

# DB43

## 湖 南 省 地 方 标 准

DB43/T 1173—2016

### 钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范

Technical Specification for Steel-STC

Lightweight Composite Structure Deck

2016-06-07 发布

2016-08-07实施

湖南省质量技术监督局 发布

## 目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和符号	2
3.1 术语	2
3.2 符号	3
4 总则	5
5 原材料	5
5.1 STC	5
5.2 钢材	9
5.3 防腐材料	10
5.4 养生材料	10
6 设计	10
6.1 基本要求	10
6.2 承载能力极限状态设计	14
6.3 正常使用极限状态设计	23
6.4 剪力连接件设计	29
6.5 构造要求	30
7 施工	33
7.1 施工项目组成及施工流程	33
7.2 基本要求	34
7.3 施工准备	35
7.4 桥面预处理	35
7.5 栓钉焊接	36
7.6 防腐层涂装	37
7.7 钢筋网安装	38
7.8 STC 浇筑	39
7.9 STC 湿接缝浇筑	41
7.10 STC 养护	42
7.11 STC 表面糙化处理	43
7.12 面层铺筑	43
7.13 特殊气候条件下施工	43

DB43/T 1173—2016

7.14	STC 层破损修补	44
7.15	工程竣工验收	45
附录 A(规范性附录)	STC 用钢纤维性能检验方法	47
附录 B(规范性附录)	开口加劲肋侧扭屈曲的弹性临界弯矩计算	49
附录 C(规范性附录)	STC 试件的制作及试验方法	51
附录 D(规范性附录)	STC 拌合料中钢纤维体积率的试验、检验方法	52
附录 E(资料性附录)	轻型组合结构桥面工程施工质量验收记录表格	54
附录 F(资料性附录)	用词、用语说明	57
	参考文献	58

## 前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由湖南省交通运输厅提出并归口。

本标准主要起草单位：湖南中路华程桥梁科技股份有限公司、湖南大学桥梁工程研究所、湖南省交通规划勘察设计院、湖南省大岳高速洞庭湖大桥建设开发有限公司、广东冠生土木工程技术有限公司。

本标准主要起草人：邵旭东、胡建华、梁振西、李程、向建军、毛志坚、曹君辉、黄政宇、张贵明、戴桂华、彭力军、刘榕、张法、张永健、崔剑峰、万国强、卢立志、张晋瑞、喻满、马尚军、刘斌。



## 引 言

为规范钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面工程的设计和施工，统一其质量检验标准，确保其安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理，特制定本规范。

在国内外大跨径桥梁中，由于具有结构自重小，承载能力大，施工简便等优点，钢主梁结构得到广泛应用。钢主梁通常设置正交异性钢桥面。大量工程实践表明，钢桥面的以下两个问题非常突出：一是正交异性钢桥面板的母板及各种焊缝易出现疲劳开裂；二是钢桥面上的沥青面层易产生裂缝、车辙、壅包等病害，面层的使用寿命通常仅几年时间。为此，桥梁在通车后的运营阶段，须频繁对桥面钢结构及面层进行维修，严重影响了桥梁结构的耐久性和行车舒适性。上述问题在国内外普遍存在，已到了迫切需要解决的程度。

为解决上述技术难题，经过长期研究，本规范编制者提出了钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面新体系。大量理论、试验研究及多座桥实桥运用证明，该新体系抗裂能力强、耐久性好、操作和实施简便、造价合理、全寿命期费用低，能较好地解决传统钢桥面的病害难题。

本规范是在经过 5 年科学研究和实桥应用后编写完成的。本规范的编写，借鉴了国内外相关规范、规程相关内容。

本文件的发布机构提请注意：申明符合本文件时，本规范可能涉及到 ZL201020242873.0；ZL201210521668.1；ZL201110384487.4；ZL201410474441.5 等相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构保证，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案，相关信息可以通过以下联系方式获得。

专利持有人：湖南大学、邵旭东。

地址：湖南省长沙市湖南大学土木工程学院桥梁工程系。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范由湖南中路华程桥梁科技股份有限公司、湖南大学和湖南省交通规划勘察设计院负责对条文的解释，请各单位在执行本规范的过程中，注意总结经验，积累资料，并及时把意见反馈至湖南中路华程桥梁科技股份有限公司（地址：湖南省湘潭经济开发区九华创新创业中心 520 室）或湖南大学桥梁工程系（湖南长沙市岳麓山 湖南大学土木工程学院）。



# 钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范

## 1 范围

本规范规定了钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面（以下简称“轻型组合结构桥面”）的术语和符号、总则、设计和施工。

本规范适用于以轻型组合结构作为桥面的桥梁，包括新建的和桥面大中修的。其它领域的工程可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 8923 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定
- GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB/T 13288 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性
- GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
- GB/T 31387 活性粉末混凝土
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50917—2013 钢-混凝土组合桥梁设计规范
- JC/T 874 水泥用硅质原料化学分析方法
- JG 3019 混凝土试模
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JTG D50 公路沥青路面设计规范
- JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范
- JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

DB43/T 1173—2016

JTG D64-2015 公路钢结构桥梁设计规范  
 JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程  
 JTG E60-2008 公路路基路面现场测试规程  
 JTG/T F30—2014 公路水泥混凝土路面施工技术细则  
 JTG F40 公路沥青路面施工技术规范  
 JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范  
 JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准  
 JTG/T J22—2008 公路桥梁加固设计规范  
 JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范

### 3 术语和符号

下列术语和符号适用于本文件。

#### 3.1 术语

##### 3.1.1

**超高韧性混凝土**(以下简称“STC”) super toughness concrete (STC)

由水泥、矿物掺合料、细集料、钢纤维和减水剂等材料或由上述材料制成的干混料先加水拌合，再经凝结硬化后形成的一种具有高抗弯强度、高韧性、高耐久性的水泥基复合材料，简称 STC。

##### 3.1.2

**轻型组合结构桥面** lightweight composite structure deck

轻型组合结构桥面主要由正交异性钢桥面板、STC 层、粘结层及面层组成，如图 1 所示。

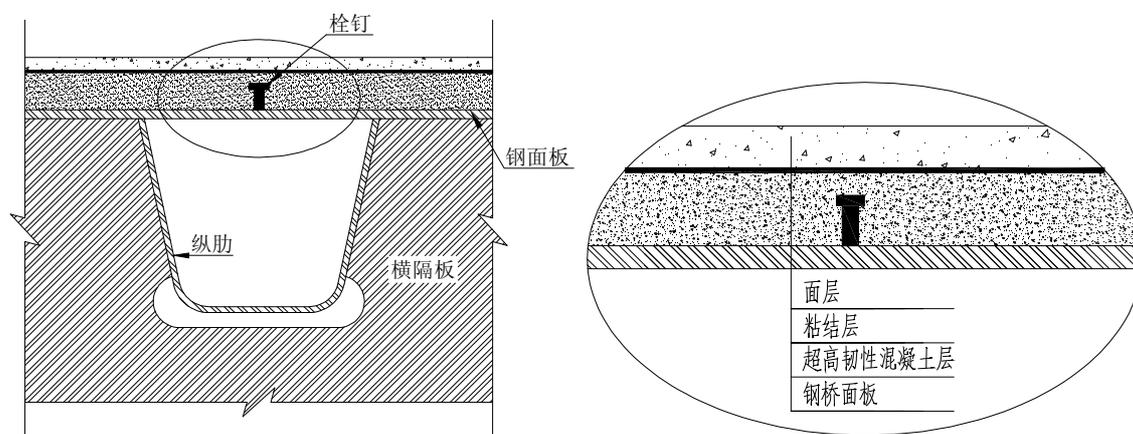


图 1 轻型组合结构桥面示意图

##### 3.1.3

**主结构上层** main structure upper course

主结构上层由 STC 层、栓钉和钢筋网组成，起主要承重和防水作用。如图 2 所示。

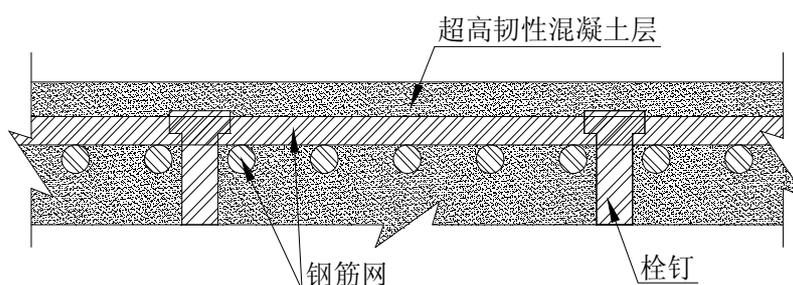


图 2 主结构上层示意图

## 3.1.4

**粘结层 bonding layer**

介于主结构上层与面层之间，起到粘结作用的薄层构造，宜采用改性沥青质材料。

## 3.1.5

**面层 surface course**

位于轻型组合结构桥面顶面的行车铺装层，简称面层。

## 3.1.6

**钢纤维 steel fiber**

用钢质材料加工制成的短纤维。

## 3.1.7

**钢纤维体积率 steel fiber volume fraction**

在 STC 中，钢纤维所占的体积百分数。

## 3.1.8

**高温蒸汽养护 steam treating**

浇注的 STC 在高温、蒸汽环境中持续养护一段时间后达到强度等级，这一养护过程称为高温蒸汽养护。

## 3.1.9

**栓钉 shear stud**

栓钉又名剪力钉，起到连接钢板与 STC 层的作用。

## 3.1.10

**接缝 joint**

接缝包括施工接缝、边界接缝和 STC 破损修补接缝。

施工接缝指为满足 STC 在大跨、宽幅桥面上的分块与分幅施工，或满足轻型组合结构桥面的节段拼装施工，在不同施工单元间设置的连接结构。

边界接缝指在 STC 与四周相邻结构物之间所设置的连接结构。

STC 破损修补接缝是指轻型组合结构桥面在使用过程中 STC 层局部破损时，新浇 STC 与原 STC 之间所设置的连接接缝。

## 3.2 符号

## 3.2.1 材料相关性能符号

STC22——抗弯拉强度标准值为 22 MPa 的 STC；

$E_c$ ——STC 的抗压/抗拉弹性模量；

DB43/T 1173—2016

- $E_s$ ——钢材的弹性模量；  
 $E_r$ ——钢筋的弹性模量；  
 $G_c$ ——STC 的剪切性模量；  
 $G_s$ ——钢材的抗剪弹性模量；  
 $f_{ck} \boxtimes_{cd}$ ——不配筋 STC 的轴心抗压强度标准值、设计值；  
 $f_{cu,k}$ ——边长 100mm 的 STC 立方体抗压强度标准值；  
 $f_{fk} \boxtimes_{fd}$ ——STC 抗弯拉强度标准值、设计值；  
 $f_{td}$ ——不配筋 STC 的轴心抗拉强度设计值；  
 $e_{crack,d}$ ——不配筋 STC 的轴心受拉初裂应变设计值；  
 $e_{td}$ ——不配筋 STC 的轴心受拉极限应变设计值；  
 $f_t^r$ ——配筋 STC 的名义弯拉应力容许值；  
 $f_{t,joint}^r$ ——接缝处配筋的 STC 的名义弯拉应力容许值；  
 $f_y$ ——钢材的屈服强度；  
 $f_d$ ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；  
 $f_{nd}$ ——钢材抗剪强度设计值；  
 $f_{ccd}$ ——钢材断面承压强度设计值；  
 $f_{stud}^y$ 、 $f_{stud}$ ——栓钉的屈服强度和抗拉强度；  
 $f_{sk}$ 、 $f_{sd}$ ——普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；  
 $f'_{sk}$ 、 $f'_{sd}$ ——普通钢筋抗压强度标准值、设计值；  
 $[\Delta S_c]$ ——STC 的疲劳容许应力幅；  
 $[\Delta S_s]$ ——钢结构构件或构造细节的疲劳容许应力幅。

### 3.2.2 作用和作用效应有关符号

- $M$ ——弯矩设计值；  
 $N_s$ ——计算荷载下单个剪力连接件所承受的剪力；  
 $N_n^c$ ——剪力连接件的抗剪承载力设计值；  
 $V$ ——剪力设计值；  
 $s_c$ ——STC 层的应力；  
 $s_s$ ——钢主梁应力；  
 $\Delta S_c$ ——STC 层的疲劳应力幅；  
 $\Delta S_s$ ——钢主梁构件或构造细节处的疲劳应力幅。

### 3.2.3 几何参数有关符号

- $A_c$ ——STC 层的截面面积；

$A_s$ ——钢主梁的截面面积；  
 $A_{sc}$ ——钢主梁受压区的截面面积；  
 $A_{st}$ ——钢主梁受拉区的截面面积；  
 $A_r$ ——正弯矩区 STC 层有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积；  
 $A_{rt}$ ——负弯矩区 STC 层有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积；  
 $A_{stud}$ ——栓钉的钉杆截面面积；  
 $H$ ——组合梁截面高度；  
 $L$ ——组合梁计算跨度；  
 $I_0$ ——组合梁截面的换算截面惯性矩；  
 $b_c$ ——STC 层的有效宽度；  
 $h_c$ ——STC 层的厚度；  
 $l_{d,t}$ ——栓钉纵向间距；  
 $l_{d,t}$ ——栓钉横向间距。

### 3.2.4 计算系数及其他有关符号

$g_F$ ——疲劳荷载分项系数；  
 $g_M$ ——疲劳抗力分项系数；  
 $m$ ——荷载冲击系数。

## 4 总则

- 4.1 本规范中轻型组合结构桥面的钢梁系指含有正交异性钢桥面板的钢主梁。钢主梁的形式多为钢箱梁、钢桁梁等。
- 4.2 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按照分项系数的设计表达式进行设计。
- 4.3 轻型组合结构桥面设计基准期与主体桥梁结构一致。
- 4.4 面层根据不同的材料类型，采用相应的设计寿命。
- 4.5 轻型组合结构桥面工程的设计、施工、检验及验收除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关规范的规定。

## 5 原材料

### 5.1 STC

- 5.1.1 STC 的组成部分包括水泥、粉煤灰、矿渣、硅灰、石英砂、石英粉、钢纤维、减水剂和水等，其中水胶比宜为 0.16~0.22。
- 5.1.2 宜采用 42.5 级以上硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥应符合 GB 175《通用硅酸盐水泥》的规定。
- 5.1.3 粉煤灰应符合 GB/T 1596《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》的规定，粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》的规定，硅灰应符合 GB/T 27690《砂浆和混凝土

DB43/T 1173—2016

土用硅灰》的规定。宜采用 I 级粉煤灰、S95 等级以上的粒化高炉矿渣粉。当采用其它矿物掺合料时，应通过试验进行验证，确定 STC 性能满足工程应用要求后方可使用。

5.1.4 骨料应为单粒级石英砂，石英砂和石英粉技术指标应符合表 1 的规定。

表 1 石英砂和石英粉技术指标

项目	技术指标
二氧化硅含量 (%)	≥95
氯离子含量 (%)	≤0.02
硫化物及硫酸盐含量 (%)	≤0.50
云母含量 (%)	≤0.50

5.1.5 石英砂和石英粉应符合下列规定：

- 筛分试验应符合 JGJ 52《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的规定；
- 二氧化硅含量检验应符合 JC/T 874《水泥用硅质原料化学分析方法》的规定；
- 氯离子含量、硫化物及硫酸盐含量、云母含量检验应符合 JGJ 52《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的规定。

5.1.6 石英砂分为粗粒径砂(1.25 mm~0.63 mm)、中粒径砂(0.63 mm~0.315 mm)和细粒径砂(0.315 mm~0.16 mm)三个粒级。不同粒级石英砂的超粒径颗粒含量限制值应符合表 2 的规定。石英粉中公称粒径小于 0.16 mm 的颗粒的体积比例应大于 95%。

表 2 不同粒级石英砂的超粒径颗粒含量

粒级要求	1.25 mm~0.63 mm 粒级		0.63 mm~0.315 mm 粒级		0.315 mm~0.16 mm 粒级	
	≥1.25 mm	<0.63 mm	≥0.63 mm	<0.315 mm	≥0.315 mm	<0.16 mm
超粒径颗粒含量%	≤5	≤10	≤5	≤10	≤5	≤5

5.1.7 宜选用高性能减水剂，减水剂的减水率宜大于 30%。减水剂应符合 GB 8076《混凝土外加剂》和 GB 50119《混凝土外加剂应用技术规范》的规定。

5.1.8 掺用改善拌合物和 STC 性能的其他混凝土外加剂时，其性能应符合国家相关标准的规定；且应通过试验，确定 STC 性能满足工程应用要求后方可使用。

5.1.9 拌合用水应符合 JGJ 63《混凝土用水标准》的规定。

5.1.10 钢纤维应采用镀铜高强度纤维，其性能指标应符合表 3 的规定。钢纤维的性能检验应按附录 A 的规定进行。

表 3 钢纤维的性能指标

项目	性能指标
抗拉强度 (MPa)	≥1600
长度(12 mm~14 mm 或 6 mm~8 mm 体积含量) (%)	≥96
直径(0.18 mm~0.22 mm 或 0.12 mm~0.16 mm 纤维比例) (%)	≥90
形状合格率 (%)	≥96
杂质含量 (%)	≤1.0
注 1: 50 根试样的长度平均值应在 12mm~14mm 或 6mm~8mm 范围内；	
注 2: 50 根试样的直径平均值应在 0.18mm~0.22mm 或 0.12mm~0.16mm 范围内。	

- 5.1.11 配筋对改善 STC 基本力学特性的作用显著，STC 的强度等级应按照配筋和不配筋进行区分。
- 5.1.12 不配筋 STC 的强度等级应按抗弯拉强度划分，各个等级中 STC 的抗弯拉强度、抗压强度的标准值和设计值应按表 4 采用。

表 4 不配筋 STC 强度标准值和设计值

强度等级	抗弯拉强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)		
	标准值 $f_{td}$	设计值 $f_{fd}$	立方体抗压强度 标准值 $f_{cuk}$	轴心抗压强度 标准值 $f_{ck}$	设计值 $f_{cd}$
STC22	22	15.2	120	77.4	53.4
STC25	25	17.2	140	90.3	62.3
STC28	28	19.3	160	103.2	71.2

- 5.1.13 STC 具有轴拉应变硬化特性。不配筋 STC22、STC25、STC28 的轴拉强度设计值分别取为 7 MPa、8 MPa、9 MPa，极限拉应变设计值取固定值 3000。但初裂应变应根据轴拉应力强度设计值和本规范 5.1.17 规定的 STC 弹性模量确定。各强度等级下，STC 的轴拉应力-应变曲线如图 3 所示。

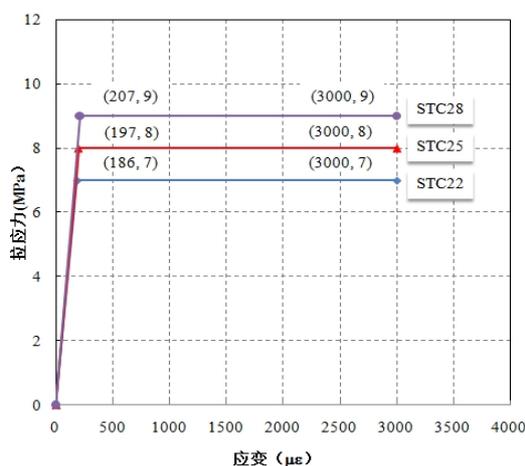


图 3 不配筋 STC 的轴拉应力-应变曲线

- 5.1.14 密配筋对于提高 STC 抗拉强度具有显著效果。当带 U 肋的正交异性板钢面板厚 12mm，STC 层厚度为 35 mm~50 mm，横桥向配筋（位于上层，净保护层厚 15 mm）、纵桥向配筋（位于下层）直径为 10 mm 时，各强度等级下，配筋 STC 的名义弯拉应力容许值可按表 5 取值。

