

ICS 93.040  
CCS S 13

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4908—2025

# 公路钢结构桥梁制造技术规范

Technical specification for manufacture of highway steel structure bridge

2025-09-15 发布

2025-10-15 实施

山东省市场监督管理局 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 总体要求 .....	3
5 材料 .....	3
5.1 通用要求 .....	3
5.2 钢材 .....	3
5.3 焊接材料 .....	3
5.4 涂装材料 .....	3
5.5 密封材料 .....	4
6 制作 .....	4
6.1 通则 .....	4
6.2 前期准备 .....	4
6.3 组装 .....	6
6.4 焊接 .....	8
6.5 栓接 .....	9
6.6 栓焊连接 .....	10
6.7 检验 .....	10
6.8 验收 .....	25
7 拼装 .....	26
7.1 通则 .....	26
7.2 试拼装 .....	26
7.3 预拼装 .....	27
7.4 计算机辅助模拟预拼装 .....	29
7.5 检验 .....	30
8 涂装 .....	30
8.1 通则 .....	30
8.2 表面处理 .....	30
8.3 工厂涂装 .....	31
8.4 工地涂装 .....	32
8.5 检验 .....	32
附录 A (规范性) 涂装材料复验要求 .....	34
A.1 通用要求 .....	34
A.2 涂料 .....	34
A.3 检验 .....	37

A. 4 检测报告 .....	37
附录 B (规范性) 耐候钢复验要求 .....	38
B. 1 检验频次 .....	38
B. 2 检验项目与方法 .....	38
B. 3 评定规则 .....	38

## 前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

# 公路钢结构桥梁制造技术规范

## 1 范围

本文件规定了公路钢结构桥梁的材料、制作、拼装、涂装的要求。

本文件适用于各等级公路钢结构桥梁的制造。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差

GB/T 714—2015 桥梁用结构钢

GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 1724 色漆、清漆和印刷油墨 研磨细度的测定

GB/T 1725 色漆、清漆和塑料 不挥发物含量的测定

GB/T 1727 漆膜一般制备法

GB/T 1728 漆膜、腻子膜干燥时间测定法

GB/T 1730 色漆和清漆 摆杆阻尼试验

GB/T 1732 漆膜耐冲击测定法

GB/T 1735 色漆和清漆 耐热性的测定

GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法

GB/T 1865 色漆和清漆 人工气候老化和人工辐射暴露 滤过的氙弧辐射

GB/T 2970 厚钢板超声检测方法

GB/T 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样

GB/T 3323.1—2019 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术

GB/T 3632 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副

GB/T 4171 耐候结构钢

GB/T 4956—2003 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条

GB/T 5118 热强钢焊条

GB/T 5210—2006 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 5313 厚度方向性能钢板

GB/T 6742 色漆和清漆 弯曲试验(圆柱轴)

GB/T 6747 船用车间底漆

GB/T 6753.4 色漆和清漆 用流出杯测定流出时间

- GB/T 8923. 1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 8923. 2—2008 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第2部分：已涂覆过的钢材表面局部清除原有涂层后的处理等级
- GB/T 8923. 3—2009 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第3部分：焊缝、边缘和其他区域的表面缺陷的处理等级
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 13452. 2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定
- GB/T 18570. 3 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第3部分：涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定（压敏粘带法）
- GB/T 18570. 6 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第6部分：可溶性杂质的取样 Bresle法
- GB/T 18570. 9 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第9部分：水溶性盐的现场电导率测定法
- GB/T 26951—2011 焊缝无损检测 磁粉检测
- GB/T 26952—2011 焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级
- GB/T 29712—2023 焊缝无损检测 超声检测 验收等级
- GB/T 37910. 1—2019 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- HG/T 3668 富锌底漆
- HG/T 3792 交联型氟树脂涂料
- JB/T 6046 碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法
- JT/T 722—2023 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T 3651—2022 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3. 1

##### 板单元 panel unit

由板和纵横肋组成的基本单元。

注：板单元包括钢箱梁的顶板单元、腹板单元、底板单元、隔板单元，以及钢塔的壁板单元、隔板单元等。

[来源：JTG/T 3651—2022，2.0.3，有修改]

#### 3. 2

##### 制造节段 manufacturing segment

钢结构在工厂加工制造时划分形成的块体。

#### 3. 3

##### 试拼装 test assembly

在批量制造前，选取有代表性的典型杆件所进行的拼装。

[来源：JTG/T 3651—2022，2.0.6]

#### 3. 4

##### 预拼装 trial assembly

在安装施工前, 为检验构件能否满足安装质量要求而进行的连续匹配拼装。

[来源: JTGT 3651—2022, 2.0.7]

3.5

**激光切割** *laser cutting*

利用高能激光束照射到钢材表面, 使钢材瞬间熔化或汽化, 同时借助高速气流将熔融物吹走, 从而实现切割的技术。

3.6

**虚拟拼装** *virtual assembly*

利用计算机三维建模技术, 在虚拟环境中对桥梁钢结构构件进行数字化模拟组装的过程。

## 4 总体要求

4.1 焊接工艺评定应根据焊接接头形式, 钢材类型、规格, 采用的焊接方法, 焊接位置等, 按照 JTGT 3651—2022 中的规定, 拟定焊接工艺评定指导书。

4.2 主要材料、制造施工的质量检验记录和质量证明文件等资料应齐全完整、真实有效, 并应具有可追溯性。

4.3 公路钢结构桥梁的制造除应符合本文件的规定外, 还应符合 JTGT 3651—2022 中的规定。

## 5 材料

### 5.1 通用要求

5.1.1 公路钢结构桥梁制造所用的材料应符合设计文件和 GB/T 714—2015、GB/T 4171 的规定, 进场材料除应有质量证明文件外, 制造厂还应按 JTGT 3651—2022、附录 A、附录 B 的规定进行抽样检验, 检验合格后方可使用。

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

### 5.2 钢材

5.2.1 钢材的性能和质量应符合设计文件和 GB/T 1591、GB/T 714—2015、GB/T 4171、GB/T 5313 和 GB/T 700 的规定。钢板的尺寸、外形、重量等应符合设计文件和 GB/T 709 的规定。

5.2.2 钢材耐候性能按照 GB/T 714—2015 中相关规定进行评估。免涂装耐候钢的最低耐大气腐蚀性指数 I 为 6.5, 涂装或局部涂装使用的耐候钢最低耐大气腐蚀性指数 I 为 6.0。

### 5.3 焊接材料

5.3.1 焊接材料应符合 JTGT 3651—2022 中附录 C 中的相关规定。

5.3.2 焊条应符合 GB/T 5118、GB/T 5117 的规定。

5.3.3 焊接材料应按种类、牌号、规格和批号分类保管存放, 存放场所应干燥、通风良好。

5.3.4 高性能耐候钢焊接所用焊接材料的选择应与母材性能匹配和成分匹配, 并应满足焊接接头裸露使用的要求。

5.3.5 高性能耐候钢材焊接材料在参照生产厂家的推荐焊材或市场上其它同类焊材进行选择后, 应按照 JTGT 3651—2022 中附录 C 中相关规定确定合适的焊材, 焊接质量指标达到要求后方可进行焊接施工。

### 5.4 涂装材料

5.4.1 涂装材料应符合设计文件和 JT/T 722 的规定。

5.4.2 涂装材料应存放在专用库房内, 涂装时不应使用超出质保期的涂料。

## 5.5 密封材料

5.5.1 密封材料应符合设计文件和相关产品标准的规定。

5.5.2 密封材料应存放在专用库房内, 超出质保期时不应使用。

# 6 制作

## 6.1 通则

6.1.1 钢材的存放应符合 JTG/T 3651—2022 中的规定。

6.1.2 钢板在下料前预处理应符合 JTG/T 3651—2022 中的规定。

6.1.3 钢材的下料与加工应按加工图和工艺文件进行。在下料前应对钢材的牌号、规格、外观质量和质检资料等进行核对, 确认无误后方可下料。钢材在起吊、搬移和存放过程中, 不应产生永久变形。钢板的起吊和搬移应采用磁力吊, 不应使用易损伤钢板的钢板夹钳等夹持式工具。

6.1.4 制造厂宜配置相应的数控设备、数控加工生产线、钢结构制造协同管理平台, 以及其他相关信息系统等基本设施。

6.1.5 钢结构桥梁制造的检验应使用经检定合格且在有效期内的计量器具。

## 6.2 前期准备

6.2.1 首次采用的切割工艺, 以及切割设备发生变化或设备大修后应进行切割工艺评定试验, 并根据评定试验结果编制切割工艺文件, 按工艺文件要求进行切割。

6.2.2 主要零件和钢箱梁的横隔板宜采用精密切割(含激光切割)或等离子切割。剪切仅适用于次要零件或剪切后再进行机加工的主要零件。手工焰切仅适用于工艺特定或焰切后再进行加工的零件, 切割时钢板应放平、垫稳, 割缝下面留有空隙。钢材切割面应无裂纹、夹渣、分层。切割产生的挂渣应清除。

6.2.3 精密切割后不进行边缘加工的零件应符合下列要求:

- 强度在 420 MPa 以下的钢材切割面硬度不超过 350HV10, 强度在 420 MPa 以上的钢材切割面硬度不超过 380HV10;
- 精密切割表面质量符合表 1 的规定。

表1 精密切割边缘表面质量要求

序号	项目	主要零件	次要零件	备注
1	表面粗糙度 ( $R_a$ )	25 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$	GB/T 1031 用样板检测
2	崩坑	无	1 000 $\text{mm}$ 长度内, 允许有一处小于等于 1 $\text{mm}$	—
3	塌角		圆角半径不大于 1 $\text{mm}$	—
4	切割面垂直度		$\leq 0.05t$ , 且 $\leq 2 \text{ mm}$	$t$ 为板厚

6.2.4 采用剪切工艺时钢板厚度不宜大于 12  $\text{mm}$ , 剪切边缘应整齐、无毛刺、反口、缺肉等缺陷。进行边缘机加工的板单元尺寸宜考虑机加工余量的要求。不进行边缘机加工的板单元, 剪切的反口应修平, 切割的挂渣应铲净。剪切质量应符合表 2 的要求。

表2 剪切质量技术要求

单位为毫米

检测项目	规定值或允许偏差
板单元尺寸	±2
板边垂直度	≤0.05t (t为板厚), 且≤2
板边割直线度	≤L/1000, L为板的切割长度
型钢(构件)长度	±1
型钢端头垂直度	≤2

6.2.5 加工面的表面粗糙度  $Ra$  不应大于  $25 \mu\text{m}$ , 零件边缘的加工深度不应小于  $3 \text{ mm}$ , 零件边缘硬度不超过  $350\text{HV10}$ 。顶紧传力面的表面粗糙度  $Ra$  不应大于  $12.5 \mu\text{m}$ , 顶紧加工面与板面垂直度偏差不应大于  $0.01t$  ( $t$  为板厚), 且不应大于  $0.3 \text{ mm}$ 。检验方法为: 观察检查, 比照样块检查, 用塞尺检查间隙。

