 8.2.5 的规定。

表 8.2.5 钢板梁基本尺寸允许偏差 (mm)

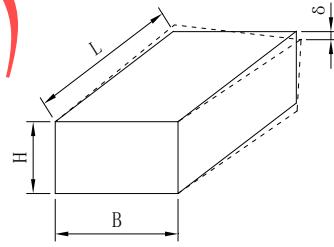
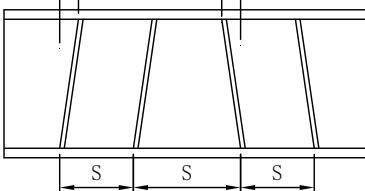
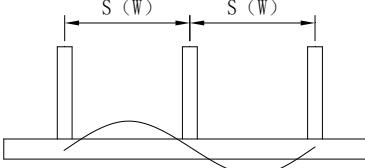
序号	名 称	允许偏差	备 注
1	跨度 L	± 8.0	测量两支座中心距离
2	全长	± 15.0	测量全桥长度
3	梁高	± 2.0	测量两端腹板处高度
		± 4.0	
4	纵梁长度	+0.5, -1.5	测量两端角钢背至背之间距离
5	横梁长度	± 1.5	
6	纵梁高度	± 1.0	测量两端腹板处高度
7	横梁高度	± 1.5	
8	纵梁、横梁旁弯	≤ 3.0	梁立置时在腹板一侧距主焊缝 100mm 处拉线测量
9	纵梁、横梁拱度	+3.0, 0	梁卧置时在下盖板外侧拉线测量

序号	名 称	允许偏差		备 注
10	主梁拱度 f	+3.0, 0	不设拱度	梁卧置时在下盖板外侧拉线测量
		10.0, -3.0	设拱度	
11	两片主梁拱度差	≤ 4.0		分别测量两片主梁拱度，求差值
12	主梁腹板平面度	$h/350$ 且 ≤ 8.0		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 ≤ 5.0		
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)		

8.2.6 板梁、桁梁构件、箱形梁、结合梁板梁、结合梁箱梁的螺栓孔径、孔形允许偏差应符合本规范第 4.6.2 条和第 4.6.3 条的规定。

8.2.7 钢塔节段、横梁成品尺寸允许偏差应符合表 8.2.7 的规定。

表 8.2.7 钢塔节段、横梁成品尺寸允许偏差 (mm)

序号	项 目	允许偏差		简 图
1	长度 L	± 2.0	横梁根据经验及焊接试验收缩情况确定	
2	高度 H	± 2.0		
3	宽度 B	± 2.0		
4	端口对角线相对差 D	≤ 3.0		
5	扭曲 δ	≤ 3.0	测点在两端横隔板与外壁板交点上	
6	横隔板垂直度偏差 Δ	≤ 2.0		
7	横隔板间距偏差 S	± 2.0		
8	旁弯	≤ 3.0		
9	板面平面度 纵向 横向 连接部位	纵向 $W/300$ 横向 $S/500$ ≤ 2.0	W 为纵肋中心距 S 为隔板中心距	

8.3 检验

8.3.1 板单元、钢箱梁梁段制造、钢桁梁构件及梁段、钢板梁的基本尺寸应分别符合本规范第 6.4.4 条、第 8.2.2 条、第 8.2.3 条、第 8.2.4 条的规定。钢桁梁构件、钢板梁、钢箱梁的螺栓孔径、孔形允许偏差应符合本规范第 4.6.2 条和第 4.6.3 条的规定。钢塔节段、横梁的基本尺寸应符合本规范第 8.2.7 条的规定。

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

8.3.2 构件内外表面不得有凹痕、划痕、焊瘤、擦伤等缺陷，边缘应无毛刺。

检验方法：观察检察。



9 涂装

9.1 一般规定

9.1.1 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。

9.1.2 抗滑移系数试验方法应符合本规范附录 L 的规定。

9.1.3 涂装前应对构件自由边双侧倒弧，倒弧半径不小于 2.0mm。

9.1.4 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，高强度螺栓孔部位表面抗滑移系数不小于 0.45。

9.1.5 密闭的箱形构件内部可不涂装。

9.2 除锈

9.2.1 在涂装前，应对钢构件表面进行除锈。除锈应采用喷丸或抛丸的方法进行。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。

9.2.2 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/T 8923) 规定的 Sa2.5 级，表面粗糙度应达到 Ra $25\sim100\mu\text{m}$ ；对高强度螺栓连接面，除锈等级应达到 Sa3 级，表面粗

糙度应达到 $Ra50\sim100\mu\text{m}$, 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。

9.2.3 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。

9.3 厂内涂装

9.3.1 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, 相对湿度不应高于 80%;
- 2 环境温度对环氧类漆不得低于 10°C , 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°C 。环境温度最高不超过 38°C 。

9.3.2 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 室外涂装时在风沙天、雨天和雾天不得施工。

9.3.3 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。

9.3.4 构件和梁段的对接焊缝两侧各 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%。

9.3.5 对局部损伤的涂层, 应按第 9.2.2 条的规定进行表面处理, 并按原设计涂层补涂各层涂料。

9.3.6 涂装后, 应进行构件和梁段标识。

9.3.7 构件和梁段的码放应在涂层干燥以后进行。

9.4 工地现场涂装

9.4.1 工地现场涂装的施工环境应符合本规范 9.3.1 条的规定。构件接头的工地现场涂装和涂装的修补应在临时作业棚内进行。

9.4.2 工地现场涂装施工应符合本规范第 9.3 节的相关规定，并应符合下列要求：

- 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；
- 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。

条文说明：

2 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。

9.4.3 对于损坏的涂装应进行修复。对于大面积损伤的，应重新喷砂逐层修复。

9.5 高强度螺栓连接摩擦面处理

9.5.1 在工地以高强度螺栓栓接的构件和梁段（摩擦面）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小于 0.55，工地安装前的复检值应不小于 0.45。

9.5.2 抗滑移系数试验用的试件每 10 个梁段制作 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。

条文说明：

栓焊梁抗滑移系数检验以 2000t 为一批，不足 2000t 视为一批。

9.6 检验

9.6.1 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：观察检察。

9.6.2 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。

9.6.3 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，在特大构件表面上以 10m² 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。（100m² 以下的构件任意挑选三个 10 m² 进行测量，100m² 以上的构件按上述方法测量第一个 100m²，对于其余的每一个 100 m²，任意选一个 10 m² 进行测量。）单个测试点的厚度不得低于规定厚度的 80%。

9.6.4 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/T 9286）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/T 5210）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/T 9793）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。

9.6.5 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。

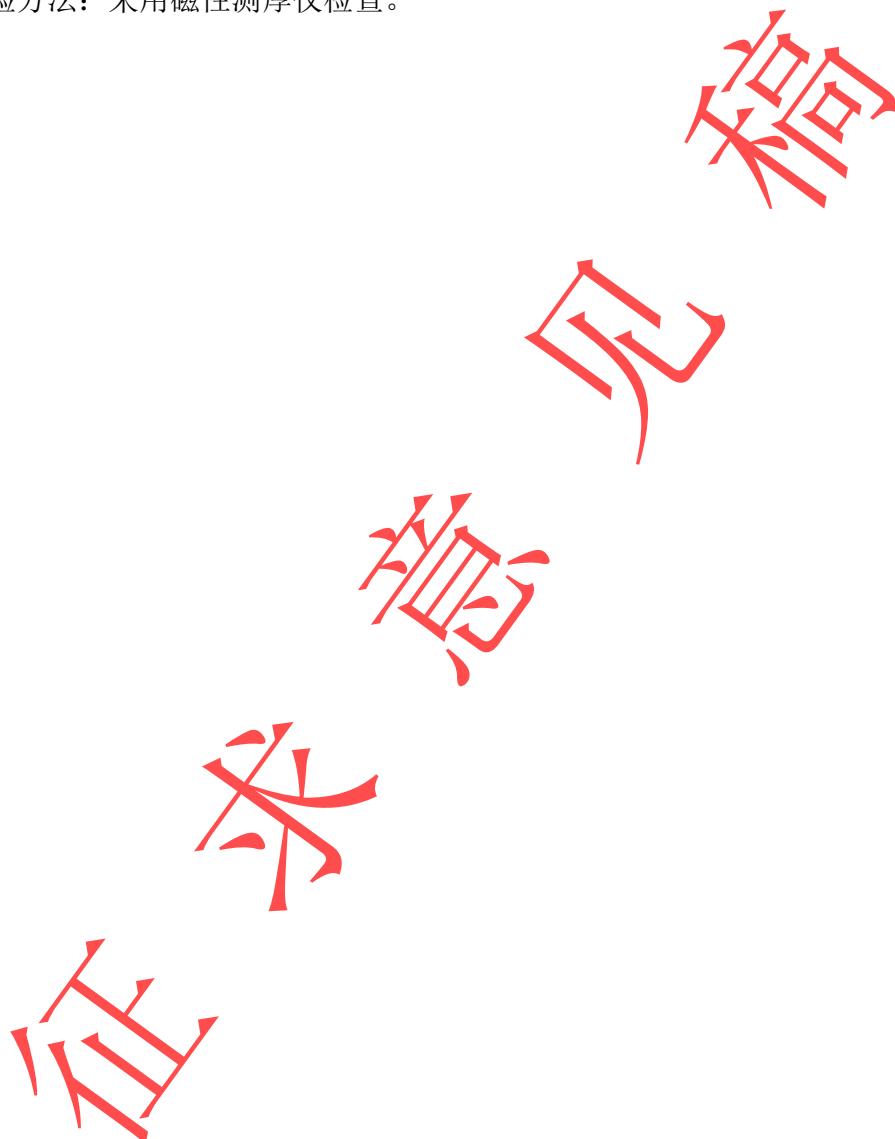
检验方法：观察检查。

9.6.6 涂装完成，构件的标识、编号应清晰完整。

检验方法：观察检查。

9.6.7 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。



10 包装、存放与运输

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于构件包装、厂内转运、成品出厂至安装地点的运输以及安装场地内的存放与运输。

10.1.2 构件包装、存放和运输应按制定的方案进行，并符合有关施工作业和运输的安全规定。

10.1.3 超大构件运输应制定专项方案，并经运输主管部门批准。

10.2 包装

10.2.1 构件包装必须在涂层干燥后进行，包装应防止构件的变形、损坏、散失、污染和锈蚀。

10.2.2 大截面工形、箱形构件、桥面板单元可采用裸装，但其吊耳板销孔、高强度螺栓连接摩擦面等部位应裹覆；长细构件应采用框架捆装，构件之间应设垫层；拼接板、螺栓、螺母、垫圈等零件应分类装箱，保持通风干燥。

10.2.3 构件及其重要部位包装应有醒目标识，应标明编号、方向、质量、轴线、重心等信息以及需要保护、防护、观察的警示标志。标识不得形成构件表面的污染，不得影响构件性能。

条文说明：

构件标识一般选用喷涂、吊挂、粘贴等设置方式，采用文字、图形、色彩、二维码等表现方式，达到信息识别、标记、警示的目的。

10.2.4 桩合发送的零件用螺栓拧紧，每个孔群不少于 2 个螺栓。

10.2.5 板单元和梁段的 U 形肋端口、锚管孔、梁段工艺孔等敞开部位应采用环保材料封闭, 防止水和杂物进入 U 形肋内部。重量超过 5t 的构件标出重心位置和重量。

10.3 存放

10.3.1 构件的存放应进行规划布置, 存放场地应稳定、坚实、平整、通风且具有排水设施。

10.3.2 大型构件的支承点位置、结构应进行设计验算。支承台、柱和支承地基及基础应有足够的稳定性和承载力, 不应产生不均匀沉降。构件在自重作用下不得产生永久变形; 超长构件应有足够数量的支承。

10.3.3 构件和梁段应按照拼装、吊运顺序存放。

10.3.4 构件存放要分种类码放整齐, 堆放不宜过高, 应防止倾覆和压坏变形。

10.3.5 构件刚度较大的面宜竖向放置。

10.3.6 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。

10.3.7 构件间应留有适当空间、空隙, 便于设备作业、吊装人员操作和查对。

10.4 厂内转运

10.4.1 厂内转运道路应平整顺畅。运输构件质量应不超过设备额定运输能力。

10.4.2 运输通道的高度和宽度应有足够的安全距离, 避免发生碰撞刮擦。

10.4.3 当采用多台液压平板车拼车运输大型构件时, 在顶升脱离胎架的过程中, 应多点同步加载, 避免单车过载或者单点过载使构件发生局部变形。

10.5 装卸

10.5.1 大型构件吊装应进行设计计算，装卸起重设备使用应符合其额定能力。起重吊装作业应符合安全操作规程。采用顶升法装卸时，千斤顶应保持多点同步，受力均匀。采用双起重机抬吊时，起重量应不超过其额定能力的 80%。

10.5.2 应严格按照方案或规范使用吊具和吊点，不得随意变更。

10.5.3 装卸过程中，现场应具备足够安全作业空间，避免碰撞刮擦。

10.5.4 装卸过程利用永久吊点或设置临时吊点时，应进行结构验算并经设计单位复核同意。

10.5.5 装卸过程如需临时放置，应执行本规范 10.3 的规定。

10.6 绑扎与运输

10.6.1 构件运输应符合下列要求：

- 1 运输应符合安全运输规定，所用运输设备应符合其额定运输能力。
- 2 水上船舶运输时，装船后抗倾覆安全系数应不小于 1.5。
- 3 陆上运输时，应符合道路对构件尺寸与重量限制要求。
- 4 提供工地抗滑移系数试验用的试件，应随同构件或梁段运至工地。

10.6.2 绑扎应符合下列要求：

- 1 运输时，应用钢丝绳将构件牢靠固定，且应在钢丝绳下加垫层，防止损伤构件。
- 2 支承点设置除符合本规范 10.3 的规定外，尚应考虑运输震动对构件的不利影响进行加密。必要的时，对梁体进行局部加强。

11 安装

11.1 一般规定

11.1.1 本章适用于钢结构桥梁构件的现场组装、安装，包括在支架上安装、悬臂拼装、提升、顶推、整体、转体安装等施工方法和工艺。

条文说明：

组装是指按照规定的技术要求，将若干个零件组或构件组成梁段的过程。安装就是按照一定的程序把构件或梁段固定在设计的预定位置上。拼装就是指按照一定的顺序、精度和其他技术要求，将各个零件（部件）连接或固定起来，使其成为整体的过程。

11.1.2 施工前，应根据地质、地形、地物、水文、气象等环境条件和桥梁结构、构件特点，结合工程经验，选择安装方法，制定施工技术方案。对施工技术方案应进行可行性论证，并进行安全、质量、进度、环保、成本分析及综合比选。对施工技术方案进行动态管理，当出现特殊情况时应进行修改和补充。施工技术方案及其修改应按规定审批。

条文说明：

随着桥梁技术的发展进步，结构安装施工方法越来越多，这些方法分别具有各自的特点和适用条件，选择施工方法原则上要有针对性，解决主要的难点、重点问题，同时还采取措施避免或克服其不足，做到扬长避短。选择施工方法一般遵循下列要求：

1) 确保工程质量、施工安全，实现桥梁结构设计意图；2) 满足技术先进、成熟可靠、经济适用的要求，对新技术则通过生产性试验鉴定；3) 利于先后作业之间、建筑工程与安装工程之间、各道工序之间的协调均衡，减少交叉干扰；4) 施工强度和施工装备、材料、劳动力等资源需求均衡；5) 满足职业健康、环境保护及水土保持等方面的要求。

要修改和补充施工技术方案的特殊情况指：1) 工程设计有重大修改；2) 有关法律法规规范标准实施、修订、废止；3) 主要施工方法有重大调整；4) 主要施工资源配置有重大调整；5) 施工环境有重大改变等情况。

11.1.3 选择安装设备应符合施工技术方案要求，具备适应性、先进性、经济性，各种设备组合合理；应有足够的安全性，对环境影响小。选择安装设备宜进行通用性与专用性比较。施工过程中应对安装设备实行全过程动态管理。

条文说明：

通用钢结构安装设备有吊车、浮吊、塔吊、龙门吊、各种千斤顶，专用设备有架桥机、缆索吊机、跨缆吊机、桥面吊机等。一般情况下，~~选择桥梁施工设备考虑以下几个方面：~~

- 1、适应工程所在地的施工条件和结构特点，符合施工工艺要求，生产能力满足施工强度要求；
- 2、设备通用性强，能在工程项目中持续使用；
- 3、设备性能机动、灵活、高效、低耗、运行安全可靠，符合环境保护要求；
- 4、应按各单项工程工作面、施工强度、施工方法进行设备配套选择，力求经济；
- 5、设备购置及运行费用经济，易于获得零配件，便于维修、保养、管理和调度；
- 6、新型施工设备应成套应用于工程，单一施工设备应用时，应与现有施工设备生产率相适应。

对安装设备实行全过程管理，是指设备管理范围包括设备的进场、安装调试、使用、维修，一直到拆除退场为止的全过程，从整体上保证和提高设备的可靠性、维修性和经济性，并把设备的安全放在第一位。