表 5 各强度等级下配筋 STC 的名义弯拉应力容许值

强度等级	钢筋间距 (mm)	名义弯拉应力容许值 $f_t^r$ (MPa)
STC22	67	16.8
	50	19.0
	40	22.7
	33	26.7
STC25	67	19.5
	50	21.7
	40	25.4
	33	29.4

表5 各强度等级下配筋 STC 的名义弯拉应力容许值 (续)

强度等级	钢筋间距 (mm)	名义弯拉应力容许值 $f_t^r$ (MPa)
STC28	67	22.2
	50	24.4
	40	28.1
	33	31.5

5.1.15 当施工中需要对 STC 进行分跨、分幅或分段浇筑时,应在先浇-后浇连接位置设置接缝。接缝处 STC 的名义弯拉应力容许值可按按表 5 中配筋 STC 名义弯拉应力容许值的 0.65 倍取值,如表 6 所示。

表6 各强度等级下 STC 接缝的名义弯拉应力容许值

强度等级	钢筋间距 (mm)	名义弯拉应力容许值 $f_{t,joint}^r$ (MPa)
STC22	67	10.9
	50	12.4
	40	14.8
	33	17.4
STC25	67	12.7
	50	14.1
	40	16.5
	33	19.1
STC28	67	14.4
	50	15.9
	40	18.3
	33	20.5

5.1.16 STC 的抗剪强度可通过试验确定。当无试验资料时,可按下式计算取值:

$$t_c = g f_{ck} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

$t_c$ —STC 的抗剪强度 (MPa);

$g$ —计算系数,一般取 0.095~0.121,本规范建议取 0.095;

$f_{ck}$ —不配筋 STC 的轴心抗压强度标准值 (MPa)。

5.1.17 STC 的抗压/抗拉弹性模量应采用 100 mm×100 mm×300 mm 的试件,按 GB/T 50081《普通混凝土力学性能试验方法标准》或 JTG E30《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》要求,通过试验确定。

当无试验资料时,可按下列式计算取值:

$$E_c = 3435.6 \sqrt{f_{cu,k}} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

$E_c$ —STC 的抗压/抗拉弹性模量 (MPa);

$f_{cu,k}$ —不配筋 STC 的立方体抗压强度标准值 (MPa)。

将表 4 所示不同强度等级 STC 的立方体抗压强度标准值代入公式 (2) 可得 STC 的抗压/抗拉弹性模量如表 7 所示。

表 7 不同强度等级 STC 的弹性模量

STC 强度等级	STC22 (GPa)	STC25 (GPa)	STC28 (GPa)
抗压/抗拉弹性模量	37.6	40.7	43.5

5.1.18 STC 的剪切模量可按下式计算取值:

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+m_c)} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$G_c$ —STC 的剪切模量;

$E_c$ —STC 的抗压/抗拉弹性模量;

$m_c$ —STC 的泊松比, 按照本规范第 5.1.19 条取值。

5.1.19 STC 的泊松比  $m_c$  可取为 0.2; STC 的温度线膨胀系数  $\alpha_c$  可取为  $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

5.1.20 在不同养护条件下, STC 的收缩应变和徐变系数按表 8 取值。

表 8 STC 的收缩应变和徐变系数

养护条件	收缩应变/ $\mu\epsilon$	徐变系数
高温蒸汽养护后	0	0.2
自然养护 (相对湿度 50%~70%)	550	0.8

5.1.21 钢筋在 STC 内的锚固长度的取值应符合以下规定:

——当钢筋达到其屈服强度时, 锚固长度为  $6d_r$ , 其中  $d_r$  为钢筋的公称直径;

——当钢筋达到其极限强度时, 锚固长度为  $9d_r$ , 其中  $d_r$  为钢筋的公称直径。

## 5.2 钢材

5.2.1 轻型组合结构桥面中的钢主梁应按结构形式、受力特点、连接方式及其所处环境条件等因素合理选用钢材的牌号和等级。

5.2.2 轻型组合结构桥面的钢材可采用 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢, 其质量应分别符合 GB/T 700《碳素结构钢》和 GB/T 1591《低合金高强度结构钢》的规定。

5.2.3 焊接材料应与主体钢材相匹配, 其质量应符合 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》第 3.1.12 的规定。

5.2.4 钢材的强度设计值应符合 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》中 3.2.1 的规定。

5.2.5 焊缝的强度设计值应符合 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》中 3.2.3 的规定。

5.2.6 栓钉应符合 GB/T 10433《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》的规定。

5.2.7 钢材的物理性能指标应符合 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》中 3.2.7 的规定。

5.2.8 STC 中的普通钢筋宜选用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 和 RRB400 钢筋, 并应符合 GB 1499.2《钢筋混凝土用钢 第 2 部分: 热轧带肋钢筋》的规定。

5.2.9 普通钢筋的抗拉强度标准值应具有不小于 95%的保证率, 其抗拉强度标准值、抗拉/抗压强度设计值、弹性模量按 GB 50917—2013《钢-混凝土组合桥梁设计规范》中 3.3.2、3.3.3 和 3.3.4 的规定

DB43/T 1173—2016

采用。

### 5.3 防腐材料

5.3.1 轻型组合结构桥面中的防腐涂装材料质量应符合 JT/T 722《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》的规定。

### 5.4 养生材料

5.4.1 STC 层保湿养护用的节水保湿养护膜应由高分子吸水保水树脂和不透水塑料面膜制成，其质量应符合 JTG/T F30—2014《公路水泥混凝土路面施工技术细则》中 3.11.3 规定。

5.4.2 高温期施工时，宜选用白色反光面膜的节水保湿养护膜；低温期施工时，宜选用黑色或蓝色吸热面膜的产品。

## 6 设计

### 6.1 基本要求

#### 6.1.1 一般规定

6.1.1.1 结构设计分析采用的模型和基本假定，应能反映结构实际受力状态，其精度应能满足结构设计要求。

6.1.1.2 在结构分析中，应考虑环境对构件和结构性能的影响。

6.1.1.3 结构动力分析应考虑以下因素：

- 所有相关的结构构件质量、刚度和阻尼特性；
- 模型的边界条件应反映结构的固有特性。

6.1.1.4 轻型组合结构桥面桥梁应对其构件及连接件进行下列验算：

- 应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计；
- 应根据不同种类的作用及其对桥梁的影响、桥梁所处的环境条件，考虑以下四种设计状况，进行极限状态设计：
  - 持久状况应进行承载力极限状态和正常使用极限状态设计；
  - 短暂状况应作承载能力极限状态设计，可根据需要进行正常使用极限状态设计；
  - 偶然状况应作承载能力极限状态设计；
  - 地震状况应作承载能力极限状态设计。
- 应对轻型组合结构桥面进行抗疲劳设计。

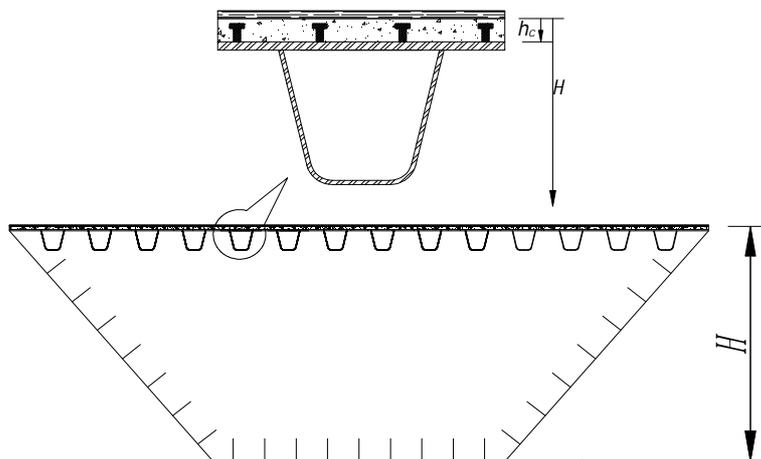
6.1.1.5 轻型组合结构桥面的荷载组合应符合以下要求：

- 按承载能力极限状态设计时，对持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合，对偶然设计状况应采用作用的偶然组合，对地震设计状况应采用作用的地震组合，具体应符合 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中 4.1.5 的规定；
- 按正常使用极限状态设计时，应根据不同的设计要求，采用作用的频遇组合或准永久组合，具体应符合 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中 4.1.6 的规定；
- 进行抗疲劳设计时，除特别指明者外，各作用应采用标准值，作用分项系数应取为 1.0。

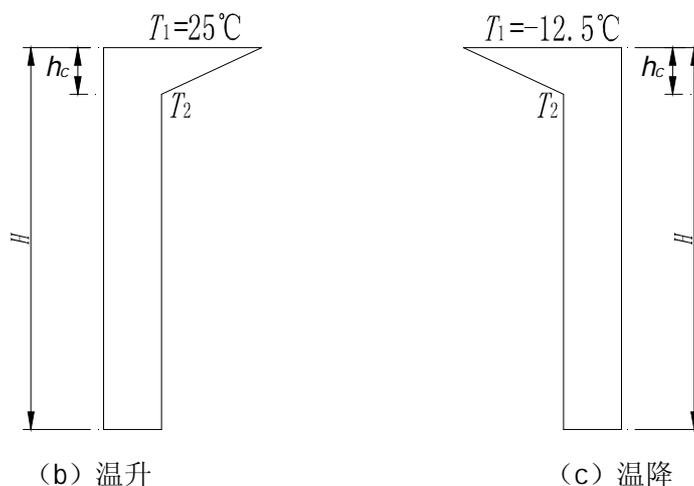
6.1.1.6 轻型组合结构桥面中，STC 层的有效宽度应按 GB 50917—2013《钢-混凝土组合桥梁设计规范》中 4.1.5 的规定取值。

6.1.1.7 轻型组合结构桥面的温度作用应按下列规定计算：

- 计算轻型组合结构桥面由于均匀温度作用引起的效应时，应从受到约束时的结构温度开始，计算环境最高和最低有效温度的作用效应。当缺乏实际调查资料时，最高和最低有效温度标准值宜按 JTG D60 《公路桥涵设计通用规范》取值。材料线膨胀系数应按本规范 5.1.19 的规定取值；
- 计算轻型组合结构桥面由于梯度温度引起的效应时，应采用图 4 所示的竖向温度梯度分布形式。温度梯度取值按照式（4）进行。



(a) 断面尺寸示意



(b) 温升

(c) 温降

说明：

$h_c$ ——STC 层的厚度； $H$ ——组合截面全高。

图 4 温度梯度计算图示

- 温升时， $T_2$  按照下式计算：

$$T_2 = 25 - \frac{25 - 6.7}{100} h_c \dots\dots\dots (4-1)$$

式中：

$h_c$ ——STC 层的厚度 (mm)。

- 温降时， $T_2$  按照下式计算：

DB43/T 1173—2016

$$T_2 = -12.5 - \frac{-12.5 + 3.3}{100} h_c \dots\dots\dots (4-2)$$

式中：

$h_c$ ——STC 层的厚度 (mm)。

6.1.1.8 轻型组合结构桥面的设计计算除应符合本规范的规定外，尚应符合现行标准 GB 50917《钢-混凝土组合桥梁设计规范》、JTG D64《公路钢结构桥梁设计规范》、JTG D62《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中的相关规定。

6.1.1.9 面层的设计应按相应规范实施。

6.1.1.10 轻型组合结构桥面的设计流程如图 5 所示：

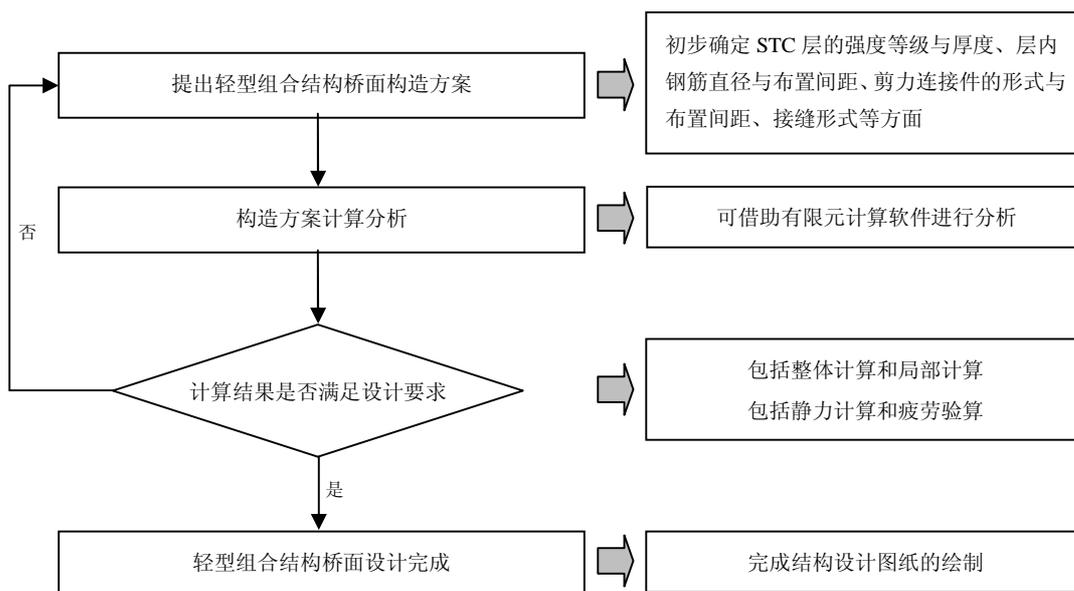


图 5 轻型组合结构桥面设计流程示意图

6.1.1.11 轻型组合结构桥面的设计内容主要包含：

- 确定 STC 层的强度等级与厚度、层内钢筋直径与布置间距、钢-STC 结合面剪力连接件的形式及布置间距；
- 确定轻型组合结构桥面中正交异性钢桥面板的构造，如面板厚度，纵肋、横隔形式与间距，构造细节形式等，该部分与传统正交异性钢桥面板的设计内容相同；
- 确定轻型组合结构桥面中的接缝形式。

## 6.1.2 承载能力极限状态计算

6.1.2.1 轻型组合结构桥面桥梁的安全等级应根据结构的重要性、结构破坏可能产生的严重性按表 9 采用。

表9 桥梁的安全等级

安全等级	破坏后果	适用对象
一级	很严重	(1) 各等级公路上的特大桥、大桥、中桥； (2) 高速公路、一级公路、二级公路、国防公路及城市附近交通繁忙公路上的小桥
二级	严重	三、四级公路上的小桥

注1: 表中所列特大、大、中桥等系按行业标准JTG D60-2015《公路桥涵设计通用规范》的表1.0.5中的单孔跨径确定, 对多跨不等跨桥梁, 以其中最大跨径为准。  
注2: 对有特殊要求的桥梁, 其设计安全等级可根据具体情况另行确定。

6.1.2.2 轻型组合结构桥面的承载能力极限状态应按下列式计算:

$$g_0 S_{ud} \leq R \quad (5)$$

式中:

$g_0$ —桥梁的重要性系数, 按本规范表9规定的桥梁设计安全等级采用, 对应于设计安全等级一级、二级分别取用1.1、1.0;

$S_{ud}$ —作用效应的组合设计值, 对于汽车荷载效应应计入冲击系数;

$R$ —构件承载力设计值。

6.1.2.3 当对轻型组合结构桥面桥梁进行截面承载力、整体稳定、剪力连接件承载力计算时, 作用(或荷载)的效应组合应采用JTG D60《公路桥涵设计通用规范》中的基本组合; 当进行倾覆稳定计算和疲劳验算时, 作用的效应组合应采用标准组合。

6.1.2.4 轻型组合结构桥面桥梁的抗倾覆稳定计算应按照GB 50917—2013《钢-混凝土组合桥梁设计规范》中4.5的规定进行。

### 6.1.3 正常使用极限状态验算

6.1.3.1 轻型组合结构桥面的正常使用极限状态应采用下列式进行验算:

$$S_{sd} \leq C \quad (6)$$

式中:

$S_{sd}$ —正常使用极限状态作用(或荷载)组合的效应设计值;

$C$ —结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力和裂缝宽度等的限值。

6.1.3.2 轻型组合结构桥面的正常使用极限状态应符合下列规定:

——对短期挠度验算及STC层抗裂验算, 作用(或荷载)应采用JTG D60《公路桥涵设计通用规范》中频遇组合; 对长期挠度验算, 作用(或荷载)应采用JTG D60《公路桥涵设计通用规范》中准永久组合; 计算值不得超过本规范规定的各相应限值;

——应力验算的作用(或荷载)应采用标准组合。其中, 汽车荷载应计入冲击系数;

——对连续梁等超静定结构, 尚应计入由STC收缩(当未采用高温蒸汽养护时)、徐变、基础不均匀沉降以及温度变化等引起的次效应。

6.1.3.3 轻型组合结构桥面的挠度应符合下列规定:

——由汽车荷载(不计冲击力)所引起简支或连续梁的竖向挠度, 不应超过计算跨径的1/600; 梁悬臂端部的竖向挠度不应超过悬臂长度的1/300;

——当结构自重和静活载产生的挠度超过计算跨径的1/1600时, 桥梁结构应设置预拱度, 其值等于结构重力和1/2静活载所产生的竖向挠度和, 预拱度线形应采用平顺曲线;

——对于临时或特殊结构, 其竖向挠度容许值可与有关部门协商确定。

6.1.3.4 轻型组合结构桥面的局部稳定应符合GB 50917—2013《钢-混凝土组合桥梁设计规范》6.4

DB43/T 1173—2016

的要求。

6.1.3.5 轻型组合结构桥面中 STC 层顶面的最大裂缝宽度限定为 0.05 mm，设计中应对 STC 层进行抗裂验算。

#### 6.1.4 持久状况及短暂状况应力验算

6.1.4.1 对短暂状况的设计，应计算构件在制作、运输及安装等施工阶段由自重、施工荷载引起的应力，并不应超过本节规定的限制。施工荷载除有特别规定外，均采用标准组合；温度作用效应可按施工时实际温度场取值；动力安装设备产生的效应应乘以相应的动力系数。

6.1.4.2 持久状况下，轻型组合结构桥面的应力验算应符合下列规定：

- STC 层正截面的最大压应力不宜大于  $0.50 f_{ck}$ ；
- 钢结构应力不应大于 75% 的强度设计值，且应满足稳定的要求。

6.1.4.3 短暂状况下，轻型组合结构桥面的应力验算应符合下列规定：

- STC 层正截面的最大压应力不宜大于  $0.70 f_{ck}$ ；
- 钢结构应力不应大于 80% 的强度设计值，且应满足稳定的要求。

#### 6.1.5 疲劳验算

6.1.5.1 疲劳验算的目的是确保轻型组合结构桥面在设计寿命期内不会出现由疲劳开裂引起的问题，并降低运营中对构件和疲劳细节的疲劳检测和维护频率。

6.1.5.2 轻型组合结构桥面的疲劳验算应采用容许应力幅法，应力应按弹性状态计算。容许疲劳应力幅应按构造细节分类以及应力循环次数确定。疲劳验算的方法和细则应符合本规范 6.2.4 的规定。