6.2.6 钢塔节段端面机加工应符合表3规定。

表3 钢塔节段断面机加工质量要求

序号	名称	允许偏差	检测工具和方法	简图
1	构件长度 ( $L$ )	±2 mm	钢尺	
2	平面度	面积≤ $40 \text{ m}^2$	≤0.08 mm/m 且全平面不大于 $0.25 \text{ mm}$	精密激光测量
		面积> $40 \text{ m}^2$	全平面≤ $0.4 \text{ mm}$	精密激光测量
3	两端面的倾斜度		≤0.5	精密激光测量
4	节段端面对轴线的垂直度 (顺桥向、横桥向)	≤1/10 000	精密激光测量	
5	表面粗糙度 ( $Ra$ )	≤ $12.5 \mu\text{m}$	粗糙度测量仪或样块对比法	标引序号说明: $L$ —构件长度; $H$ —截面高度; $B$ —截面宽度。

6.2.7 零件的矫正应采用冷矫, 矫正后的零件其表面不应有明显的凹痕和损伤。且零件冷矫时的环境温度不宜低于  $-12^\circ\text{C}$ 。

6.2.8 采用热矫时, 加热温度应符合表4的规定。矫正后的零件应自然冷却, 冷却过程中不应锤击和用水急冷, 加热温度不应保温。

表4 热矫加热温度

序号	强度级别	交货状态	加热温度
1	Q370qD、Q370qE、Q420qD、Q420qE	TMCP+回火、TMCP	≤750 °C
2	Q500qE	TMCP+回火、TMCP	≤700 °C
3	其它以下级别钢种	热轧、正火等	≤800 °C

6.2.9 主要零件冷作弯曲时,环境温度不宜低于-5℃,弯曲后的零件边缘不应有裂纹。

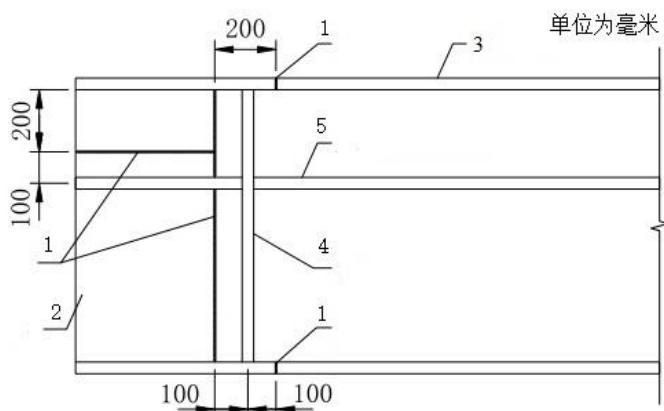
6.2.10 主要零件采用热煨成形时,热煨的加温温度应满足表4的要求,高温停留时间和冷却速率应与所加工钢材的性能相适宜,弯曲成形后的零件边缘不应有裂纹。

6.2.11 钢管的弯曲应采用加热预压方式,实施前应进行钢管弯曲工艺评定试验,在确定弯曲度时应计入回弯的影响;弯曲时,钢管不应出现鼓包及拉薄等现象。弯曲后的管节应自然冷却,不应用水急冷。

### 6.3 组装

6.3.1 钢板接料应在构件组装前完成,并符合下列规定:

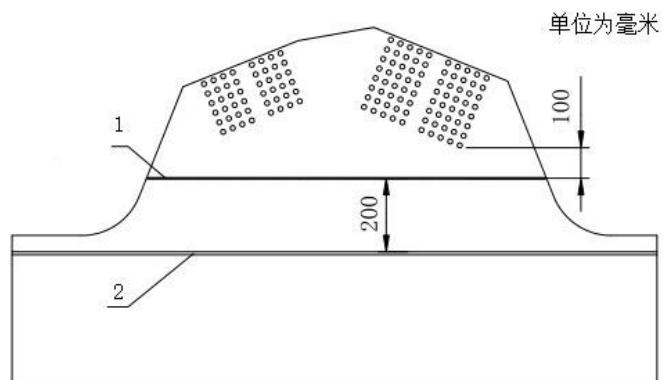
- 钢桁梁、钢板梁翼缘板、腹板的接料长度不应小于1000mm,宽度均不应小于200mm,横向焊缝轴线距孔中心线不应小于100mm。钢箱梁顶板、底板、腹板接料的纵向焊缝与U形肋、板肋焊缝间距不应小于100mm;
- 钢板梁的腹板和钢箱梁的顶、底、腹板接料焊缝可为十字形或T字形,T字形交叉点的间距不应小于200mm;腹板接料的纵向焊缝应布置在受压区;
- 应将相邻焊缝错开,错开的最小距离应符合图1规定;
- 节点板不应接长或接宽;特殊情况下需接宽时,焊缝错开的最小距离应符合图2的规定;
- 钢管拱弦管的接料长度不应小于1000mm,且不小于钢管直径。焊缝错开的最小距离应符合图3的规定。



标引符号说明:

- 1—焊缝;
- 2—腹板;
- 3—翼缘板;
- 4—竖肋或横肋;
- 5—水平肋或纵肋。

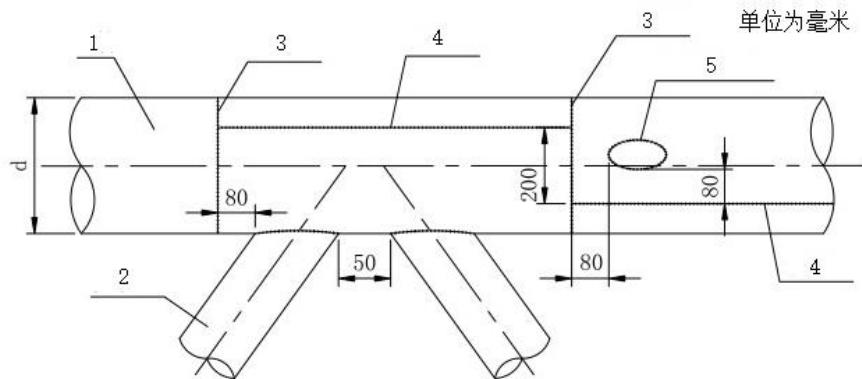
图1 焊缝错开的最小距离



标引符号说明:

- 1—焊缝;  
2—盖板。

图2 节点板焊缝错开的最小距离



标引符号说明:

- 1—弦管;  
2—支管;  
3—环焊缝;  
4—纵焊缝;  
5—相贯线焊缝。

图3 钢管拱弦管焊缝错开的最小距离

6.3.2 组装前应清除待焊接区的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物，使其表面露出金属光泽。

6.3.3 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。

6.3.4 胎架外应设置测量三角网和固定水准点，地面应设置构件组装定位线。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应少于2个冲钉，冲钉直径不应小于设计孔径0.1 mm。

6.3.5 设置加劲肋的构件，宜先将加劲肋与板单元组拼成加劲板单元，然后进行构件总体拼装。

6.3.6 桥塔拉索、吊索的锚固结构等受力集中、制造空间小的复杂结构，宜先进行单元件制造，然后进行构件总体拼装。

6.3.7 进行试板检验时，应在焊缝端部加装试板。当无法在焊缝端部加装试板时，应在相同的环境条

件下施焊。试板的材质、厚度、轧制方向及坡口应与焊件相同,不同板厚对接时,采用较薄侧板厚作为产品试板。试板的长度应大于400 mm,焊缝两侧的宽度不应小于150 mm。

6.3.8 组装完成后应做好标识,标识应包括构件名称、工件号等信息,并加以保护。

#### 6.4 焊接

6.4.1 焊接前应彻底清除待焊(包括定位焊)区域内的有害物;焊接时不应在母材的非焊接部位引弧,焊接后应清理焊缝表面的熔渣及两侧的飞溅物。

6.4.2 钢板工厂对接时,接缝应距离其它焊缝圆弧起点、高强度螺栓拼接板端等部位100 mm以上,钢板焊接的圆弧端部应打磨匀顺。对板厚相差4 mm以上的接焊接设计文件要求做成斜坡过渡;设计文件对斜坡没有规定时,过渡斜坡的坡度不应大于1:4。

6.4.3 焊接环境符合下列规定。

- a) 工厂焊接宜在室内进行,当焊接作业处于下列情况之一时不应焊接:
  - 1) 焊接作业区的相对湿度大于80%;
  - 2) 室外焊接时环境温度低于5℃;
  - 3) 室外组装焊接时除满足上述条件外,还应采取必要的防风、防雨措施。
- b) 焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊,其焊接作业区最大风速不应超过8 m/s,气体保护电弧焊其焊接作业区最大风速不应超过2 m/s。

6.4.4 定位焊符合下列要求:

- a) 定位焊缝应距设计焊缝端部30 mm以上,其长度为50 mm~100 mm;间距为400 mm~600 mm,厚板(50 mm以上)和薄板(不大于8 mm)应调整定位焊间距;定位焊缝的焊脚尺寸不应大于设计焊脚尺寸的1/2,且不小于4 mm;
- b) 钢衬垫焊接接头的定位焊宜在接头坡口内焊接;
- c) 定位焊焊接时预热温度应高于正式施焊预热温度20℃~50℃;
- d) 定位焊缝不应有裂纹、夹渣和焊瘤等缺陷,对于开裂的定位焊,应先查明原因,然后再清除开裂的焊缝,并在保证杆件尺寸正确的条件下补充定位焊。

6.4.5 埋弧焊应在距设计焊缝端部80 mm以外的引板上引、熄弧,手工焊、气体保护焊应在距设计焊缝端部30 mm以外的引板上引、熄弧。引板的坡口和板厚应与母材相同。

6.4.6 多层焊接时应连续施焊,且应控制层间温度;每一层焊缝焊完后应及时清理检查,清除药皮、熔渣、溢流和其他缺陷后,方可施焊下一层。

6.4.7 钢板面板U肋与顶板的焊接符合下列规定:

- a) U肋焊接在专用反变形胎架上进行,采用自动化生产线进行正交异性钢桥面板U肋与顶板的组拼和焊接,并根据焊缝形式合理选择自动化生产组拼和焊接的设备和工艺;
- b) 钢桥面板单元及U肋焊接时,采用合理的焊接工艺和焊接顺序,减小构件的变形和收缩。

6.4.8 焊缝修磨和返修符合下列规定:

- a) 返修前,应清洁修复区域的表面;焊缝凹陷或弧坑、焊缝尺寸不足、咬边、未熔合、气孔、夹渣等焊缝缺陷均应返修;
- b) 焊接返修的预热温度应比相同条件下正常焊接的预热温度提高30℃~50℃,并应采用低氢焊接材料和焊接方法进行焊接;
- c) 使用埋弧焊返修焊缝时,应将焊缝清除部位的两端刨成1:5的斜坡;
- d) 同一部位返修不应超过两次;
- e) 返修焊采用直径大于等于2 mm的焊丝时,应将焊缝清除部位的两端刨成1:10的斜面。搭接50 mm再引弧施焊,焊后搭接处应修匀顺;
- f) 所有主要焊缝表面的修磨均应沿主要受力方向进行,且应使磨痕平行于主要受力方向;

g) 焊接裂纹的清除长度应由裂纹端各外延 50 mm。

#### 6.4.9 产品试板符合下列规定:

- a) 产品试板的材质、厚度、轧制方向及坡口应与所焊对接板材相同; 对不等厚板的产品试板, 可利用薄板进行等厚对接试验;
- b) 制作产品试板时, 应在焊缝端部加装试板; 当焊缝端部不具备加装试板条件时可单独施焊, 但应采用与构件焊接相同的工艺和设备, 并应在同一地点施焊;
- c) 产品试板制作完成后, 应先对供取样用的焊接试板做出标记, 并记录所在产品部位, 再进行切割、送检;
- d) 产品试板的焊缝经外观和无损检测合格后, 应进行接头拉伸、侧弯和焊缝金属低温冲击试验, 试样数量和试验结果应符合 JTG/T 3651—2022 的相关规定;
- e) 产品试板的试验结果不合格时, 可在原试板上重新取样再做试验; 如试验结果仍不合格, 则应先查明原因, 然后对该试板代表的接头进行处理, 并重新进行检验。