11.1.4 安装施工过程中及完成后应采取措施防止钢构件、梁段受到损伤、污染。未经允许不得对构件进行开洞、切割、焊接等作业。

条文说明：

在钢构件、梁段安装过程中，以及结构安装与防水、桥面铺装、机电、交通设施等专业施工的交叉作业，可能造成钢结构成品的损伤或污染，影响结构质量。安装前应制定成品保护计划，通过安排合理的工序，制定有效的护、包、盖、封等措施，落实责任制，来指导施工。

11.1.5 应对钢结构桥梁安装进行安全风险辨识、分析与评估，对临时用电、危险性较大的水上、高处、起重及其设备安装拆除、交叉施工、高支架、塔架、地锚等作业采取有效的技术措施，并制定完善的应急预案。施工安全设施应与施工方案

同步设计、同步实施、同步使用与维护。施工安全设施宜采用标准化设计。

条文说明：

高度危险作业是指从事高空、高压、易燃、易爆、剧毒、放射性、高速运输工具等对周围环境有高度危险的作业。高度危险作业是在活动过程中产生高度危险性的，因此只有采取一定的安全方法进行活动，才能够控制活动中产生的危险，减少损害发生的几率。

八大危险作业指动火作业、受限空间作业、吊装作业、盲板抽堵作业、动土作业、断路作业、高处作业、设备检维修作业。

施工安全设施包括脚手架、临边（口）的防护、通道防护、防坠网、安全（保险）绳、警示牌、机械及设备的限位器、防护罩、接地装置、临时用电保护装置、施工避雷装置、地（水）下作业逃生通道等。

同步设计指在进行施工方案设计时，将安全设施作为设计内容同时完成，并遵循先防护后施工原则安排在施工步骤中。同步实施、同步使用指根据设计预定的施工过程进行安全设施的建造或安装、验收、使用，不应滞后。施工安全设施是施工方案的组成部分，是必要安全保障，如果设置滞后，必然造成部分施工环节安全保障缺失，形成安全隐患。规定同步设计、同步实施、同步使用与维护，目的是使每一步施工作业均处于安全设施保障之下，降低安全风险。

施工过程中应采取安全技术措施，并符合《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ80）、《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ33）、《施工现场临时用电安全技术规范》（JGJ46）的规定。

11.2 安装施工准备

11.2.1 技术准备应符合下列规定：

1 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编制说明、工程概况、施工总体方案和部署、主要临时结构设计、主要施工方法和施工工艺、施工进度计划、施工安全、质量、进度、环保等保证措施。

2 临时受力结构应满足施工需要及强度、刚度和稳定性要求，其设计计算应符合结构设计原理和设计规范。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。

3 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。

4 专项施工组织设计或专项施工技术方案应按规定审批，并应据此按规定进行技术交底。

条文说明：

专项施工技术方案是指在施工总体组织设计编制的基础上，针对技术复杂的、危险性较大的分部分项工程需单独编制的技术文件，是对施工组织设计相关内容的深化、细化、补充和完善，必须具有很强的操作性。

临时受力结构主要指施工所需的专用临时设施和工具，如便桥、平台、各种支架、吊杆（索）、猫道、塔（扣）架、围堰、承重缆索系统、吊具等。

设计计算和验算应明确功能、环境条件、设计计算依据、计算方法、计算参数、计算过程和结果，应得出是否满足安全使用要求的结论。

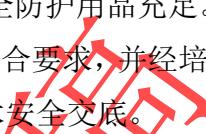
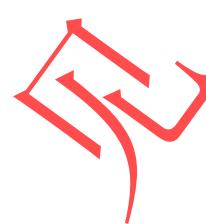
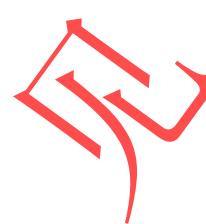
设计文件的规范性、完整性和深度要求应参照《公路工程基本建设项目建设文件编制办法》（交公路发[2007]358号）和《公路工程基本建设项目建设文件图表示例》执行。

按规定审批后的方案方能作为施工依据。规定“应按规定进行审批、交底”，是从制度和程序上保证技术方案的合理性、可靠性，保证技术方案得到参建人员的理解和落实。

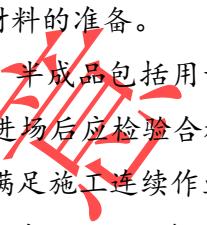
专项施工技术方案主要内容编制说明如下：

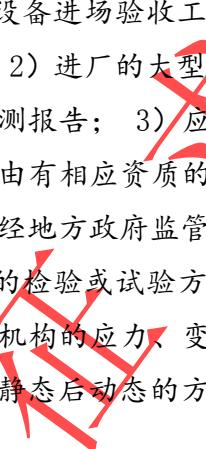
- 1) 编制说明主要包括编制范围、原则、依据等内容。
- 2) 工程概况包括工程简介、自然条件、主要工程数量、主要特点及难点、(工期、安全、质量、环保)管理目标等内容。
- 3) 施工总体部署包括施工组织机构、施工区段划分、临建设施及施工总体布置图、施工顺序和步骤、主要设备、材料表。
- 4) 主要临时结构设计包括总体布置、结构及构造、工程数量表、说明书、计算书等。
- 5) 主要施工方法和施工工艺应含选用的工法、关键技术参数和技术措施。
- 6) 施工进度计划指施工进度计划安排和施工进度计划网络图、设备材料和人员计划。
- 7) 施工安全、质量、进度、环保等保证措施。施工安全保证措施应包括管理目标和体系、危险源辨识与评价，预防措施。质量保证措施包括管理目标和体系、质量通病及预防措施，创优目标及计划等。
- 8) 附件：包括方案可行性论证、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。

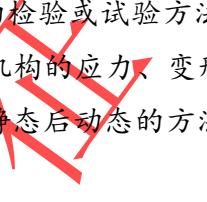
11.2.2 施工组织与资源准备应符合下列要求:

- 1 建立完善的组织管理机构和生产管理、质量、安全、环保、成本管理体系，制定管理制度，对工程的进度、质量、安全、环保、成本实施管理。
- 2 合理划分施工和管理内容，确定合格的专业施工、检测、监控以及物资供应组织和单位，签订合同，建立考核、激励、约束、协调机制，满足施工需要。
- 3 工程构件、材料、半成品等进场，验收合格；安全防护用品充足。
- 4 各岗位管理人员、各工种作业人员的数量、技能符合要求，并经培训合格；管理流程明确，记录内容和形式实用规范。施工前进行技术安全交底。

- 5 起重设备、运输车、船舶、安装工具应齐全、配套，数量、规格、性能满足安装需要，检验合格，状态良好。对专用设备检验、特种设备应根据专门的检验或试验方法进行，并组织验收、报批。

- 6 试验检测设备、仪器满足施工需要。


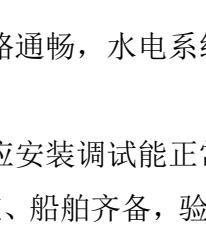
条文说明：

资源准备包括人员、设备、材料的准备。
用于安装施工的构件、材料、半成品包括用于工程结构的、用于临时结构的和用于施工作业的所有物资材料，进场后应检验合格妥善保管，进场数量应满足起步施工的需要，并能连续供应，以满足施工连续作业需要。


施工设备进场验收工作一般要求如下：1) 进厂设备符合合同要求及相关的技术标准；2) 进厂的大型设备必须具备“两证一报告”，即生产许可证、产品合格证、出厂检测报告；3) 应做好现场检验、验收并办理验收交接单；4) 大型设备的安拆必须由有相应资质的专业安装队伍实施，由业主、监理组织项目经理部共同验收，并报经地方政府监管部门检验合格后，方可投入使用。


专门的检验或试验方法指对专用的特殊设备通过预压、试吊等方法，检测、检验构件和机构的应力、变形，判断设备整体可靠性，一般采用先局部后整体、逐步加载、先静态后动态的方法进行测试，以保证测试安全。


11.2.3 现场准备应符合下列要求:

- 1 建立测量控制网和监测控制系统。
- 2 陆地安装时，应做到场地平整，岸、坡稳定，道路通畅，水电系统完善；场地功能分区合理，隔离和防护、警示设施完善。
- 3 安装施工所需的临时设施应验收合格，固定设备应安装调试能正常运转。
- 4 水上（海上）安装时的准备应做到：航道管理设施、船舶齐备，验收合格；


平台、码头、通道设施完善；风速、气温检测和预警（通讯）设备安装完成；具备船舶避风锚地和临时抛锚、靠泊区域或设施；救援设施、物资齐备；临时通讯、供水、供电系统完善。

5 安装前应取得临时用地、航道使用、道路占用、交通导改等行政许可，并完成改建、改造、设施安装等工作，经验收达到使用条件。

11.3 支架上安装

11.3.1 本节内容适用于在支架上分段拼装的钢结构简支梁、连续梁等，支架上安装拱肋可参照使用。

11.3.2 用于安装的支架应进行专项设计，并满足下列要求：

1 支架设计应受力简单明确、结构合理，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；宜采用通用和标准化构件，支架的构造应便于制作、运输、安装、维护；

2 支架应具备钢梁就位后平面纠偏、高程及纵横坡调整等功能；
3 支架纵、横向顶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。

条文说明：

1 钢梁初步就位后需要在支架上进行平面位置、高程、纵横坡的精确调整，目前一般是在支架上利用千斤顶等设备进行调整，故要求支架在设计时必须具备钢梁就位后的调整功能。

2 支架在设计时的纵横向线形如与设计要求的梁底拼装线形相差较大，容易给钢梁调整及临时固定带来不便，存在安全隐患。

3 支架采用通用及标准化构件，一方面提高了支架制作、安装质量，另一方面为支架的周转使用提供便利，节约支架的材料浪费，减轻了环境污染。

11.3.3 应根据地形地貌、地基条件等现场环境和钢梁分段选择吊装设备，吊装设备应符合下列规定：

1 采用吊车单车吊装时，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、邻近建筑、支架或其他障碍物的间距符合安全要求；地基承载力满足吊车作业要求；

2 采用双吊车抬吊时，单车承载不得大于额定载荷之的 80%；

- 3 采用龙门吊作为起吊设备时，构件重量不宜超过龙门吊额定载荷的 80%；
- 4 采用卷扬机、千斤顶等制作专用设施时（非标准），除需要进行专项设计外，尚应通过型式试验。

11.3.4 应按照设计或施工方案要求的节段和顺序进行安装；起重机满足使用的前提下宜尽量减少分段；安装顺序宜从联端向另一端依次顺序安装，并应及时纠偏调整，避免误差累积；连续梁宜集中统一落梁；宜通过预拼装、匹配件技术提高钢梁安装精度。

11.3.5 支架上安装钢梁应符合如下要求：

1 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能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。

2 起重工作应按照相关要求统一信号、统一指挥；起降速度应均衡。
3 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。临时支座顶面应依据梁底纵坡调整角度，使支座密实稳定；坡度较大时宜对梁段采取固定措施。

4 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。

5 支架上焊接连接钢箱梁块件时，定位应预留焊接收缩量和反变量，避免因此造成桥面局部标高超，保证成桥后的桥面标高及横坡要求。

6 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。

7 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。

条文说明：

3 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，避免在节段扭曲变形；钢箱梁支座处楔形板通过机加工保证斜度和栓孔的精度。

4 接口对接偏差大是较为常见的现象，原因主要有：接口边缘切割或坡口加工精度差；焊接变形以及运输吊装过程造成接口处钢板变形；钢箱梁预拼装误差大。预防措施有：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；严格焊接工艺，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割，保证间隙均匀。

5 焊接收缩量及焊接变形尤其是焊接收缩使得钢箱梁外侧上翘，造成横坡不足。钢箱梁支座处标高偏差大也会造成面标高及线形偏差大。

11.4 悬臂拼装

11.4.1 本节适用于在施工现场以高强螺栓连接或焊接连接的斜拉桥钢梁、拱桥钢拱肋及梁桥悬臂拼装施工。

条文说明：

悬臂拼装前应对已建成的正桥桥墩、引桥墩台、钢混结合段、拱座进行质量验收，墩台的位置、尺寸、高程、中心线均应符合设计要求。桁架杆件成品应质量合格，应进行试拼装；钢箱梁应进行预拼装。保证已完成的桥墩、桥台、钢混结合段、拱座质量合格，是钢结构悬臂拼装施工精度的基础。

11.4.2 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 悬拼施工所用桥面吊机、缆索吊机应进行专项设计。桥面吊机应由有资质的专业厂家制造，并有出厂合格证。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。

条文说明：

常用的架梁起重设备包括桥面吊机和浮式吊机，桥面吊机包括斜撑桅杆式架梁起重机、步履式架梁吊机和全回转起重机。

1) 斜撑桅杆式架梁起重机常用的有 CWQ20 型拆装式起重机 (20t)、35t 桅杆式起重机、BWQ-60 型桅杆起重机等。

2) 步履式架梁吊机用于定位架梁施工或移位步履行走, 可设计为平面行走型, 也可设计为爬坡式。最高额定起重量可达 400t。结构形式如下图所示。(《桥梁钢结构》P573)

- 3) 全回转起重机配有 360° 回转吊臂, 可将后方杆件移吊至前方拼装。
- 4) 浮式起重机应在流速不大、风力较小、水位较稳的环境施工, 起吊高度应能满足最低施工水位要求。一般根据起重能力需求选择相应的浮式起重机型号, 也可用于大跨钢梁整节段或整孔安装。
- 5) 其他配合施工的机具设备包括: 各类起重机、空气压缩机、运输机械、起重工具、焊合工具等。

荷载试验和试吊是为了检验吊机的性能, 确保吊装安全。

11.4.3 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 长悬臂拼装和合龙施工应避开台风期, 无法避开时, 应采取临时墩支撑、缆风绳等稳定措施。

3 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。采取单悬臂拼装时, 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。

4 斜拉桥塔区梁段拼装时, 应设临时支架或托架, 用于梁段的纵向搬运、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。

5 衔架拱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。

6 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。

7 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, 冲钉和精指螺栓应均匀安放; 焊接悬拼施工时应将构件临时连接并挂设扣索后方能松钩。

8 应采取措施控制钢箱梁梁段焊接接缝偏差, 在内外腹板位置, 高度方向和

宽度方向宜小于 2mm。

条文说明:

3 单悬臂拼装施工常用于边跨为混凝土梁的混合梁斜拉桥、斜拉扣挂法施工的拱桥以及悬臂施工的桁架拱桥。

11.4.3 合龙施工应符合下列规定:

1 合龙前应完成悬臂梁（拱）进行线形测量、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。~~

11.4.4 采用浮吊吊装时应符合以下规定:

1 桥址区应具备通航条件，且通航水深和施工作业面能满足大型起重船舶施工的要求。钢梁节段运输安装应在海事、航道部门的配合下，选择在适宜天气条件下进行。

2 浮吊与梁段间宜设置缆风绳保证起吊过程稳定。

3 栓接拱桥悬拼施工，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；焊接拱桥悬拼施工时应将构件临时连接并挂设扣索后方能松钩。

4 浮吊安装塔区梁段、0 号块时，应先使梁底超出墩顶支座 50cm，再移动浮吊到达墩顶上方，稳住后调整梁段，缓慢落下。梁段落下时宜使用导向装置。

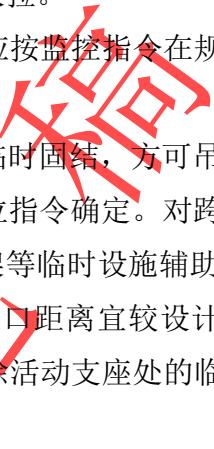
11.4.5 桥面吊机吊装时应符合以下规定:

1 桥面吊机的前移、吊装应使用专门的牵引、锚固装置，牵引移动时应保持多点同步。拱肋上的吊机移动时，应采用反拉钢丝绳或止推块等防滑保险装置。

2 桥面吊机悬臂拼装斜拉桥时，起钩应平稳，并使上下游受力均衡；接近至桥面时，应缓慢减速直至起吊梁段比桥面略低，然后微调桥面吊机吊点位置，使梁段边、纵对齐。

3 钢箱梁现场焊缝连接应按设计要求顺序进行，设计无要求时，纵向应从跨中向两端进行，横向应从中线向两侧对称进行。

4 斜拉桥和斜拉扣挂法施工的拱桥吊装梁段时，应与已有梁段焊接或栓接完毕，并进行第一次挂索张拉后，方可进行吊机前移、二次张拉。

5 采用斜拉扣挂系统辅助悬臂施工的拱桥，扣锚索应按监控指令在规定的节间实施。


6 对称悬臂拼装连续梁桥时，0号块安装应与墩身临时固结，方可吊装1号块。梁段应采用对称方式起吊拼装，拼装线形根据监控单位指令确定。对跨径较大的梁桥钢梁悬臂拼装，可搭设中间支墩、墩旁托架、吊索架等临时设施辅助拼装。