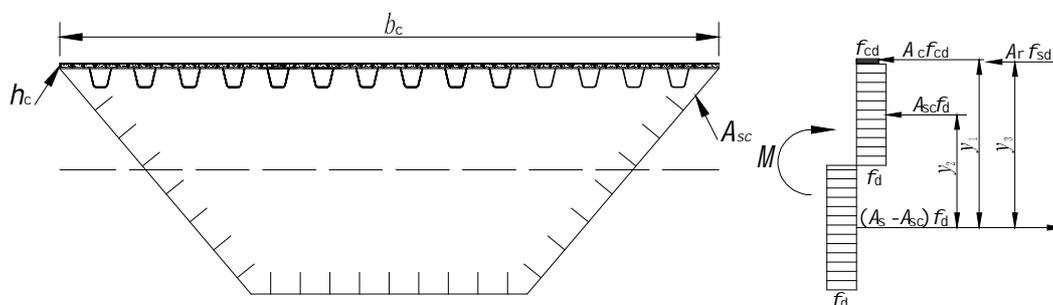
### 6.2 承载能力极限状态设计

#### 6.2.1 抗弯承载力计算

6.2.1.1 采用塑性设计方法计算轻型组合结构桥面强度时，在下列部分可不计及弯矩和剪力的相互影响：

- 受正弯矩作用的轻型组合结构桥面截面；
- 受负弯矩作用且  $A_r f_{sd}$  不小于  $0.15 A_s f_d$  的轻型组合结构桥面截面（ $A_r$  为负弯矩区 STC 桥面板有效宽度范围内纵向钢筋的截面面积， $f_{sd}$  为普通钢筋的抗拉强度设计值， $A_s$  为钢主梁截面面积， $f_d$  为钢材的抗压或抗拉强度设计值）。

6.2.1.2 采用塑性设计方法设计正弯矩区轻型组合结构桥面的抗弯承载力时，由于 STC 层较薄，一般情况下均能满足  $A_c f_{cd} + A_r f_{sd} < A_s f_d$ ，因此，塑性中和轴始终在钢主梁截面内，如图 6 所示。抗弯承载力应符合下列公式要求：



说明：

$h_c$ —STC 层的厚度； $b_c$ —STC 层的有效宽度。

图 6 正弯矩塑性极限状态下，组合梁截面及应力图形

$$g_0 M \leq M_u = A_c f_{cd} y_1 + A_{sc} f_d y_2 + A_r f_{sd} y_3 \dots\dots\dots (7-1)$$

$$A_{sc} = \frac{A_s f_d - A_c f_{cd} - A_r f_{sd}}{2 f_d} \dots\dots\dots (7-2)$$

式中：

$g_0$ ——桥梁结构重要性系数，按本规范6.1.2.2的规定取值；

$M$ ——正弯矩设计值（N·mm）；

$M_u$ ——截面正弯矩承载力设计值（N·mm）；

$A_c$ ——STC层的截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$A_{sc}$ ——钢主梁受压区的截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$A_r$ ——正弯矩区STC层有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$A_s$ ——钢主梁的截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$y_1$ ——STC层截面形心至钢主梁受拉区截面形心的距离（mm）；

$y_2$ ——钢主梁受压区截面形心至钢主梁受拉区截面形心的距离（mm）；

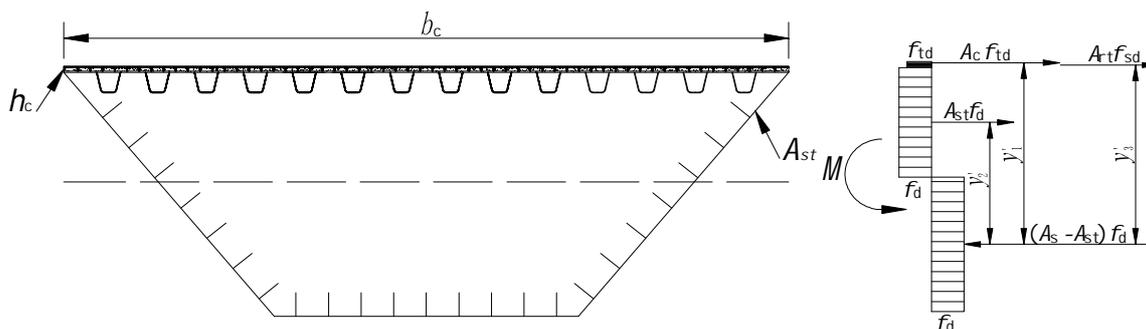
$y_3$ ——STC层内钢筋截面形心至钢主梁受拉区截面形心的距离（mm）；

$f_{cd}$ ——STC的抗压强度设计值（MPa）；

$f_d$ ——钢材的抗拉强度设计值（MPa）；

$f_{sd}$ ——STC桥面板内纵向钢筋的抗拉强度设计值（MPa）。

6.2.1.3 采用塑性设计方法设计负弯矩区轻型组合结构桥面的抗弯承载力时，由于STC层较薄，一般情况下均能满足  $A_c f_{td} + A_r f_{sd} < A_s f_d$ ，因此，塑性中和轴在钢主梁截面内，如图7所示。抗弯承载力应符合下列公式要求：



说明：

$h_c$ ——STC层的厚度； $b_c$ ——STC层的有效宽度

图7 负弯矩塑性极限状态下，组合梁截面及应力图形

$$g_0 M' \leq M'_u = A_c f_{td} y'_1 + A_{st} f_d y'_2 + A_r f_{sd} y'_3 \dots\dots\dots (8-1)$$

$$A_{st} = \frac{A_s f_d - A_c f_{td} - A_r f_{sd}}{2 f_d} \dots\dots\dots (8-2)$$

DB43/T 1173—2016

式中:

 $g_0$  ——桥梁结构重要性系数,按本规范6.1.2.2的规定取值; $M'$  ——负弯矩设计值(N·mm); $M'_u$  ——截面负弯矩承载力设计值(N·mm); $A_c$  ——STC层的截面面积(mm<sup>2</sup>); $A_{st}$  ——钢主梁受拉区的截面面积(mm<sup>2</sup>); $A_{rt}$  ——负弯矩区STC层有效宽度范围内的纵向钢筋截面面积(mm<sup>2</sup>); $A_s$  ——钢主梁的截面面积(mm<sup>2</sup>); $y_1'$  ——STC层截面形心至钢主梁受压区截面形心的距离(mm); $y_2'$  ——钢主梁受拉区截面形心至钢主梁受压区截面形心的距离(mm); $y_3'$  ——STC层内钢筋截面形心至钢主梁受压区截面形心的距离(mm); $f_{td}$  ——STC层的轴拉强度设计值(MPa); $f_d$  ——钢材的抗拉强度设计值(MPa); $f_{sd}$  ——STC层内纵向钢筋的抗拉强度设计值(MPa)。

### 6.2.2 抗剪承载力计算

6.2.2.1 轻型组合结构桥面的抗剪承载力可采用下式计算:

$$g_0 V \leq h_w t_w f_{vd} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

 $V$  ——剪力设计值(N); $h_w$  ——钢主梁腹板高度(mm); $t_w$  ——钢主梁腹板厚度(mm); $f_{vd}$  ——钢材的抗剪强度设计值(MPa)。

6.2.2.2 轻型组合结构桥面承受弯矩和剪力共同作用时,应按下列规定验算腹板最大折算应力:

$$\sqrt{s^2 + 3t^2} \leq 1.1f_d \dots\dots\dots (10)$$

式中:

 $s$ 、 $t$  ——钢主梁腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力(MPa); $f_d$  ——钢材抗拉强度设计值(MPa)。

### 6.2.3 整体稳定计算

6.2.3.1 在轻型组合结构桥面中,当钢桥面板的纵向加劲肋采用闭口肋时,无须进行整体稳定计算。当加劲肋为开口肋时(如倒T型钢、角钢等形式),若开口纵向加劲肋受压翼缘的自由长度 $l_1$ 与其总宽度的比值超过了表10规定的数值时,应进行整体稳定计算。

表 10 开口纵向加劲肋不需要计算稳定的最大  $l_1/b_1$  值

钢 种	跨中无侧向支承点的梁	跨中有侧向支承点的梁
Q235q、Q235	13.0	16.0
Q345q、Q345	10.5	13.0
Q370q、Q390	10.0	12.5
Q420q、Q420	9.5	12.0

注 1:  $l_1$  为受压翼缘侧向支点间的距离, 即两道相邻横隔板的间距;  
注 2:  $b_1$  为开口纵向加劲肋受压翼板的宽度。

6.2.3.2 施工阶段的轻型组合结构桥面, 在 STC 层未硬化前, 应对钢主梁进行整体稳定计算。

6.2.3.3 钢主梁与 STC 层结合后, 当受负弯矩作用的轻型组合结构桥面需要进行整体稳定计算时, 其整体稳定可按下列公式进行计算:

$$g_0 M_d \leq c_{LT} M'_u \quad \dots\dots\dots (11-1)$$

$$c_{LT} = \frac{1}{f_{LT} + \sqrt{f_{LT}^2 - \bar{I}_{LT}^2}} \text{ 且 } c_{LT} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (11-2)$$

$$f_{LT} = 0.5[1 + a_{LT}(\bar{I}_{LT}^2 - 0.2) + \bar{I}_{LT}^2] \quad \dots\dots\dots (11-3)$$

$$\bar{I}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad \dots\dots\dots (11-4)$$

$$M_{Rk} = W_n f_y \quad \dots\dots\dots (11-5)$$

式中:

$M_d$  ——轻型组合结构桥面中弯矩设计值 (N·mm);

$M'_u$  ——按式 (8-1) 和式 (8-2) 计算的轻型组合结构桥面截面抗弯承载力 (N·mm);

$c_{LT}$  ——轻型组合结构桥面侧扭屈曲的折减系数;

$f_{LT}$  ——计算过程中简写符号;

$\bar{I}_{LT}$  ——换算长细比;

$a_{LT}$  ——缺陷系数, 应按表 11 和表 12 取值;

$M_{Rk}$  ——采用材料强度标准值计算的组合梁截面抗弯承载力 (N·mm)。按式 (8-1) 和式 (8-2) 计算取值, 但需将材料的强度设计值替换成材料的强度标准值;

$M_{cr}$  ——轻型组合结构桥面侧扭屈曲弹性临界弯矩 (N·mm), 可按本规范附录 B 进行计算;

$f_y$  ——钢材的屈服强度 (MPa);

$W_n$  ——组合截面的净截面模量 ( $\text{mm}^3$ )。

表 11 缺陷系数

屈曲曲线类型	a	b	c	d
缺陷系数 $a_{LT}$	0.21	0.34	0.49	0.76

表 12 侧向失稳曲线分类

横截面形式	屈曲方向	屈曲曲线类型
轧制 I 形截面	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
焊接 I 形截面	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
其他截面	—	d

#### 6.2.4 疲劳验算

6.2.4.1 承受汽车荷载的结构构件与连接，应进行疲劳验算。验算方法优先考虑按疲劳细节分类的名义应力法，对于应力状态复杂的疲劳细节，可采用热点应力法。

6.2.4.2 疲劳荷载应符合下列规定：

- 疲劳荷载模型 I 采用等效的车道荷载，集中荷载为  $0.7P_k$ ，均布荷载为  $0.3q_k$ 。 $P_k$  和  $q_k$  按公路—I 级车道荷载标准取值；应考虑多车道的影响，横向车道布载系数应按 JTG D60《公路桥涵设计通用规范》的相关规定选用；
- 疲劳荷载模型 II 采用双车模型，两辆模型车轴距与轴重相同，其单车的轴重与轴距满足 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.5.2 条图 5.5.2-1 的要求。加载时，两模型车的中心间距不得小于 40m；
- 疲劳荷载模型 III 采用单车模型，模型车轴载及分布规定满足 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.5.2 条图 5.5.2-2 的要求；
- 当构件和连接不满足疲劳荷载模型 I 验算要求时，应按模型 II 验算；
- 对于轻型组合结构桥面应采用疲劳荷载计算模型 III 验算。

6.2.4.3 验算伸缩缝附近构件时，疲劳荷载应乘以额外的放大系数，放大系数应按 JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.5.3 条的公式进行取值。

6.2.4.4 采用疲劳荷载计算模型 I 时应按下列公式验算：

$$g_{Ff} \Delta s_p \leq \frac{k_s \Delta s_D}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (12-1)$$

$$g_{Ff} \Delta t_p \leq \frac{\Delta t_L}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (12-2)$$

$$\Delta s_p = (1 + \Delta f)(s_{p \max} - s_{p \min}) \dots\dots\dots (12-3)$$

$$\Delta t_p = (1 + \Delta f)(t_{p \max} - t_{p \min}) \dots\dots\dots (12-4)$$

式中：

$g_{Ff}$  ——疲劳荷载分项系数，取 1.0；

$g_{Mf}$  ——疲劳抗力分项系数，对重要构件取 1.35，对次要构件取 1.15；

$k_s$  ——尺寸效应折减系数，按 JTG D64-2015《公路钢结构桥梁设计规范》附录 C 表 C.0.1～表 C.0.9 中给出的公式计算，未说明时，取  $k_s = 1.0$ ；

$\Delta s_p$ 、 $\Delta t_p$ ——按疲劳荷载模型 I 计算得到的正应力幅与剪应力幅 (MPa)；

$\Delta f$ ——放大系数，按本规范 6.2.4.3 的规定取值；

$\Delta s_D$ ——正应力常幅疲劳极限 (MPa)，取值参考本规范 6.2.4.9 和 6.2.4.10 的规定；

$\Delta t_L$ ——剪应力疲劳截止限，取值参考本规范 6.2.4.9 和 6.2.4.10 的规定；

$s_{p\max}$ 、 $s_{p\min}$ ——将疲劳荷载模型 I 按最不利情况加载于影响线得出的最大和最小正应力；

$t_{p\max}$ 、 $t_{p\min}$ ——将疲劳荷载模型 I 按最不利情况加载于影响线得出的最大和最小剪应力。

6.2.4.5 疲劳荷载模型 II 采用以下公式验算。

$$g_{Ff} \Delta s_{E2} \leq \frac{k_s \Delta s_C}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (13-1)$$

$$g_{Ff} \Delta t_{E2} \leq \frac{\Delta t_C}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (13-2)$$

$$\Delta s_{E2} = (1 + \Delta f) g (s_{p\max} - s_{p\min}) \dots\dots\dots (13-3)$$

$$\Delta t_{E2} = (1 + \Delta f) g (t_{p\max} - t_{p\min}) \dots\dots\dots (13-4)$$

式中：

$\Delta s_C$ 、 $\Delta t_C$ ——疲劳细节类别 (MPa)，为对应于  $2.0 \times 10^6$  次常幅疲劳循环的疲劳应力强度，取值参考本规范 6.2.4.9 和 6.2.4.10 的规定；

$\Delta s_{E2}$ 、 $\Delta t_{E2}$ ——按  $2.0 \times 10^6$  次常幅疲劳循环换算得到的常幅常值应力幅 (MPa)；

$g$ ——损伤等效系数， $g = g_1 g_2 g_3 g_4$ ，且  $g \leq g_{\max}$ ，其中  $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $g_4$ 、 $g_{\max}$  按 JTG D64—2015 《公路钢结构桥梁设计规范》附录 D 取值。

6.2.4.6 采用疲劳荷载计算模型 III 时应按下列公式计算：

$$g_{Ff} \Delta s_{E2} \leq \frac{k_s \Delta s_C}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (14-1)$$

$$g_{Ff} \Delta t_{E2} \leq \frac{\Delta t_C}{g_{Mf}} \dots\dots\dots (14-2)$$

$$\left( \frac{g_{Ff} \Delta s_{E2}}{k_s \Delta s_C / g_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{g_{Ff} \Delta t_{E2}}{\Delta t_C / g_{Mf}} \right)^5 \leq 1.0 \dots\dots\dots (14-3)$$

$$\Delta s_{E2} = (1 + \Delta f) g (s_{p\max} - s_{p\min}) \dots\dots\dots (14-4)$$

$$\Delta t_{E2} = (1 + \Delta f) g (t_{p\max} - t_{p\min}) \dots\dots\dots (14-5)$$

6.2.4.7 采用疲劳荷载计算模型 III 时，应按 JTG D64—2015 《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.5.7 条图 5.5.7 考虑车轮在车道上的横向位置概率，加载区域 1 应布置在横向最不利位置。

6.2.4.8 STC 层的疲劳强度应符合以下规定：

——STC 层（含接缝）的疲劳强度以容许等效最大应力水平定义，其中容许等效最大应力水平是指 STC 层的等效最大名义应力与其静力名义弯拉应力容许值之比。500 万次疲劳寿命时 STC 的容

DB43/T 1173—2016

许等效最大应力水平为 0.48，200 万次疲劳寿命时 STC 的容许等效最大应力水平为 0.51。疲劳验算时，STC 的设计等效最大应力水平应按照下式计算：

$$S_{\max}^e = S_{\max} - \frac{5.17}{16.76} S_{\min} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

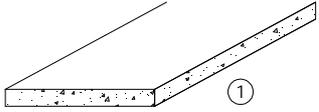
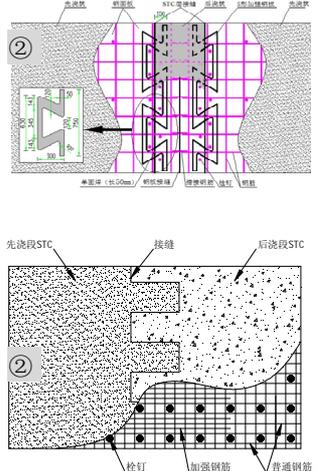
$S_{\max}$ ——STC 中的最大应力水平  $S_{\max} / f_t^r$ ；

$S_{\min}$ ——STC 中的最小应力水平  $S_{\min} / f_t^r$ ；

$f_t^r$ ——配筋 STC 的静力名义弯拉应力容许值。

——以容许等效最大应力水平 0.48 或 0.51 乘以表 5 和表 6 中各等级配筋 STC（含接头）的静力名义弯拉应力容许值，可得 STC 层的疲劳细节分类如表 13 所示。

表 13 STC 层的疲劳细节及分类

500 万次 疲劳强度 (MPa)	200 万次 疲劳强度 (MPa)	细节位置及示意图	细节描述和施工要求
0.48 $f_t^r$	0.51 $f_t^r$	<p style="text-align: center;">STC 层连续区域</p> 	<p style="text-align: center;">①STC 层连续浇筑。</p>
0.48 $f_{t,joint}^r$	0.51 $f_{t,joint}^r$	<p style="text-align: center;">STC 接缝区域</p> 	<p style="text-align: center;">②先浇-后浇交界区域，设置 STC 接缝。</p>

6.2.4.9 钢梁的疲劳强度应符合以下规定：

- 钢梁的疲劳强度应按 JTG D64-2015《公路钢结构桥梁设计规范》第 5.5.8 条图 5.5.8-1 和图 5.5.8-2 的曲线取用；
- 疲劳细节分类按本规范 6.2.4.10 取用。