### 6.5 栓接

6.5.1 高强度螺栓孔和主要零件上的螺栓孔应钻制成形。

6.5.2 钻孔应在零件或构件矫正后进行。孔形应为正圆柱形, 孔壁表面的粗糙度  $Ra$  不应大于  $25 \mu\text{m}$ , 孔的圆度偏差不应大于  $0.5 \text{ mm}$ 。孔缘应平顺、无损伤、无刺屑。

6.5.3 高强度螺栓连接副材料的质量及检验应符合 GB/T 1231 的相关规定。

#### 6.5.4 栓接连接的施工环境应符合下列规定:

- a) 环境温度低于  $-10^\circ\text{C}$ 、摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时, 不进行高强度螺栓连接副的安装和施拧施工作业;
- b) 高强度螺栓连接副受火焰作用时, 采取隔热或降温措施予以保护。

6.5.5 高强度螺栓连接副的安装施拧应符合 JTG/T 3650 的相关规定, 并符合如下规定:

- a) 高强度螺栓连接副的拧紧应分为初拧、终拧。对于大型节点应分为初拧、复拧、终拧。初拧扭矩和复拧扭矩为终拧扭矩的 50% 左右。高强度螺栓连接副的初拧、复拧、终拧宜在一天内完成;
- b) 高强度大六角头螺栓连接副的拧紧应分为初拧、终拧。对于大型的螺栓连接应分为初拧、复拧、终拧。初拧扭矩和复拧扭矩为终拧扭矩的 50% 左右。初拧或复拧后的高强度螺栓应用颜色在螺母上标记, 终拧后的高强度螺栓应使用另一种颜色在螺母上标记, 高强度大六角头螺栓连接副的初拧、复拧、终拧宜在一天内完成;
- c) 扭剪型高强度螺栓连接副应使用专用扳手终拧, 初拧应采用电动定扭矩扳手施拧, 对于个别不能用专用扳手进行终拧的扭剪型高强度螺栓连接副, 应按采用定扭矩扳手施拧, 扭矩系数可取 0.13。扭剪型高强度螺栓连接副的初拧扭矩和复拧扭矩应按表 5 进行。

表5 扭剪型高强度螺栓连接副初拧(复拧)扭矩值

单位为牛米

螺栓公称直径	M16	M20	M22	M24	M27	M30
初拧(复拧)扭矩	115	220	300	390	560	760

6.5.6 高强度螺栓连接安装时, 每个节点上应穿入的临时螺栓和冲钉数量, 由安装时可能承担的荷载计算确定, 并符合下列规定:

- a) 不应少于安装总数的  $1/3$ ;

- b) 不应少于两个临时螺栓;
- c) 冲钉穿入数量不宜多于临时螺栓的 30%。

## 6.6 栓焊连接

6.6.1 施工顺序应在高强度螺栓初拧后进行焊接施工，然后再进行高强度螺栓终拧。

6.6.2 采用先终拧螺栓再进行焊接施工时，高强度螺栓应采取补拧措施或增加 10% 设计螺栓数量；在焊接后应将靠近焊缝附近的 2 排孔～3 排孔先用冲钉定位，最后换成高强度螺栓。

## 6.7 检验

6.7.1 按下列规定进行检验：

- a) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查，钢板零件加工允许偏差符合表 6 的规定；

表6 钢板零件加工允许偏差

单位为毫米

检验项目	允许偏差			简图
平面度	每米范围	$\delta \leq 1$		
直线度	全长 范围	$L \leq 8000$	$\delta \leq 2$	
		$L > 8000$	$\delta \leq 3$	

- b) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查，型钢零件加工允许偏差符合表 7 的规定；

表7 型钢零件加工允许偏差

单位为毫米

检测项目	允许偏差			简图
直线度	每米范围	$\delta \leq 0.5$		
角钢肢垂直度	栓接联结部位	$\delta \leq 0.5$		
	其余部位	$\delta \leq 1$		
角钢、槽钢肢平面度	栓接联结部位	$\delta \leq 0.5$		
	其余部位	$\delta \leq 1$		
工字钢、H型钢、槽钢 腹板平面度	栓接联结部位	$\delta \leq 0.5$		
	其余部位	$\delta \leq 1$		

表7 型钢零件加工允许偏差 (续)

单位为毫米

检测项目	允许偏差		简图
工字钢、H型钢、槽钢 腹板垂直度	栓接联结部位	$\delta \leq 0.5$	

c) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查, 钢管零件加工允许偏差符合表8的规定;

表8 钢管零件加工允许偏差

序号	名称	允许偏差	简图
1	钢管纵向直线度	$f/L \leq 1/1000$ 且 $f \leq 10 \text{ mm}$	
2	钢管椭圆度	$\delta/d \leq 3/1000$	
3	端面平面度	$A/d \leq 1/500$ , 且 $A \leq 3 \text{ mm}$	

d) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查, 冷弯U形肋加工允许偏差符合表9的规定; 热轧U形肋加工允许偏差符合表10的规定;

表9 冷弯U形肋尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差	简图
1	上宽 (A)	$-1 \sim +3$	
2	下宽 (B)	$\pm 1.5$	
3	高度 (H)	$\pm 1.5$	
4	两肢高差 (A)	$\leq 2$	
5	长度 (L)	$\pm 2$	
6	旁弯、竖弯	$\leq L/1000$ 且 $\leq 6$	

表10 热轧U形肋尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差	简图
1	上宽 (A)	-1~+2	
2	下宽 (B)	±1	
3	高度 (H)	±1	
4	两肢高差 (Δ)	≤2	
5	长度 (L)	±2	
6	旁弯、竖弯	≤5	

e) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查, 钢箱梁零件加工的偏差符合表 11 的规定;

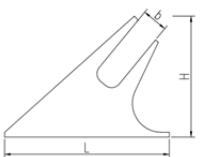
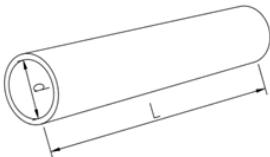
表11 钢箱梁零件加工尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差	简图
1	顶板、底板、腹板	长度 (L)	±2
		宽度 (B)	±2
		对角线差 $ D_1-D_2 $	≤3
2	纵隔板	长度 (L)	±2
		宽度 (B)	±2
3	横隔板	长度 (L)	±2
		宽度 (B)	±1
		对角线差 $  \Delta L_3 - \Delta L_4  $	≤4
		面板平面度 (f)	≤3 (1 000 范围)
		孔距 (d <sub>2</sub> )	±3
		任意两槽口中心距 (S <sub>1</sub> )	±2
		相邻两槽口中心距 (S <sub>2</sub> )	±1
4	吊索锚固	长度 (L)	±2
		宽度 (B)	±2
		孔间距 (S)	±2
		孔直径 (d)	+2, 0

表 11 钢箱梁零件加工尺寸允许偏差 (续)

单位为毫米

序号	名称		允许偏差	简图
5	锚拉板	长度 (L)、高度 (H)		
		槽口宽度 (b)		
6	锚管	长度 (L)		
		内径 (d)		

f) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查, 钢桁梁零件加工的偏差符合表 12 的规定;

表12 钢桁梁零件加工的误差

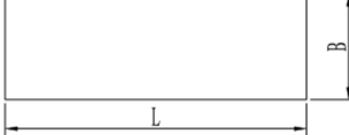
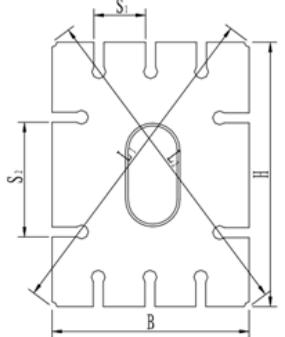
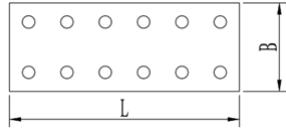
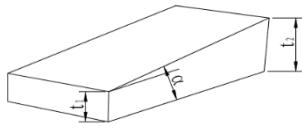
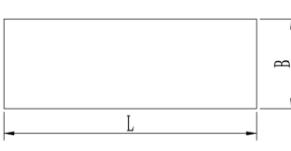
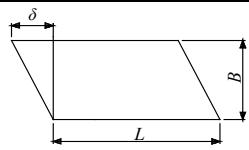
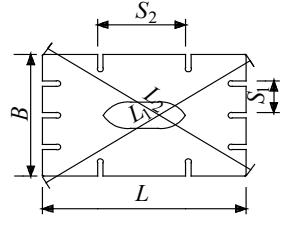
序号	名称		允许偏差	简图	
1	桁梁的弦、斜、竖杆, 横梁, 纵梁, 连接系构件	盖板长度 (L)			
		盖板宽度 (B) 箱形	+2 mm, 0 mm		
			±2 mm		
		腹板宽度 (B)			
根据翼缘板厚度及焊接收缩量确定					
2	箱形构件内隔板	宽度 (B)	$B \leq 1000$ +0.5 mm, 0 mm		
			$B > 1000$ +1 mm, 0 mm		
		高度 (H)			
		对角线			
		板边垂直度	$H \leq 1000$ ≤0.5 mm		
			$H > 1000$ ≤1 mm		
		槽口中心距 ( $S_1$ ) , ( $S_2$ )			
±1 mm					

表 12 钢桁梁零件加工的误差 (续)

序号	名称		允许偏差	简图
3	拼接板	长度 (L) 、宽度 (B)	±2 mm	
4	楔形板 (支座 垫板等)	厚度 ( $t_1$ ) , ( $t_2$ )	±1 mm	
		斜角	≤0.2°	
5	其它零件	长度 (L)	±2 mm	
		宽度 (B)	±2 mm	
注1：长度留二次切割量的正差根据工艺文件确定。 注2：如工艺有特殊要求，根据工艺文件确定。				

g) 用钢卷尺、拉力器、钢板尺检查，钢塔零件加工的偏差符合表 13 的规定。

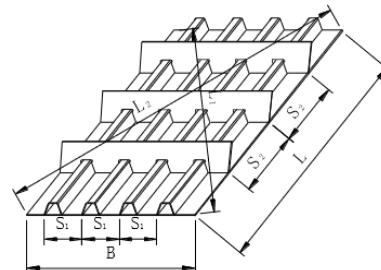
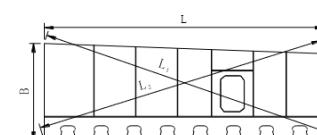
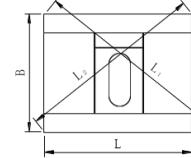
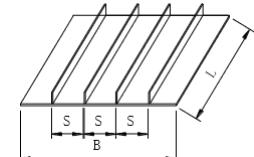
表13 钢塔零件加工的偏差