7 栓接钢梁跨中合龙时，轴线偏差应小于 2mm ，龙口距离宜较设计尺寸大 $10\text{mm} \sim 20\text{mm}$ ，然后在适宜温度下起吊合龙段，打入冲钉，拆除活动支座处的临时锚固装置。

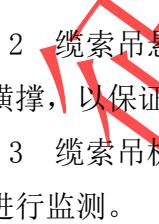

条文说明：

1 梁上（拱上）吊机拼装法一般适用于如下条件：桥址区不具备通航条件，或通航水深和施工作业面不能满足大型起重船舶施工的要求；桥址区基础承载力较差，不能满足大型吊装设备作业要求。

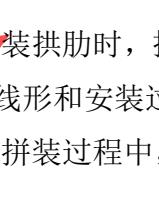

拱肋上的吊机由于在斜面上移动，容易失控。


11.4.6 缆索吊机吊装时应符合以下规定：

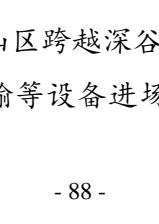
1 缆索吊装施工过江或跨线时，须办理航道、海事、水上施工及跨线的施工许可。


2 缆索吊悬臂拼装拱肋时，拱肋的横撑宜与拱肋同时安装，必要时还可加设临时横撑，以保证拱肋线形和安装过程中的稳定。


3 缆索吊机悬臂拼装过程中，应对主索垂度、塔顶及锚碇位移、拱肋线形等项目进行监测。

4 缆索吊机持续性工作的起重机，其承载绳的安全系数不应小于3.5。


条文说明：

缆索吊机吊装法一般适用于山区跨越深谷地区的钢拱桥拱肋悬臂拼装。


缆索吊装施工所用起重、运输等设备进场应进行验收，并编制缆索吊机设备

操作规程。

缆索吊机施工前应对河道、水文、气象、航空限高等做好调查研究，并编制缆索吊装专项施工方案，并组织专家论证、审核。

11.5 提升安装

11.5.1 本节适用于悬索桥加劲梁、钢塔、大节段钢构件的安装。

条文说明：

整体提升法常见于悬索桥钢箱梁、桁架梁的提升，采用塔吊或提升架提升的钢塔节段的安装，也有用于钢混混合梁跨中大节段钢梁段的安装，利用悬臂端上的提升系统将桥下的大节段钢梁竖直提升就位。

11.5.2 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影响。

5 提升安装过程中形成的临时结构稳定体系应能承受结构自重、风荷载、塔吊附着等施工荷载以及提升安装过程中冲击荷载的作用，必要时设置临时支撑或稳定缆绳。

6 提升的构件重心高时，应进行抗倾覆验算。

7 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。

8 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。

9 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。

10 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%。

条文说明:

1 提升架包括支承架和提升机构，支承架有门式、悬臂式等多种形式，适用于不同的环境和条件；提升机构包括卷扬机提升和连续千斤顶提升。

3 被提升结构在提升时、临时支承中、组拼成桥过程中受荷和结构体系与成桥结构设计时一般有较大区别，为保障安全须进行施工阶段的结构验算和分析。被提升结构提升吊点、临时支承点为重要的受力点和易发生应力集中的部位，提升吊点及临时支承点设置及局部结构加强，原则上由设计单位确认和审核。

4 在实际施工中，有时会利用已施工完成永久结构一部分作为提升系统的支承，比如缆载吊机利用主缆作为支承，拱肋提升安装时利用已施工完成的部分拱结构作为提升架支承。对于永久结构，其承受此种荷载作用与使用状态有较大区别，因此有必要验算分析提升过程对永久结构影响。

7 提升不同步或卸载不同步有可能引起提升点载荷的变化及结构效应，从而影响到安全，当结构刚度较大且结构为超静定时，提升（卸载）不同步对提升反力的分布和大小影响显著，在计算该效应时，应特别注意构件受力特性的改变对结构的影响，例如销轴的抗弯压转变为抗弯压抗拔，构件的拉压转换和面外失稳等。对较为复杂的提升工况，宜假定可能出现提升（卸载）不同步的最不利工况组合进行计算。

10 提升油缸额定荷载指油缸在额定压力下的承载能力，复杂受力和不同步敏感的提升体系的提升油缸额定荷载取高值，保证提升能力，防止意外因素的干扰影响提升施工。单根钢绞线设计拉力值为破断拉力的25%~35%时，锚夹片与钢绞线自锁作用较强且可灵活脱锚，钢绞线拉力值过小时锚夹片与钢绞线在低应力下自锁作用较弱。钢绞线拉力值过大时脱锚不灵活。考虑到钢绞线提升时受挤压作用，其受力不同于单纯受拉，故规定钢绞线抗拉设计值不小于50%破断拉力。

11.5.3 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 跨缆吊机应由有资质的专业厂家制造，应符合下列要求：业厂家制造，并有出厂合格证。

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 塔式起重机应由有资质的专业厂家制造，并有出厂合格证；

5 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移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；

6 缆索吊机使用前应进行全面安全技术检查，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、提升架在首次吊装前应全面技术检查，并进行试吊。

7 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。

条文说明：

3 用于提升作业的钢绞线必须具备质量证明文件和抗拉试验复试报告。对于重复使用的钢绞线应检测钢绞线外径及夹片啮合深度，并根据钢绞线受荷的大小确定能否再次使用，对于硬弯、松股、断丝以及肉眼可见的麻点锈蚀和电弧灼伤的钢绞线不得作为起重钢绞线使用。

6 缆索吊、提升架等非定型产品的试吊过程至关重要，直接影响到提升安装的安全。提升架专为提升单一、特定构件设计，一般是一次性使用，采用荷载试验难度很大，故未规定荷载试验仅进行试吊。

11.5.4 提升安装作业应符合下列要求：

1 提升作业前，在已施工完成的结构及被提升结构做好定位标记，并清除安装表面上的油污、泥沙等杂物，应对提升通道进行观测，采取措施清除提升通道的障碍物。应对提升系统、被提升结构、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进行应力应变、结构变形、基础沉降、地锚位移量、主索吊重垂度等监测。

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 构件上吊点位置与提升点的平面偏差值不宜大于提升高度的 1/1000，且不宜大于 50mm。荡移法或其他有特殊需要的斜向提升应根据方案规定的允许偏差进行控制。

5 提升作业应在被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。

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 当被提升结构到达设计位置后，应进行平面位置和标高校正，并及时固定，防止其发生失稳或倾覆。

条文说明：

1 提升前应进行全面检查验收，包括结构，基础，附着锚固、吊具、电气液压系统、安全装置等。钢丝绳、钢绞线、吊装带、卸扣、吊钩等吊具在使用过程中可能存在局部的磨耗、破坏等缺陷，使用时间越长存在缺陷的可能性越大，因此本条规定应对进行检查，以保证质量合格，防止安全事故发生，并在额定许用荷载的范围内进行作业，以保证吊装安全。

4 构件吊点与提升点平面偏差要求主要是针对垂直提升，防止被提升结构在脱离胎架时有过大的晃动。悬索桥施工的荡移法是特殊设计的提升工艺，提升吊点与提升点并不在铅垂线上，需要依据设计允许偏差进行控制，防止受力超过要求，还有如多点转向提升、空中斜向搬运工艺也类似。

5 试提升的目的是为了检验提升系统和被提升结构的安全性，提升加载一般按照 20%、40%、60%、80%、90%、95%、100%的荷载比例分级加载，当提升船船舶运输上的构件时，为减少构件与胎架碰撞，可适当减少加载分级。

6 提升不同步影响到结构和施工安全，必须高度重视。

7 对于塔架、门架等高耸结构，一般在其顶部加缆风绳保证其侧向稳定，一般分级对称施加预拉力达到一个相对平衡状态，如在提升过程中进行缆风绳转换，容易给高耸架体一个较大的不平衡力，引起架体坍塌，以前因此发生过事故，故规定本条。

8 提升到位后，高度位置可用提升设备或千斤顶调整，平面位置可用倒链葫芦或千斤顶调整。

11.5.4 钢塔节段提升安装作业除应符合本规范 11.5.3 条规定外，还应符合以下规定：

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；

2 应设置节间定位导向装置及节间匹配锁定装置；

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，不得从下节钢塔的轴线引出，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。

条文说明：

1 底节钢塔安装精度要求高，所以要求对其采取必要的定位支架、垫块、限位板等辅助固定措施。

6 控制轴线从最近的基准点进行引测，避免累积误差。受测量仪器的仰角限制和大气折光的影响，钢塔的标高和轴线基准点逐步从地面向上传递，由于钢塔受环境温度和日照的影响变形较大，传递到高空的测量基准点处于动态变化的状态。一般情况下，若此类变形属于可恢复的变形，则可认定高空测量基准点有效。

11.6 顶推安装

11.6.1 本节适用于跨河、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主梁安装施工。

11.6.2 顶推前应对施工过程进行分析计算，保证梁体及支撑墩受力满足设计要求。栈桥平台或支撑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，其基础需考虑水流冲刷。顶推拼装场地与台座应符合本规范 5.2.1 的规定，且场地应设置顶推、控制作业区。

条文说明：

钢梁顶推前应对已建成的正桥桥墩、引桥墩台进行测量验收，墩台的位置、尺寸、高程、中心线均应符合设计要求。

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。需编制钢梁顶推施工专项施工方案，并组织专家论证、审核。

11.6.3 顶推设备应符合下列要求：

- 1 顶推施工用的顶推设备进场应进行验收，并制定设备操作规程。
- 2 顶推钢导梁宜采用变截面钢桁架梁，采用栓接连接，以便安装和拆除。导梁与钢箱梁连接时，导梁接头范围内的钢箱梁 U 肋、纵隔板加劲肋暂时不焊接连接，待钢箱梁顶推到位导梁拆除后在现场焊接。
- 3 多点式顶推施工应在每个支撑墩墩顶均布置两台连续千斤顶，一旦钢导梁到达并支撑于支撑墩，该墩即参与顶推施工。
- 4 步履式顶推装置需配备三向千斤顶，并根据计算分析确定千斤顶个数、顶

升能力及行程距离。

11.6.4 顶推施工应符合下列要求:

- 1 钢梁的组装应符合本规范第5章的规定。
- 2 顶推施工时应进行施工监控, 梁段拼装线形应符合设计或监控要求。现场应设置顶推施工控制中心。
- 3 顶推过程中, 应及时纠正横向和竖向偏差, 应力和变形不得超过设计和监控允许的范围。
- 4 梁体顶推到位落梁时, 应根据受力情况控制分批落梁次数和落梁顺序。



11.6.5 拖拉法施工时应符合以下规定:

- 1 桥下净空低、搭设支架不影响桥下通行, 且支撑墩水平承载力足够大的组合梁拱结构或等截面钢主梁施工。
- 2 滑块与梁体接触位置应局部临时补强, 保证梁体整体稳定性。
- 3 水平牵引应保证对称同步性, 带动梁体匀速前移。



11.6.6 单点和多点顶推应符合下列规定:

- 1 导梁的拼装线型应与主梁保持一致。
- 2 主梁与顶推设备支撑处应设置橡胶垫块, 防止顶推过程中主梁应力集中。
- 3 顶推施工应先试顶推, 全面检验顶推系统性能, 满足要求后方可按照设定的顶推力及行程进行顶推作业。
- 4 安装平台顶和临时墩顶均应布置滑道, 并宜在滑道面涂硅脂, 减小摩擦系数; 应布置侧向限位导向滑轮和横向水平千斤顶, 便于横向纠偏。
- 5 多点顶推时, 顶推过程中应对顶推千斤顶同步性进行集中控制; 应对顶推过程中顶推力或行程突变情况做好监测、预控和调整措施, 保证梁体滑移速度均匀。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。
- 6 最后一次顶推时应采用小行程点动, 以便纠偏及精确就位。



11.6.7 步履式顶推应符合下列规定:

- 1 步履式顶推法适用于沿直线或曲线顶推的等截面或变截面钢主梁或组合梁拱结构施工。
- 2 多点步履式顶推设备应布置在各个顶推点上, 每两套上下游侧的顶推装置中间布置1台液压泵站, 主控台应安置在拼装平台上。
- 3 顶推设备调试应保证手动、自动两种模式工作状态下可正常运行。应检查

自动模式下系统各千斤顶的动作协调性及同步性符合要求。

4 顶推过程中对于竖向偏差调整应以支反力控制为主、标高控制为辅的原则进行。

11.7 整体安装

11.7.1 本节适用于采用架桥机、起重机或浮吊对整孔钢箱梁或大节段钢箱梁的安装。

条文说明:

整体安装有整体提升、整体吊装、整体滑移等方法，整体滑移属顶推法，可参考本规范 11.6 节相关规定。整体提升法常用于混合梁刚构桥跨中大节段钢梁段的安装，利用悬臂端上的桥面吊机或提升系统将桥下的钢梁竖直提升就位。

11.7.2 安装方案应符合本规范第 11.1、11.2 节的要求外，还应符合下列规定：

1 安装方案应进行专项设计，并根据施工阶段、顺序或步骤进行结构分析，主体结和临时结构、设备、体系转换、吊具等均结构和过程应满足安全要求。

2 应采取技术措施减小环境温度、风、水流变化对施工安全质量影响。应选取适当的时间段和环境温度进行安装、连接或合龙施工。连接或合龙温度应满足设计要求。

3 吊点或支点的最大负载不应大于起重设备的负荷能力。

4 吊装的变形应在允许范围之内。

5 各起重设备的负荷能力应接近。

条文说明:

1 对结构安装过程进行施工阶段分析主要是为保证结构安全，或满足规定功能要求，或将施工阶段分析结果作为其他分析和研究的初始状态。

2 确定拆除临时支承、加固体系拆除顺序和步骤的目的是为了使主体结构变形协调，荷载平稳转移。整孔或大节段安装一般是顺序安装、连接，但也有时会有先安装前后梁段，后安装中间梁段的情况，此时应按合龙来进行施工。温度变化对钢结构有热胀冷缩的影响，因此应选取适当的时间段进行结构的合龙施工，避免次应力的产生。

11.7.3 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 整体安装施工所用桥面吊机、提升系统应进行专项设计。桥面吊机、架桥机应由有资质的专业厂家制造，并有出厂合格证。提升系统所用泵站、连续千斤顶、钢绞线、工具锚或卷扬机、钢丝绳、滑轮组、吊钩等机具和材料应采用状况良好的合格产品；

3 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移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、提升系统使用前应进行全面安全技术检查，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。

11.7.4 整体安装作业应符合下列规定：

1 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；

2 多吊点安装时，应保证各点运动同步差在允许范围内；应控制安装过程中加速度在 0.1g 以内。

3 梁体在起落过程中应保持水平；构件起吊高度应超过支座 50cm，在正上方缓慢下放。临时支承时，支座形式和位置应符合设计规定，各支座顶面高差不得超过 4mm；

4 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。

5 吊具应定期检查和探伤检测。

条文说明：

1 为使整体安装工程安全且经济，对于工程的荷载取值是关键，整体安装工程的环境荷载与工程的延续时间有关，工程延续时间越长，可能发生的环境荷载变异越大，同时桥梁位于航道或者跨线部位，安装时间受限，一般不具备设置应急停留的条件或很不经济，所以整体安装的关键过程选择有利的气象时段，避开特殊不利气候，尽快完成。

施工前根据中、短期气象预报选择有利的气象和环境条件，并做好充分的安装准备工作。

2 整体安装的结构一般质量较大，瞬时的加速度会对安装设备、支架等产生

较大的附加动荷载。

11.8 转体安装

11.8.1 本节内容适用于钢拱肋、钢塔转体安装，其它类似工程可以参照使用。

11.8.2 安装设备应满足施工方案要求，且符合以下规定：

- 1 拉力和位移测量设备满足方案所要求的精度；
- 2 千斤顶、卷扬机等设备最大工作负荷不宜超过设备额定工作能力的 80%，且使用前对油表、张力测力仪、起重限制器等计量器具进行标定。

11.8.3 安装场地应平整，转动影响区域 10m 范围内应无障碍物；地基应能保障安装过程中下沉量不大于 5mm。

11.8.4 转盘结构、锚固体系、转动体系、位控体系应符合以下规定：

- 1 转盘结构、锚固点、转动体系、位控体系须进行专项设计，转盘结构宜由专业厂家进行加工制作。
- 2 转动体系应在转动支承之外设置转动防倾保护；牵引系统宜选用同步、连续液压千斤顶，且千斤顶的实际牵引力不低于计算牵引力的 2 倍。
- 3 位控体系除应设置必要的转体限位外，还应设置微调装置。
- 4 采用扣塔或提升架竖转时，扣索和拉索应选用钢丝绳或钢绞线，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。

11.8.5 应按照设计要求的顺序进行构件安装，当设计未作要求时，安装顺序宜从转盘结构处向另一端依次顺序安装，通过转体安装到位；构件应在支架上安装，并符合本规范第 11.3.5 条规定。