6.2.4.10 钢梁的疲劳细节分类如表 14～表 16 所示。

表 14 钢梁主要疲劳细节分类：闭口加劲肋

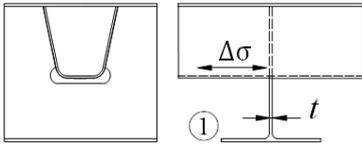
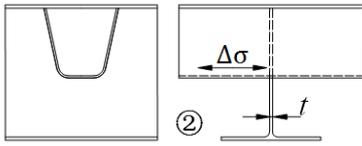
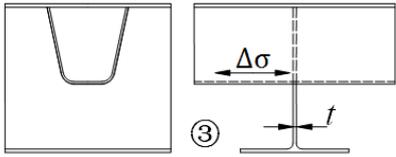
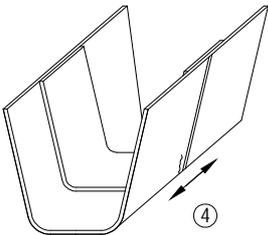
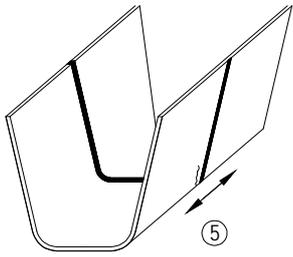
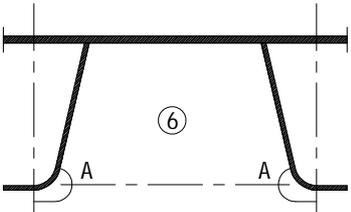
疲劳强度(MPa)		细节位置及示意图	说明	要求
500 万次	200 万次			
58	80	$t \leq 12\text{mm}$		① $\Delta\sigma$ 按上焊缝最下端位置计算
51	70	$t > 12\text{mm}$		
58	80	$t \leq 12\text{mm}$		② $\Delta\sigma$ 按纵肋底端位置计算
51	70	$t > 12\text{mm}$		
25	35		③ 在横梁处中断的纵肋	③ $\Delta\sigma$ 按纵肋底端位置计算
51	70		④ 纵肋接头，带有垫板的全熔透对接焊缝	④ $\Delta\sigma$ 按纵肋底端位置计算
81	110	打磨除去余高		⑤ $\Delta\sigma$ 按纵肋底端位置计算；在对接焊缝内部定位焊
66	90	余高小于 0.1 倍缝宽		
58	80	余高小于 0.2 倍缝宽		
51	70		⑥ 横梁腹板开孔间最不利截面	⑥ $\Delta\sigma$ 应考虑开孔的影响

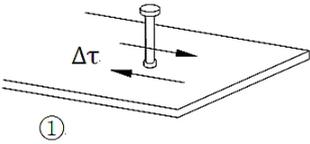
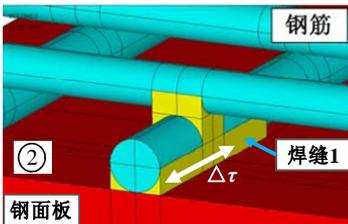
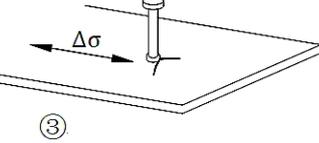
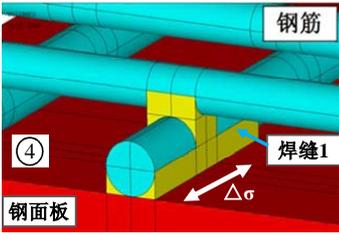
表 14 钢梁主要疲劳细节分类：闭口加劲肋（续）

疲劳强度 (MPa)		细节位置及示意图	说明	要求
500 万次	200 万次			
51	70	<p>⑦</p>	盖板与梯形或V形加劲肋的连接焊缝： ⑦部分熔透焊缝， $a \geq t$	⑦根据板内弯曲引起的正应力幅 $\Delta \sigma$ 验算
36	50	<p>⑧</p>	⑧角焊缝或除细节⑦以外的其他类型部分熔透焊缝	⑧根据板内弯曲引起的正应力幅 $\Delta \sigma$ 验算

表 15 钢梁主要疲劳细节分类：开口加劲肋

疲劳强度 (MPa)		细节位置及示意图	说明	要求
500 万次	200 万次			
58	80	$t \leq 12\text{mm}$	<p>①</p>	①根据纵肋中的正应力幅 $\Delta \sigma$ 评定
51	70	$t > 12\text{mm}$		
40	55	<p>②</p>	②连续纵肋与横梁的连接	②根据等效应力幅 $\Delta S_{eq}$ 评定 $\Delta S_{eq} = \frac{1}{2} (\Delta S + \sqrt{\Delta S^2 + 4\Delta t^2})$

表 16 钢梁主要疲劳细节分类：焊接剪力键

疲劳强度 (MPa)		细节位置及示意图	说明	要求
500 万次	200 万次			
80 (m=8)	90 (m=8)		①钢面板顶面的焊接栓钉剪力键	① $\Delta t$ 按栓钉的名义截面计算
67* (m=5)	80* (m=5)		②钢面板顶面的焊接钢筋网剪力键	② $\Delta t$ 按焊缝 1 的名义截面计算
58	80		③带焊接栓钉的钢面板	③ $\Delta s$ 按钢面板中的应力计算
58	80		④带焊接钢筋网的钢面板	④ $\Delta s$ 按钢面板中的应力计算

6.2.4.11 对非焊接构件以及消除残余应力后的焊接构件，当疲劳荷载为拉-压循环时，应按 0.6 倍折减，应按下式计算：

$$\Delta s_p = s_{p_{\max}} + 0.6 |s_{p_{\min}}| \dots \dots \dots (16)$$

### 6.3 正常使用极限状态设计

#### 6.3.1 一般规定

6.3.1.1 轻型组合结构桥面应根据正常使用极限状态的要求进行短暂状况和持久状况的计算。

6.3.1.2 按持久状况设计时，应对轻型组合结构桥面的截面应力、抗裂性和挠度等进行计算；按短暂状况设计时，仅对轻型组合结构桥面的截面应力进行计算。各项计算值均应满足本规范规定的相应限值。

6.3.1.3 计算轻型组合结构桥面的挠度和应力时应计入施工顺序的影响，并计入 STC 的收缩（当未采用高温蒸汽养护时）、徐变及温度等作用的效应。

6.3.1.4 轻型组合结构桥面弹性阶段的计算可采用下列基本假定：

——钢与 STC 均为理想线弹性体。若考虑 STC 的非线性轴拉应力-应变关系时，可以遵循本规范 5.1.13 的规定；

DB43/T 1173—2016

——组合结构桥面弯曲时，STC 截面与钢主梁截面各自符合平截面假定，材料服从虎克定律。

6.3.1.5 理论上，轻型组合结构桥面的正常使用极限状态设计计算可分成三个结构体系进行计算：

- 第一体系：轻型组合结构桥面作为钢主梁全截面的上翼缘，承受总体荷载，称为“主梁体系”；
- 第二体系：STC 层与正交异性钢面板共同形成主梁的桥面板，承受车辆局部荷载，亦称为“桥面板体系”；
- 第三体系：STC 主结构层与钢面板作为支撑在纵、横肋上的连续组合板，板体承受车轮的局部荷载，称为“面板体系”。

其中第一体系为总体荷载效应，第二和第三体系为局部荷载效应，各体系的计算结果叠加后得到轻型组合结构桥面各构件中的计算结果。根据轻型组合结构桥面的受力特性，计算的重点应为局部荷载效应，即第二和第三体系。

考虑到正交异性钢桥面板构造复杂，理论方法难以求解，宜借助有限元法进行计算，该方法更具操作性和实用性。

建立有限元模型时，第一体系可用梁单元建立整体模型，第二和第三体系可以建立在一个局部模型中，各部件以板壳单元或实体单元建立。对两种模型的计算结果进行叠加，即可得到结构的实际受力状态。在局部有限元模型中，应确保网格划分合理。

6.3.1.6 考虑到轻型组合结构桥面的受力特性，在计算总体荷载效应时（第一体系），可不考虑钢主梁与 STC 层间的滑移效应，但在计算局部荷载效应时（第二和第三体系），应考虑层间滑移效应。计算中忽略面层对轻型组合结构桥面刚度的贡献。

6.3.1.7 计算中可偏安全地，不考虑 STC 中的配筋。当需要考虑配筋时，应按纵、横桥向的配筋分别考虑。

6.3.1.8 轻型组合结构桥面的正常使用极限状态设计除应满足本节的规定，尚应符合 JTG D60《公路桥涵设计通用规范》、JTG D62《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、JTG D64《公路钢结构桥梁设计规范》、GB 50917《钢-混凝土组合桥梁设计规范》中的相关规定。

## 6.3.2 应力验算

6.3.2.1 应力验算应涵盖轻型组合结构桥面中的各个构件，包括 STC 层，剪力连接件，STC 接缝，以及钢结构。

6.3.2.2 轻型组合结构桥面的受力特点，各构件的应力验算需要考虑总体荷载效应与局部荷载效应的叠加。在总体荷载效应计算中，弯矩作用下 STC 层及钢主梁法向应力可按下列公式计算：

STC 层顶面应力：

$$s_c = \frac{M_k}{n_0 I_0} y_c \dots\dots\dots (17)$$

钢主梁下翼缘应力：

$$s_s = \frac{M_k}{I_0} y_s \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$s_c$ ——STC 顶面应力 (MPa)；

$M_k$ ——截面弯矩值 (N·mm)；

$n_0$ ——钢材弹性模量与 STC 弹性模量的比值， $n_0 = E_s / E_c$ ；

$I_0$ ——轻型组合结构桥面桥梁组合截面的换算惯性矩 (mm<sup>4</sup>)；

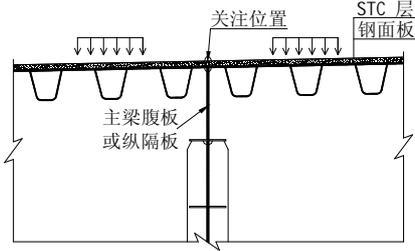
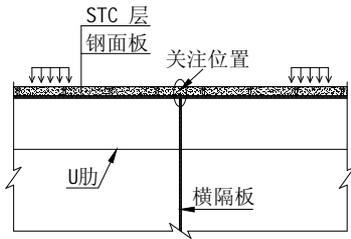
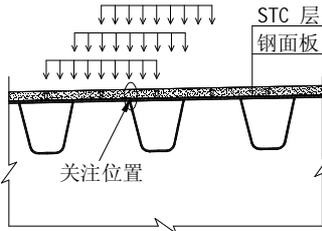
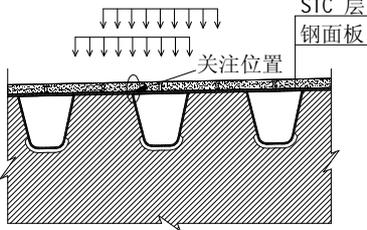
$s_s$ ——钢主梁下翼缘应力 (MPa)；

$y_c$ ——STC层顶面至组合截面弹性中性轴的距离 (mm)；

$y_s$ ——钢主梁下翼缘至组合截面弹性中性轴的距离 (mm)。

6.3.2.3 在局部荷载效应计算中，宜建立有限元模型进行计算。STC 层中的应力计算应关注峰值应力，且应重点关注 STC 层在负弯矩区的拉应力，STC 层主要关注位置如表 17 所示。

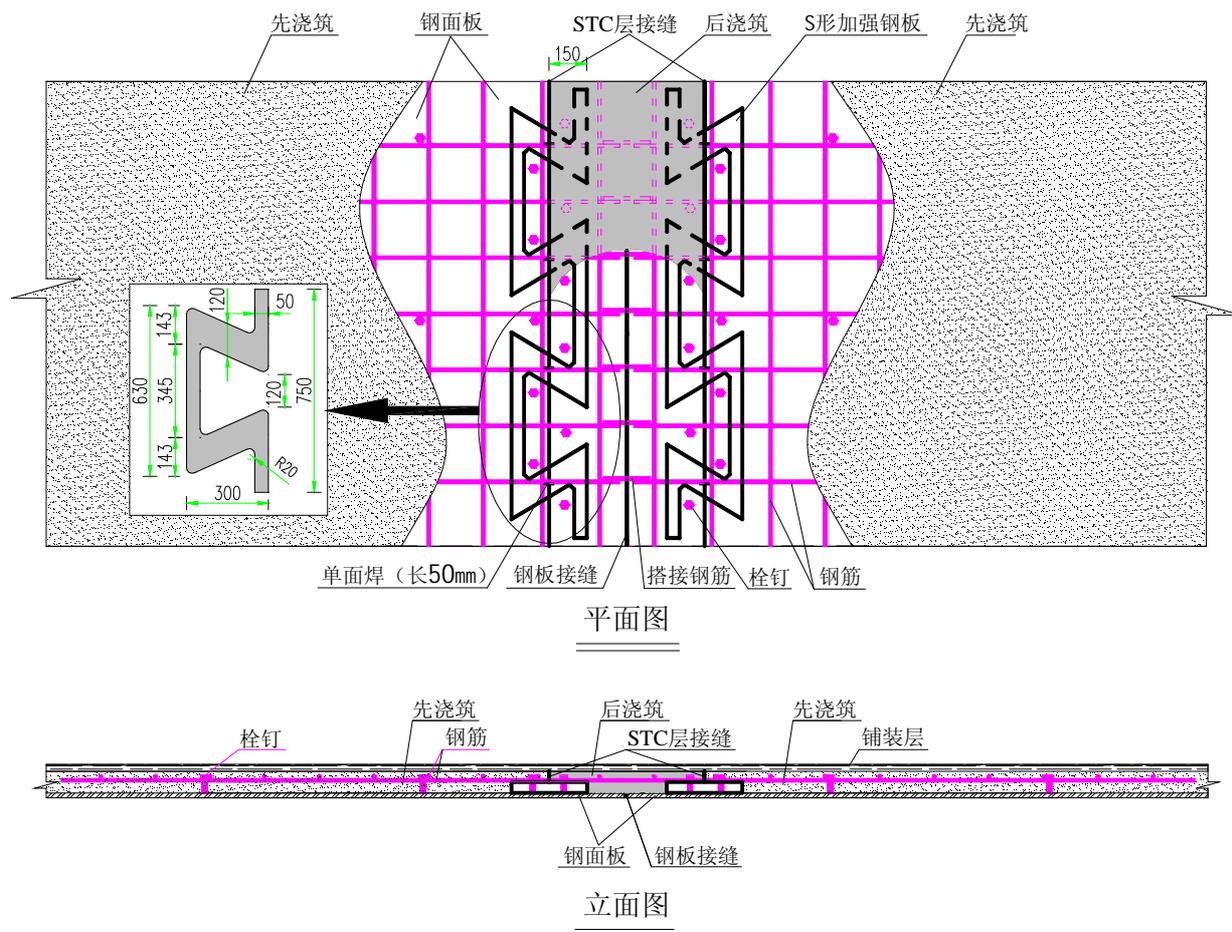
表 17 轻型组合结构桥面中 STC 层主要关注位置

序号	关注位置	图示	说明
1	主梁腹板或纵隔板顶面位置		正应力，沿横桥向
2	横隔板顶面位置		正应力，沿纵桥向
3	纵肋腹板顶面位置-相邻横隔板间的跨中处		正应力，沿横桥向
4	纵肋腹板顶面位置-横隔板断面处		正应力，沿横桥向

6.3.2.4 STC 装配化施工或分段浇筑时，都会出现 STC 接缝。由于接缝处 STC 中的钢纤维不连续，抗裂强度将被削弱，为此，需对接缝处做强化处理。STC 的接缝形式宜为以下两种方案之一。

——含异型加强钢板的接缝方案，见图 8。

DB43/T 1173—2016



注：图中 STC 层接缝间的宽度应满足钢筋搭接要求。

图 8 STC 接缝方案一：异型加强钢板

单位为毫米

——矩形接缝方案，见图 9。

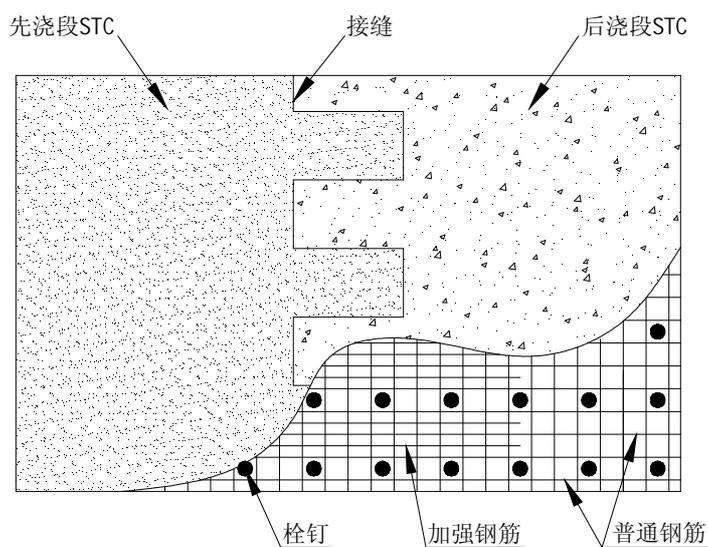


图 9 STC 接缝方案二：矩形接缝

6.3.2.5 由于接缝处 STC 层的抗裂能力相对较弱，宜将接缝设置在低拉应力的位置。横向接缝应设置在两横隔板之间，如图 10 所示，纵向接缝应设置在两纵肋之间。



图 10 STC 接缝应设于低应力区

6.3.2.6 当 STC 层局部出现破损需修补时，在原 STC 层与修补的 STC 层间会出现接缝，由于新、老混凝土在接缝处纤维不连续，导致 STC 层的抗拉强度降低，易出现早期开裂现象，因此需对接缝处进行强化处理。接缝形式如图 11 所示，其相应构造要求按本规范 6.5.8 的规定。

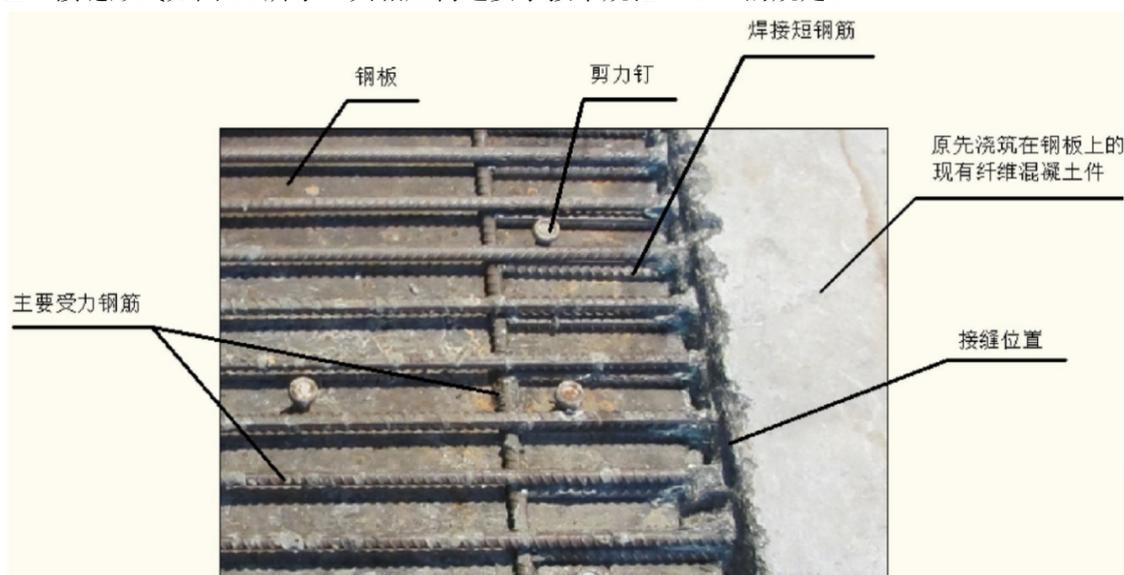


图 11 STC 层修补接缝强化构造

### 6.3.3 栓钉内力验算

6.3.3.1 对于钢桥面板与 STC 层间的剪力连接件，应通过计算得到其最大剪力，并与连接件的剪力限值进行比较，其中连接件的剪力限值规定参考本规范 6.4 的规定。