检验项目		允许偏差	简图
壁板	长度 (L) 、宽度 (B)	±2 mm	
	板边垂直度 ( $\delta$ )	≤2 mm	
隔板	长度 (L) 、宽度 (B)	±1 mm	
	槽口中心距 ( $S_1$ ) 、 ( $S_2$ )	±2 mm	
	对角线长度 ( $L_1$ ) 、 ( $L_2$ )	≤4 mm	
	平面度	≤2/1 000	

6.7.2 板单元作为成品发运时，用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查，出厂前成品尺寸的允许偏差符合表 14 的规定。

表14 板单元成品尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称		允许偏差	简图
1	顶板 底板	长度 (L) 、宽度 (B)	±2	
		对角线差 $ L_1-L_2 $	≤4	
		U 形肋与纵基线间距 端部及横隔板处	±1	
		U 形肋间距 $S_1$ 其余部位	±2	
		上下对接 形式	±1	
			±2	
2	横隔板	长度 (L) 、宽度 (B)	±2	
		对角线差 $ L_1-L_2 $	≤4	
3	纵隔板	长度 (L) 、宽度 (B)	±2	
		对角线差 $ L_1-L_2 $	≤4	
4	腹板 风嘴	长度 (L) 、宽度 (B)	±2	
		加劲肋与纵基线间距、加 劲肋中心距 S 端部及横隔 板处	±1	
		其余部位	±2	

6.7.3 用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查，零件矫正的允许偏差符合表 15 的规定。

表15 零件矫正允许偏差

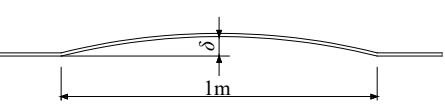
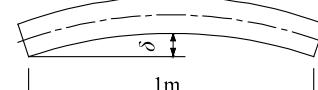
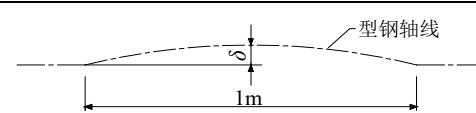
序号	名称	允许偏差		简图
1	钢板平面度	$\delta \leq 1 \text{ mm}$	栓接部位	
		$\delta \leq 2 \text{ mm}$	其余部位	
2	钢板直线度	$\delta \leq 2$	$L \leq 8 \text{ m}$	
		$\delta \leq 3$	$L > 8 \text{ m}$	
3	型钢直线度	$\delta \leq 1$		

表 15 零件矫正允许偏差 (续)

序号	名称	允许偏差		简图
4	角钢肢垂直度	$\Delta \leq 1 \text{ mm}$	栓接部位 (角度不应大于90°)	
		$\Delta \leq 2 \text{ mm}$	其余部位	
5	角钢肢、槽钢肢 平面度	$\Delta \leq 0.5 \text{ mm}$	连接部位	
		$\Delta \leq 1 \text{ mm}$	其余部位	
6	工字钢、槽钢、H 型钢腹板平面度	$\Delta \leq 1$		
7	工字钢、槽钢、H 型钢翼缘垂直度	$\Delta \leq 1 \text{ mm}$	栓接部位	
		$\Delta \leq 2 \text{ mm}$	其余部位	

6.7.4 用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查, 板单元矫正的允许偏差符合表 16 的规定。

表 16 板单元矫正的允许偏差

序号	名称		允许偏差	简图
1	顶板底板	横向平面度	$S_l/250$	
		纵向平面度	$\leq 5 \text{ mm}$	
		四角不平度	$\leq 5 \text{ mm}$	
		板边直线度	$\leq 3 \text{ mm}$	
		接板垂直度	$\leq 2 \text{ mm}$	
2	横隔板	平面度 ( $f$ )	$\leq 5 \text{ mm}$	
		板边直线度 ( $f$ )	$\leq 2 \text{ mm}$	
3	纵隔板	平面度 ( $f$ )	$\leq 5 \text{ mm}$	
		板边直线度 ( $f$ )	$\leq 2 \text{ mm}$	

表 16 板单元矫正的允许偏差 (续)

序号	名称		允许偏差		简图	
4	腹板风嘴	横向平面度 ( $f$ )	$S_1/250$			
		纵向平面度	$\leq 6 \text{ mm}$			
		板边直线度	$\leq 3 \text{ mm}$			
		加劲肋与纵基线间距、 加劲肋中心距 ( $S_1$ ) , ( $S_2$ ) , ( $S_3$ )	端部及横 隔板处	$\pm 1 \text{ mm}$		
			其余部位	$\pm 2 \text{ mm}$		

6.7.5 用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查, 钢桁架构件矫正的允许偏差符合表 17 的规定。

表 17 钢桁架梁构件矫正的允许偏差

序号	名称		允许误差		简图	
1	翼缘板对腹板的垂直 度 ( $A$ )	有孔部位	$b \leq 600 \text{ 时}$	$\leq 0.5 \text{ mm}$		
			$b > 600 \text{ 时}$	$\leq 1 \text{ mm}$		
		其余部位	$\leq 2 \text{ mm}$			
2	翼缘板平面度	有孔部位	$\leq 0.5 \text{ mm}$			
		无孔部位	$\leq 2 \text{ mm}$			
3	腹板平面度		$\leq h/500 \text{ 且 } \leq 5 \text{ mm}$			
4	箱形构件盖腹板平面 度	工地孔部位	$S/750 \text{ 且 } \leq 1 \text{ mm}$			
		其余部位	$S/250$			
		纵向	$L_1/500 \text{ 且 } \leq 5 \text{ mm}$			
5	箱形构件对角线差 $ L_1-L_2 $	边长小于1 000	$\leq 2 \text{ mm}$			
		边长大于等于1 000	$\leq 3 \text{ mm}$			

表 17 钢桁架梁构件矫正的允许偏差 (续)

序号	名称	允许误差	简图
6	工形、箱形构件的扭曲	$\leq 3\text{ mm}$	
7	整体节点构件节点板平面度	$\Delta_1 \leq 1\text{ mm}$ $\Delta_2 \leq 1\text{ mm}$ $\Delta_3 \leq 1.5\text{ mm}$ (栓孔部位)	
8	T形、工形、箱形构件的弯曲；纵梁、横梁的旁弯 ( $f$ )	$L \leq 4000$	$\leq 2\text{ mm}$
		$4000 < L \leq 16000$	$\leq 3\text{ mm}$
		$L > 16000$	$\leq 5\text{ mm}$
9	节点板、接头板垂直度	$\Delta_1 \leq 1.5\text{ mm}$ $\Delta_2 \leq 1\text{ mm}$ $\Delta_3 \leq 1\text{ mm}$	
	插入式连接节点板间距 ( $S$ )	$+1.5\text{ mm}, 0\text{ mm}$	
	整体节点下翼缘板平面度 ( $\Delta_4$ )	$\leq 1\text{ mm}$ (不应内弯)	
	整体节点下翼缘板平面度 ( $\Delta_5$ )	$\leq 2\text{ mm}$	

6.7.6 用钢卷尺、平尺、拉力器、直角尺、钢板尺、塞尺、样块检查，钢塔构件矫正的允许偏差符合表 18 的规定。

表 18 钢塔构件矫正的允许偏差

序号	名称	允许偏差	简图
1	壁板平面度 ( $\Delta$ )	纵向 $S/500$ ( $S$ 为隔板间距)	
		横向 $W/300$ ( $W$ 为纵肋间距)	
2	横隔板	弯曲度 ( $f$ )	$\leq 2\text{ mm}$

6.7.7 焊接完毕且焊缝应冷却到环境温度后，应对所有焊缝进行外观检测，焊缝的外观检验符合下列

规定:

- 采用目视检查方法进行外观检测, 直接目视检测时, 眼睛与被检工件表面的距离不应大于 600 mm, 视线与被检工件表面所成的夹角不应小于 30°, 并从多个角度对工件进行观察;
- 对焊缝的外形尺寸可用焊缝检验尺进行测量;
- 焊缝的外观质量应满足表 19 规定。外观检查不合格的焊缝, 应按 5.4.4 的要求进行修磨或返修。

表19 焊缝外观质量标准

序号	名称		允许偏差	简图
1	气孔	横向对接焊缝	不允许	
		熔透角焊缝、棱角焊缝等主要角焊缝、纵向对接焊缝	直径小于 1.0 mm 每米不多于 3 个, 间距大于等于 20 mm	
		其他焊缝	直径小于 1.5 mm	
2	咬边	横、纵向受拉对接焊缝、U形肋角焊缝翼板侧受拉区	不允许	
		纵梁、加劲肋角焊缝的翼板侧		
		受压部件横向对接焊缝、熔透角焊缝	≤0.3 mm	
		纵向对接焊缝、棱角缝等主要角焊缝	≤0.5 mm	
		其他焊缝	≤1.0 mm	
3	焊脚尺寸	角焊缝	$K_0^{+2.0}$	
		手工焊每条焊缝总长的 10% 范围内	$K_{-1.0}^{+3.0}$	
4	焊波	对接焊缝和角焊缝	$h \leq 2.0$ (任意 25 mm 范围高低差)	
5	余高	不铲磨余高的对接焊缝	$h \leq 2.0 \text{ mm } (b \leq 20 \text{ mm})$ $h \leq 3.0 \text{ mm } (b > 20 \text{ mm})$	
6	余高铲磨后的表面	横向对接焊缝 (桥面板除外)	$\Delta_1 \leq 0.5 \text{ mm}$	
			$\Delta_2 \leq 0.3 \text{ mm}$	
			表面粗糙度 ( $R_a$ ) 50 $\mu\text{m}$	

表 19 焊缝外观质量标准 (续)

序号	名称		允许偏差	简图
7	有效厚度	T形角焊缝	凸面角焊缝: 不大于规定值2.0 mm, 凹面角焊缝: 不小于规定值0.3 mm	

## 6.7.8 焊缝无损检验符合下列规定:

- a) 应根据无损检测方法的适用范围以及结构状况和检测条件按表 20 选择相应无损检测方法;

表20 无损检测方法的选用

序号	检测方法	适用范围
1	磁粉检测	铁磁性材料表面和近表面缺陷的检测
2	超声波检测	内部缺陷的检测, 主要用于平面型缺陷的检测
3	射线检测	内部缺陷的检测, 主要用于体积型缺陷的检测