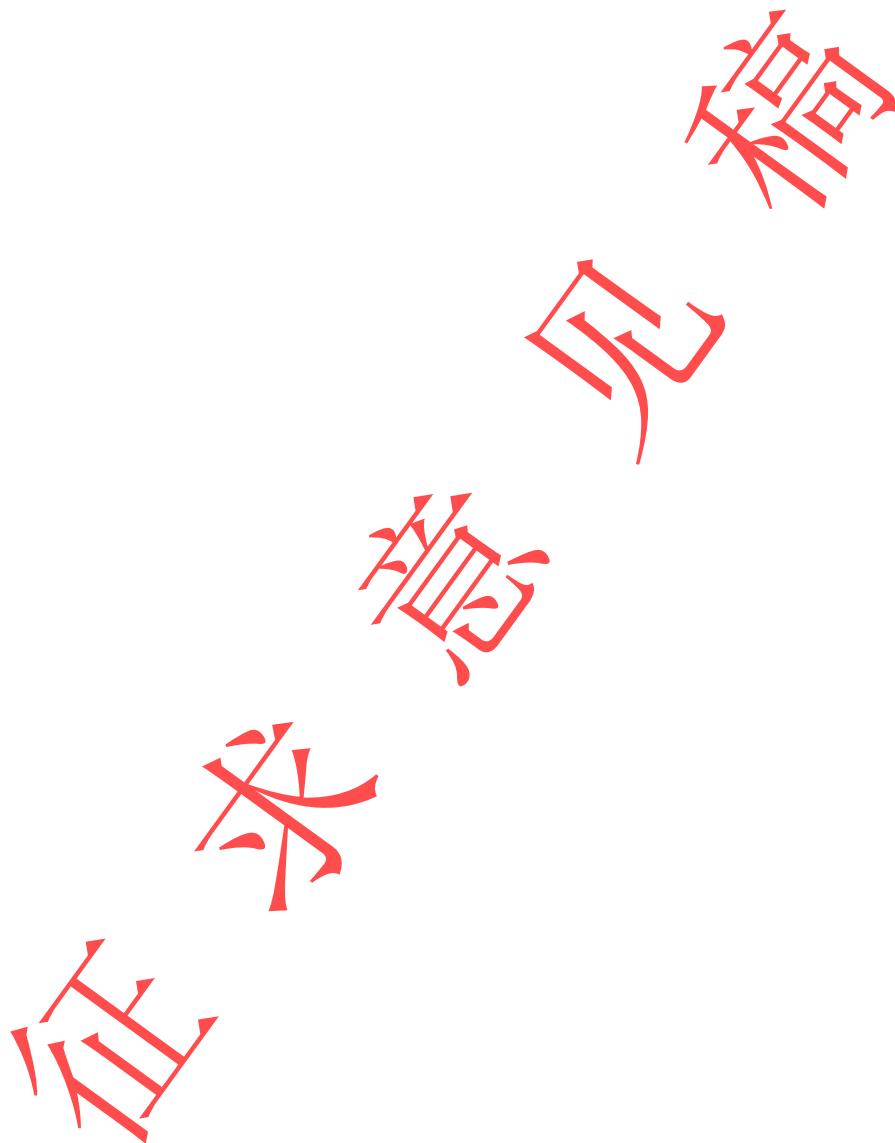
11.8.6 转体作业应符合下列规定：

- 1 转体活动较支座进场时应进行支座弧形板的光洁度、椭圆度、平整度及构件相对位置的测量验收，安装定位时应统一考虑制作误差，避免误差积累。
- 2 转动前应进行试转；竖转速度应控制在 $0.005\sim0.01 \text{ rad/min}$ ，平转速度角速度不应大于 $0.01\sim0.02 \text{ rad/min}$ 或桥体悬臂线速度不大于 $1.5\sim2.0 \text{ m/min}$ 。
- 3 转体转动作业必须统一信号，统一指挥，统一行动；各部位操作人员在未

得到指令或指令不明的情况下严禁操作。转体转动宜采用自动控制系统，实行信息化控制。

4 平转过程中应对转动体系、锚固点、动力体系等定期检查；竖转时应对扣索、锚索、转盘、索塔的应力及索塔的位移进行跟踪、监测。施工偏差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。

5 大风、暴雨等恶劣天气不得进行转体施工。



12 工地连接

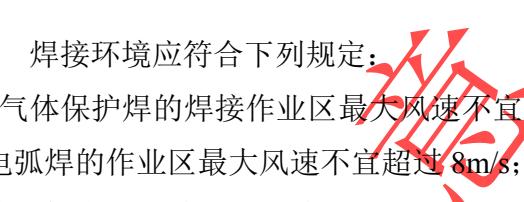
12.1 一般规定

12.1.1 本章适用于构件的摩擦型高强螺栓连接和焊接连接在桥位现场的施工。

12.1.2 工地连接应在梁段就位、固定并经检查合格后进行。

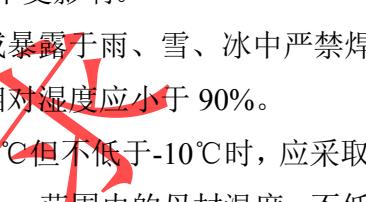
12.1.3 对焊接与高强度螺栓合用连接，应先进行焊接，焊缝检验合格后再进行高强度螺栓连接。

12.2 焊接连接

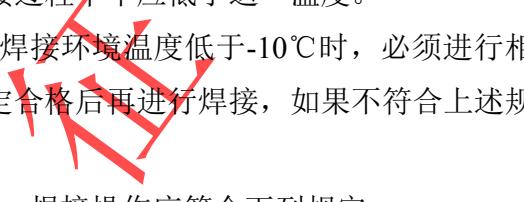
12.2.1 焊接环境应符合下列规定：

1 气体保护焊的焊接作业区最大风速不宜超过 2m/s；焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊的作业区最大风速不宜超过 8m/s；如果超出上述范围，应采取有效措施以保障焊接电弧区域不受影响。

2 焊件表面潮湿或暴露于雨、雪、冰中严禁焊接。

3 焊接作业区的相对湿度应小于 90%。

4 环境温度低于 0°C 但不低于 -10°C 时，应采取加热或防护措施，应确保接头焊接处各方向不小于 100mm 范围内的母材温度，不低于 20°C 或规定的最低预热温度，且在焊接过程中不应低于这一温度。

5 焊接环境温度低于 -10°C 时，必须进行相应焊接环境下的工艺评定试验，并应在评定合格后再进行焊接，如果不符合上述规定，严禁施焊。

12.2.2 焊接操作应符合下列规定：

1 焊接作业条件应符合现行国家标准《焊接与切割安全》(GB9448) 的有关规定。

2 焊工应持证上岗。

3 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，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。

4 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。

5 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。

6 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。

7 在箱梁内焊接时，除了正常的通风要求外，尚应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、~~氧量~~等的测试，确认符合要求。

8 焊接悬空作业时，应搭设操作平台。操作平台的临边应按规定设置防护栏杆。

12.2.3 焊接接头应符合下列要求：

- 1 焊接前应进行质量检查，并进行除锈。~~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范的规定。
- 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要求：

- 1 焊接施工前必须进行焊接工艺评定试验并制定焊接工艺文件用于指导现场焊接，焊接工艺评定的环境应反映工程施工现场的条件。施焊时应严格执行焊接工艺，焊接工艺评定试验应符合本规范附录 C 的规定。
- 2 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。
- 3 梁段就位、固定并经检查合格后，施焊应按顶板、底板、纵隔板的顺序对称进行；梁段间的焊缝经检验合格后，应按先对接后角接的顺序焊接纵向肋嵌补件。
- 4 定位焊应符合本规范第 6.2.8 条的规定。采用钢衬垫的焊接接头，定位焊宜在接头坡口内进行；定位焊焊接时预热温度宜高于正式施焊预热温度 20℃~50℃；
- 5 焊前预热温度和道间温度要求应符合本规范第 6.2.6 条和第 6.2.7 条的规定。
- 6 工地焊接技术工艺同时应符合本规范第 6 章的相关规定。

12.2.5 焊接质量检验应符合下列要求：

- 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 6.2.14 的规定。
- 2 焊缝修磨和返修焊应符合本规范第 6.2.13 条的规定。

3 焊缝无损检验应符合本规范第 6.3 节的规定。

12.3 栓接连接

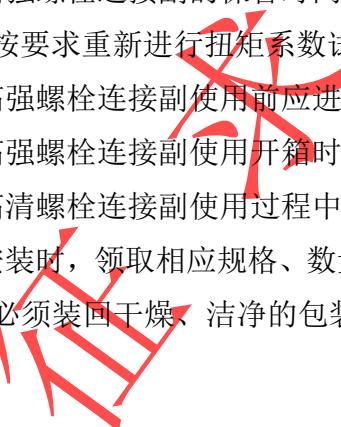
12.3.1 螺栓连接施工应符合下列要求:

- 1 高强度螺栓施工应在施工平台或吊篮上进行，具备安全防护设施。
- 2 当环境温度低于-10℃，或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中，应停止高强螺栓施工作业。
- 3 高强螺栓连接施工的环境温度应不高于 100℃。
- 4 高处作业应遵守安全作业规程。



12.3.2 高强螺栓连接副的运输和场内保存应符合下列要求:

- 1 高强螺栓连接副应按批配套进场，并附有出厂质量保证书。安装前严禁随意开包。
- 2 高强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。
- 3 工地存储高强螺栓连接副时，应放在干燥、通风、防雨、防潮的仓库内，高强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，堆放应有防止生锈、潮湿及沾染赃物等措施。
- 4 高强螺栓连接副在安装使用前严禁随意开箱。
- 5 高强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，必须按要求重新进行扭矩系数试验，检验合格后，方可使用。
- 6 高强螺栓连接副使用前应进行外观检查，表面油膜正常无污物的方可使用。
- 7 高强螺栓连接副使用开箱时，应核对螺栓直径、长度。
- 8 高强螺栓连接副使用过程中不得雨淋、不得接触泥土、油污等赃物。
- 9 安装时，领取相应规格、数量、批号的高强螺栓连接副，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。



12.3.3 摩擦面抗滑移系数应按下列规定进行检验:

- 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、同一批制作，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 F 执行。

12.3.4 高强螺栓连接副的安装应符合下列要求：

- 1 高强螺栓连接副应在同批内配套使用。
- 2 高强度螺栓连接副的安装应在构件中心位置调整准确后进行。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、无飞边毛刺，并不得在雨中进行安装作业。
- 3 高强度螺栓连接副组装时，应在板束外侧各设置一个垫圈，有内倒角的一侧应分别朝向螺栓头和螺母支承面。高强度螺栓的长度应与安装图一致，安装时其穿入方向应以施工方便为准，力求全桥一致。
- 4 高强螺栓安装时应自由穿入孔内，不得强行敲入；对不能自由穿入螺栓的孔，应采用铰刀进行铰孔修整，修整后孔的最大直径不应大于 1.2 倍螺栓直径，且修整孔数量不应超过该节点螺栓数量的 25%。铰孔前应将该孔四周的螺栓全部拧紧，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。铰孔的位置应作施工记录。
- 5 安装施工时，每个节点穿入足够数量的冲钉和安装螺栓，不得采用塞焊对螺栓孔进行焊接。采用扭矩法施拧时，高强度螺栓不得作为临时安装螺栓使用。
- 6 高强螺栓紧固后，螺栓外露长度为 2~3 扣为宜。
- 7 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 12.3.4 的要求处理。

表 12.3.4 接触面间隙处理

序号	示意图	处理方法
1		$\Delta < 1.0\text{mm}$ 时不予以处理
2		$\Delta = (1.0 \sim 3.0)\text{ mm}$ 时将厚板一侧磨成 1: 10 缓坡，使间隙小于 1.0mm
3		$\Delta > 3.0\text{mm}$ 时加垫板，垫板厚度不小于 3mm，最多不超过 3 层，垫板材质和摩擦面处理方法应与构件相同

12.3.5 高强螺栓连接副施拧工具应符合下列要求:

- 1 扭矩法施拧时,高强螺栓连接副的初拧(复拧)和终拧均应使用定扭矩扳手。扭角法施拧时,高强螺栓连接副的初拧(复拧)使用定扭矩扳手。
- 2 高强螺栓施工所用的定扭矩扳手必须进行标定。在作业前后均应进行校正,其扭矩相对允许误差为±5%。
- 3 电动扳手应与控制箱配套使用,并应独立供电及配置稳压电源。

12.3.6 高强螺栓连接副的施拧应符合下列规定:

- 1 高强度螺栓的设计预拉力、施工预拉力应符合表 12.3.6-1 的规定。

表 12.3.6-1 高强度螺栓的预拉力

序号	性能等级	螺纹规格 d (mm)	M20	M22	M24	M27	M30
1	8.8S	设计预拉力 P (kN)	125	150	175	230	280
		施工预拉力 P _c (kN)	140	165	195	255	310
2	10.9S	设计预拉力 P (kN)	155	190	225	270	355
		施工预拉力 P _c (kN)	170	210	250	300	390

2 施拧高强度螺栓时,应按一定顺序,从板束刚度大、缝隙大之处开始,对大面积节点板应从中间部分向四周的边缘进行施拧;高强度螺栓的施拧,仅应在螺母上施加扭矩。

3 高强螺栓连接副的拧紧应分为初拧和终拧。当接头数量较多时,应分为初拧、复拧和终拧,初拧、复拧和终拧应在同一工作日内完成。

4 高强螺栓连接副的施拧方法分为扭矩法和扭角法。一般情况下,优先采用扭矩法施拧。

5 采用扭矩法施拧时,拧紧工艺应按以下规定进行:

(1) 高强度螺栓连接副施拧前,应在施工现场按出厂批号分批测定其扭矩系数。每批号的抽验数量应不少于 8 套,其平均值和标准偏差应符合设计要求;设计未要求时平均值偏差应在 0.11~0.15 范围内,其标准偏差应小于或等于 0.01。测定数据应作为施拧的主要参数。

(2) 高强螺栓连接副施拧的初拧(复拧)扭矩宜为终拧扭矩的 50%,初拧(复拧)扭矩等于初拧扭矩,终拧扭矩应按下式计算:

$$T_c = K \cdot P_c \cdot d$$

式中: T_c——终拧扭矩 (N·m);

K——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值,按 12.3.5 第 5 款 1) 条要求测得;

P_c ——高强度螺栓的施工预拉力 (kN), 见表 12.3.6-1;

d ——高强度螺栓公称直径 (mm);

(3) 初拧(复拧)后的高强螺栓应在螺栓尾部端面中心经螺母、垫圈和连接板上划一直线标记。

(4) 终拧时, 施加扭矩必须连续、平稳, 螺栓、垫圈不得与螺母一起转动, 如果垫圈发生转动, 应更换高强螺栓连接副, 按操作程序重新进行初拧、复拧、终拧。

(5) 终拧后应用与初拧(复拧)不同的颜色在螺母上标记

6 采用扭角法施拧时, 拧紧工艺应按以下规定进行:

(1) 扭角法施拧的初拧(复拧)应用扭矩控制, 且应按第 5 款规定进行初拧(复拧)。

(2) 初拧(复拧)经检查合格后, 在螺栓尾部端面中心经螺母端面上划一直线。

(3) 终拧用螺母转动角度控制, 终拧用扳手将划线后的螺母再转动一个角度, 转动角度的大小应按表 12.3.6-2 规定执行。

表 12.3.6-2 初拧(复拧)后高强螺栓连接副的终拧转角

序号	螺栓长度 L 范围	螺母转角	连接状态
1	$L \leq 4d$	1/3 圈 (120°)	连接形式为一层板加两层连接板
2	$4d < L \leq 8d$ 或 200mm 及以下	1/2 圈 (180°)	
3	$8d < L \leq 12d$ 或 200mm 以上	2/3 圈 (240°)	

(4) 终拧完成后, 应用与复拧不同的颜色在螺母上做标记。

12.3.7 高强度螺栓连接副终拧完成后, 应按下列规定进行质量检查:

1 检查应由专职质量检查员进行, 检查用的扭矩扳手必须标定, 其扭矩误差不得超过使用扭矩的±3%。

2 高强螺栓连接副的终拧检查宜在螺栓终拧 1h 以后、24h 之前完成。

3 初拧(复拧)检查应符合以下规定:

(1) 对初拧(复拧)后的全部高强螺栓连接副, 用小锤(约 0.3kg)敲击螺母进行普查, 以防漏拧。

(2) 采用转角法施拧时, 对每个节点高强螺栓连接副总数的 10%, 但不少于 2 套进行初拧(复拧)扭矩检查。检查使用扭矩扳手, 拧至初拧(复拧)扭矩时螺母不转动即为合格。如有一套不合格, 则该节点全部高强螺栓连接副应再次进行复拧, 直到检查合格为止。

4 采用扭矩法施拧的终拧检查应符合以下规定:

(1) 对全部终拧后的高强螺栓连接副进行检查, 查看初拧(复拧)后的标记线的螺栓与螺母相对位置是否发生转动, 以检查终拧是否有漏拧。

(2) 终拧扭矩检查应按每栓群高强度螺栓连接副总数的 5% 抽检, 但不得少于 2 套。

(3) 采用回扣法检查时, 应先在螺杆端面和螺母上画一直线做标记, 然后将螺母拧松约 30° , 再用检查扭矩扳手将螺母重新拧至原来位置, 使两线重合, 测得此时的扭矩值在 $0.9T_{ch} \sim 1.1T_{ch}$ 范围内时为合格。 T_{ch} 应按下式计算:

$$T_{ch}=kPd$$

式中: P ——高强螺栓预拉力设计值 (kN), 按表 12.3.6-1 取用;

T_{ch} ——检查扭矩 (Nm);

d ——高强度螺栓公称直径 (mm)。

(4) 采用紧扣法检查时, 用检查扭矩扳手拧紧螺母, 测得螺母与螺栓刚发生微小相对转动时的扭矩值在 $0.9 \sim 1.1$ 范围内时为合格。紧扣法检查扭矩由试验确定。

(5) 每个节点检查的螺栓, 其不合格者不宜超过抽验总数的 20%; 如果超过此值, 则应继续抽验, 直至累计总数 80% 的合格率为止。对欠拧者应补拧, 不符合扭矩要求的螺栓应更换后重新补拧。

5 采用扭角法施拧的终拧检查应符合以下规定:

(1) 对全部终拧后的高强螺栓连接副进行检查, 观察复拧后标记线的螺栓和螺母相对位置是否发生转动, 以检查终拧是否漏拧。

(2) 终拧扭矩检查应按每栓群高强度螺栓连接副总数的 5% 抽检, 但不得少于 2 套。

(3) 终拧转角检查用量角器进行, 转角不足者应补拧至规定转角, 转角超过者, 超过度数小于等于 5 度判定为合格, 大于 5 度应予更换后重新拧紧。

12.3.8 防腐涂装应符合以下要求:

1 高强度螺栓拧紧检查验收合格后, 对连接处板缝及高强螺栓连接副外露部分及时进行封闭及涂装处理。

2 栓接板的搭接缝隙部位应按标准《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。

3 栓接板外露部分及高清螺栓连接副外露部分应按标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T722) 的规定, 清洁处理后, 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类磷酸锌底漆 $50\mu m \sim 60\mu m$, 再按相邻部位的配套体系涂装中间漆和面漆。

13 安装施工质量控制

13.1 一般规定

13.1.1 本章适用于钢结构桥梁构件的安装过程质量控制。

13.1.2 钢结构桥梁安装施工质量控制应遵循下列原则:

- 1 质量第一, 即不接受不合格的工程;
- 2 源头控制, 即控制原材料和构件加工质量;
- 3 工序检验, 即每道工序检验合格, 实行过程控制。

条文说明:

进行投资、进度、质量、安全、环保等目标控制时, 应坚持“百年大计, 质量第一”, 在工程建设中自始至终把“质量第一”作为对工程质量控制的基本原则。

要重点做好质量的事先控制和事中控制, 以预防为主, 加强过程和中间产品的质量检查和控制。

质量管理体系七大原则是运作质量管理体系最重要的方法, 只有充分运作七大原则方能有效推进质量管理运作, 提升企业质量提升。质量控制的原则是以顾客为关注焦点、领导作用、全员参与、过程方法、循证决策、改进、关系管理。(节选自 ISO9000:2015)

13.1.3 对安装使用的原材料、钢构件、钢梁(塔)节段等应进行进场质量验收; 有必要时安装施工前应检验复核, 并对构件缺陷应进行矫正和修补; 严禁使用不合格品。

条文说明:

本条规定是为了防止不合格的原材料和构件用于工程施工, 造成质量缺陷。当原材料和构件进场时间较长, 有可能出现变质、变形、损坏时, 应在安装前复测复检。常见的问题有钢材表面锈蚀、焊条的药皮脱落、焊芯生锈、焊剂受潮结块、运输、堆放和吊装等造成的钢构件变形及涂层划痕或脱落等缺陷。

13.1.4 钢结构构件安装施工前应对桥梁的墩(台)、塔、支座垫石、止推挡块、龙口、拱座和跨径进行复测, 并与待安装构件的尺寸、空间位置进行核对, 确认无误后方可进行正式安装。

条文说明：

本条规定是为了防止由已完成工程的缺陷及其与构件配合问题造成质量缺陷。主要检验内容和方法包括：1) 钢梁长度与跨径、支座垫石中心、止推挡块位置的复核；2) 钢构件安装高度与桥面高程的复核；3) 拱座轴线、跨径与钢拱肋长度的复核；4) 斜拉索、吊索长度和梁段、桥塔或缆索空间位置的复核；5) 合龙段与龙口长度的复核等，如果发现问题应及时处理。

13.1.5 每道工序完成后，应按施工技术标准进行质量检验；钢结构与相关各专业工种之间，应进行交接检验，并经监理工程师认可。工序检验不合格不得进行下道工序施工。

条文说明：

本条规定是为了加强过程控制，及时发现过程中的问题，避免造成质量缺陷。钢结构与相关各专业工种之间经常遇到的衔接关系包括：1) 钢梁安装与防护栏、灯柱、桥面铺装施工；2) 支座垫石、支座安装（含临时支座）与钢梁的安装；3) 钢梁安装与伸缩缝施工；4) 拱肋与拱上立柱；5) 斜拉桥斜拉索、悬索桥和拱桥吊索和钢梁安装；6) 钢梁安装与机电设备、电缆、管道等设施的安装施工；7) 钢塔安装与爬梯、电梯等塔内设施安装，除了空间定位配合还需考虑连接、涂装质量上的相互影响，如果发现问题应及时处理。

13.1.6 安装施工质量检验必须使用经计量检定、校准合格的计量器具；质量检验和试验检测人员必须持证上岗。

条文说明：

本条规定是为了保证质量检验的准确可靠。

13.1.7 质量检查记录、质量证明文件等资料应完整齐全、真实有效、具有可追溯性。

13.2 位置与高程

13.2.1 支架上安装（简支梁、连续梁等）总体和局部允许偏差应符合下列要求：

- 1 梁段或节段中线与设计轴线的偏位应小于 10mm；相邻节段中线差应小于 10mm。
- 2 在墩台处和跨中处梁段高程偏差应小于±10mm；梁段间或节段间高差应小于 5mm。
- 3 斜拉桥钢箱梁相邻节段间对接错边小于 2mm，梁顶四角高差小于 10mm。
- 4 支座处支承中心偏位应小于 10mm。

条文说明:

当设置预拱度时，高程指设计高程叠加预拱度后的高程，只有据此高程安装，最终才能达到符合设计要求的线形和高程。

13.2.2 悬臂拼装梁段定位后应符合以下规定:

1 梁段或节段中线与设计轴线的偏位，在跨径 L 在 200m 以内时，应小于 10mm；在跨径 L 大于 200m 时，应小于 $L/20000\text{mm}$ ；支座处支承中心偏位应小于 10mm。

2 斜拉桥梁段相邻节段对接错边应小于 2mm；其他桥梁段间或节段间高差应小于 5mm。

3 梁顶四角高差不大于 20mm。

4 合龙后拱肋或梁顶高程偏差，在跨径 L 在 200m 以内时，应小于 $\pm 20\text{mm}$ ；在跨径 L 大于 200m 时，应小于 $L/20000\text{mm}$ ；拱肋或梁顶四角高差小于 20mm。合龙前应测量复核龙口两侧悬臂端的高程、间距和轴线满足设计或施工控制的要求。

条文说明:

当设置预拱度时，高程指设计高程叠加预拱度后的高程，只有据此高程安装，最终才能达到符合设计要求的线形和高程。

13.2.3 提升安装（悬索桥的加劲梁、钢塔、大节段钢构件等）梁段定位后应符合以下规定:

1 悬索桥加劲梁吊点偏位小于 30mm；同一梁段两侧对称吊点处梁顶高差小于 20mm；相邻节段匹配高差应小于 2mm。加劲梁线形无异常折变。

2 钢塔、钢锚箱、大节段钢构件安装定位中心偏位不大于 5mm，顶面高程偏差，每节段不大于 $2n\text{mm}$ (n 为节段数)，且累计不大于 10mm。

3 支承面接触率满足设计要求。

4 钢梁纵轴线误差不大于 10mm，两跨相邻端横梁中线相对偏差不大于 5mm。

条文说明:

本条参照《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017）制定。

13.2.4 顶推安装（连续梁等）应符合以下规定:

1 梁段轴线的偏位应不大于 10mm；两跨相邻端横梁中线相对偏位不大于 5mm。

2 高程：墩台处不大于 5mm，两跨相邻端横梁中线相对高差不大于 5mm；梁段顶四角

高差小于 10mm。

3 固定支座处支承中心偏位：简支梁不大于 10mm，连续梁不大于 20mm。

条文说明：

本条参照《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1-2017) 8.9.2 制定。

13.2.5 整体安装整孔、大节段钢箱梁应符合本规范第 13.2.4 条规定。

13.2.6 转体安装拱肋应符合下列规定：

1 拱肋组装拱肋轴线的偏位应小于 10mm；相邻拱肋节段间对接错边小于 2mm。

2 拱肋转体后拱肋轴线允许偏位不大于 $L/6000\text{mm}$ (L 为跨径)，且不大于 30mm。跨中拱顶高程偏差允许值为 $\pm 20\text{mm}$ 。同一横截面两侧或相邻上部构件高差应控制不大于 10mm。

条文说明：

本规定参考《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1-2017) 表 8.8.4 制定。

13.3 线形控制

13.3.1 应符合下列规定：

——规定不同桥型结构控制管理的原则及允许偏差

1 线形控制应制定专项技术方案，根据不同的桥型和施工方案采取不同的控制方法、步骤和标准。线形控制宜采用无应力状态法。

2 线形控制包括制造线形控制和安装线形控制，应统一制定方案，统一实施，不得相互独立、脱节。

3 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。技术方案应经审批方可实施。

4 对于大跨径桥梁和采用特殊结构、特殊工艺的桥梁，应选择有类似工程经验的单位和负责人完成线型控制，并应建立专门组织机构，明确业主、设计、制造、施工、监理、监控等各方的工作职责，制定工作流程，规定数据和指令采集、复核、发布、传递、反馈等岗位职责，确保施工数据的准确性和及时性。

5 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。

6 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（如塔和斜拉索、主缆和吊杆、拱和吊杆、斜拉扣挂系统等）、施工荷

载等，应采取措施消除不利影响，提高安装精度。

条文说明：

3 本条规定是为了使线型控制的计算分析准确可靠，实现设计意图和目的。

4 大跨径桥梁和采用特殊结构、特殊工艺的桥梁指斜拉桥、悬索桥、拱桥、较大跨度的顶推。对于一般中小跨度桥梁和结构、工艺简单的桥梁，由于难度不大，则根据实际情况降低管理要求，需要说明的是，质量标准是统一的，不能降低。

13.4 内力与变形控制

——规定不同桥型结构安装施工过程中的控制原则、体系转换时应遵循的要求、以及不同桥型结构的安装允许偏差。

13.4.1 在支架上安装简支梁、连续梁，形控制应符合下列规定：

1 安装高程应设预拱度，预拱度包括护栏和桥面铺装等二期恒载产生的挠度和预留二分之一活载挠度。

2 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跨的全跨范围内按二次抛物线设置。

3 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。

4 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。

13.4.2 悬臂拼装施工斜拉桥和连续梁桥时，内力线形控制应符合下列规定：

1 安装高程应设预拱度，预拱度除包括护栏和桥面铺装等二期恒载产生的挠度和预留二分之一活载挠度之外，尚应包括预计的后续节段安装、合龙施工产生的挠度。

2 施工过程中应在梁根部、1/4 跨、跨中等典型断面检测应力值，实测应力不应超过计算应力值±10%，当达到和超过时，应分析原因。每断面测点不少于 4 个，分布于上下缘位置。

3 对主梁高程，应检测各施工阶段的变化，并与施工控制基准值对照比较，跟踪分析，当发现实测值与预测值大于 10mm 时，应分析原因进行处理。

4 斜拉桥施工过程中还应检测主塔的应力和变形、斜拉索索力、环境温度；索塔偏位不超过 10mm，混凝土索塔应力偏差不宜超过±20%，钢塔应力偏差不宜超过±10%。索力偏差不超过±5%。

5 主梁节段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。

13.4.3 提升安装的悬索桥，应力变形控制应符合下列规定：

1 安装高程应设预拱度，预拱度值由施工监控分析获得；桥面高程纵向相对于施工基准值误差不大于 10mm，横向误差不大于 5mm；

2 施工过程中应检测索塔轴线和应力，索塔偏位不超过 10mm，混凝土索塔应力偏差不宜超过±20%，钢塔应力偏差不宜超过±10%。

3 施工过程中应还应主缆线形、索股索力、索鞍偏位、主缆温度、吊杆索力、索夹位置等，施工偏差应不超过施工控制基准值。

13.4.4 拱桥内力线形控制应符合下列规定：

1 拱肋安装应设预拱度，预拱度包括护栏和桥面铺装等二期恒载产生的挠度和预留二分之一活载挠度，预计后续节段安装、合龙施工产生的挠度，以及拱桥拱上立柱和梁板的挠度。
~~13.4.4 拱桥内力线形控制应符合下列规定：~~

2 施工过程中应在梁或拱根部、1/4 跨、跨中等典型断面检测应力值，实测应力不应超过计算应力值±10%，当达到和超过时，应分析原因。每断面测点不少于 4 个，分布于上下缘位置。

3 对拱肋高程，应检测各施工阶段的变化，并与预测值对照比较，跟踪分析，当发现实测值与预测值不符时，应分析原因。

4 拱肋悬臂拼装过程中节段实测高程与设计高程偏差不超过 20mm，拱肋合龙端以及合龙后实测高程与设计高程偏差不超过 10mm；成拱后拱轴线横向偏位不大于 10mm。桥面铺装前桥面高程与设计高程偏差不超过 10mm。
~~13.4.4 拱桥内力线形控制应符合下列规定：~~

5 斜拉扣挂法施工拱桥时，还应检测拱座的高程和水平位移，扣塔应力和变形、扣索和锚索索力、环境温度等；扣塔应力和变形不超过设计允许值，索力偏差不超过±5%。

条文说明：

施工控制基准值，又称施工控制目标值，指构件空间位置和受力在各个施工阶段的预定值以及在成桥后达到的目标线形和内力。线型控制就是控制各个构件的实际安装偏差，最终实现理想线形目标，故在施工中通常测量实际位置与预定位置不超过允许偏差。

条文中应力和变形控制基准值偏差指标参考《公路桥梁施工监控技术规范》（征求意见稿）。

附录 A 原材料复验规程

A.1 检验频次

A.1.1 钢材应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态每 10 个炉（批）号抽验一组试件；探伤钢板应按每种板厚数量的 10%（至少 1 块）进行抽探；不锈钢复合板宜按制造批抽检。检验合格的钢材方可使用。

条文说明：

近几年不锈钢复合板试用于钢桥，其相关规范尚不完善，本规范中的检验要求仅作为参考。

A.1.2 制造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；连续使用的第一厂家、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 5 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 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 Rel、抗拉强度 Rm、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 不锈钢复合钢板基层检验项目除执行本规范 A.2.1 的规定外，增加内弯试验和界面剪切试验。

A.2.3 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 Rel、抗拉强度 Rm、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 Rel、抗拉强度 Rm、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 Rel、抗拉强度 Rm、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.2.4 圆柱头焊钉复验项目：

- 1 化学成分：复验 C、Si、Mn、P、S 元素含量；
- 2 力学性能：屈服强度 Rel、抗拉强度 Rm、伸长率 A。

A.2.5 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.2.6 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，应在该批涂装材料中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，不作为用户必检项目。

A.3 评定规则：

A.3.1 各项试验结果的评定按照相应国家标准进行，当没有相应的国家标准或订货合同（技术条件）有特殊规定时，按合同（订货技术条件）执行。

A.3.2 焊接材料、圆柱头焊钉、高强度螺栓连接副、油漆的评定以每一批号的试验结果为准。钢材试验炉（批）的评定以抽样试验结果为准。

A.3.3 对于钢材检验批的质量评定按下述原则进行：

- 1 当试验炉（批）号评定为合格时，评定整个检验批为合格；
- 2 当试验炉（批）号评定为不合格时，在该检验批内再抽取两个炉（批）号的样品进行试验；
- 3 若两个试验炉（批）号均合格，则该检验批其余炉（批）号均判定为合格；
- 4 若两个试验炉（批）号均不合格，则对该检验批剩余的7个炉（批）号逐炉（批）取样进行试验，逐炉（批）评定；
- 5 若两个试验炉（批）号有一个合格另一个不合格时，在该检验批剩余的7个炉（批）号中再抽取两个炉（批）号进行试验；如果两个试验炉（批）号均合格则判定该7个炉（批）号合格，否则对该检验批剩余的炉（批）号逐炉取样试验，逐炉（批）评定。