6.3.3.2 考虑到轻型组合结构桥面中局部荷载效应显著，剪力连接件内力的计算宜采用有限元分析法。计算中应建立整体计算模型和局部计算模型，并将计算结果进行叠加。在局部计算模型中，宜采用弹簧单元模拟建立连接件的连接作用，且应考虑由车轮竖向荷载和车轮刹车水平荷载引起的栓钉内力，其中车轮刹车水平荷载按照车轮竖向荷载的 1/2 考虑，如图 12 所示。

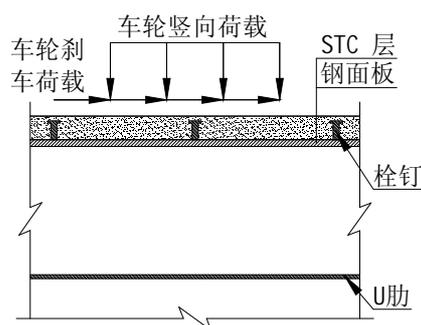


图 12 剪力连接件内力计算荷载布置示意图（局部荷载效应）

### 6.3.4 STC 抗裂验算

6.3.4.1 当 STC 的应力验算符合本规范 6.3.2 的规定,且 STC 的设计拉应力不大于表 5 规定的配筋 STC 的名义弯拉应力容许值时,可确保 STC 层的裂缝宽度小于 0.05mm。

6.3.4.2 当施工中需要对 STC 进行分幅或分段浇筑时,必须在先浇-后浇连接部位设置接缝。接缝构造形式应符合本规范 6.3.2.4 的规定。当接缝处 STC 的设计拉应力不大于表 6 规定的接缝 STC 的名义弯拉应力容许值时,可确保接缝处 STC 层的裂缝宽度小于 0.05mm。

6.3.4.3 当出现局部 STC 层破损,需要拆除修补时,必须对原 STC 层与修补后的 STC 层接缝进行强化。接缝强化构造形式应满足本规范 6.3.2.6 的要求。当接缝处 STC 的设计拉应力不大于表 6 规定的接缝 STC 的名义弯拉应力容许值时,可确保接缝处 STC 层的裂缝宽度小于 0.05mm。

### 6.3.5 挠度验算

6.3.5.1 轻型组合结构桥面桥梁的整体挠度应按照 GB 50917—2013《钢-混凝土组合桥梁设计规范》中 6.3 的要求计算。

6.3.5.2 轻型组合结构桥面的局部挠度应按照图 13 的加载模式计算,且计算结果应满足以下要求:

- 轻型组合结构桥面在纵肋间的相对挠度不应超过 0.2 mm;
- 轻型组合结构桥面的变形曲率半径不小于 40 m。

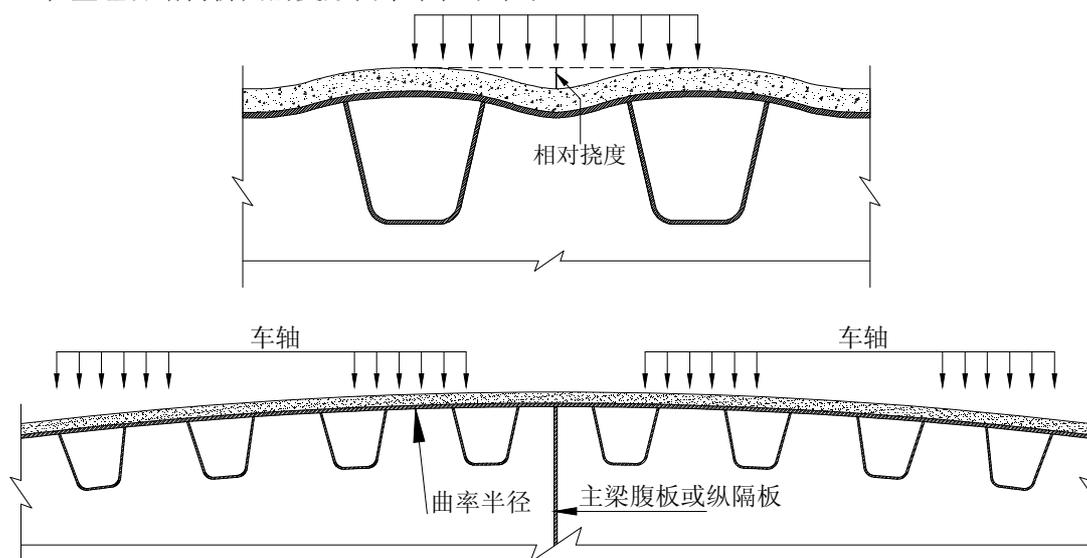


图 13 局部挠度验算加载示意图

## 6.4 剪力连接件设计

### 6.4.1 一般规定

6.4.1.1 轻型组合结构桥面中剪力连接件的选用不但应保证 STC 与钢主梁能有效地组合和共同承担作用，而且还需满足 STC 层的厚度较薄这一重要特性。

6.4.1.2 轻型组合结构桥面中剪力连接件宜采用栓钉，也可采用焊接水平钢筋网等形式。

6.4.1.3 在正常使用极限状态下，轻型组合结构桥面中，单个剪力连接件承担的剪力设计值不应超过 75% 的抗剪承载力设计值。

### 6.4.2 抗剪承载力设计值

6.4.2.1 单个栓钉连接件的抗剪承载力设计值如下式（栓钉剪断破坏）：

$$N_v^c = 1.19 A_{stud} f_{stud} \left( \frac{E_c}{E_s} \right)^{0.2} \left( \frac{f_{cu}}{f_{stud}} \right)^{0.1} \dots \dots \dots (19)$$

式中：

$N_v^c$  ——栓钉的抗剪承载力设计值（N）；

$E_c$ 、 $E_s$  ——STC 和栓钉的弹性模量（MPa）；

$f_{cu}$  ——边长为 100mm 的 STC 的立方体抗压强度标准值（MPa）；

$A_{stud}$  ——栓钉钉杆截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$f_{stud}$  ——栓钉抗拉强度（MPa），当栓钉材料性能等级为 4.6 级时，取 400MPa。

6.4.2.2 在焊接水平钢筋网剪力连接件中，每个焊点的抗剪承载力设计值如下式：

$$N_v^c = t_{stc-rebar} C_{l,rebar} l_{l,rebar} \leq f_{weld,1} l_{weld,1} w_{weld,1} \dots \dots \dots (20)$$

式中：

$N_v^c$  ——焊接水平钢筋网的抗剪承载力设计值（N）；

$t_{stc-rebar}$  ——STC 层-纵向抗剪钢筋间的抗剪粘结强度设计值（MPa），对于带肋钢筋，本规范取为 8.5 MPa；

$C_{l,rebar}$  ——纵向抗剪钢筋的名义周长（mm）；

$l_{l,rebar}$  ——纵向钢筋的计算长度，取为相邻两道横向抗剪钢筋的间距（mm）；

$f_{weld,1}$  ——纵向抗剪钢筋-钢面板连接焊缝（焊缝 1）的抗剪强度设计值（MPa），本规范取为 120MPa；

$l_{weld,1}$  ——纵向抗剪钢筋-钢面板间焊缝（焊缝 1）的长度（mm）；

$w_{weld,1}$  ——纵向抗剪钢筋-钢面板间焊缝（焊缝 1）的宽度（mm）。

其中焊接水平钢筋网剪力连接件的构造形式为：将纵向抗剪钢筋间断焊接在钢面板表面（该焊缝称为“焊缝 1”），将横向抗剪钢筋点焊在纵向抗剪钢筋上（该焊缝称为“焊缝 2”），并浇筑 STC 层以包裹住焊接水平钢筋网，具体构造如图 14 所示（未示出 STC 层）。

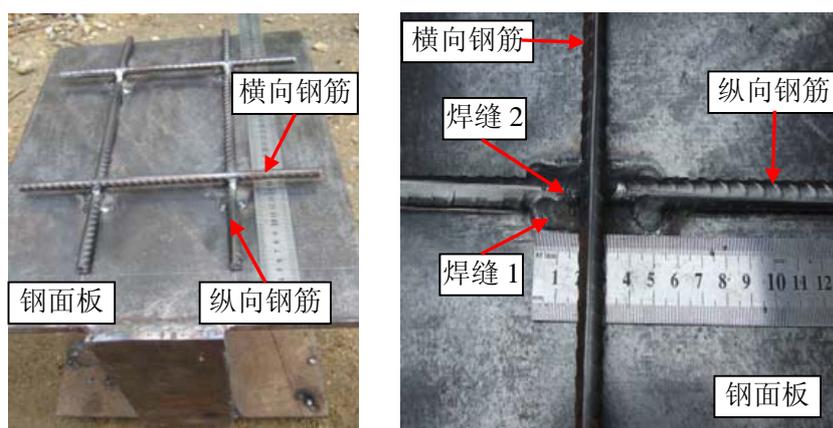


图 14 焊接水平钢筋网剪力连接件构造示意

### 6.4.3 剪力连接件疲劳验算

6.4.3.1 剪力连接件疲劳验算细则应按本规范 6.2.4 的规定。

6.4.3.2 剪力连接件疲劳验算应包含总体荷载效应和局部荷载效应，计算时的交通荷载应符合本规范 6.2.4.2 和 6.2.4.3 的规定。

### 6.4.4 剪力连接件的数量计算

6.4.4.1 为确保 STC 层与钢桥面板形成牢固的组合作用，剪力连接件设计中的一项重要验算内容是，确保在车轮荷载下的局部正弯矩区域，STC 层底面的最大拉应力不得超过其轴拉强度（不考虑配筋），按本规范 5.1.13 的规定取值，当不能满足要求时，应对剪力连接件进行加密，重新计算，直至满足要求。计算的作用（或荷载）的效应组合应采用 JTG D60《公路桥涵设计通用规范》的基本组合。

## 6.5 构造要求

6.5.1 轻型组合结构桥面中各层的厚度应符合下列规定：

- 桥梁的钢面板厚度不宜小于 12 mm；
- 轻型组合结构桥面的主结构上层（STC 层）的厚度不宜小于 35mm；
- 面层的厚度不宜小于 10mm，可采用 Novachi p 超薄面层、沥青玛蹄脂碎石混合料（SMA）、沥青混凝土（AC）或超薄聚合物上面层 TPO（Thin Polymer Overlay）。

6.5.2 钢筋网的设置应符合下列规定：

- 最小 STC 保护层厚度不应小于 10mm，宜为 15 mm；
- 钢筋直径宜采用 10mm~12mm，钢筋中心间距不宜大于 50mm；
- 钢筋的连接宜采用焊接或绑扎的方式。搭接接头应错开布置，搭接长度不宜小于 15 倍的钢筋直径；
- 钢筋应包含横桥向和纵桥向两层钢筋。纵桥向钢筋宜置于下层，横桥向钢筋宜置于上层；
- STC 层中钢筋的最小配筋率应符合下列规定：
  - 钢筋配筋率应按面积率计算；
  - STC 层中钢筋的最小单向配筋率（纵桥向或横桥向）不小于 3.0%。

6.5.3 栓钉的设置应符合下列规定：

- 栓钉的钉柱直径不宜小于 9mm；

- 栓钉的布置形式为矩阵式布置；
  - 栓钉间距应符合下列规定：
    - 不宜大于 10 倍的 STC 层厚度，且不大于 300 mm；
    - 当栓钉间距大于 250mm 时，应对桥面板外周一圈的栓钉加密一倍，即间距为桥面板内部间距的一半，并不大于 150mm；
  - 本规范推荐的栓钉布置间距如下：
    - 当桥面纵肋腹板间距 $\leq 300$  mm 时，栓钉的纵、横桥向间距宜为 140mm ~160 mm；
    - 当桥面纵肋腹板间距 $> 300$  mm 时，栓钉的纵、横桥向间距宜为 120mm~140 mm。
- 6.5.4 施工接缝宜设置在拉应力较小的区域，且应满足以下规定：
- 横桥向施工缝应设置在相邻两道横隔板间的跨中断面前后  $S_d/4$  范围内，其中  $S_d$  为横隔板的纵向间距。
  - 当钢主梁在行车道区域存在主梁腹板（或纵隔板）时，顺桥向施工缝应设置在相邻两道主梁腹板（或纵隔板）间的中间截面左右  $S_{wb}/4$  范围内，其中  $S_{wb}$  为主梁腹板（或纵隔板）的横向间距；当钢主梁在行车道区域未设置主梁腹板（或纵隔板）时，顺桥向施工缝应设置在相邻两道纵向加劲肋的中间位置。
- 6.5.5 STC 层与其他结构连接时，应设置边界连接构造，避免边界连接处产生裂缝。边界连接构造设置应符合下列规定：
- 6.5.5.1 当边界相接部分为钢结构时，应符合下列规定：
- 在钢结构面上宜焊设 U 型钢筋，使 STC 层钢筋与 U 型钢筋焊接相连。U 型钢筋与相连接的钢筋处于同一平面，可与相连钢筋同型号；
  - 钢筋间采用平面搭接焊接方式，相连焊缝抗拉能力不低于相连接钢筋自身的抗拉能力。U 型钢筋间距不大于 150mm；
  - U 型钢筋与钢结构面之间采用双面满焊方式。U 型钢筋的布置，应能使其两肢能和与之相连的受力钢筋正好贴合，方便采用平面搭接焊接相连方式；
  - U 型钢筋两肢长度的取值应满足上述焊接时的焊缝抗拉能力要求。STC 层与钢结构的边界连接构造可参照图 15 和 16 设置。

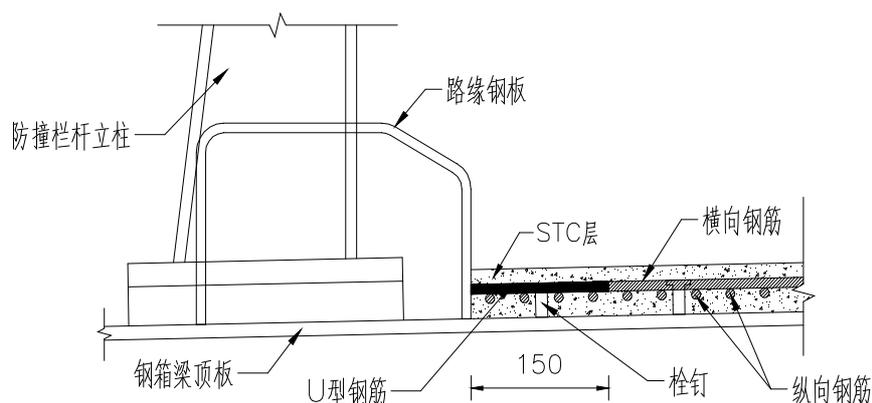


图 15 STC 层与钢结构连接立面示意图

单位为毫米

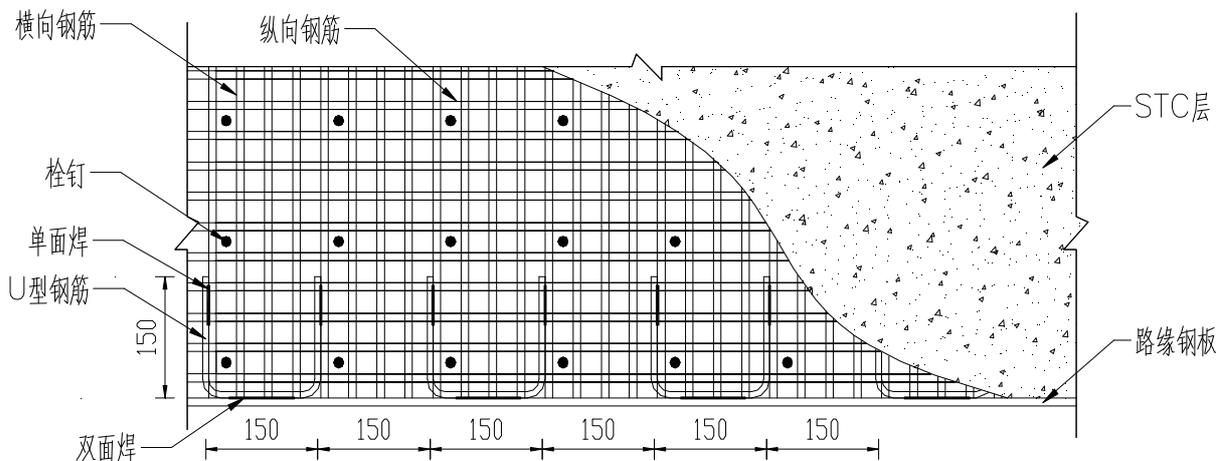


图 16 STC 层与钢结构连接平面示意图

单位为毫米

6.5.5.2 当边界相接部分为混凝土结构时，应符合下列规定：

- 应在混凝土结构中预埋锚固钢筋，并使之与 STC 层中的受力钢筋焊接相连；
- 锚固钢筋与相连接的受力钢筋处于同一平面，可与受力钢筋同型号；
- 钢筋间采用平面搭接焊接方式，相连焊缝抗拉能力不低于相连接钢筋自身的抗拉能力；
- 锚固钢筋间距不大于 150mm，其布置应能使其能和与之相连的受力钢筋正好贴合，方便采用平面搭接焊接相连方式。锚固钢筋外露部分长度的取值应满足上述焊接时的焊缝抗拉能力要求；
- 锚固钢筋预埋长度取值应使钢筋抗拉能力不低于其自身抗拉能力，按 JTG D62 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》规定的预埋钢筋在混凝土中锚固长度取值。如果在混凝土结构中未预埋钢筋，则需通过植筋方式，使所植钢筋代替应预埋的钢筋；
- 植筋按 JTG/T J22-2008 《公路桥梁加固设计规范》附录 A 的要求实施。STC 层与混凝土结构的边界连接构造可参照图 17 和 18 设置。