- b) 焊缝外观检查合格后进行焊缝无损检测, 无损检测 (含高性能耐候桥梁钢结构) 应在焊后 24 h 进行, 当耐候钢板厚  $\geq 40$  mm 时, 以焊接完成 48 h 后无损检测结果作为验收依据;
- c) 超声波焊缝无损检测质量等级、检测等级和验收等级应满足 GB/T 29712—2023 和 GB/T 11345 的相关要求。磁粉探伤应符合 GB/T 26951—2011 及 GB/T 26952—2011 的相关规定。射线探伤应符合 GB/T 37910.1—2019 的相关规定;
- d) 进行局部超声波或磁粉探伤的焊缝, 当发现有裂纹或其他超标缺陷较多时, 应扩大该条焊缝的探伤范围, 每一次扩大探伤的范围不小于前次探伤范围的 2 倍, 直至焊缝全长。对局部射线探伤的焊缝, 当发现超标缺陷时, 应增加检测。每一次探伤的数量不小于前次探伤数量的 2 倍;
- e) 焊缝返修区域, 应按原检测方法和质量要求重新进行质量检验;
- f) 用射线、超声波、磁粉等多种方法检验的焊缝, 应达到各自的质量要求, 该焊缝方可认为合格;
- g) 探伤比例低于 100% 的抽检项目, 按规定的探伤比例进行检测的结果全部合格, 则认为该批次焊缝判定为合格。如果同一批次中出现不合格的焊缝, 应增加探伤比例, 每一次探伤比例不小于前次探伤比例的 2 倍, 直到 100% 检测合格;
- h) 正交异性钢桥面板的焊缝无损检验的检验部位、检测方法、检测比例、检测范围、检验等级和验收标准应符合表 21 规定;

表21 正交异性钢桥面板焊缝无损检验要求及探伤范围

序号	焊缝部位	检测方法	检测比例	检测范围	检验等级	验收标准
1	顶板横向、纵向对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		X射线	10%	两端各 250 mm~300 mm; 长度大于 1200 mm 时, 中间加探 250 mm~300 mm	GB/T 3323.1—2019 B级	GB/T 37910.1—2019 1级

表 21 正交异性钢桥面板焊缝无损检验要求及探伤范围 (续)

序号	焊缝部位	检测方法	检测比例	检测范围	检验等级	验收标准
2	开口加劲肋与顶板、部分熔透 T 型焊缝	超声波	10%	两端各 1000 mm; 长度大于 3000 mm 时, 中间加探 1000 mm; 连续焊缝断弧处加探 1000 mm	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级
3	开口加劲肋与顶板、部分熔透 T 型焊缝	磁粉	10%	两端各 1000 mm; 长度大于 3000 mm 时, 中间加探 1000 mm; 连续焊缝断弧处加探 1000 mm	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011 2 级
4	开口加劲肋与顶板焊缝角焊缝	磁粉	10%	两端各 1000 mm; 连续焊缝断弧处加探 1000 mm	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011 2 级
5	U 肋与顶板熔透 T 型焊缝	磁粉	30%	U 肋外侧两端各 1000 mm; 长度大于 3000 mm 时, 中间加探 1000 mm; 连续焊缝断弧处加探 1000 mm	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011 2 级
6	U 肋与顶板单侧或双侧部分熔透 T 型焊缝	超声波	30%	U 肋外侧两端各 1000 mm; 长度大于 3000 mm 时, 中间加探 1000 mm; 连续焊缝断弧处加探 1000 mm	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级
7	横隔板或横肋与顶板或纵肋全熔透 T 型焊缝	超声波	30%	两端各两个纵肋间距; 纵肋数量多于 6 根的中间加探两个纵肋间距	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级
8	横隔板或横肋与顶板或纵肋部分熔透 T 型焊缝或纵肋角焊缝	磁粉	30%	两端各两个纵肋间距; 纵肋数量多于 6 根的中间加探两个纵肋间距	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011 2 级
注: 检测比例指检测接头数量与全部接头数量之比。						

i) 钢箱梁、槽形梁焊缝无损检验的检验部位、检测方法、检测比例、检测范围、检验等级和验收标准应符合表 22 规定:

表22 钢箱梁、钢槽梁焊缝无损检验要求及探伤范围

序号	焊缝部位	检测方法	检测比例	检测范围	检验等级	验收标准
1	顶板、底板、腹板、横隔板的横向对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		X射线	10%	两端各250 mm~300 mm; 长度大于6 000 mm时, 中间加探250 mm~300 mm	GB/T 3323. 1—2019 B级	GB/T 37910. 1—2019 I级
2	梁段间横向对接焊缝十字交叉或T形交叉处	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		X射线	顶板100% 底板30% 腹板10%	交叉处250 mm~300 mm	GB/T 3323. 1—2019 B级	GB/T 37910. 1—2019 II级
3	顶板、底板、腹板、横隔板的纵向对接焊缝	超声波	100%	端部1 m范围为2级, 其余部位为3级	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级、3级
		X射线	10%	顶板两端和中间各250 mm~300 mm; 底板、腹板、横隔板两端各250 mm~300 mm; 两端1级, 中间2级	GB/T 3323. 1—2019 B级	GB/T 37910. 1—2019 I级、II级
4	横隔板立位横向对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
5	横隔板、纵隔板立位纵向对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
6	风嘴、腹板与顶底板熔透角焊缝, 斜底板与底板熔透角焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
7	其它T型接头和角接接头熔透焊缝, 腹板与顶底板部分熔透焊缝, 脚长大于12 mm的腹板与顶底板贴脚焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 29712—2023 2级
8	非支座横隔板以及纵隔板与顶底板部分熔透焊缝	磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011

表 22 钢箱梁、钢槽梁焊缝无损检验要求及探伤范围（续）

序号	焊缝部位	检测方法	检测比例	检测范围	检验等级	验收标准
9	其它T型接头部分熔透焊缝	磁粉	100%	两端各1000mm	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
10	腹板及开口加劲肋与顶底板贴脚角焊缝	磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
11	其他贴脚角焊缝	磁粉	100%	两端各1000mm	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
12	焊接试板	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
13	需要拆除的临时连接件焊缝	磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011

注：检测比例指检测接头数量与全部接头数量之比。

- j) 钢塔、钢箱拱焊缝无损检验的检验部位、检测方法、检测比例、检测范围、检验等级和验收标准应符合表 23 规定。

表23 钢塔、钢箱拱焊缝无损检验要求及探伤范围

序号	焊缝部位	检测方法	检测比例	检测范围	检验等级	验收标准
1	钢板工厂对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		X射线	10%	两端250mm~300mm；长度大于1200mm时，中间加探250mm~300mm	GB/T 3323.1—2019 B级	GB/T 3323.1—2019 II级
2	工地对接焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		X射线	10%	对接板中较小的板厚大于30mm的焊缝，两端各500mm；长度大于1500mm时，中间加探500mm	GB/T 3323.1—2019 C级	GB/T 37910.1—2019 1级
3	T型接头和角接接头熔透焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
		磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
4	T型接头和角接接头部分熔透焊缝	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级
5	T型接头贴脚角焊缝	磁粉	100%	焊缝全长	GB/T 26951—2011	GB/T 26952—2011
6	焊接试板	超声波	100%	焊缝全长	GB/T 11345—2023 B级	GB/T 29712—2023 2级

#### 6.7.9 圆柱头焊钉焊缝检验符合下列规定：

- a) 圆柱头焊钉焊完之后，及时敲掉圆柱头焊钉周围的瓷环，焊缝冷却到环境温度后，进行外观检验。采用焊钉专用焊接设备焊接的焊钉焊接接头焊缝外观质量符合表 24 的要求；

表24 焊钉焊接接头外观检验合格标准

序号	外观检验项目	合格标准	检验方法
1	外形尺寸	360° 范围内焊缝饱满；拉弧式焊钉焊：焊缝高度 $K_1 \geq 1 \text{ mm}$ ，焊缝宽 $K_2 \geq 0.5 \text{ mm}$ ；电弧焊的最小焊脚尺寸应符合表23的规定	目视检查、钢尺、焊缝量规
2	焊缝缺陷	无气孔、夹渣、裂缝等缺陷	目视检查、放大镜(5倍)
3	焊缝咬边	咬边深度 $\leq 0.5$ ，且最大长度 $\leq 1$ 倍的焊钉直径	钢尺、焊缝量规
4	焊钉焊后高度	高度偏差 $\leq 2.0 \text{ mm}$	钢尺、焊缝量规
5	焊钉焊后倾斜角	倾斜角度偏差 $\leq 5^\circ$	钢尺、量角器

- b) 采用电弧焊方法焊接的焊钉焊接接头最小焊脚尺寸应符合表 25 的要求；

表25 采用电弧焊方法焊接的焊钉焊接接头最小焊脚尺寸

单位为毫米		
焊钉直径	角焊缝最小焊脚尺寸	检验方法
10、13	6	焊缝检验尺
16、19、22	8	焊缝检验尺
25	10	焊缝检验尺

- c) 在外观质量检验合格后，进行焊钉弯曲试验检查，以单个制造节段为一个检验批次，检查数量不小于焊钉总数的 1%，且不少于 10 个焊钉；  
d) 对不合格的焊钉应从工件上拆除，将移去焊钉的地方整平磨光，如遇到底面金属有损伤的，补焊磨平，然后焊上替代焊钉，并检查替代焊钉的焊接质量。

#### 6.7.10 焊后残余应力检测与消除符合下列规定。

- a) 设计或合同文件对焊后消除应力有要求时，应先采用无损检测方法测量残余应力，可采用 X 射线或超声波法等方法进行原位测量后对残余应力较大区域进行消除。对于需经疲劳验算的动荷载结构中承受拉应力的对接接头或焊缝密集的节点或构件，应采用电加热器局部退火和加热炉整体退火等方法进行消除应力处理；如仅为稳定结构尺寸，可采用振动法消除应力。  
b) 焊后热处理应符合 JB/T 6046 的有关规定。当采用电加热器对焊接构件进行局部消除应力热处理时，应符合下列要求：  
1) 使用配有温度自动控制仪的加热设备，其加热、测温、控温性能符合使用要求；  
2) 构件焊缝每侧面加热板（带）的宽度至少为钢板厚度的 3 倍，且不小于 200 mm；  
3) 加热板（带）以外构件两侧用保温材料适当覆盖。  
c) 当采用超声波消除应力时，符合下列要求：  
1) 使工件待处理表面应清洁，无油污、铁锈、氧化皮等杂质，以免影响超声波能量的传递和冲击效果；  
2) 对于一般结构件，冲击枪沿焊缝移动的速度控制在每分钟 300 mm 左右为宜，对于有特殊要求或焊缝不规则的工件，可适当放慢速度，以保证应力消除效果；