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 缺陷修补方法

序号	缺陷类别	缺陷种类		修补方法
1	钢板	麻点等伤痕	≤1.0mm	修磨匀顺
			>1.0mm	补焊后修磨匀顺
		钢材边缘局部层状裂纹 (深度不超过 5.0mm 时)		补焊后修磨匀顺
2	焰切面	焰切边缘的缺口或崩坑	≤2.0mm	修磨匀顺
			>2.0mm	磨出坡口补焊后修磨匀顺
3	弯曲加工	边缘裂纹		补焊后修磨匀顺
4	焊缝外观	咬边	≤0.8mm	修磨匀顺
			>0.8mm	补焊后修磨匀顺
		弧击	≤4.0mm	修磨匀顺
			>4.0mm	补焊后修磨匀顺
		电弧擦伤	≤0.5mm	修磨匀顺
			>0.5mm	补焊后修磨匀顺
		表面裂纹		补焊后修磨匀顺
		凹坑		补焊后修磨匀顺
		焊缝表面凸凹		修磨匀顺
		焊瘤		修磨匀顺
		飞溅		修磨匀顺
		拆除吊具等临时连接 残留痕迹	≤1mm	修磨匀顺
			>1mm	补焊后修磨匀顺
		角焊缝焊趾不足		补焊后修磨匀顺
		对接焊未填满		补焊后修磨匀顺

B.0.2 焊接修补前应将修补部位打磨干净并按要求进行预热。

B.0.3 对于弯曲加工时产生的边缘裂纹，应在查明原因后，按本规范的相关规定处理。

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 制造单位应根据钢材类型、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，按本规范的相关要求进行评定。

C.1.4 制造单位首次采用的钢材和焊接材料必须进行评定，在同一制造单位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±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℃时；
- 8 增加或取消焊后热处理时；
- 9 电流种类和极性改变；
- 10 加入或取消填充金属；
- 11 母材焊接部位涂车间防锈底漆而焊接时又不进行打磨的。

条文说明：

对已经评定过的同一强度级别的钢材，允许以用冲击韧性标准高的代替低的。对已评定过的Q370及以下级别的钢材，允许代替比其强度低的钢材的评定，高于Q370级

钢材的评定结果不能互相代替。

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	试板厚度	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	$25 < t \leq 80$	$0.75t \leq \delta \leq 1.3t$	

条文说明：

当产品板厚确定时，试板厚度按表 C.2.2 进行选取；当引用已评定合格的试验结果时，试板厚度可代替的产品板厚应符合表 C.2.2 的规定。

C.2.3 T 形接头埋弧自动焊试板可按每一焊角尺寸在表 C.2.3 中选择一种盖、腹板厚度组合。

表 C.2.3 T 形接头埋弧自动焊试板厚度 (mm)

序号	焊角尺寸	试板厚度	
		腹板	盖板(翼缘)
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

条文说明：

对于不开坡口的手工焊角焊缝，试板厚度可参照表 C.2.3 埋弧自动焊评定试板的厚度选取。对已评定合格的不开坡口手工焊角焊缝，当有效厚度（喉厚） $<10\text{mm}$ 时，认可的产品焊缝有效厚度（喉厚）范围为 $0.75\sim 1.5$ 倍；对已评定合格的有效厚度（喉厚） $\geq 10\text{mm}$ 的，认可产品焊缝有效厚度（喉厚）范围为 10mm 以上的所有焊缝。

表 C.2.3 为了保证熔透角焊缝冲击试样的取样长度，盖板厚度应 $\geq 28\text{mm}$ 。

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范的技术要求。

C.3 检验及试验

C.3.1 焊缝的外观质量应符合本规范第 6.2.12 条第 1 款的规定。

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 桥面板上 U 形肋角焊缝进行磁粉探伤，质量等级应达到 II 级。

C.3.4 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.3.5 力学性能试验项目、试样数量及试验方法应符合表 C.3.5 的规定。

表 C.3.5 力学性能试验项目、试样数量（个）

序号	试件型式	试验项目	试样数量	试验方法
1	对接接头试件	接头拉伸（拉板）试验	1	按 GB/T 2650～GB/T 2654 的规定
		焊缝金属拉伸试验	1	
		接头侧弯试验	1	
		低温冲击试验	6	
		接头硬度试验	1	
2	熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	
		低温冲击试验	6	
		接头硬度试验	1	
3	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底纹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，融合线外 1mm 分别取样。

3 板厚 $<12\text{mm}$ 的对接焊缝、焊缝有效厚度 $\leqslant 8\text{mm}$ 的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。

4 熔透角焊缝冲击试样取样方法：当未开坡口侧板厚 $t \geqslant 28\text{mm}$ 时，应按图 C.3.5 进行。

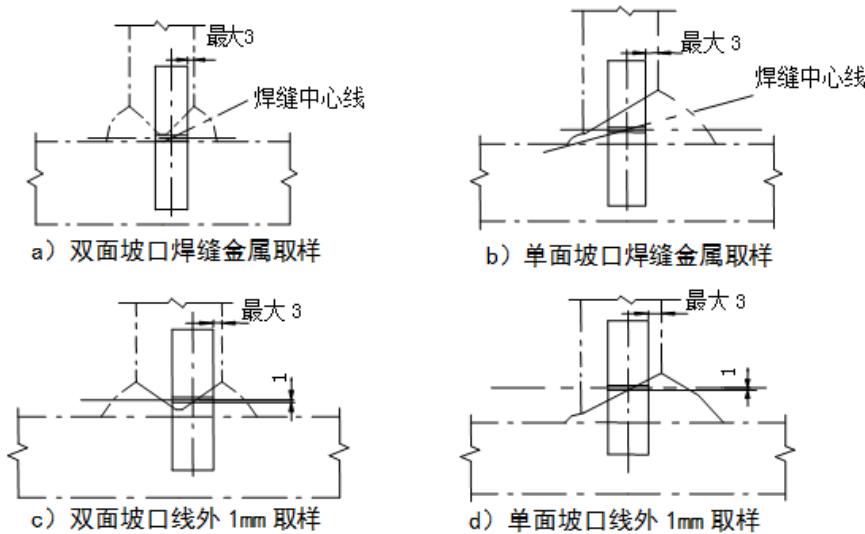


图 C.3.5 熔透角焊缝的冲击试样取样

条文说明：

力学性能试验项目、试样数量与国内外有关标准对照见说明表 C.3.5。

表 C.3.5 力学性能实验项目、试样数量(个)对照

序号	标准 (规范)	接头 型式	接头 拉伸	焊缝 拉伸	焊缝金 属冲击		热影响区或熔 合线冲击		弯 曲			硬度 (酸蚀)
					常温	低温	常温	低温	面	背	侧	
1	本规范	对接	1	1	—	3	—	3	—	—	—	1
		T 接	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
2	英国桥梁 规范 BS5400	对接	1	—	—	3	—	3	2 ^①	2 ^①	—	1
		角 焊缝	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
3	《日本工 业标准》JIS Z 3040 焊 接工艺评 定试验方 法	对接 $t < 19$	2	—	3	—	3	—	2	2	—	—
		$t \geqslant 19$	2	—	3	—	3	—	双 面 焊	单 面 焊	—	—
4	美国钢结 构焊接规 范 AWS	坡口 焊缝	2	—	—	5 ^②	—	5 ^②	—	—	4	—
		T 形	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3

当板厚大于 10mm 时，用一个全截面侧弯代替面背弯。

合同或技术文件要求时做此项。

C.3.6 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、抗拉强度及拉棒的延长率）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做一个试样重新试验，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。异种母材接头拉伸试验以低强度母材为标准。

2 接头侧弯试验结束后，若试样受拉面上的裂纹总长度不大于试样宽度的15%，且单个裂纹长度不大于3mm，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.3.6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，且低于规定的实验结果不多于3个（其中，不得有2个以上的实验结果低于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.3.6 焊接接头的冲击功规定值

序号	1			2			3			4		
钢材牌号	Q345q			Q370q			Q420q			Q500q		
质量等级	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E
试验温度（℃）	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40	0	-20	-40
对接焊缝和 熔透角焊缝	34J			41J			47J			54J		

注：

- 1 试验温度可按照设计规定。
- 2 板厚≤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。

条文说明：

近年来由于钢材种类不断增加，冲击功要求的也各不相同。本规范结合国内钢材强度级别的提高的现状和工程实践经验，并参考ISO 15614-1: 2004的规定，将焊接结构硬度值确定为不大于HV380。

C.3.7 每一评定应做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检验法》(GB/T 226)的规定;单道焊缝的成型系数应为1.3~2.0。U形肋坡口角焊缝的熔透深度应满足设计要求。

C.3.8 不同材质焊接接头的拉伸、冲击、弯曲等力学性能应按性能要求较低的材质进行评定。

C.4 焊接工艺评定报告

C.4.1 焊接工艺评定报告应包括下列内容:

- 1 母材和焊接材料的型(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 评定结论。

条文说明:

试件的焊接条件应包括:焊接方法及焊接位置,焊接电流的种类及极性,或熔滴过度形式,保护气体及流量,环境温度、湿度、预热温度及层间温度,单道焊或多道焊,单丝或多丝等。

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产品钢板相同，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。~~不得~~

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 磁环材料与规格的改变；
- 5 焊接电流变化±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。~~不得~~

D.2.2 圆柱头焊钉焊缝的外观质量应符合规范第 6.2.12 条的要求，焊角饱满。

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 焊接工艺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 评定结论。

附录 E 焊接接头超声波探伤质量要求

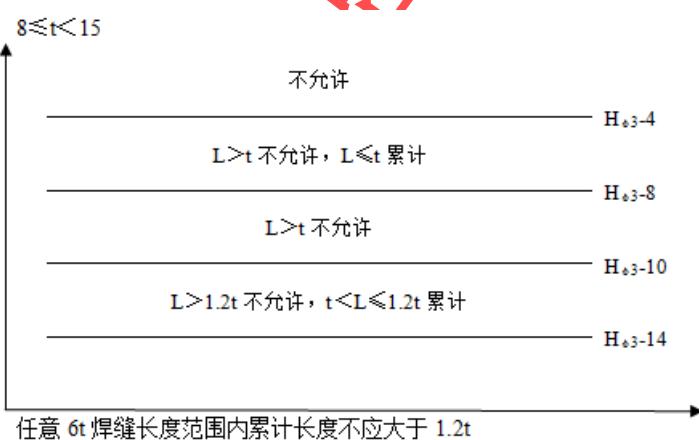
焊接接头超声波探伤方法和探伤结果分级应符合《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》(GB/T 11345) 的规定,《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》(GB/T 29712) 的规定,并同时满足本附录的要求。

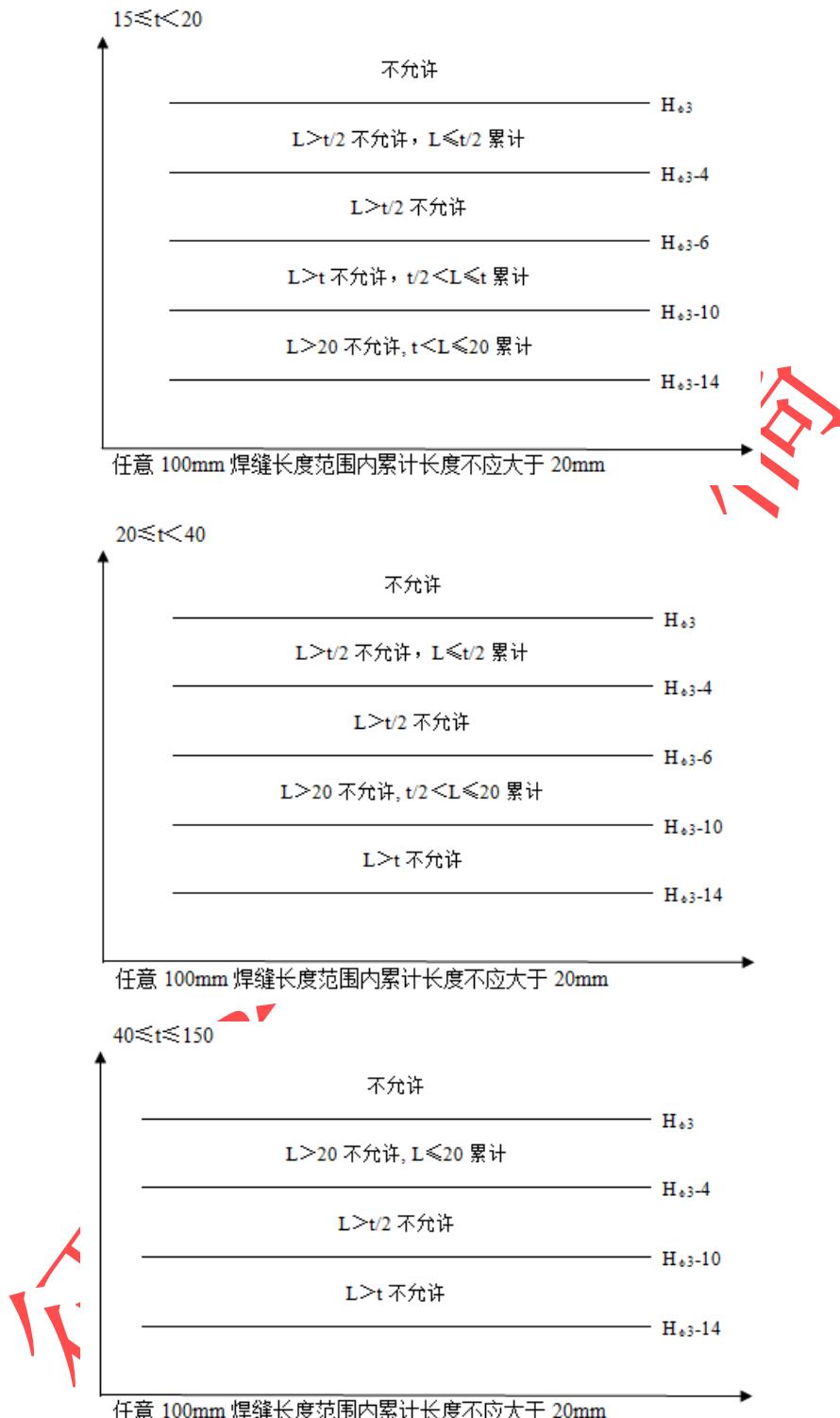
E.0.1 对接焊缝、全熔透角焊缝, 距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定

- 1 以直径 3mm 横孔作为基准反射体, 制作距离波幅曲线。
- 2 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。
- 3 缺陷指示长度小于 10mm 时按 5mm 计, 对累加后允许的不连续进行记录。
- 4 不同板厚焊缝质量验收等级如下列图:

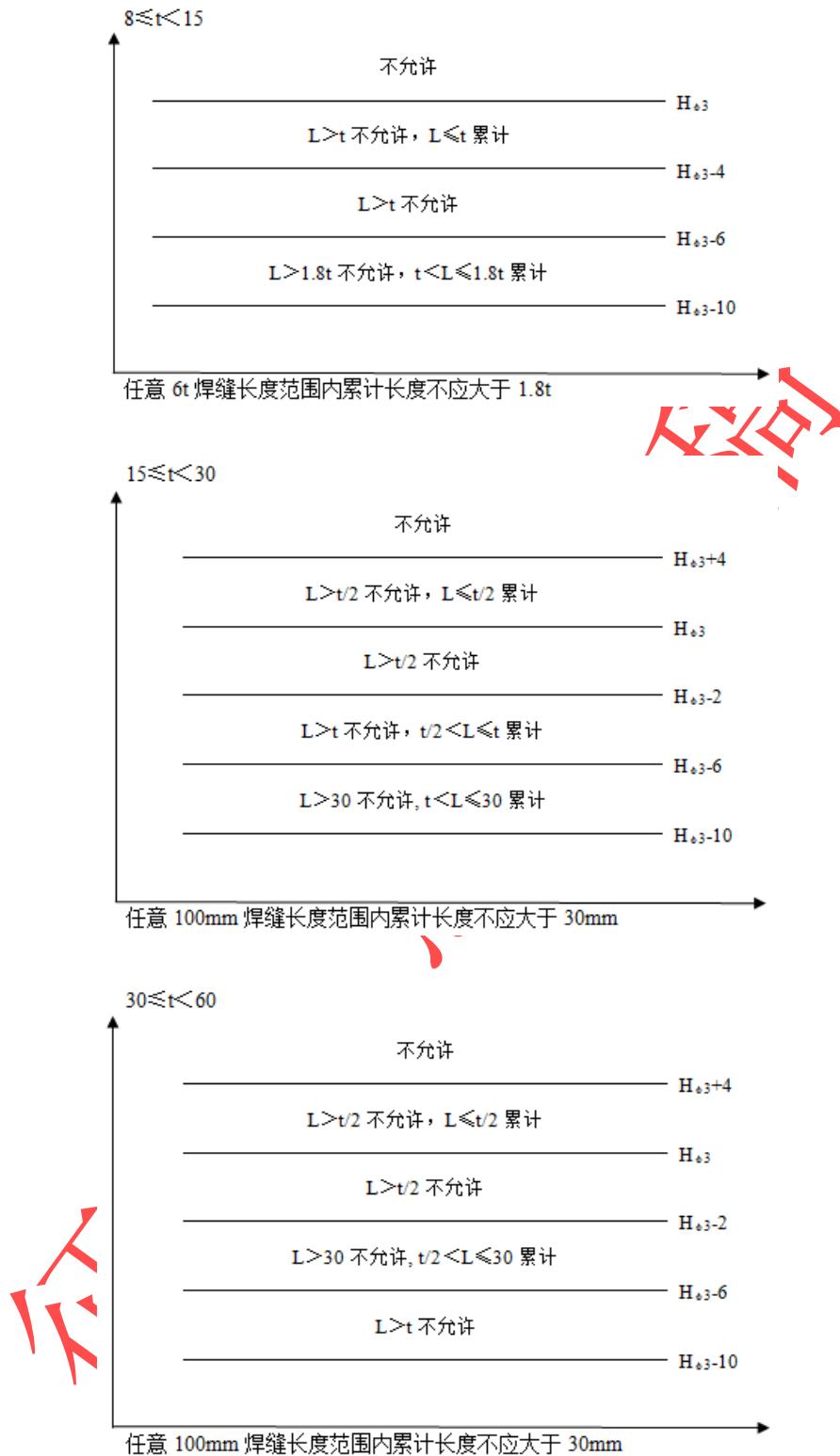
L 为单个不连续的指示长度, t 为坡口加工侧母材板厚(不等厚对接焊缝以薄板计, 管座角焊缝为焊缝截面中心线高度)。