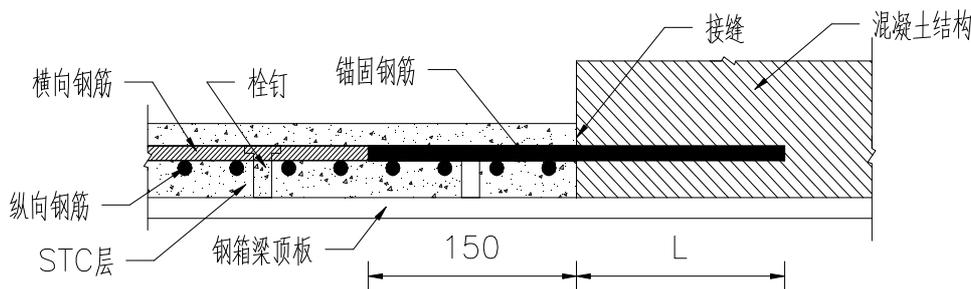


图 17 STC 层与混凝土结构连接立面示意图

单位为毫米

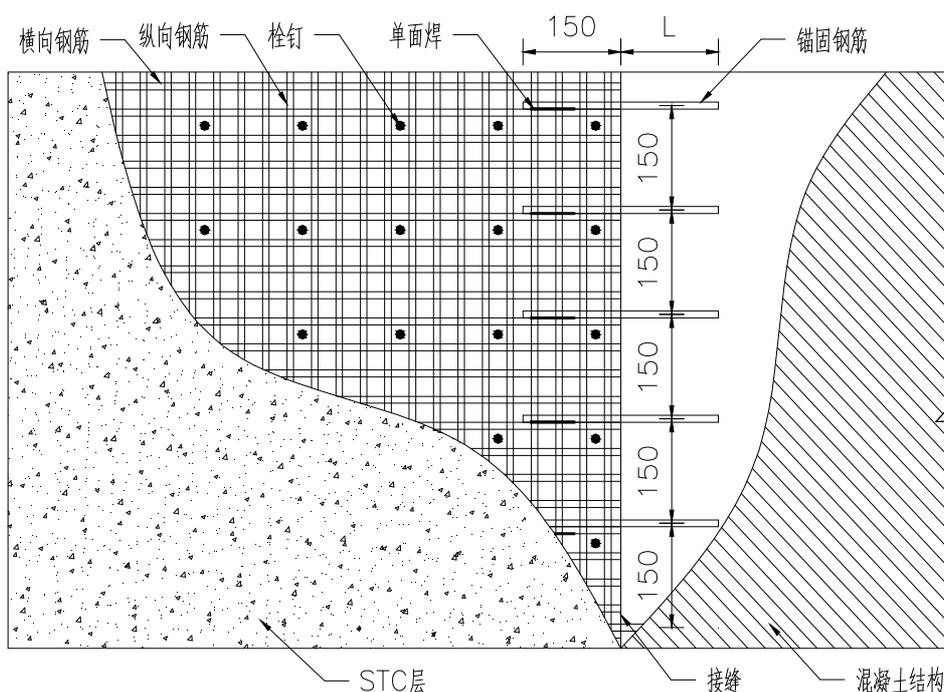


图 18 STC 层与混凝土结构连接平面示意图

单位为毫米

6.5.5.3 当边界相接部分为其他路面结构时，应采用 STC 层伸入到其他路面结构中的方式设置边界连接结构，具体可参照图 19 方式设置。

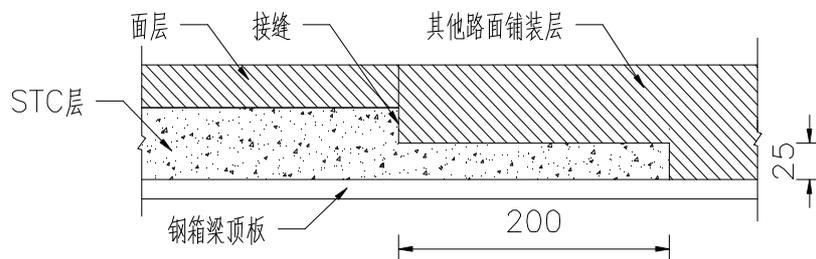


图 19 STC 层与其他路面面层连接侧立面示意图

单位为毫米

6.5.6 根据面层结构情况和桥面工作条件，宜通过分析计算确定粘结层的最不利剪切力和拉拔力。

6.5.7 STC 层与面层的粘结效果应通过试验确定，并应满足本规范 6.5.6 的规定。STC 表面可通过糙化处理增强粘结效果，STC 表面糙化可采用抛丸法。

6.5.8 STC 层破损修补时，对于图 11 中原 STC 层与修补的 STC 层之间接缝的强化处理，采用了焊接短钢筋使受力钢筋与桥面板同步共同受力的方式，焊接结构应满足下列规定：

- 焊接短钢筋的直径不小于受力钢筋直径，长度不小于钢筋直径的 10 倍；
- 短钢筋与受力钢筋及桥面钢板之间的连接宜采用焊接连接方式，焊缝长度不小于钢筋直径的 10 倍。

## 7 施工

### 7.1 施工项目组成及施工流程

DB43/T 1173—2016

7.1.1 轻型组合结构桥面有新建桥梁和大中修桥梁的桥面施工两种情况。轻型组合结构桥面施工包括STC层施工和面层施工。

7.1.2 STC层施工包括栓钉焊接、防腐涂装、钢筋网安装、浇筑、保湿养护、高温蒸养、表面糙化、接缝处理等项目。

7.1.3 轻型组合结构桥面施工流程如图20所示：

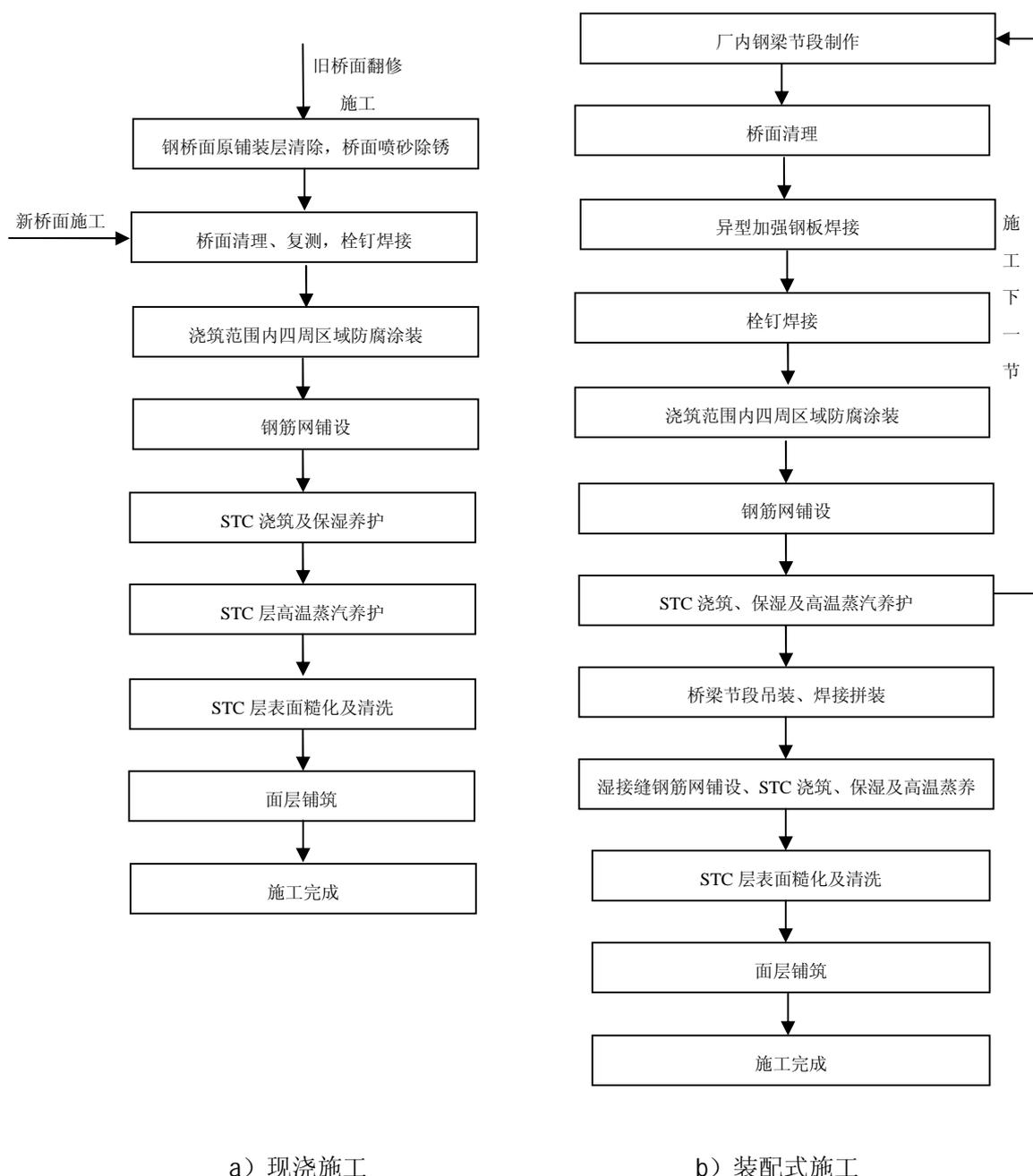


图20 轻型组合结构桥面施工工艺流程图

## 7.2 基本要求

7.2.1 在施工前宜进行相关工艺试验，以取得必要的施工工艺参数和经验，为在施工中采取正确、合理的施工方法提供依据。

7.2.2 STC干混料宜在工厂生产。

- 7.2.3 在施工期间，桥面施工范围宜进行封闭，避免外界对施工及施工对外界的不利影响。
- 7.2.4 STC 浇筑施工时，气温不得低于 5℃，宜高于 10℃。
- 7.2.5 对于数量、规模大的桥面工程，为避免长时间施工导致的不利影响，STC 层应分幅、分段施工。分幅、分段尺寸应满足每个幅段浇筑时间可控制在 10h~12h 的要求。

### 7.3 施工准备

- 7.3.1 施工前应按 JTG/T F50《公路桥涵施工技术规范》的相关要求做好施工准备工作。
- 7.3.2 按设计要求进行 STC、面层所用材料的配制工作，制定满足工程要求的材料施工配合比。
- 7.3.3 按施工需要提前进行 STC 干混料生产、装料，并按要求妥善运输、储存。
- 7.3.4 在施工前应对桥面高程、坡度、平整度进行测设，掌握桥面几何因素状况，以指导相关施工方案、施工措施的制定。

### 7.4 桥面预处理

#### 7.4.1 施工要求

- 7.4.1.1 对于新建钢桥，应对桥面进行清洗；对于没有锈蚀的桥面无需进行喷砂除锈。
- 7.4.1.2 对于旧钢桥铺装翻修施工时，应先清除原铺装层并清洗桥面，后对桥面进行喷砂除锈。其施工应符合以下规定：

- 清除原铺装层及粘结层的过程中，不得损伤桥面钢板；
- 清除完毕后，应检查钢桥面板范围内有无孔洞（如栓接区域个别高强螺栓缺失处）。若有，应在焊接栓钉前对孔洞进行填补，以防止 STC 在摊铺施工过程中的流失；
- 清除桥面的油、油脂、盐分及其它污垢，并清洗桥面。在桥面达到干净、干燥条件后，方可进行喷砂除锈施工；
- 喷砂除锈前，应检查钢桥面板的外观，确保表面无锐边、飞溅、不光滑焊缝及切割边缘等缺陷，否则必须通过打磨加以消除，锋利的边角必须处理成半径为 2mm 以上的圆角；
- 喷砂除锈完成后，应立即检查钢板的清洁度和粗糙度；
- 喷砂除锈完成后，应对除锈后的钢板进行保护，防止二次污染；

- 7.4.1.3 桥面预处理其它施工要求应符合 JTG/T F50《公路桥涵施工技术规范》相关规定。

#### 7.4.2 质量检验

- 7.4.2.1 桥面板应整洁、干燥，表面无缺损和孔洞。

检验数量：全桥检验。

检验方法：观察。

- 7.4.2.2 钢桥面喷砂除锈的质量检验应符合表 18 中的规定。

表 18 桥面清理除锈检验项目及规定

项次	检验项目	要求	检验方法和频率
1	大气相对湿度	≤85%	湿度计测量，每班测 1 次
2	氯化物含量	≤0.014%	试纸测试，见 ISO 8502-9《水溶性盐的现场电导测定法标准》，每 200m <sup>2</sup> 检测 1 处
3	锈蚀情况	无蓝点	氰化钾试纸测试，见 ISO 8502-1《可溶铁腐蚀产物的现场测试标准》，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处

表 18 桥面清理除锈检验项目及规定（续）

项次	检验项目	要求	检验方法和频率
4	桥面清洁度	≥Sa2.5 级或满足设计要求	目视比较法，见 GB/T 8923《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》，每 200m <sup>2</sup> 检验 1 处
5	桥面粗糙度	满足设计要求	比较样块法，见 GB/T 13288《涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性》，每 200m <sup>2</sup> 检验 1 处

## 7.5 栓钉焊接

### 7.5.1 施工要求

7.5.1.1 栓钉焊接前钢桥面应清洁干燥，无水、氧化皮、锈蚀、非可焊涂层、油污、灰尘等杂质。

7.5.1.2 焊接前应清除栓钉上的油污、锈迹等杂质。瓷环应保持干燥状态，受潮瓷环应高温烘干 2h 以上，烘干温度宜为 120℃~150℃。

7.5.1.3 应按设计的栓钉布置位置在钢桥面板上划墨线定位。当栓钉加密时，定位中应先定位出普通位置点，再定位出加密位置点。

7.5.1.4 当栓钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时，应将栓钉偏离焊缝边界 2cm~3cm，严禁直接在焊缝上焊接栓钉。

7.5.1.5 栓钉焊接前，宜采用手磨机对每个栓钉位置进行局部打磨，打磨范围直径为 3cm~5cm，确保焊接处钢面板表面平整、光滑、洁净。

7.5.1.6 宜采用电弧螺柱焊机焊接栓钉。焊接时，应按要求正确操作，确保焊接质量。

7.5.1.7 栓钉焊接的电流、电压等工艺参数应通过焊接工艺评定确定。工艺评定采用在同母材规格的试板上试焊 10 个栓钉，其中 5 个做拉伸试验，5 个做弯曲试验，试验结果应符合国家标准 GB/T 10433《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》的规定。

7.5.1.8 每个工作日（或班）施焊前，应按规定的焊接工艺参数在试板上试焊 2 个栓钉并进行检验，检验结果应符合本规范 7.5.2.3~7.5.2.5 的规定，检验合格后方可进行施工。

7.5.1.9 焊接完成后，应清除墨线、焊渣、瓷环和杂物。

7.5.1.10 栓钉的焊接质量不满足要求时，应敲除栓钉，并重新焊接栓钉。

7.5.1.11 当环境温度低于 0℃，或环境相对湿度大于 80%，或钢板表面潮湿时，不得焊接栓钉。雨雪天气严禁露天作业。

7.5.1.12 栓钉焊接其它施工应满足 JTG/T F50《公路桥涵施工技术规范》相关要求。

### 7.5.2 质量检验

7.5.2.1 栓钉和瓷环的品种、规格、尺寸及偏差应符合设计及国家标准 GB/T 10433《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》的要求。

检验数量：按总量抽检 1%，且不少于 10 套。

检验方法：检查产品合格证和出厂检验报告等，并采用钢尺和游标卡尺量测。

7.5.2.2 栓钉进场应抽取试件进行机械性能和焊接端的焊接性能评定，其质量应符合国家标准 GB/T 10433《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》和本规范 5.2.6 的规定。

检验数量：同一规格，同一材料来源的栓钉应按国家现行标准规定的抽检频率进行检验。

检验方法：机械性能试验和焊接性能试验。

7.5.2.3 栓钉焊接后应获得完整的 360° 周边焊缝。焊缝外形应饱满，表面无气孔、夹渣、裂纹等明显缺陷，不得有未焊接或熔透的部分。

检验数量：按栓钉总量抽检 1%，且不少于 10 个。

检验方法：观察。

#### 7.5.2.4 栓钉焊接的允许误差应符合表 19 中的规定。

表 19 栓钉焊接允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和频率
1	栓钉焊后高度	≤2mm	钢尺测量。检查 1%，且不少于 10 个
2	栓钉倾角	≤5°	钢尺及量角器测量。检查 1%，且不少于 10 个
3	栓钉间距	≤10mm	钢尺测量。检查 1%，且不少于 10 个

7.5.2.5 栓钉焊接质量的检验应采用现场抽样进行弯曲试验的方法。弯曲试验以重锤平击钉帽，使栓钉沿原轴线弯曲 30° 时，焊接部位不产生裂纹为合格。

检验数量：同一工程、同一规格、同一焊接工艺的栓钉焊接接头，每 5000 个为一批，不足 5000 个也按一批记。每批抽样比例不小于已焊栓钉总数的 1%，且不少于 10 个。

抽样检查的结果当不合格率小于 2% 时，该批验收应定为合格；不合格率大于 5% 时，该批验收应定为不合格；不合格率为 2%~5% 时，应加倍检查。当所有抽检栓钉中不合格率不大于 3% 时，该批验收应定为合格；大于 3% 时，该批验收定为不合格。当批量验收不合格时，应对该批余下的栓钉全数进行检查。

检验方法：重锤平击。

## 7.6 防腐层涂装

### 7.6.1 施工要求

7.6.1.1 栓钉焊接完成后，应在 STC 覆盖的钢桥面四周 0.5m 范围内进行防腐涂装。防腐层施工应符合下列规定：

- 防腐涂装层施工应在栓钉焊接完成后立即进行；
- 防腐涂装层施工前，应采用高压风机清除基面的杂质或灰尘；
- 防腐涂装层施工应在桥面除锈、清理后 4 小时内完成；
- 喷涂作业宜采用高压无气喷涂法，局部补涂时可采用刷涂法，要求油漆表面色泽均匀，漆膜无流挂、针孔、气泡、裂纹等缺陷；
- 防腐层涂刷其它施工应满足 JT/T 722《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》、JTG/T F50《公路桥涵施工技术规范》相关要求。

### 7.6.2 质量检验

7.6.2.1 防腐涂装材料的品种、规格、性能等应符合国家现行标准和设计要求。

全数检验出厂合格证和厂方提供的材料性能试验报告，并按国家现行标准规定抽样复验。

7.6.2.2 防腐层表面应平整、均匀一致，无漏涂、起泡、裂纹、气孔和返锈等现象，允许轻微桔皮和局部轻微流挂。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

7.6.2.3 桥面防腐层施工质量应符合表 20 中的规定。

DB43/T 1173—2016

表 20 桥面防腐施工检验项目及规定

项次	检验项目	要求	检验方法和频率
1	漆膜厚度	满足设计要求	干膜测厚仪检验，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处
2	粘结强度（25℃）	≥7MPa	拉拔仪检验，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处

## 7.7 钢筋网安装

### 7.7.1 施工要求

7.7.1.1 如钢筋位置与栓钉布置有冲突，可适当调整钢筋位置。

7.7.1.2 对于旧桥的植筋施工应符合 JTG/T J23—2008《公路桥梁加固施工技术规范》附录 A 的要求。

7.7.1.3 钢筋网在界面接头处应与相对应的锚固钢筋准确连接，搭接方式应符合设计要求。

7.7.1.4 钢筋网安装中的其它施工应满足 JTG D62《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、JTG/T F50《公路桥涵施工技术规范》、JTG/T J23《公路桥梁加固施工技术规范》相关要求。