#### 6.7.11 高强度螺栓孔、铆钉孔和主要零件上螺栓孔的孔径允许偏差应符合表 26 的规定。

表26 高强度螺栓孔、铆钉孔和主要零件上螺栓孔的孔径允许偏差

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

在U形肋和板肋上孔径可比表中值大2 mm, 但其连接板孔径应采用表中值。

6.7.12 高强度螺栓孔、铆钉孔和主要零件上螺栓孔的孔距允许偏差应符合表 27 的规定; 设计文件对孔距偏差有特殊要求的, 应符合其规定。

表27 高强度螺栓孔、铆钉孔和主要零件上螺栓孔的孔距允许偏差

序号	名称	允许偏差						单位为毫米
		钢箱梁	钢桁梁	钢板梁	钢塔	钢箱拱	其它构件	
1	两相邻孔距离	±0.5	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4
2	同一孔群任意两孔距	±0.8	±0.8	±0.8	±0.8	±0.8	±1.0	
3	组孔群两相邻孔群中心距	—	±0.8	±1.5	±0.8	±0.8	±1.0	
4	两端孔群中心距	$L \leq 11$ m	±1.5 <sup>a</sup>	±0.8 (±4.0) <sup>b</sup>	±0.8 (±4.0) <sup>b</sup>	±1.5	±0.8	±1.5
		$L > 11$ m	±2.0 <sup>a</sup>	±1.0 (±8.0) <sup>b</sup>	±1.0 (±8.0) <sup>b</sup>	±2.0	±1.0	±2.0
5	孔群中心线与构件中心线的横向偏移	腹板不拼接	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—
		腹板拼接	—	1.0	1.0	1.0	1.0	—
6	构件任意两面孔群纵、横向错位	—	1.0	—	1.0	1.0	—	
7	孔与自由边距 <sup>c</sup>	±2.0						

<sup>a</sup> 桥面板单元U形肋采用特配连接板时可适当放宽。  
<sup>b</sup> 括号内参数值为连接支座的孔群中心距允许偏差。  
<sup>c</sup> 连接板安装后, 不与其余构件相连的, 正差不受此限。

## 6.8 验收

6.8.1 钢结构构件, 出厂前应进行验收。对钢结构构件进行验收时, 应具备下列文件:

- 钢材、焊接材料、高强度螺栓连接副、高强度环槽铆钉连接副和涂装材料的出厂质量证明书及复验资料;
- 工厂高强度螺栓(环槽铆钉)摩擦面抗滑移系数试验报告;

- c) 焊接工艺评定报告;
- d) 合格证明书;
- e) 焊缝无损检验报告;
- f) 焊缝重大修补记录;
- g) 产品试板的试验报告;
- h) 试拼装或预拼装检查记录;
- i) 涂装检测记录。

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

6.8.3 目视检查, 构件的内外表面不应有超标的凹痕、划痕、焊瘤、擦伤等缺陷, 边缘应无毛刺。

## 7 拼装

### 7.1 通则

7.1.1 预拼装和试拼装应在构件涂装前进行, 用于预拼装和试拼装的构件均应检验合格。

7.1.2 钢板梁、钢桁梁的杆件在成批制造之前, 应进行试拼装; 钢箱梁、大节段钢桁梁、钢塔、钢箱拱和钢管拱等的构件在安装施工前, 应进行预拼装。

7.1.3 试拼装和预拼装应采用专用的平台或胎架, 平台或胎架应具有足够的强度、刚度和稳定性, 基础和地基应有足够的承载力。试拼装、预拼装作业时, 应符合起重吊装、高空作业等安全管理的相关规定。

7.1.4 胎架搭设时应根据工艺图纸上的构件平面及立面线形坐标进行搭设, 构件安装时平面及立面线形应符合设计要求, 横向应设置预拱度。

7.1.5 胎架应按纵横向在两端设置测量塔, 测量塔基础应独立于胎架基础之外且应具有足够的承载力。

7.1.6 胎架两侧应布置标高基准点以形成标高控制测量网, 标高基准点应布置在胎架之外。

7.1.7 胎架每轮次组装前应进行检测, 确认合格后进行下一轮次的组装。

### 7.2 试拼装

7.2.1 试拼装应按试装图的要求在制造厂内进行。首批制造杆件、改变工艺装备或工艺装备大修时, 均应选取有代表性的杆件进行试拼装; 成批连续生产的杆件, 每生产 15 孔梁应试拼装一次。试拼装应在钢结构涂装前已测平的胎架上进行, 并应解除杆件与胎架之间的临时连接, 使其处于自由状态。用于试拼装的零件、板单元和杆件等均应经检验合格。

7.2.2 钢板梁应整孔试拼装; 钢桁梁应采用平面卧式试拼装。连续钢桁梁的试拼装杆件应包括所有节点类型, 每轮试拼装的数量不宜少于 3 个节段。

7.2.3 试拼装时应使板层密贴, 冲钉应满足强度和尺寸及工艺要求, 且不少于栓孔总数的 10%, 螺栓应不少于栓孔总数的 20%。试拼装时, 应采用试孔器检查所有栓孔。对钢板梁主梁腹板平面内的栓孔以及钢桁梁主桁弦杆竖板平面内和主桁间连接的栓孔, 应 100%自由通过较设计孔径小 0.75 mm 的试孔器; 其他栓孔应 100%自由通过较螺栓公称直径大 0.5 mm 的试孔器。试拼装过程中, 应对杆件的拼接处有无相互抵触以及螺栓不易施拧等情况进行检查。

7.2.4 钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 28 的规定。

表28 钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差

序号	名称	允许误差	备注
1	梁高 ( $H$ )	±2 mm	$H \leq 2000$ mm
		±4 mm	$H > 2000$ mm
2	跨度 ( $L$ )	±8 mm	支座中心至中心
3	全长	±15 mm	全桥长度
4	主梁中心距	±3 mm	—
5	拱度	+10, -3 mm	与计算拱度相比
6	两片梁相对拱度差	≤4 mm	—
7	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
8	两相邻梁段错边量	≤2 mm	—
9	相邻两主梁横断面对角线差	≤4 mm	—
10	平联节间对角线差	≤3 mm	—
11	主梁倾斜	≤5 mm	—
12	支点处高低差	≤3 mm	三个支座处水平时, 另一支座处翘起高度

7.2.5 钢桁梁试拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 29 的规定。

表29 钢桁梁试拼装的主要尺寸允许偏差

序号	名称	允许偏差		备注
1	桁高	±3 mm		上下弦杆中心间距
2	节间长度	±3 mm		—
3	旁弯	≤ $1/5000$		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 mm		$L \leq 50000$
		±1/10000		$L > 50000$
5	拱度	$f \leq 60$	±3 mm	$f$ 为计算拱度
		$f > 60$	± $f/20$	
6	对角线	≤3 mm		每个节间主桁斜杆与上、下弦杆中心线两交点的距离
7	主桁中心距	两片主桁	±3 mm	—
		三片主桁	±2.5 mm	边桁至中桁的中心距离
			±5 mm	边桁至中桁的中心距离

### 7.3 预拼装

7.3.1 每批梁段制造完成后, 应进行连续匹配预拼装, 预拼装应按施工图纸规定的连接顺序进行。每轮预拼装结束并经检查合格后, 应留下最后一个梁段参与下一轮次的匹配拼装。

7.3.2 每轮预拼装均应进行线形控制。立式预拼装应测量调整高程, 胎架顶面(梁段底)的线形应与设计或施工监控要求的梁底线形相吻合; 侧卧式预拼装的胎架顶面应测平, 连接处的平面位置应与设计或施工监控要求拱轴线线形吻合。预拼装的测量应在解除工艺板后进行。

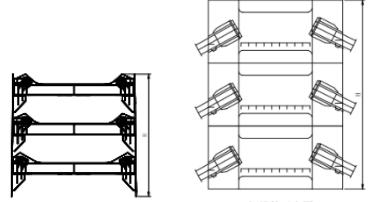
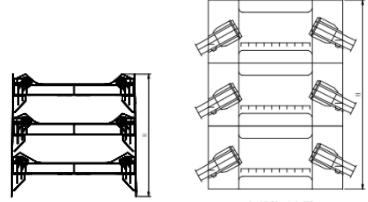
7.3.3 大节段钢箱梁应先通过小节段钢箱梁的拼装并检查合格后, 再进行环缝焊接或栓接连接; 钢箱梁节段的每轮预拼装数量不应少于 3 段, 预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表 30 的规定。

表30 钢箱梁节段预拼装主要尺寸允许偏差

序号	名称	允许误差	备注
1	预拼装长度 ( $L$ )	$\pm 2n$ , $\pm 20 \text{ mm}$ ; 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	预板宽 ( $B$ )	2车道	测梁段两端口宽度
		4车道	
		6车道	
		8车道	
3	两相邻吊点间距	$\pm 3 \text{ mm}$	测锚箱或吊点间距
4	梁段中心线错位	$\leq 2 \text{ mm}$	梁段中心线与桥轴中心线偏差
5	左右支点高度差 (吊点)	$\leq 5 \text{ mm}$	左右高低差
6	竖曲线或预拱度	$+10 \text{ mm}$ , $-5 \text{ mm}$	测横隔板处桥面高程
7	旁弯	$3 \text{ mm} + 0.1L$ 且 $\leq 6 \text{ mm}$	测桥面中心线的平面内偏差。 $L$ 为任意3个预拼装梁段长度, 以m计
8	两相邻梁段接口错边量	$\leq 1.5 \text{ mm}$	梁段匹配接口处安装匹配件后
9	纵肋直线度 ( $f$ )	$\leq 2 \text{ mm}$	梁段匹配接口处
10	螺栓孔孔距	$\pm 1 \text{ mm}$	相邻梁段a
对于特配连接板可不受此限。			

7.3.4 钢锚梁、钢锚箱可采用立式或卧式预拼装, 每轮预拼装的数量不应少于3段, 预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表31的规定。

表31 钢锚梁、钢锚箱预拼装主要尺寸允许偏差

序号	名称	允许误差		简图
1	预拼装高度 ( $H$ )	$\pm 2n$ 且 $\leq 20 \text{ mm}$	$n$ 为梁段数	
2	壁板垂直度	$\leq 1/5000$		
3	预拼装箱体整体扭曲	$\leq 4$		
4	钢锚梁与支承面接触率或钢锚箱端面接触率 <sup>a</sup>	$\geq 40\%$	不考虑竖向加劲肋	
5	顶节和底节钢锚梁锚点间距	$\pm 15 \text{ mm}$	12节段累计	
6	节段间壁板错边量	$\leq 2 \text{ mm}$		
注: 钢锚箱端面接触率指端面有机加工要求的钢锚箱。				

7.3.5 钢箱拱节段的每轮预拼装数量不应少于3段,预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表32的规定。

表32 钢箱拱节段预拼装主要尺寸允许偏差

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

7.3.6 钢管拱拱肋节段可采用卧式预拼装,每轮预拼装的数量不应少于3段。对大跨径桁架钢管拱拱肋节段,当卧式预拼装不能满足精度要求时,可采用“2+1”的方式进行立式预拼装。预拼装的主要尺寸允许偏差应符合表33的规定。

表33 钢管拱拱肋节段预拼装主要尺寸允许偏差

序号	名称	允许误差	备注
1	预拼装总长度	$\pm 2n$ 且 $\leq 20$ mm	$n$ 为节段数
2	节段水平长度	$\pm 5$ mm	—
3	内弧偏离设计弧线	$\leq 8$ mm	—
4	节段端口环缝对接错边量	$\leq 2$ mm	—
5	旁弯	$\leq 10$ mm	成拱后横向偏位
6	拱肋间距	$\pm 5$ mm	适用于一次性组装的双排拱肋
7	对接接头相对高差	$\leq 15$ mm	—