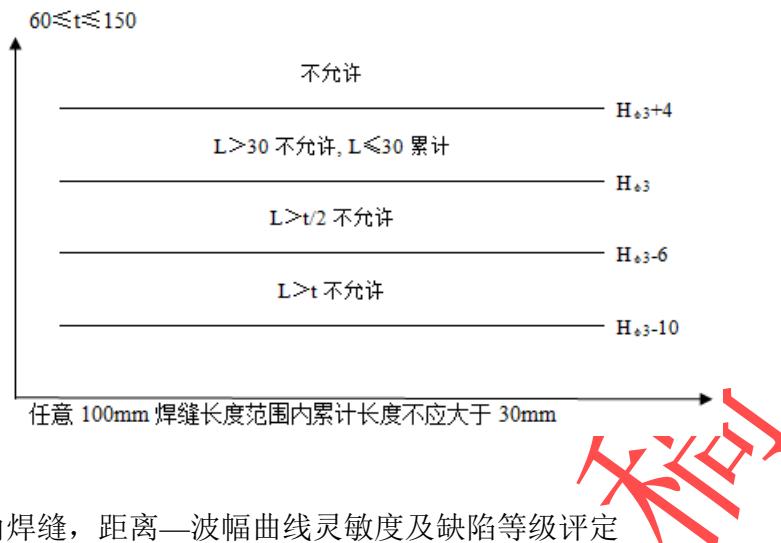
(1) 验收等级 2 级





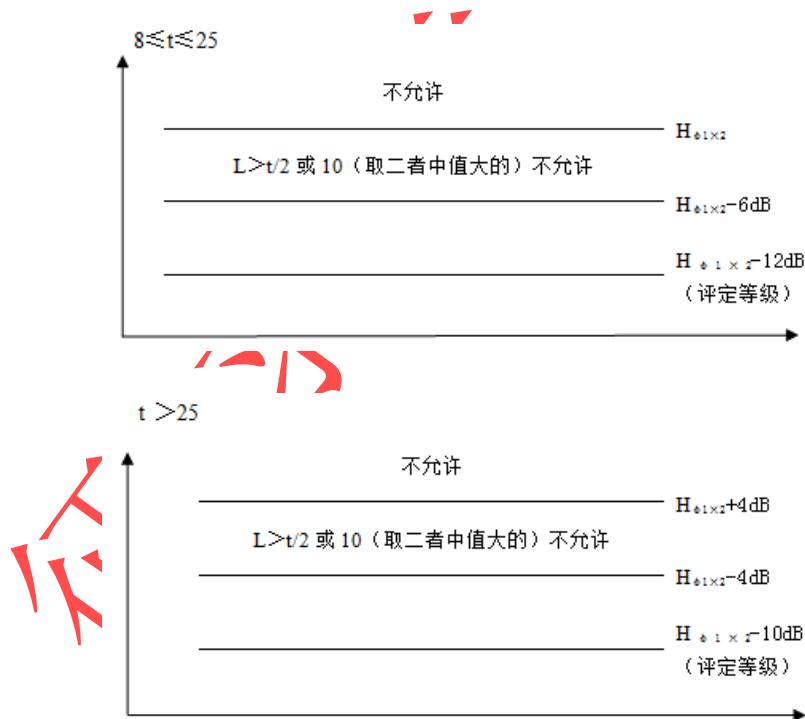
(2) 验收等级 3 级





E.0.2 主要角焊缝，距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定

- 1 超声波探伤判定为裂纹、未熔合等危害性缺陷者，应判为不合格。
- 2 缺陷指示长度小于 10mm 时按 5mm 计，对累加后允许的不连续进行记录。
- 3 部分熔透角焊缝，焊缝内部质量按 E.0.1 验收等级 3 级执行。
- 4 贴角焊缝采用钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其它孔型试块制作距离—波幅曲线，校准检测灵敏度。质量验收如下图：



条文说明：

E 缺陷等级分类要求与有关标准对照见说明表 E。

表E 超声波探伤缺陷等级分类对照 (mm)

序号	标 准	本规范	GB 11345-89	JB 4730-2005	JIS Z 3060-2002	
1	板 厚	10~56	8~300	8~120	≤ 18	$> 18 \sim 60$
2	I 级焊缝	$t/4$ 最小 8	$t/3$ 最小 10	$t/3$ 最小 10	6	$t/3$
3	II 级焊缝	$t/2$ 最小 10	$2t/3$ 最小 12	$2t/3$ 最小 12	9	$t/2$

一级
二级
三级
四级
五级

附录 F 焊接接头射线探伤质量要求

焊接接头射线探伤方法和探伤结果分级应符合《金属熔化焊焊接接头射线照相》(GB/T 3323) 的规定，并同时满足本附录的要求。

F.0.1 焊接接头质量要求

对接接头内应无裂纹、未熔合、未焊透，圆形缺陷和条形缺陷应符合本附录 F.0.3 和 F.0.4 的规定。

F.0.2 评定厚度

评定厚度 t 是指母材的公称厚度。

F.0.3 缺陷的评定

1 圆形缺陷评定

(1) 长宽比小于等于 3 的缺陷定义为圆形缺陷，它们可以是圆形、椭圆形、锥形或带有尾巴（在测定尺寸时应包括尾部）等不规范的形状。包括气孔、夹渣和夹钨。

(2) 圆形缺陷用评定区进行评定，评定区域的大小见表 F.0.3-1，评定区应选在缺陷最严重的部位。

表 F.0.3-1 缺陷评定区 (mm)

序号	1	2
评定厚度 t	≤ 25	> 25
评定尺寸	10×10	10×20

(3) 评定圆形缺陷时，应将缺陷尺寸按 F.0.3-2 换算成缺陷点数。

表 F.0.3-2 缺陷点数换算

序号	1	2	3	4	5	6	7
缺陷长径 (mm)	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	> 8
点数	1	2	3	6	10	15	25

(4) 不计点数缺陷尺寸见表 F.0.3-3。

表 F.0.3-3 不记点数的缺陷尺寸 (mm)

序号	评定厚度	缺陷长径
1	$t \leq 25$	≤ 0.5
2	$t > 25$	≤ 0.7

(5) 当缺陷与评定区边界线相接时，应把它划入该评定区内计算点数。

(6) 对于材质或结构等原因进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，经合同各方商定，各级别的圆形缺陷可放宽 1~2 点。
~~（6）对于材质或结构等原因进行返修可能会产生不利后果的焊接接头，经合同各方商定，各级别的圆形缺陷可放宽 1~2 点。~~

(7) 圆形缺陷的评定见表 F.0.3-4。满足表 F.0.3-4 要求的判为合格；不满足表 F.0.3-4 要求的判为不合格。
~~（7）圆形缺陷的评定见表 F.0.3-4。满足表 F.0.3-4 要求的判为合格；不满足表 F.0.3-4 要求的判为不合格。~~

表 F.0.3-4 圆形缺陷的评定

序号	1			2
评定区 (mm)	10×10			10×20
评定厚度 t (mm)	≤ 10	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	> 25
允许缺陷点数的上限	3	6	9	12

(8) 圆形缺陷长径大于 $t/2$ 时，~~评为不合格。~~

(9) 焊接接头内不计点数的圆形缺陷，在评定区内不得多于 10 个。
~~（9）焊接接头内不计点数的圆形缺陷，在评定区内不得多于 10 个。~~

2 条形缺陷的评定

长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨定义为条形缺陷，条形缺陷的评定见表 F.0.3-5。满足表 F.0.3-5 要求的判为合格；不满足表 F.0.3-5 要求的判为不合格。
~~（2）长宽比大于 3 的气孔、夹渣和夹钨定义为条形缺陷，条形缺陷的评定见表 F.0.3-5。满足表 F.0.3-5 要求的判为合格；不满足表 F.0.3-5 要求的判为不合格。~~

表 F.0.3-5 条形缺陷的评定 (mm)

序号	评定厚度 t	允许单个条形缺陷尺寸上线	不允许条形缺陷总长
1	$t \leq 12$	4	在平行于焊缝轴线的任意直线上，相邻两缺陷间距均不超过 $6L$ 的任何一组缺陷，其累计长度在 $12t$ 焊缝长度内不超过 t
2	$t > 12$	$t/3$	

注：表中 L 为该组缺陷中最长者的长度。
~~（2）注：表中 L 为该组缺陷中最长者的长度。~~

条文说明：

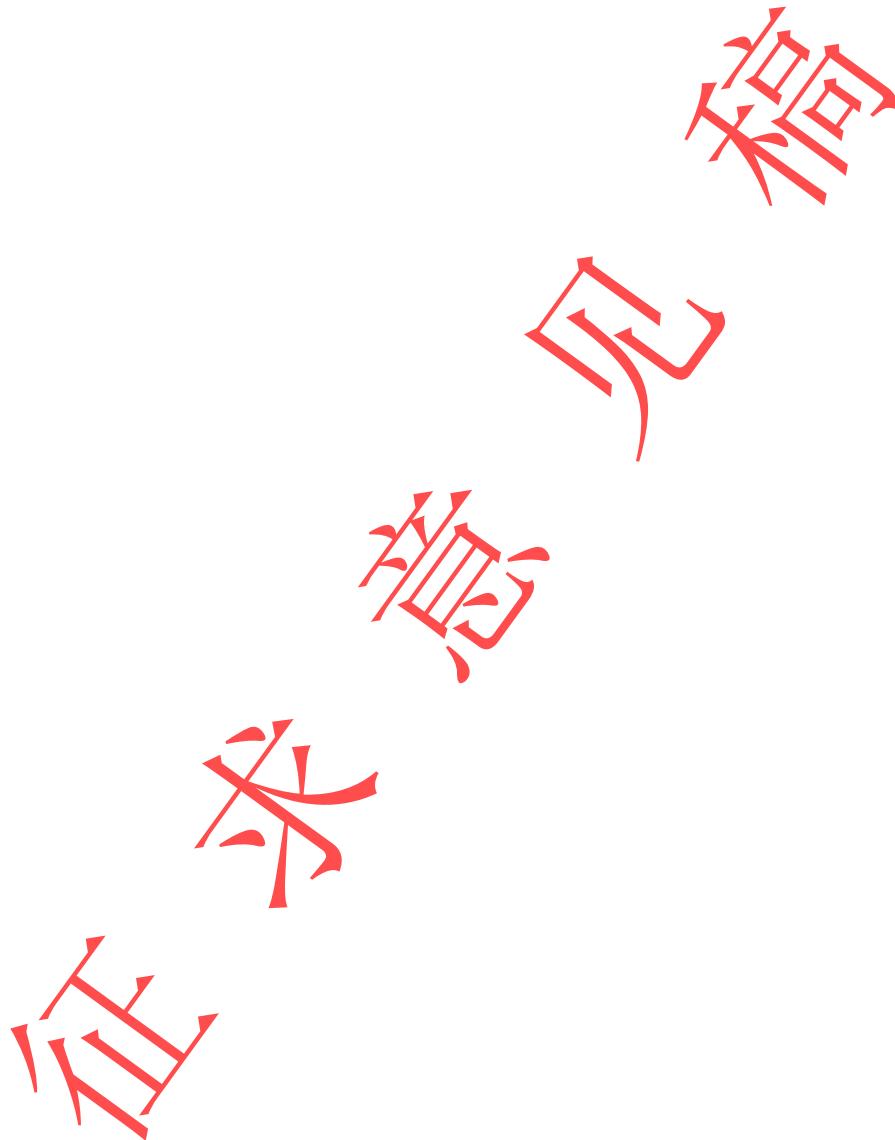
《金属熔化焊焊接接头射线照相》(GB/T3323-2005) 规定：Ⅰ级焊接接头和评定厚度小于 5mm 的Ⅱ级焊接接头内不计点数的圆形缺陷，在评定区内不得多于 10 个。考虑钢桥制造的特殊性，本规范的规定比国标严格。

缺陷的综合评定，考虑钢桥制造的特殊性本规范规定在圆形缺陷评定区内，不允许同时存在圆形缺陷和条形缺陷。

F.0.4 综合评定

在圆形缺陷评定区内，同时存在圆形缺陷和条形缺陷判为不合格。裂纹、未熔合、未焊透等危害性缺陷应判为不合格。

F.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 G 焊接接头磁粉探伤质量要求

焊接接头磁粉探伤方法和探伤结果应符合《焊缝无损检测 磁粉检测》(GB/T 26951)、《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》(GB/T 26952)规定，并同时满足本附录的要求。

G.0.1 检测表面的宽度应包括焊缝金属和每侧各 10mm 距离的临近母材金属。

G.0.2 相邻且间距小于其中较小显示主轴尺寸的显示，应作为单个的连续显示评定。

G.0.3 缺陷的评定应符合表 G.0.3 的规定。满足表 G.0.3 要求的判为合格；不满足表 G.0.3 要求的判为不合格。

表 G.0.3 显示的缺陷评定 (mm)

序号	显示类型 L=显示长度	允许的缺陷尺寸上限
1	线状显示	$L \leq 1.5$
2	非线状显示 $d=$ 主轴长度	$d \leq 3$
线状显示：长度大于等于三倍宽度的显示 非线状显示：长度等于或小于三倍宽度的显示		

G.0.4 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，复探部位的缺陷应符合本附录评定。

附录 H 渗透探伤

焊接接头渗透探伤方法和探伤结果应符合《无损检测 渗透检测》(GB/T 18851)、《焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级》(GB/T 26953) 规定，并同时满足本附录的要求。

H.0.1 检测表面的宽度应包括焊缝金属和每侧各 10mm 距离的临近母材金属。

H.0.2 相邻且间距小于其中较小显示主轴尺寸的显示，应作为单个的连续显示评定。

H.0.3 缺陷的评定应符合表 H.0.3 的规定。

表 H.0.3 显示的评定(mm)

序号	显示类型 $L = \text{显示长度}$	允许的显示尺寸上限
1	线状显示	$L \leq 2$
2	非线状显示 $d = \text{主轴长度}$	$d \leq 6$

线状显示：长度大于三倍宽度的显示
非线状显示：长度等于或小于三倍宽度的显示

附录 J 超声波相控阵检测要求和熔深评定

采用超声波相控阵检测技术对桥面板 U 形肋焊缝熔深评定时，应根据焊接接头的几何形状、板厚组合，结合破坏性检测进行检测工艺试验研究，破坏性检测宏观断面数量应不少于 100 个，破坏性检测结果平均值与超声波相控阵检测结果平均值相差不应超过 0.4mm。

J.0.1 熔深评定

在连续 1000mm 评定范围内，熔深为 U 形肋板厚的 65%~80%，且单个长度小于 25mm，累计长度小于 50mm 时，可评定为合格。

J.0.2 试板制作要求

顶板 U 形肋角焊缝熔透深度试板制作，每 3 个梁段做一组试板。按划线指定的四个位置进行相控阵 UT 探测熔透深度，并在同一划线位置作磨制断面，见图 J.0.2。熔透深度不小于 U 形肋板厚的 80%（允许一个断面熔透深度不小于 U 形肋板厚的 70%）为合格。