### 7.7.2 质量检验

7.7.2.1 材料应符合下列规定：

——钢筋、植筋胶黏剂的品种、规格和技术性能等必须符合国家现行标准规定和设计要求；

- 检验数量：全数检验；
- 检验方法：产品合格证、出厂检验报告检验，并按国家现行标准规定抽样复验。

——钢筋进场时，必须按批抽取试件做力学性能和工艺性能试验，其质量必须符合国家现行标准的规定。

- 检验数量：以同牌号、同炉号、同规格、同交货状态的钢筋，每 60t 为一批，不足 60t 也按一批计，每批抽检 1 次；
- 检验方法：试件检验报告检验、力学性能和工艺性能试验。

7.7.2.2 预埋件的规格、数量、位置等必须符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察、用钢尺量。

7.7.2.3 植筋锚孔内胶黏剂应饱满，不得有未固结现象。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

7.7.2.4 植筋钻孔的允许偏差应符合表 21 中的规定。

表 21 植筋钻孔允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验方法及频率
1	钻孔直径（mm）	+2、-1	游标卡尺测量。每 10 个检验 1 个
2	钻孔深度（mm）	+10、0	钢尺测量。每 10 个检验 1 个
3	钻孔垂直度	3°	钢尺及量角器测量。每 10 个检验 1 个
4	钻孔位置（mm）	5	钢尺测量。每 10 个检验 1 个

7.7.2.5 钢筋的连接形式、接头位置、同一截面的接头数量、搭接长度应符合设计要求和国家现行标准的规定。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察、用钢尺量。

7.7.2.6 钢筋表面不得有裂纹、结疤、折叠、锈蚀和油污，钢筋焊接接头表面不得有夹渣、焊瘤。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

7.7.2.7 钢筋网铺设的允许偏差应符合表 22 中的规定。

表 22 钢筋网铺设允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和频率
1	钢筋直径	≤0.2mm	游标卡尺测量，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处
2	钢筋搭接长度	≤10mm	钢尺测量，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处
3	垫块高度	≤2mm	游标卡尺测量，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处
4	钢筋网高度	≤3mm	钢尺测量，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处
5	钢筋网间距	≤10mm	钢尺或游标卡尺测量，每 100m <sup>2</sup> 检验 1 处

## 7.8 STC 浇筑

### 7.8.1 施工要求

7.8.1.1 STC 宜在工厂将各种固体原料及减水剂预拌为干混料，经包装后运输到施工现场，通过与水拌合成浇筑用混凝土。

7.8.1.2 原材料及干混料的计量应采用电子计量设备，并应定期校验。干混料生产单位每月应至少自检一次。每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

7.8.1.3 原材料、干混料应储存于干燥、通风、防潮、不受雨淋的场所，并按品种、批号分别堆放，不得混堆混用，且应先存先用。当对干混料的质量有怀疑或受潮或存放时间超过 3 个月时，应重新取样复验，只有复验合格，干混料才可使用。

7.8.1.4 STC 的拌合应根据工程规模、施工工艺和进度要求合理配备搅拌设备，应采用强制式搅拌机。

7.8.1.5 STC 湿拌应符合下列规定：

- 拌合前应根据施工配合比，准确计量干混料、水的重量。干混料的容许偏差不应大于 2%，水的容许偏差不应大于 1%。
- 拌合时置于同一包装件中的干混料应一次搅拌完成，不得分盘搅拌；
- 搅拌前应清理搅拌设备上残存的废渣、垃圾等杂物，确保搅拌设备清洁、干燥；
- 干混料在下料和搅拌过程中，应采取防扬尘措施，防止扬尘污染环境；
- 搅拌第一盘拌合料前，应润湿搅拌机，并排尽积水。拌合时，每班结束后应对搅拌机进行清洗，剔除结硬的混凝土块，并更换严重磨损的搅拌叶片；
- 搅拌应保证拌合物质量均匀，出机拌合物中不得有钢纤维结团现象，同一盘混凝土的均质性应符合 GB 50164 的规定。

7.8.1.6 搅拌时间应根据拌合物的黏聚性、均质性及搅拌机类型，经试拌确定，并应符合下列规定：

- MPC 立轴行星式搅拌机搅拌时间不应少于 6 min，且拌物流化后继续搅拌不应少于 2 min；
- 双轴卧式搅拌机搅拌时间不应少于 10min，且拌物流化后继续搅拌不应少于 2min。

7.8.1.7 STC 拌合物的坍落度，应在搅拌地点和浇筑地点分别随机取样检测，每一工作班不应少于两次。评定时应以浇筑地点的测值为准。

DB43/T 1173—2016

7.8.1.8 STC 的运输宜采用混凝土搅拌运输车或泵送方式输送。运输过程中应保证拌合物均匀，不产生分层、离析。

7.8.1.9 浇筑前，应对钢桥面板表面及边界接缝处混凝土面进行洒水润湿，但不得有积水。

7.8.1.10 STC 布料应均匀、连续，并符合下列规定：

- 宜采用专用布料机均匀、准确布料；
- 无专用布料机时，应采用泵车布料。布料时，应及时移动泵杆，保证布料均匀；
- 不宜采用翻斗车直接卸料的方式进行布料；
- 布料松铺系数宜控制在 1.0~1.1 之间。

7.8.1.11 STC 振实应保证混凝土密实、纤维分布均匀。避免出现拌合物离析、分层以及纤维裸露出结构表面等情况。并应符合下列规定：

- 宜采用专用高频振动整平机；无专用振动整平机时，可采用振动梁；
- 宜采用高频平板振动器、手执式振动器作为振捣辅助设备、工具；不得采用人工插捣方式振捣；
- 摊铺前，应根据摊铺厚度、塌落度大小，通过工艺试验确定摊铺速度、振动频率及振动时间；
- 摊铺过程中，应派专人进行摊铺厚度检查并及时反馈，必要时进行修正。

7.8.1.12 STC 浇筑过程中的抹面宜采用搭设于两侧轨道上的工作台车作为工作平台，人员在工作台车上进行抹面作业。抹面后混凝土表面应无刮痕痕迹。在抹面过程中，用铝合金直尺检测成型后的表面平整度，检测结果应符合规定要求。

## 7.8.2 质量检验

7.8.2.1 STC 干混料进场时除应检查出厂合格证、厂方提供的材料性能试验报告单等合格证明文件，还应按批次检验干混料中的钢纤维含量，并制作试件进行立方体抗压强度和棱柱体抗拉强度试验。其质量应符合国家现行标准和本规范 5.1 的规定。

检验数量：同生产厂家、同批号、同品种、同强度等级、同出厂日期且连续进场的储装干混料以每 200t 为一批，当不足上述数量时，也按一批计，每批抽样不少于 1 次。

检验方法：产品合格证、出厂检验报告检验等合格证明文件，附录 D 的方法和力学性能试验。

7.8.2.2 干混料中的原材料计量允许偏差应符合表 23 的规定。

表 23 配料计量允许偏差

原材料品种	水泥	骨料	外加剂	掺合料	钢纤维
允许偏差 %	±2	±3	±1	±2	±1

注：骨料主要为石英砂；掺和料主要为石英粉、粉煤灰、硅灰等。

检验数量：每工作班抽查不少于 1 次。

检验方法：复称。

7.8.2.3 STC 应在浇筑现场随机取样制作试件进行力学性能检验。取样与试件留置应符合下列规定：

- 每拌制 50m<sup>3</sup> 的同配合比的 STC，取样不少于 1 次。不足 50m<sup>3</sup> 时，也按 50m<sup>3</sup> 计；
- 每工作班次，取样不得少于 1 次；
- 每次取样应至少留置两组试件进行同条件养护。

7.8.2.4 STC 的检验方法按附录 C 的规定执行。STC 的性能检验指标应符合表 24 中的规定。

表 24 STC 性能检验项目、方法及要求

项次	检验项目	检验方法	性能要求
1	抗压强度	抗压试验	$f_{cu,m} - 1.1S_{f_{cu}} \geq f_{cu,k}; f_{cu,min} \geq 0.95 f_{cu,k}$
2	抗弯拉强度	抗弯拉试验	$f_{f,m} \geq 1.05 f_{fk}; f_{f,min} \geq 0.95 f_{fk}$
3	弹性模量	轴压试验	按设计要求
4	坍落度	坍落度试验	$\geq 180\text{mm}; \leq 280\text{mm}$
5	扩展度	扩展度试验	$\geq 450\text{mm}; \leq 650\text{mm}$
注 1: $f_{cu,m}$ 和 $f_{cu,min}$ 分别为 STC 立方体抗压强度的平均值和最小值; 注 2: $f_{f,m}$ 和 $f_{f,min}$ 分别为 STC 的抗弯拉强度的平均值和最小值; 注 3: $S_{f_{cu}}$ 为抗压强度标准差。			

7.8.2.5 STC 应在浇筑地点随机抽样检验钢纤维是否结团及钢纤维含量; STC 拌合物中不宜有钢纤维结团现象, 钢纤维含量偏差不应超过配合比设计的钢纤维含量的  $\pm 5\%$ 。

检验数量: 同一工程、同一配合比的 STC 每  $100\text{m}^3$  为一批, 不足一批的也按一批计。每批至少抽检一次。

检验方法: 观察和按附录 D 中介绍的方法。

7.8.2.6 STC 层施工的允许偏差应符合表 25 中的规定。

表 25 STC 层施工的允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和频率
1	混凝土总层厚	$0 \sim +3\text{mm}$	摊铺过程中, 将直钢丝插入到 STC 的底部, 以直尺测量钢丝的浸润深度, 每 $40\text{m}^2$ 检验 1 处
2	桥面横坡	$\pm 0.15\%$	水准仪、皮尺测量, 每 $40\text{m}^2$ 检验 1 处
3	平整度	$\pm 3\text{mm}$	3m 铝合金直尺测, 每 $40\text{m}^2$ 检验 1 处

## 7.9 STC 湿接缝浇筑

### 7.9.1 施工要求

7.9.1.1 应严格按设计要求设置接缝。

7.9.1.2 浇筑 STC 前应在接缝位置设置竖向模板。模板安放后板身应稳固、竖直。

7.9.1.3 湿接缝浇筑前, 应对接缝面进行凿毛处理。凿毛施工应符合以下规定:

- 接缝凿毛断面上应有大量钢纤维裸露在外, 并无遗留松散残渣和屑末;
- 凿毛宽度不应小于 2cm;
- 浇筑 STC 前, 应对凿毛面进行洒水湿润, 但不能有积水。

7.9.1.4 对于设置异型加强钢板的 STC 接缝, 加强钢板的焊接施工应满足以下规定:

- 焊接加强钢板前, 应确保该区域的钢桥面板平整、光滑、洁净;
- 加强钢板在其周边通过角焊缝与钢面板连接, 宜采用间断焊缝;
- 焊接施工完成后, 应清除接缝区域的焊渣等杂物。

7.9.1.5 湿接缝 STC 浇筑的要求应符合本规范 7.8.1 的规定。

DB43/T 1173—2016

## 7.9.2 质量检验

7.9.2.1 加强钢板的形状、大小、安装位置应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察、钢尺测量。

7.9.2.2 STC 接缝凿毛处理应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察。

7.9.2.3 焊缝外形应饱满，表面无气孔、夹渣、裂纹等明显缺陷，不得有未焊接或未熔透的部分。

检验数量：全数检查。

检验方法：观察。

7.9.2.4 加强钢板焊接的允许偏差应符合表 26 中的规定。

表 26 加强钢板焊接的允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和频率
1	焊缝高度	≤0.5mm	钢尺测量，每 5m 加强板检测 1 处
2	焊缝宽度	≤0.5mm	钢尺测量，每 5m 加强板检测 1 处
3	焊缝长度	≤1mm	钢尺测量，每 5m 加强板检测 1 处

7.9.2.5 湿接缝 STC 浇筑施工的质量检验要求应符合本规范 7.8.2 的规定。

## 7.10 STC 养护

### 7.10.1 施工要求

7.10.1.1 STC 养护应包括摊铺后的保湿养护和终凝后的高温蒸汽养护。

7.10.1.2 STC 摊铺完成后，应及时喷水雾使已浇筑完成的混凝土面保持湿润状态，并及时用养生薄膜覆盖进行保湿养护，并应符合下列规定：

- 养生薄膜应搭接铺设，搭接位置宜采用方木或砂粒覆盖，搭接宽度应大于 20cm；
- 覆盖养生薄膜时，不应损坏 STC；
- 保湿养护过程中，应加强巡查力度，发现有缺水部位时，应及时补水养护；
- STC 终凝后（一般为 48 小时），即应撤除养生薄膜并开始高温蒸汽养护。

7.10.1.3 高温蒸汽养护宜采用蒸汽锅炉、蒸汽管道和蒸汽养护棚等设备，并应符合下列规定：

- 养护前，应根据养护面积计算好蒸汽锅炉功率、架子和保温棚的规格、数量；
- 养护前，应根据现场条件和养护要求确定架子搭设、锅炉布置及养护方案；
- 蒸汽养护棚应具有足够的强度、刚度、稳定性和密封性，顶面不应积水；
- 养护过程中温度控制宜采用自动控制系统。应合理设置监控点，确保能有效监控蒸汽养护棚内温、湿情况；
- 养护温度在 80℃~90℃时，养护时间不应少于 72h。养护温度在 90℃以上时，养护时间不应少于 48h。养护相对湿度不应低于 95%；
- 蒸汽高温养护时的升温阶段，升温速度不应大于 12℃/h。养护结束后，降温速度不应大于 15℃/h；
- 对于 STC 分幅、分段施工，蒸汽养护棚覆盖范围至少应超过接缝 2m。

### 7.10.2 质量检验

7.10.2.1 节水保湿养生薄膜应全数检验质量合格证和出厂检验报告,技术性能应符合本规范 5.4 的规定。节水保湿养生薄膜整体完好,局部未受损坏。对养生质量不利的受损部分要去掉不用。

检验数量:全数检验。

检验方法:产品合格证检验、出厂检验报告检验、外观检验。

7.10.2.2 STC 层蒸汽养护允许偏差应符合表 27 中的规定。

表 27 STC 层蒸汽养护允许偏差及检验规定

项次	检验项目	规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	养护棚内温度	+5℃	温度传感器,每小时检验 2 次
2	养护棚内湿度	+5%	湿度传感器,每小时检验 2 次
3	养护时间	+1h	计时器,每小时检验 2 次

## 7.11 STC 表面糙化处理

### 7.11.1 施工要求

7.11.1.1 STC 表面糙化处理后,其层间抗剪强度和抗拉拔强度应符合设计要求。

7.11.1.2 采用抛丸法糙化 STC 表面时应符合下列规定:

- 抛丸施工前应通过试验确定 STC 表面的粗糙度指标;
- 抛丸施工前应清除 STC 表面的油渍、锈迹、杂物,积水等杂质,确保桥面干燥、洁净;
- 大面积抛丸施工前应通过抛丸工艺试验,确定最佳丸料规格、丸料流量即最佳电机负载、抛丸设备行走速度等关键工艺参数;
- 抛丸过程应连续作业,如因特殊原因造成抛丸停机,在下次重抛之前应将机器倒退 30cm 左右,再重新开始抛丸,待机器行走过去后,应及时检查搭接区域抛丸质量,如有遗漏再进行补抛;
- 抛丸施工时,抛丸设备两次施工行车道之间需搭接 1cm~5cm 宽度;
- 抛丸后应清洗桥面,确保 STC 表面具有良好的清洁度,无浮灰、浮浆、碎屑等杂物;并对桥面进行保护,避免二次污染桥面;
- 在面层施工前,抛丸施工不宜过早进行。如过早进行,不利于裸露钢纤维的防锈蚀。

### 7.11.2 质量检验

7.11.2.1 STC 表面清洁度和粗糙度应符合设计要求和本规范 7.11.1 的规定。

检验数量:每 40m<sup>2</sup> 检验 1 处。

检验方法:目测法、铺砂法。

## 7.12 面层铺筑

7.12.1 面层铺筑施工应符合相关的施工及验收技术规范要求。

## 7.13 特殊气候条件下施工

### 7.13.1 一般规定

- 施工前,应预先收集当地月、旬、日天气预报资料。遭遇特殊气候条件时,应按特殊天气专项施工组织方案和应急处理预案采取相应措施;
- 下列天气条件之一者,STC 浇筑不得开工:

## DB43/T 1173—2016

- 现场降雨或下雪；
- 风力达到 6 级或 6 级以上的强风天气；
- 现场气温高于 40℃，或拌合物摊铺温度高于 35℃；
- 施工现场环境温度低于 5℃。

## 7.13.2 雨期施工

- 关注天气情况，STC 浇筑应安排在天气良好时段进行；
- 雨期施工时，应准备足量的防雨篷、帆布和塑料布或塑料薄膜等防雨器材和材料。防雨篷支架宜采用方便安装和拆卸的钢结构；
- STC 浇筑应从梁面的高处往低处进行；
- STC 层浇筑摊铺过程中遭遇降雨，当降雨影响 STC 层表面质量时应停止施工，并对已浇部分 STC 层进行防雨遮挡，等待雨停后继续施工；若需不停顿继续进行浇筑施工，应搭设防雨棚，保证 STC 浇筑不受下雨影响；
- 施工中若遭遇未预料大雨情况，必须在中途停止本次浇筑时，应停止施工，将已浇 STC 清除；
- 对已被雨水冲刷的 STC 层应及时修补、整平，保证其质量满足要求。对局部破坏较严重的面层，应在 STC 尚未初凝前铲除重浇。

## 7.13.3 刮风天施工

- 随 STC 浇筑过程，应及时覆盖养生薄膜进行保湿养护。养护膜表面应采取防风稳固措施，防止节水保湿膜被大风吹破或掀起；
- 养生过程中，应有专人负责巡视和检查，发现养护膜有被风掀起或吹破的情况，应重新洒水，并恢复覆盖。

## 7.13.4 高温期施工

铺装现场连续 4h 平均气温高于 30℃或日间最高气温高于 35℃时，轻型组合结构桥面施工应采取下列措施：

- 高温期宜选择在早晨、傍晚或夜间施工，避开中午高温时段施工。夜间施工应有良好的操作照明，并确保施工安全；
- 施工中应随时检测气温，以及干混料、搅拌水和拌合物温度，监控 STC 面层温度，温度过高时应及时采取防高温和降温措施；
- 高温期施工时，应控制混凝土拌合物的出料温度低于 35℃；
- 保湿养护时，应控制养生水温与 STC 层表面的温差不大于 12℃。不得采用冰水或冷水养生。

## 7.13.5 冬期施工

当施工现场环境温度处于 5℃~10℃时，应采取适当的保温覆盖措施，并随时检测气温和干混料、拌和水及桥面的温度。

## 7.14 STC 层破损修补

## 7.14.1 STC 破损拆除

- 应确定破损区域，并在 STC 表面用墨线定位；
- 采用砂轮机沿定位墨线切割 STC 及钢筋，切割时应严格控制切割深度，不得损伤桥面钢板；
- 采用风镐沿切割区域四周凿除 STC 层，露出钢筋头；