#### 7.4 计算机辅助模拟预拼装

7.4.1 构件除可采用实体预拼装外,还可采用计算机辅助模拟进行虚拟拼装,以达到预拼装速度快、精度高、节能环保、经济实用的目的。

7.4.2 采用该方法时,要求预拼装的所有单个构件均有一定的质量保证,模拟拼装构件或单元外形尺寸均应严格测量,测量时可采用全站仪、计算机和相关软件配合进行。

- 仿真模拟预拼装的允许偏差应符合GB 50205的规定,检查数量按预拼装单元全数检查,检验方法为计算机仿真模拟分析。当采用计算机仿真模拟预拼装的偏差超过本文件的相关要求时,应按规定进行实体预拼装。
- 可采用激光扫描技术进行预拼装,通过激光扫描获取实际加工完成的构件数据模型,与理论模型在计算机模拟环境下进行拟合对比。
- 数字化模拟预拼装应根据预拼装结构的形式、形状和特征要素,选定采用三维坐标点测量和扫描方法,或多种测量方法混合使用的数据采集方式,并保证预拼装构件数据采集的完整性。
- 三维坐标点测量时,测量数据应按设定的程序和格式直接输入到计算机模拟预拼装软件中,通过自动化数据绘图处理系统,形成结构定位点实测模拟预拼装点位的坐标图,使用精度分析软件,与设计模型结构定位点位坐标进行对比,确定其偏差是否符合允许偏差要求。
- 数字化模拟预拼装的靶标测量应设置不少于两个观测站点,且测量过程中无振动。

- f) 数字化模拟预拼装应在计算机上形成全部杆件定位点的拼装偏差图表，并判定是否超出允许偏差。

## 7.5 检验

7.5.1 按照 7.1 和 7.2 的规定进行试拼装，并应符合下列规定：

- a) 目视检查，试拼装过程中检查拼接处有无相互抵触情况，有无不易施拧螺栓处；
- b) 目视检查，采用直角尺、钢板尺、钢平尺、塞尺、拉线、钢卷尺、经纬仪、水准仪检查，钢桁梁、钢板梁试拼装的主要尺寸允许偏差符合 JTG/T 3651—2022 中的规定；
- c) 目视检查，采用试孔器检查，试拼装时，栓孔的通过率符合 JTG/T 3651—2022 中的规定。

7.5.2 采用钢盘尺、钢卷尺、钢板尺、直角尺、塞尺、钢丝线、弹簧秤、紧线器、拉力器、线垂、经纬仪、水准仪检查，钢箱梁、钢桁梁、钢锚梁、钢锚箱、钢箱拱、钢管拱节段预拼装的主要尺寸允许偏差应符合 7.3 的规定。

## 8 涂装

### 8.1 通则

8.1.1 钢结构桥梁的涂装应符合设计文件和 JT/T 722 的规定。

8.1.2 桥梁钢结构的涂装分为工厂涂装和工地涂装，尽可能减少工地涂装工作量。箱形构件的内表面涂装、以及构件外表面的底漆和中间漆应在工厂施工，除外表面最后一道面漆之外的其余面漆应在工厂施工。工地焊接的焊缝区域，焊缝两侧各不小于 150 mm 范围在工厂不做涂装，喷砂后用胶带保护，工地焊接完成后，按其所在部位涂装要求在工地修补各涂层。

8.1.3 涂装材料应性能可靠、防蚀性好、耐候性好，防护年限应满足设计图纸规定的年限要求，色彩满足设计文件的景观要求。涂装宜采用水性涂料。

8.1.4 涂装施工前应完成以下工作：

- a) 按附录 A 的要求进行涂装材料复验，经复检合格后使用；
- b) 进行涂装工艺试验，监理工程师应见证试验全过程；
- c) 进行高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验；
- d) 进行钢材表面处理。

8.1.5 涂装前，应对构件自由边的双侧倒弧，倒弧的半径应不小于 2 mm。

### 8.2 表面处理

8.2.1 在喷砂除锈前应进行如下的结构预处理：

- a) 粗糙焊缝打磨光顺，焊接飞溅物用刮刀或砂轮机除去；焊缝上深为 0.8 mm 以上或宽度小于深度的咬边应补焊处理，并打磨光顺；
- b) 锐边用砂轮打磨成曲率半径为 2 mm 的圆角；
- c) 表面层叠、裂缝、夹杂物，须打磨处理，必要时补焊。

8.2.2 喷砂前应按表 34 的要求进行钢结构表面清理。

表34 喷砂前钢结构表面清理要求

序号	类别	清理方法	检测方法	检验标准	
1	油污	专用清洗剂清洗（或擦洗）	—	无可见油迹	洒水法检验或验油试纸法检验
2	可溶性盐分	高压淡水冲洗	盐分测试仪	可溶性氯化物含量 $\leq 7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	GB/T 18570.6和GB/T 18570.9
3	表面灰尘	真空吸尘器或无油、无水的压缩空气	—	表面灰尘清洁度 $\leq 3$ 级	GB/T 18570.3
4	粉笔记号、涂料等附着物	人工清除	—	无可见杂物	目视检查

8.2.3 涂装施工前，应采用喷砂或抛丸等方法进行除锈，除锈等级和粗糙度应符合设计文件要求，并应符合 JT/T 722 的规定。

8.2.4 钢板下料前可喷涂一道干膜厚度为  $20 \mu\text{m} \sim 25 \mu\text{m}$  左右的车间底漆进行临时防腐，构件在车间内加工制作且在非梅雨季节使用的，确认其不会产生锈蚀时，可不喷涂防锈底漆涂装；设计对车间防锈底漆有要求时，应从其规定。

8.2.5 在已涂无机硅酸锌、无机富锌或其他类车间底漆的钢结构外表面再涂装油漆前，应根据涂装体系设计要求采用喷砂或机械打磨方法进行表面处理，并满足以下要求：

- 无机硅酸锌、无机富锌车间底漆完好的部位，可采用扫砂拉毛方法除去表面锌盐，并对焊缝、锈蚀处喷砂除锈至 GB/T 8923.1—2011、GB/T 8923.2—2008 和 GB/T 8923.3—2009 规定的 Sa2.5 级；或采用打磨拉毛方法除去表面锌盐，并对焊缝、锈蚀处进行打磨，除锈清洁度达到 GB/T 8923.1—2011 规定的 St3 级；
- 对需要热喷涂的钢结构焊缝预留部分，应采用喷砂方法进行二次表面处理，除锈清洁度达到 GB/T 8923.1—2011 规定的 Sa3.0 级。

8.2.6 喷砂除锈完成后，应清除喷砂后产生的表面残渣，并应采用真空吸尘器或无油、无水的压缩空气，清理构件钢材表面的灰尘，清理后的表面清洁度符合 GB/T 18570.3 的规定。

8.2.7 表面处理工序完成后，底漆应在 4 h 内进行涂装；当构件所处环境的相对湿度不大于 60% 时，涂装施工的时间可适当延长，但最长应不超过 12 h。在上述规定的时限内，如果钢材的表面已出现返锈现象，则应重新进行除锈处理。

8.2.8 耐候钢处理剂喷涂满足以下要求：

- 处理剂宜为水基溶液，不含有毒有害物质，不含盐酸、硫酸等游离酸；
- 处理剂中不含铬盐、亚硝酸盐等有毒有害物质，不含盐酸、硫酸等游离酸；
- 喷涂环境温度应不小于 0 ℃。

### 8.3 工厂涂装

8.3.1 涂装前应仔细确认油漆的种类、名称、质量标准。对双组份油漆应明确混合比例，并搅拌均匀、熟化后使用。涂料配制和使用时间符合以下要求：

- 涂料应充分搅拌均匀后方可施工，宜采用电动或气动搅拌装置。对于双组分或多组分涂料应先将各组分分别搅拌均匀，再按比例配制并搅拌均匀；
- 混合好的涂料按照产品说明书的规定熟化；
- 涂料的使用时间按产品说明书规定的适用期执行，超过使用时间涂料不应使用。

8.3.2 应按照设计要求和材料工艺进行底涂、中涂和面涂施工。每道涂层的间隔时间应符合材料供应商的有关技术要求。超过最大重涂间隔时间时，进行拉毛处理后涂装。

### 8.3.3 涂装施工环境符合以下要求:

- a) 施工环境温度  $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ , 空气相对湿度不大于 85%, 并且钢材表面温度应高于露点温度  $3^{\circ}\text{C}$  以上; 施工环境温度为  $-5^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$  时, 采用低温固化产品或采用其它措施; 涂料本身的温度需符合产品说明书的规定;
- b) 对水性涂料, 涂装施工在环境温度  $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$  情况下进行, 且空气相对湿度不大于 80%, 环境温度宜为  $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$  且空气相对湿度不大于 60%。施工环境温度低时, 可以适当提高水性涂料温度或提高喷涂基材表面温度, 以改善涂装效果。

### 8.3.4 施工中随时检查湿膜厚度以保证干膜厚度满足设计要求。湿膜厚度检测按 GB/T 13452.2 的规定执行。干膜厚度应采用测厚仪侧得, 并满足设计要求。

### 8.3.5 电弧喷涂应符合以下要求:

- a) 电弧喷涂施工时, 在受喷面积上连续喷涂到规定厚度;
- b) 喷涂用气体应清洁、干燥, 喷涂气体压力不低于  $0.5 \text{ MPa}$ ;
- c) 喷涂距离控制在  $150 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$ ;
- d) 喷涂时, 喷涂微颗粒垂直冲击基体表面, 喷枪与被喷涂面的夹角不小于  $60^{\circ}$ ;
- e) 喷涂过程中, 经常对喷枪进行清洁, 避免积聚金属粉尘; 喷枪移动速度均匀; 当发现基体表面温度过高时, 暂停喷涂。

### 8.3.6 工厂涂装完成后应进行保护, 防止运输和安装过程中损伤漆膜。

## 8.4 工地涂装

### 工地涂装施工工艺符合以下要求:

- a) 正式涂装前需通过试验确定所进行的表面处理方法和措施, 在保证面漆结合力的要求后方可大面积施工;
- b) 应在天气较好的条件下进行涂装, 在有雾、大风、阴雨天气下应停止施工以确保面漆涂层质量和外观美观。

## 8.5 检验

### 8.5.1 涂装施工前应进行目视检查, 构件的自由边应符合 8.1 的规定。

### 8.5.2 涂装完成后应进行目视检查, 构件的标识、编号应清晰完整。

### 8.5.3 面漆涂装完成待面漆干燥后应进行及时检查, 不合格处应及时处理, 不应有漏涂、流挂等外观缺陷, 各项质量指标应达标, 面漆涂层质量标准和检验方法应符合表 35 的要求。

表35 面漆涂层质量标准和检验方法

检验项	质量要求	质量标准	检验方法
外观	涂层外观应平整、均匀、无气泡、裂纹, 无严重流挂、脱落、漏涂等缺陷, 面漆颜色与比色卡相一致	JT/T 722—2023	目视检查
厚度	按涂装体系进行	GB/T 4956—2003	磁性测厚仪测量
结合力	$\geq 5 \text{ MPa}$	GB/T 5210—2006	拉开法、划格法