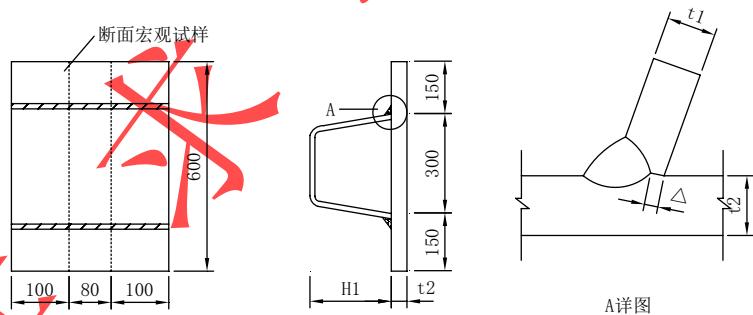


图 J.0.2 U 形肋角焊缝试板制作

附录 K 超声锤击

K.1 一般规定

K.1.1 锤击操作者应熟悉超声锤击设备的使用性能，并通过培训，严格按照《产品使用说明书》操作。

K.1.2 超声锤击工作应在焊缝外观检查、无损检测及变形修整合格，按要求进行圆弧端打磨后进行。

K.1.3 超声锤击前应清除焊趾熔渣、焊接飞溅等杂物，需要锤击的部位锤击前不得被潮湿或污染。

K.1.4 对锤击范围内的焊瘤、飞溅及不顺直的焊缝应打磨干净平顺后再进行锤击。

K.1.5 超声锤击前需在连接板圆弧端板厚方向锤击范围内的表面涂抹颜色，涂抹范围为焊缝及两侧焊趾外延 10 mm 宽。

K.1.6 超声锤击时尽量保持锤击枪与焊趾垂直，力度达到相当于俯锤时锤体自重产生的力度，且锤坑均匀覆盖焊趾和规定锤击部位。

K.1.7 锤击部位不得出现皱叠和裂纹。

K.1.8 超声锤击后，不得对被锤击部位进行磨修等扰动锤击效果的任何处理。

K.2 超声锤击设备

K.2.1 超声锤击设备的基本参数见表 K.2.1。

表 K.2.1 超声锤击设备参数

序 号	名 称	参 数
1	超声频率	20000 次 / 秒
2	换能方式	压电式
3	振动幅度	双级放大 50 μm
4	输出功率	$\geq 800 \text{ W}$
5	输入电压	AC220V±10%
6	转换效率	90%

注：1 为保证设备的使用寿命，连续工作 6 小时后，应让设备停机休息 2 小时。

2 各制造单位可根据自有设备进行参数调整。

K.2.2 锤头参数见表 K.2.2。

表 K.2.2 超声锤击的锤头参数

序号	直 径	硬 度	材 料
1	$\Phi 3$ 或 $\Phi 5$	60 HRC	硬质合金钢
2	$\Phi 6$ 或 $\Phi 8$	60 HRC	硬质合金钢

K.2.3 工具头套参数见表 K.2.3。

表 K.2.3 超声锤击的锤头工具头套参数

序号	直 径	形 式	材 料
1	$\Phi 3$ 或 $\Phi 5$	三针	45 号钢
2	$\Phi 6$ 或 $\Phi 8$	单针	45 号钢

注：1 推荐采用三针头套。

2 对焊缝端头板厚方向涂抹颜色部位必须采用三针头套。

K.3 锤击设备操作程序

K.3.1 安置好超声波设备，接通电源，顺序打开超声波电源开关和超声锤击枪手柄电源开关按钮。

K.3.2 察看控制面板读数，调节功率旋钮，保持电压表读数在 100 mV 左右，电流表读数在 0.8 A 左右，以保证恰当的锤击力。

K.3.3 查看谐振保护灯是否熄灭。如否，调节功率旋钮直至谐振保护灯熄灭，方

可工作，以保证高频机电联动设备处于匹配状态。

K.3.4 在所规定部位开始锤击。

K.3.5 锤击完成后，先关锤头开关，再关仪器开关，将仪器装入仪器箱。

K.4 超声锤击工艺流程

焊缝锤击工艺流程见图 K.4.1。

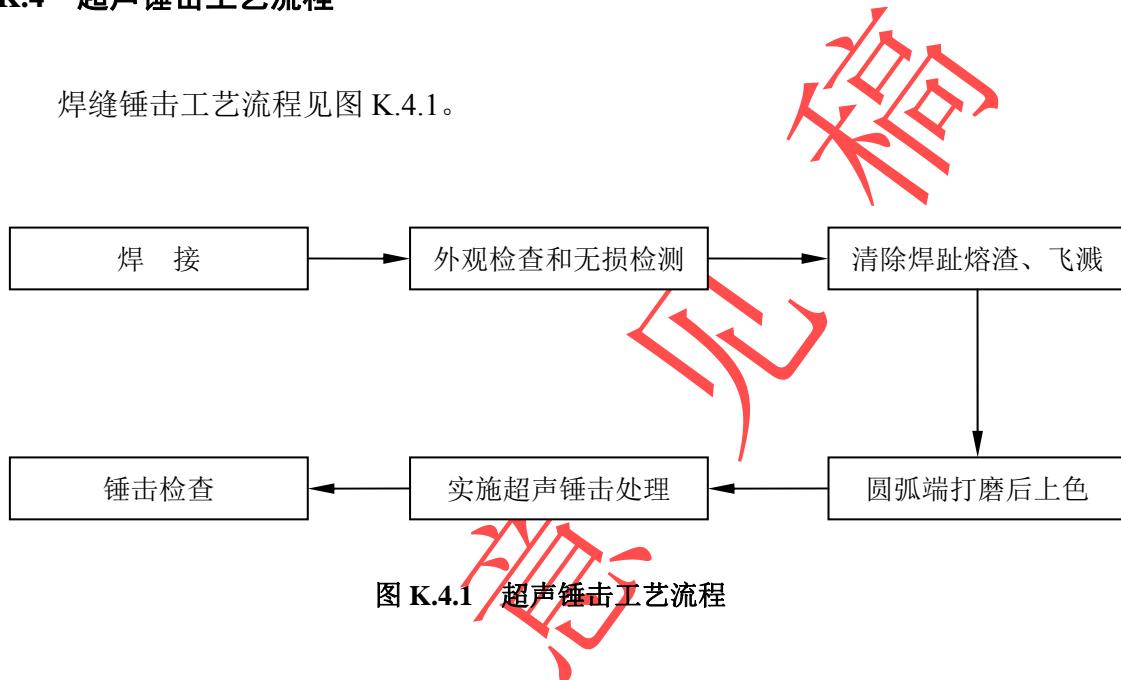


图 K.4.1 超声锤击工艺流程

K.5 锤击区域

K.5.1 锤击部位为焊道之间内凹部位及其两侧焊趾，如图 K.5.1 所示。

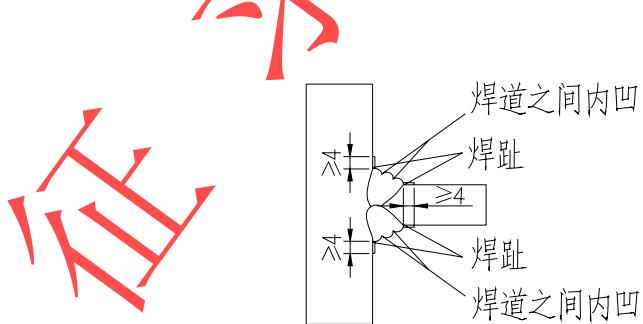


图 K.5.1 锤击部位示意图

K.5.2 锤击枪角度

根据锤击部位不同，分别将锤头对准焊趾线、焊道间内凹沟槽线、端部板厚方向涂抹颜色部位。锤头与水平板面夹角为 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，见图 K.5.2。

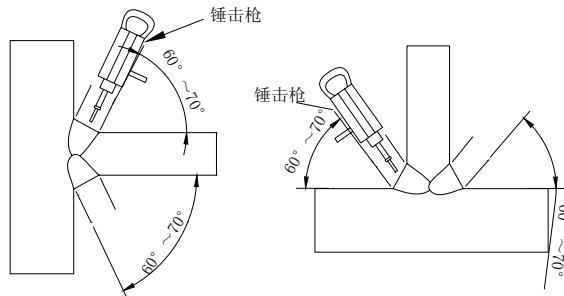


图 K.5.2 锤击枪角度示意图

K.5.3 锤击速度和锤击方法

锤头沿着焊趾或焊道移动最佳线速度每分钟约 0.5~1 米，匀速进行，每段往复处理 4~5 遍。对焊缝端头板厚方向无法沿着焊趾或焊道锤击的部位，应顺着钢板正反面焊趾起源处对侧面涂抹颜色部位进行平行往复满锤，锤击遍数 4~5 遍。

K.5.4 锤坑深度

锤击后锤坑深度 0.1~0.2 mm，两侧焊趾和焊道间锤坑宽度 ≥ 4 mm，焊趾处锤坑示意见图 K.5.4。

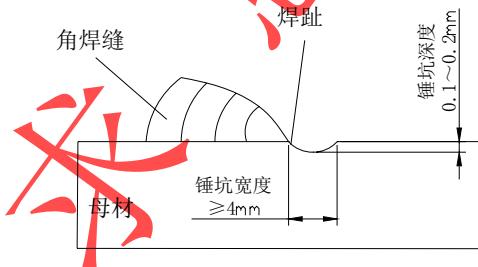


图 K.5.4 锤坑示意图

K.5.5 验收标准

锤击完成后要对锤击区域进行检查。在实际工艺处理过程中，可预制几块锤击处理过并符合要求的标准样板，让检查人员对照检查。评判标准如下：

- 1 焊趾和焊道间内凹部位：通过目测检查锤过的焊趾和内凹线部位，应出现光亮、圆滑、匀顺的凹弧沟。
- 2 焊缝端头板厚方向部位：目测检查涂抹颜色的部位应被光亮的均匀麻点覆盖。要特别注意检查钢板棱角部位。如检查发现有漏锤区域，必须进行补锤。

附录 L 高强度螺栓连接抗滑移系数试验方法

L.1 一般规定

L.1.1 制造单位和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按单位工程划分规定的工程量每 2000t 为一批，不足 2000t 的也视为一批。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。

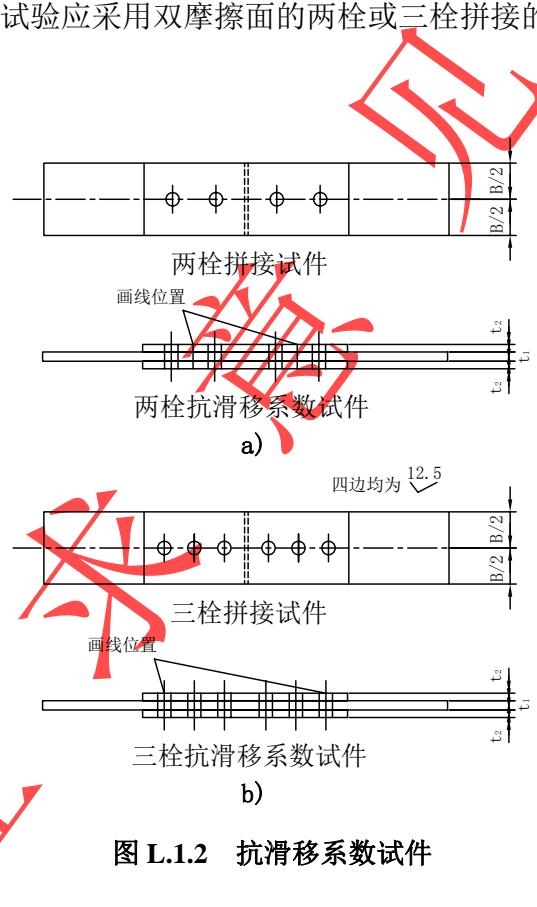


图 L.1.2 抗滑移系数试件

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)

序号	螺栓直径 d	板宽 B
1	16	60
2	20	75
3	22	80
4	24	85

L.2.7 试件加工应符合图 L.1.2 的规定。

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($0.95\sim1.15$) 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 $3\sim5\text{kN/s}$ ，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

L.3.1 抗滑移系数 f 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 $m=2$;

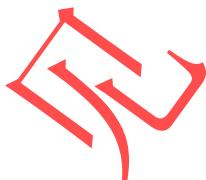
$\sum P$ —与试件滑动荷载对应一侧的高强度螺栓预拉力实测值之和 (kN, 取 3 位有效数字)。

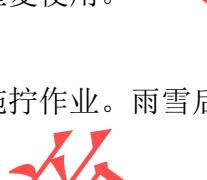
抗滑移系数计算公式

附录 M 高强度螺栓施拧工艺

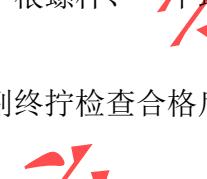
M.1 一般要求

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许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，底层应以木板垫高通风，垫高高度至少 30cm 以上，靠墙的地方离墙至少 50cm 远，堆放不宜超过 5 层，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 领用高强度螺栓一般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)

螺栓螺纹规格			M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30		
性能等级	10.9S	P	Max	66	121	187	231	275	352	429	
			Min	54	99	153	189	225	288	351	
	8.8S		Max	55	99	154	182	215	281	341	
			Min	45	81	126	149	176	230	279	

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		$\delta < 1.0\text{mm}$ 时不予以处理
2		$\delta = 1.0 \sim 3.0\text{mm}$ 时，将板厚一侧磨成 1:10 的缓坡，使间隙小于 1.0mm。用砂轮打磨时，应使打磨方向与受力方向垂直。
3		$\delta > 3.0\text{mm}$ 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。

条文说明：

第 5 项对于螺栓不能自由穿入的螺栓孔，应采用绞刀进行修孔（修孔后最大直径应小于 1.2 倍螺栓直径），修孔前报监理，监理同意后进行，不得用气割扩孔；为防止钢屑落入板层缝中，绞孔或扩钻前应将该孔四周螺栓全部拧紧。对于绞孔或扩孔的节段及孔眼位置，应有施工记录备案。

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。螺栓坚固施拧顺序，如图 M.4.7 所示。

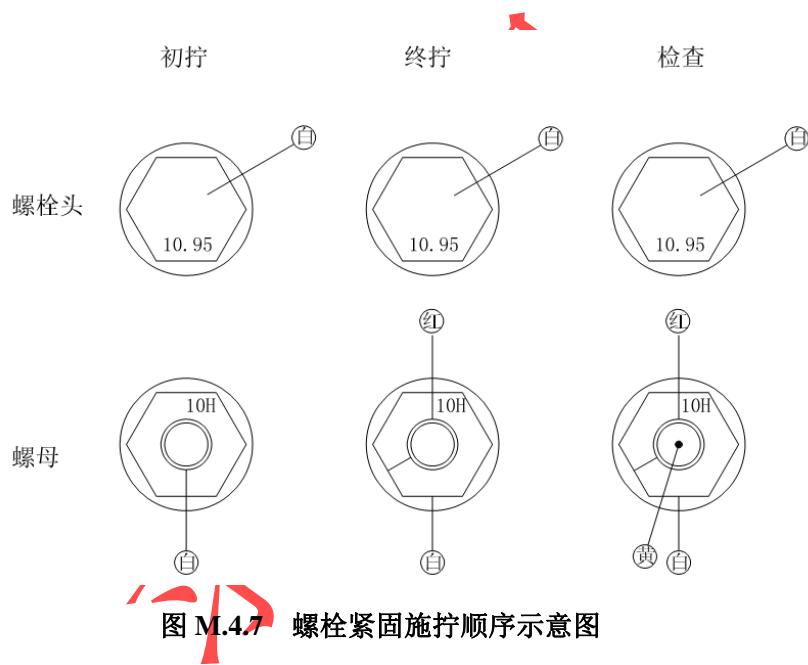


图 M.4.7 螺栓坚固施拧顺序示意图

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。

$$T_c = K \times D \times P_c$$

式中： T_c -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）；

P_c -为施工预拉力（kN），如表 M.4.8 所示。

表 M.4.8 高强度螺栓预拉力 (kN)

序号	名称	高强度螺栓规格			
1	螺纹规格 d	M22	M24	M27	M30
2	设计预拉力 P	200	230	300	370
3	施工预拉力 P_c	220	253	330	407

条文说明：

表 M.4.8 中施工预拉力 $P_c = 1.1 \times$ 设计预拉力 P，当高强螺栓长度 $L \leq 65\text{mm}$ 时，取 $P_c = P$ 。

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 ±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 0.9~1.1TC 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 0.9~1.1 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° ~30°。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 0.9Tch~1.05Tch 范围内为合格。

$$T_{ch}=K \cdot P \cdot d$$

Tch-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。

条文说明：

近年来，钢桥梁建设发展很快，新材料、新桥型、新结构不断涌现，在制造方面需要不断采用新技术、新工艺、新设备，以适应快速发展的需要。本规范在编写中未涵盖的部分，需要在使用中予以补充，不断积累经验。

本规范用词用语说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

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，在条件许可时首先这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……要求或规定”；非必须按指定的标准、规范的规定执行时，写法为“可参照……”。