- 拔出 STC 层中纵横向钢筋；
- 清除钢桥面板上粘连的 STC 残渣及灰尘等，并对钢桥面进行清洗，确保桥面板清洁、光亮，无杂物、油脂、灰尘等。

#### 7.14.2 STC 修补

- STC 修补前，应对原 STC 层进行凿除处理，露出 STC 层中钢筋接头。凿除的宽度应符合设计要求，宜大于 10 倍钢筋直径；
- 浇筑 STC 前，应对接缝面 STC 进行凿毛，凿毛要求应符合本规范 7.9.1.3 的规定；
- 应检查钢桥面板上栓钉是否有破损、锈蚀等情况，不满足要求应敲除，并在原位置重新焊接；
- 绑扎纵横向钢筋前，应采用短钢筋将纵向接长钢筋与桥面钢板焊接，焊接长度满足构造要求；
- STC 施工，应满足本规范 7.8 和第 7.10 的相关规定。

#### 7.15 工程竣工验收

7.15.1 轻型组合结构桥面一般属于桥梁分部工程的一个部分，其子分部工程、分项工程的划分应按行业标准 JTG F80/1《公路工程质量检验评定标准》的规定进行。

7.15.2 质量竣工验收应在符合下列规定的前提下进行：

- 使用的原材料、半成品、成品及施工工艺应符合设计、技术标准和规范要求，检验结果应经监理工程师检查认可；
- 无严重外观缺陷，且质量保证资料应真实、齐全。

7.15.3 质量保证资料应包括下列内容：

- 所用原材料、半成品和成品的质量检验结果；
- 施工配合比、重要工序交接检查等检查记录；
- 各项质量控制指标的试验数据和质量检验资料；
- 施工过程中遇到的非正常情况记录及其对工程质量影响分析；
- 施工过程中如发生质量事故，经处理补救后，达到设计要求的认可证明文件。

7.15.4 工程完工后施工单位应随机选择测点对全桥面进行自检测定，在自检合格的基础上，经总监理工程师认可后，向主管部门申请竣工验收。

7.15.5 工程竣工验收应分别检验 STC 层和面层的强度或压实度、厚度、平整度、桥面横坡、抗滑构造深度等相关参数。STC 层和沥青面层的检验频率和检验结果应符合表 28 和表 29 中的规定，其他面层的检验应符合相关的检验标准的规定。工程竣工验收记录表格可参照附录 E 执行。

表 28 STC 实体的允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验频率	检验方法
1	强度	符合设计要求	按本规定 7.8.2.4 检查	同条件养护试件
2	厚度	0~+3mm	每 40m <sup>2</sup> 检验 1 处	T 0912
3	平整度	符合设计要求	全桥每车道连续检测，每 100m 检测一处	T 0932
4	桥面横坡	≤0.15%	每 100m 单幅桥面检测一处	T 0911
5	抗滑构造深度	符合设计要求	每车道桥面 50m 检测一处	铺砂法

注：检测方法 T 0912、T 0932、T 0911 参见现行行业标准 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》

DB43/T 1173—2016

表 29 沥青混凝土面层的允许偏差及检验规定

项次	检验项目	允许偏差	检验频率	检验方法
1	压实度	马歇尔密度的 97% 最大相对密度的 93%	每 100m 检验 2 处	T 0924
2	厚度	0~+5mm	每 100m 检验 2 处	T 0912
3	平整度	符合设计要求	全桥每车道连续检验, 每 100m 计算一次	T 0932
4	桥面横坡	≤0.3%	每 100m 测 5 处	T 0911
5	抗滑构造深度	符合设计要求	每 200m 检验 3 处	T 0961
注: 检测方法 T 0924、T 0961 参见现行行业标准 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》				

7.15.6 对工程质量验收不合格的, 监理单位应责令施工单位进行缺陷修补或返工, 并应重新进行质量验收。

附录 A  
(规范性附录)  
STC 用钢纤维性能检验方法

## A.1 钢纤维形状与尺寸检验

### A.1.1 钢纤维形状合格率的检验

每批次钢纤维中用感量 0.1g 的天平称取 1000g 钢纤维，从中随机取 50 根钢纤维。肉眼逐根检查其形状。记录钢纤维形状呈弯曲和其他形状等的纤维根数  $N_f$ 。

钢纤维形状合格率按式 (A.1) 计算，计算结果精确至 0.1%。

$$P_f = \frac{50 - N_f}{50} \times 100 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$P_f$ ——形状合格率，单位为百分数 (%)；

$N_f$ ——形状不符合要求的纤维根数，单位为根。

### A.1.2 钢纤维长度和直径合格率的检验

每批次钢纤维中用感量 0.1g 的天平称取 1000g 钢纤维，从中随机取 50 根钢纤维，用游标卡尺（分辨率 0.01mm）逐根测量其长度（精确度 0.1mm），用千分尺（分辨率 0.001mm）测量其直径（精确度 0.01mm）。记录长度不在 12mm~14mm 或 6mm~8mm 范围内的钢纤维根数和直径不在 0.18mm~0.22mm 或 0.12mm~0.16mm 范围内的钢纤维根数。

钢纤维长度和直径合格率按式 (A.2) 和 (A.3) 计算，计算结果精确至 0.1%。

$$P_l = \frac{50 - N_l}{50} \times 100 \dots\dots\dots (A.2)$$

$$P_d = \frac{50 - N_d}{50} \times 100 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$P_l$ ——长度合格率，单位为百分数 (%)；

$N_l$ ——长度不在 12mm~14mm 或 6mm~8mm 范围内的钢纤维根数，单位为根；

$P_d$ ——直径合格率，单位为百分数 (%)；

$N_d$ ——直径不在 0.18mm~0.22mm 或 0.12mm~0.16mm 范围内的钢纤维根数，单位为根。

## A.2 杂质含量检验

每批次钢纤维中用感量 0.01g 的天平称取 500g 钢纤维两份，分别对每份样品用肉眼观察钢纤维的表面是否污染。用人工挑拣出粘连的钢纤维束、锈蚀钢纤维以及其他杂质，并用感量 0.01g 的天平称重。杂质含量按式 (A.4) 计算，计算结果精确至 0.1%。两次结果的平均值作为评定结果。

$$W = \frac{m}{500} \times 100 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$W$ ——杂质含量，单位为百分数 (%)；

DB43/T 1173—2016

$m$ ——杂质质量，单位为克（g）。

### A.3 抗拉强度试验

A.3.1 钢纤维抗拉强度采用母材大试样进行试验。每批次钢纤维随机取 600mm 长的母材试样 5 根。

A.3.2 采用分辨率为 0.001mm 千分尺，在试样的断面相互垂直方向测量试样的截面直径，取平均值计算圆形钢纤维的截面积（单位为  $\text{mm}^2$ ），计算时应保留到小数点后四位。

A.3.3 采用量程为 100N~200N 的电子拉力试验机，加载速度为  $(1 \pm 0.2)\text{mm/min}$ ，测得极限拉伸荷  $P_{\max}$ 。

A.3.4 钢纤维的抗拉强度按式（A.5）计算：

$$f_u = \frac{P_{\max}}{A} \dots\dots\dots \text{(A.5)}$$

式中：

$f_u$ ——钢纤维抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

$P_{\max}$ ——钢纤维极限拉伸荷载，单位为牛顿（N）；

$A$ ——钢纤维截面面积，单位为平方毫米（ $\text{mm}^2$ ）。

A.3.5 五根试样抗拉强度测定值的算术平均值作为评定结果，精确至 0.1MPa。如 5 个测定值中有一个超出平均值的  $\pm 10\%$ ，应剔除该值，再以剩下 4 个测定值的平均值作为抗拉强度评定结果。如果这 4 个测定值中再有超过它们的平均值  $\pm 10\%$  的，则该组试验结果作废。单根试样的抗拉强度不应低于 1600MPa。

## 附录 B

## (规范性附录)

## 开口加劲肋侧扭屈曲的弹性临界弯矩计算

B.1 开口加劲肋侧扭屈曲的弹性临界弯矩宜采用数值分析方法计算。

B.2 开口加劲肋侧扭屈曲的弹性临界弯矩可采用弹性约束压杆模型,如图 B 所示,按下列公式简化计算:

$$M_{cr} = \frac{N_{cr} W_{0s}}{A_{sb} + A_{sw} / 2} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$N_{cr} = \frac{p^2 E_s I_{sby}}{l_0^2} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$l_0 = \frac{l}{\sqrt{m^2 + \frac{k_s l^4}{m^2 p^4 E_s I_{sby}}}} \dots\dots\dots (B.3)$$

$$m^2(m+1)^2 = \frac{k_s l^4}{p^4 E_s I_{sby}} \dots\dots\dots (B.4)$$

$$k_s = \frac{3E_s I_w}{h_s} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$I_w = \frac{1 \times t_w^3}{12} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$I_{sby} = \frac{t_{sb} b_{sb}^3}{12} \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

$M_{cr}$  ——开口加劲肋侧扭屈曲的弹性临界弯矩 (N·mm) ;

$N_{cr}$  ——等效弹性约束压杆的临界力 (N) ;

$W_{0s}$  ——不考虑开裂STC的截面模量 (mm<sup>3</sup>) ;

$A_{sb}$ 、 $A_{sw}$  ——受压下翼缘和腹板的面积 (mm<sup>2</sup>) ;

$E_s$  ——钢材弹性模量 (MPa) ;

$I_{sby}$  ——等效弹性约束压杆关于y轴的惯性矩 (mm<sup>4</sup>) ;

$l_0$  ——弹性约束压杆的计算长度 (mm) ;

$l$  ——弹性约束压杆的长度 (mm) ;

$m$  ——计算过程中无量纲数;

$k_s$  ——单位梁长的转动约束刚度 (N) ;

DB43/T 1173—2016

$I_w$  ——单位宽度腹板处平面的截面惯性矩 ( $\text{mm}^3$ ) ;

$h_s$  ——钢主梁翼缘剪力中心间的距离 ( $\text{mm}$ ) ;

$t_w$  ——钢主梁腹板厚度 ( $\text{mm}$ ) ;

$b_{sb}$ 、 $t_{sb}$  ——钢主梁下翼缘的宽度和厚度 ( $\text{mm}$ )。

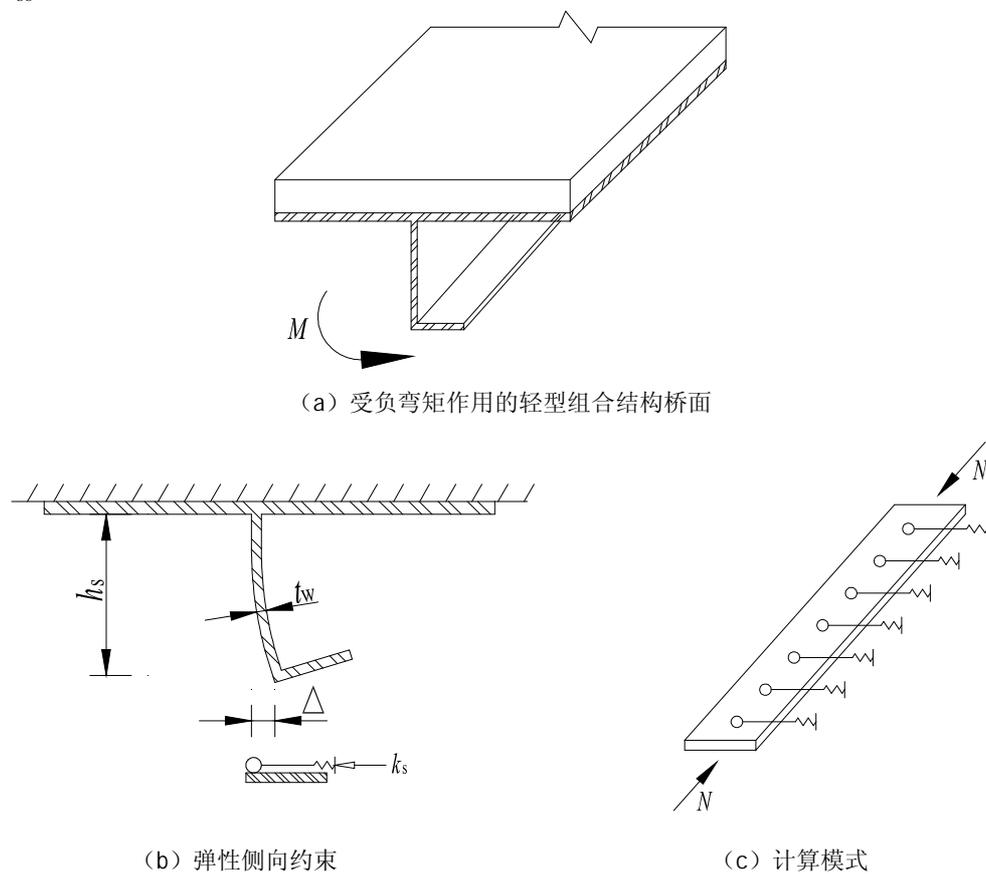


图 B 弹性约束压杆模型

## 附录 C

## (规范性附录)

## STC 试件的制作及试验方法

C.1 STC 拌合物的取样应符合下列规定：

——施工取样应符合 GB 50204《混凝土结构工程施工质量验收规范》的有关规定；

——现场取样应从同一次搅拌或同一车运送的 STC 中取出，取样量不应小于试样需要量的 1.5 倍，且不宜小于 20L。

C.2 STC 试件制作所用试模应符合 JG 3019《混凝土试模》要求的钢模。试件制作时，应将拌合物一次性装入试模，并略高出试模上口；振捣应在振动台上振动 30s 或持续到 STC 表面出浆为止，振捣密实后刮去多余的拌合物并用抹刀抹平。棱柱体应采用卧式成型。

C.3 试件与实际施工时的桥面同条件进行高温蒸养。蒸养应符合本规范 7.10 的相关规定。

C.4 在试件进行抗压试验前，应检验试件表面平整度。试件表面满足平整度不小于 0.04% 的要求。

C.5 STC 的力学性能试验应符合 GB/T 50081《普通混凝土力学性能试验方法标准》的规定，并应符合下列规定：

——抗压强度试验应采用 100 mm×100 mm×100 mm 立方体试件，加载速率应为 0.8MPa/s~1.0 MPa/s；

——抗弯拉强度试验应采用 100 mm×100 mm×400 mm 棱柱体试件，加载速率应为 0.08 MPa/s~0.1 MPa/s；

——弹性模量试验应采用 100 mm×100 mm×300 mm 棱柱体试件，加载速率应为 0.8MPa/s~1.0 MPa/s；

——抗压强度与抗弯拉强度试验值均不应乘以尺寸换算系数。

C.6 STC 拌合物的坍落度、扩展度、含气量和表观密度的试验应符合 GB/T 50080《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》的规定。

C.7 STC 的长期性能和耐久性能的试验应符合 GB/T 50082《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》的规定。

C.8 其他检验项目的试验方法应符合国家现行有关标准的规定。

## 附录 D

## (规范性附录)

## STC 拌合料中钢纤维体积率的试验、检验方法

## D.1 适用范围

本方法适用于测定 STC 拌合料中钢纤维所占的体积百分率，即钢纤维体积率。

## D.2 试验设备

- 电子天平：称重 1kg，感量不应低于 1g；
- 容量筒：钢制容积 5L；直径和筒高均为 186mm±2mm，壁厚 3mm；
- 振动台：频率宜为 50Hz±3Hz，空载时振幅宜为 0.5mm±0.1mm；
- 不锈钢筛网：网孔尺寸应为 2.5mm×2.5mm；
- 其他：振槌、铁铲、容器和磁铁等。

## D.3 检验步骤

- 应把容量筒内外擦拭干净；
- 应一次性将拌合物灌倒高出容量筒口，并利用振动台或振槌进行振实。振动过程中如拌合物沉落低于筒口，应随时添加，直至表面出浆；
- 刮去多余的拌合物，并填平表面凹陷部分；
- 将拌合物倒入不小于 10 倍拌合物体积的大容器中，加水搅拌，用磁铁收集水中的钢纤维，并仔细洗净粘附在钢纤维上的异物；
- 将收集的钢纤维在 105℃±5℃ 的温度下烘干至恒重，烘干时间应不少于 4h，然后每隔 1h 称重一次，直至连续两次称量之差小于较小值的 0.5% 时为止。冷却至室温后称其质量，精确至 1g。

## D.4 试验结果计算与处理

## D.4.1 钢纤维体积率计算

——钢纤维体积率按式 (D.1) 计算：

$$V_{sf} = \frac{m_{sf}}{r_{sf} V} \times 100 \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- $V_{sf}$  —— 钢纤维体积率 (%)；
- $m_{sf}$  —— 容量筒中钢纤维质量 (g)；
- $V$  —— 容量筒容积 (L)；
- $r_{sf}$  —— 钢纤维密度 (kg/m<sup>3</sup>)。

## D.4.2 试验结果处理

——试验应分两次进行，两次测定的偏差应小于两次测量平均值的 5%，否则结果无效，应重

新检测；  
——取两次测定值的平均值作为钢纤维含量试验结果。

DB43/T 1173—2016

附录 E  
(资料性附录)  
轻型组合结构桥面工程施工质量验收记录表格

表 E.1 分部(子分部)工程施工质量验收记录表

分部(子分部)工程名称: \_\_\_\_\_ 验收日期 年 月 日

工程名称		结构类型		层数	
施工单位		技术负责人		质量部门负责人	
分包单位		分包单位负责人		分包技术负责人	
序号	分项工程名称	检验批数	施工单位检验评定		验收意见
质量控制资料(项/份)					
安全和功能检验(检测)报告 (项/份)					
观感质量验收					
验收 单位	总包单位	项目经理		年 月 日	
	分包单位	项目经理		年 月 日	
	设计单位	项目负责人		年 月 日	
	建设单位	项目负责人		年 月 日	
	监理单位	项目总监理工程师(建设单位项目技术负责人):		年 月 日	

表 E.2 分项工程施工质量验收记录表

分项工程名称： \_\_\_\_\_ 验收日期 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

工程名称		结构类型		检验批数	
施工单位		项目经理		项目技术负责人	
分包单位		分包单位负责人		分包项目经理	
序号	检验批部位、区段	施工单位检验评定结果		监理单位验收结论	备注
检查结论：			验收结论：		
施工单位项目 专业技术 负责人			项目总监理工 程师（建设单 位专业技术负 责人）		



附录 F  
(资料性附录)  
用词、用语说明

- F.1 在执行本规范条文时为便于理解执行的严格程度，对要求严格程度不同的用词说明如下：
- F.1.1 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”。
- F.1.2 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”。
- F.1.3 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”。
- F.1.4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- F.1.5 规范中指定应按其他有关规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 参 考 文 献

- [1] AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (SI unit, the 4th Edition) [S]. 2007.
  - [2] European Committee for Standardization . Eurocode 1: Actions on structures—Part 2: Traffic loads on bridges(EN 1993-1-9)[S]. 2002.
  - [3] European Committee for Standardization . Eurocode 3: Design of steel structures-Part 1-9: Fatigue(EN 1993-1-9)[S]. 2005.
  - [4] European Committee for Standardization . Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, Part 2-General Rules and Rules for Bridges (EN 1994-2) [S]. 2005.
  - [5] AFGC, SETRA. Ultra high performance fiber reinforced concrete. Recommendations[S]. Paris: AFGC&SETRA Working Group, 2013.
  - [6] Sri ram A, Bradley P, et al. Design guide for Precast UHPC waffle deck panel system including connections[R]. FHWA-HIF-13-032. Washington DC: Federal Highway Administration , 2013.
-