### 8.5.4 检验条件:

- a) 用划格法或拉开法进行附着力检验。划格法适用于涂层厚度不超过  $250 \mu\text{m}$  的情况, 按规定在涂层表面划格, 用胶带粘贴后撕开, 观察涂层脱落情况, 附着力等级达到 1 级及以上为合格 (1 级表示切口边缘完全光滑, 格子边缘无任何剥落)。拉开法适用于检测涂层与基材或层间附着力, 使用附着力测试仪进行测试, 其附着力数值需符合设计及相关标准要求;

- b) 按标准要求使用冲击试验仪对涂层进行冲击试验，在规定冲击能量下，涂层应无开裂、剥落等现象。通过检验涂层的耐冲击性，确保其在实际使用中能承受一定外力冲击，保证桥梁的防护效果。

**附录 A**  
(规范性)  
**涂装材料复验要求**

**A. 1 通用要求**

A. 1. 1 涂装材料复验应按GB/T 3186的规定采取抽样法取样。对于每批涂料, 取样A、B两份, A、B样分别装入取样罐中(预留5%的空隙), 按不同组别进行分别密封, A样送检, 送检全过程应有见证人。B样密封保存, 封条上应有监理单位、业主单位、分包单位、涂料供应单位等的代表共同签字。

A. 1. 2 面漆色板的制造应符合表A. 1的要求。

**表A. 1 面漆色板制造要求**

序号	色板种类	规格	数量	制造标准	用途
1	标准色卡、厂家色卡	—	3套	—	用于色漆颜色选择
2	标准色板(金属底板)	50 mm×120 mm×(0.2 mm~0.3 mm)	6块	GB/T 1727	涂料入厂验收

**A. 2 涂料**

A. 2. 1 水性涂料使用要求应符合JT/T 722—2023的规定。

A. 2. 2 涂料复检原则如下:

- a) 主体涂装材料应逐批复验。批次为: 底漆6 000 L为一批, 中间漆15 000 L为一批、面漆12 000 L为一批; 其它涂装材料每10 t为一批;
- b) 涂装材料应提供如下资料(包括但不限于): 能进行外加固化涂层的固化时间, 能进行工件搬运时的固化时间, 完全固化时间等;
- c) 涂装材料复验试样应随机抽取;
- d) 检验结果如有某项指标存在争议时, 允许在该批涂装材料中随机抽取一个样品, 重新进行检验。

A. 2. 3 涂料复检必检项目如下:

- a) 无机硅酸锌车间底漆: 干燥时间、附着力;
- b) 环氧磷酸锌底漆: 附着力、干燥时间、不挥发物含量;
- c) 环氧富锌底漆: 附着力、金属锌含量、干燥时间、不挥发物含量;
- d) 环氧磷酸锌封闭底漆: 附着力、干燥时间、不挥发物含量;
- e) 环氧云铁中间漆、环氧(厚浆)漆: 附着力、干燥时间、不挥发物含量、弯曲性;
- f) 氟碳面漆: 氟含量、附着力、不挥发物含量、干燥时间、耐冲击性、细度;
- g) 无机富锌防锈防滑涂料: 附着力、不挥发物含量、干燥时间;
- h) 环氧沥青涂料: 不挥发物含量、耐冲击性、附着力;
- i) 铝丝: 化学成分。

A. 2. 4 车间底漆钢桥用车间底漆技术要求和试验方法应符合表A. 2的要求。

表A.2 钢桥用车间底漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标		试验方法
		含锌车间底漆	不含锌车间底漆	
1	在容器中状态	搅拌后无硬块，呈均匀状态		目视检查
2	不挥发物含量	40%~60%	35%~55%	GB/T 1725
3	不挥发份中的金属锌含量	30%~50%	—	HG/T 3668
4	表干时间	$\leq 5\text{ min}$		GB/T 1728
5	焊接与切割	合格		GB/T 6747
6	弯曲与成型	合格		GB/T 6747

A.2.5 防锈底漆钢桥用防锈底漆技术要求和试验方法应符合表A.3的要求。

表A.3 钢桥用防锈底漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标			试验方法
		无机富锌底漆	环氧富锌底漆	环氧磷酸锌底漆	
1	在容器中状态	搅拌均匀后无硬块，呈均匀状态；粉料呈微小均匀粉末状态			目视检查
2	不挥发份中的金属锌含量	$\geq 80\%$	$\geq 70\%$	—	HG/T 3668
3	耐热性 (d)	400 $^{\circ}\text{C}$ , 1 h漆膜完整, 允许变色	250 $^{\circ}\text{C}$ , 1 h漆膜完整, 允许变色	—	GB/T 1735
4	不挥发物含量	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	—	GB/T 1725
5	干燥时间	表干	$\leq 0.5\text{ h}$	$\leq 2\text{ h}$	GB/T 1728
		实干	$\leq 8\text{ h}$	$\leq 24\text{ h}$	
6	附着力, 拉开法	$\geq 3\text{ MPa}$	$\geq 5\text{ MPa}$		GB/T 5210—2006
7	耐冲击性	—	50 cm		GB/T 1732
8	抗滑移系数 (e)	初始时	$\geq 0.55$	—	GB 50205
		安装时 (6个月内)	$\geq 0.45$		

A.2.6 环氧封闭漆技术要求和试验方法应符合表A.4的要求。

表A.4 环氧封闭漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标		试验方法
1	在容器中状态	搅拌后无硬块，呈均匀状态		目视检查
2	不挥发物含量	50%~70%		GB/T 1725
3	粘度, ISO-4杯	$\leq 60\text{ s}$		GB/T 6753.4
4	细度	$\leq 60\text{ }\mu\text{m}$		GB/T 1724
5	干燥时间	表干	$\leq 2\text{ h}$	GB/T 1728
		实干	$\leq 12\text{ h}$	
6	附着力	$\geq 5\text{ MPa}$		GB/T 5210—2006

A.2.7 环氧中间漆技术要求和试验方法应符合表A.5的要求。

表A.5 环氧中间漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标			试验方法
		环氧 (厚浆)漆	环氧 (云铁)漆	环氧玻璃 鳞片漆	
1	在容器中状态	搅拌后无硬块, 呈均匀状态			目视检查
2	不挥发物含量	≥75%	≥75%	≥80%	GB/T 1725
3	干燥时间	表干	≤4 h	≤4 h	GB/T 1728
		实干	≤24 h	≤24 h	
4	弯曲性	≤2 mm	≤2 mm	—	GB/T 6742
5	附着力	≥5 MPa			GB/T 5210—2006
6	耐冲击性	50 cm	—		GB/T 1732
7	人工加速老化(变色1级、失光1级, 涂层无生锈、起泡、剥落、开裂、粉化等异常现象)	—	—	5 000 h	GB/T 1865

A.2.8 耐候面漆技术要求和试验方法应符合表A.6的要求。

表A.6 耐候面漆技术要求和试验方法

序号	项目	技术指标			试验方法
		丙烯酸脂肪族 聚氨酯面漆	氟碳面漆	聚硅氧烷面漆	
1	不挥发物含量	≥60%	≥55%	≥70%	GB/T 1725
2	细度	≤35 μm	≤35 μm	≤35 μm	GB/T 1724
3	溶剂可溶物氟含量	—	≥24% (优等品) ≥22% (一等品)	—	HG/T 3792
4	干燥时间	表干	≤2 h	≤2 h	GB/T 1728
		实干	≤24 h	≤24 h	
5	弯曲性	≤2 mm	≤2 mm	≤2 mm	GB/T 6742
6	耐磨性500 r/500 g	≤0.06 g	≤0.05 g	≤0.04 g	GB/T 1768
7	附着力	≥5 MPa			GB/T 5210—2006
8	耐冲击性	50 cm			GB/T 1732
9	硬度	≥0.6			GB/T 1730
10	适用期	≥5 h			HG/T 3792
11	人工加速老化(变色1级、失光1级, 涂层无生锈、起泡、剥落、开裂、粉化等异常现象)	—	5 000 h	—	GB/T 1865
12	重涂性	重涂无障碍			HG/T 3792

A.2.9 无机富锌防锈防滑涂料技术要求和试验方法应符合表A.7的要求。

表A.7 无机富锌防锈防滑涂料技术要求和试验方法

序号	名称	技术参数	试验方法
1	在容器中状态	均匀无异常	目视检查
2	不挥发物含量	≥80%	GB/T 1725
3	不挥发份中的金属锌含量	≥70%	HG/T 3668
4	表干时间	≤30 min	GB/T 1728
5	附着力	≥3 MPa	GB/T 5210—2006

### A.3 检验

#### A.3.1 取样

A.3.1.1 现场取样应使用专用的样品取样罐。确保现场取样罐的清洁，没有灰尘、水等杂质。

A.3.1.2 抽检的产品包装完整，标志清晰。

A.3.1.3 采用电动或气动搅拌装置，确保抽检产品均匀一致。

#### A.3.2 检验项目

A.3.2.1 涂层性能的检测项目见A.2。

A.3.2.2 现场涂层检测项目应包含外观、厚度和附着力。

#### A.3.3 判定原则

进场涂料检测结果全部符合本文件的要求为合格。检测结果有一项指标不符合要求时，允许对不符合要求的项目进行复验，复验结果仍不符合要求，则判该批产品为不合格。

### A.4 检测报告

A.4.1 涂料检测报告由具有相应资质的检测机构出具。

A.4.2 报告包括但不限于涂料的VOC含量、重金属含量、耐酸性、耐碱性、耐水性、耐湿热性、耐盐雾性、耐人工加速老化性能、抗渗性、抗菌性、疲劳性、耐黄变性、冻融性能、兼容性、耐候性、贮存期、适用期、配套性能及施工性能，并附上各涂料主剂和固化剂各自的表面能、密度、主要成分等基本信息。

**附录 B**  
**(规范性)**  
**耐候钢复验要求**

**B. 1 检验频次**

**B. 1. 1** 钢材应按同一厂家、同一牌号、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) 进行抽验。特殊情况下, 材料的复验可前移至钢厂。

**B. 2 检验项目与方法**

钢材的复验项目与方法符合下列规定:

- a) 应检验化学成分C、Si、Mn、P、S、Nb、V、Ti、Al、Cr、Ni、Cu、Mo、N等主要元素的含量;
- b) 应检验屈服强度ReL或ReH、抗拉强度Rm、伸长率A、弯曲(180°)、冲击功KV2等力学性能;
- c) 当有厚度方向性能要求时, 钢板应按GB/T 2970进行超声检测;
- d) 钢板表面不应有气泡、结疤、折叠、夹杂和氧化铁皮压入等影响使用的有害缺陷, 钢板不应有目视可见的分层;
- e) 钢板表面允许有不影响使用的薄层氧化铁皮、铁锈及由于压入氧化铁皮和轧辊所造成的不明显的粗糙、网纹、麻点、划痕及其他局部缺欠, 但其深度不应大于钢板厚度公差二分之一, 并应保证钢板的允许最小厚度。

**B. 3 评定规则**

**B. 3. 1** 对各项复验试验结果的评定应符合GB/T 4171中的规定; 当订货合同对技术条件有特殊规定时, 应按其规定执行。

**B. 3. 2** 钢材应成批提交检查和验收, 每批由同一牌号、同一炉号、同一规格、同一轧制制度、同一交货状态的钢板、钢带或型钢组成。