

钢-高韧性混凝土组合桥面设计 与施工规范

Specifications for Design and Construction of Steel-Super Toughness
Concrete Composite Deck

2026-08-28 发布

2026-11-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据交通运输部公路工程行业标准制修订项目计划的要求，由湖南大学承担《钢-高韧性混凝土组合桥面设计与施工规范》（以下简称“本规范”）的制定工作。

本规范对钢-高韧性混凝土组合桥面设计、施工、质量检验的有关技术要求进行了规定。在编制过程中，编写组吸收了国内钢-高韧性混凝土组合桥面相关研究成果和工程应用经验，广泛征求了设计、施工、建设、管理等有关单位和部门的意见，经过反复讨论、修改后定稿。

本规范共分6章和1个附录，主要包括：1 总则、2 术语和符号、3 材料、4 设计、5 施工、6 质量检验，附录A STC 裂缝宽度计算方法。

本规范由邵旭东负责起草第1章，李嘉负责起草第2章，黄政宇负责起草第3章（其中，李嘉负责第3.6、3.7节），邵旭东负责起草第4章（其中，冯良平、崔剑峰负责第4.1节，王昌将、梁立农、刘新华负责第4.2节，要荆荆、张家元、刘小辉负责第4.3节，曹君辉负责第4.4节，王洋负责第4.5节，李嘉负责第4.8、4.9节），姚志安、吴新印、周志敏负责起草第5章（其中，邵旭东、黄政宇负责第5.1、5.6节，李嘉负责第5.7、5.8节），曹君辉负责起草第6章（其中，吴新印、周志敏负责第6.2节，邵旭东、黄政宇负责第6.6节，李嘉负责第6.7、6.8节），王洋负责起草附录A。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：曹君辉（地址：湖南省长沙市岳麓区，湖南大学土木工程学院，邮编：410082；电话：15802536124；电子邮箱：caojunhui@hnu.edu.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：湖南大学

参 编 单 位：中交公路规划设计院有限公司

湖南省交通规划勘察设计院有限公司

浙江数智交院科技股份有限公司

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

广东虎门大桥有限公司

中铁长江交通设计集团有限公司

湖南中路华程桥梁科技股份有限公司

广东冠生土木技术有限公司

主 编：邵旭东

主要参编人员：曹君辉 王 洋 黄政宇 李 嘉 冯良平 崔剑峰
王昌将 梁立农 刘新华 姚志安 耍荆荆 张家元
吴新印 周志敏 刘小辉

主 审：张劲泉

参与审查人员：李彦武 周海涛 袁 洪 鲍卫刚 樊健生 陈冠雄
钟建驰 赵君黎 侯金龙 刘元泉 陈国平 颜东煌
田克平 王旭东 王景全 王宏博 章登精 赵 筠
冷发光 黄 侨 刘玉擎 朱 玉 张志新 龙广成
侍 刚 袁 波 于 光

参 加 人 员：喻 满 邵晓东 李立峰 张 阳 赵 华 樊 伟
伍隋文 邱明红 罗 军 冯家辉

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	材料	4
3.1	一般规定	4
3.2	STC 原材料	4
3.3	STC 干混料	6
3.4	STC	7
3.5	钢材	10
3.6	黏结层材料	10
3.7	磨耗层材料	11
4	设计	14
4.1	一般规定	14
4.2	作用效应计算	15
4.3	强度计算	17
4.4	疲劳计算	19
4.5	STC 抗裂计算	21
4.6	变形计算	24
4.7	连接件计算	24
4.8	黏结层设计	27
4.9	磨耗层设计	28
4.10	构造要求	28
5	施工	33
5.1	一般规定	33
5.2	施工准备	33
5.3	钢桥面处理	34
5.4	连接件焊接	34
5.5	钢筋施工	35
5.6	STC 施工	35
5.7	STC 层表面处理及黏结层施工	37

5.8	磨耗层施工	37
6	质量检验	39
6.1	一般规定	39
6.2	材料进场检验	39
6.3	钢桥面处理	40
6.4	连接件焊接	40
6.5	钢筋工程	41
6.6	STC 工程	41
6.7	STC 层表面处理及黏结层工程	43
6.8	磨耗层工程	43
附录 A	STC 裂缝宽度计算方法	45
	本规范用词用语说明	50

1 总则

1.0.1 为规范和指导钢-高韧性混凝土组合桥面的设计和施工，保证工程质量，按照安全、耐久、适用、环保、经济的原则，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各等级新建和改建公路钢桥的钢-高韧性混凝土组合桥面设计和施工。

1.0.3 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数设计表达式进行设计。

1.0.4 钢-高韧性混凝土组合桥面的设计和施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 高韧性混凝土 super toughness concrete (简称“STC”)

由水泥、细集料、矿物掺合料、钢纤维、纳米二氧化硅或纳米碳酸钙、外加剂等材料制成的干混料，加水拌和凝结硬化后形成的抗弯拉强度在 22MPa 以上的高强高韧性水泥基复合材料。

2.1.2 钢-高韧性混凝土组合桥面 steel-STC composite deck

由正交异性钢桥面板、STC 层和磨耗层组合而成的桥面，其中 STC 层与钢桥面通过连接件连接，磨耗层与 STC 层通过黏结层黏结。

2.1.3 高韧性混凝土干混料 STC dry-mix cementitious product

由 STC 原材料按配合比，经计量、混合而成的固态混合物。

2.1.4 焊接钢筋网连接件 welded steel mesh connector

STC 层内钢筋网与钢面板间隔焊接，在 STC 层与钢桥面间形成的连接件。

2.1.5 Z 形钢板 Z-shaped steel plate

STC 分段或分幅施工时，布设在先浇与后浇 STC 层施工缝处的强化钢板。

2.1.6 改性环氧树脂碎石薄层 modified epoxy macadam thin layer

以改性环氧树脂为结合料，采用坚硬耐磨集料的高性能磨耗层。

2.2 符号

E_c ——STC 弹性模量；

E_r ——钢筋弹性模量；

E_s ——钢材弹性模量；

$f_{cu,k}$ ——STC 立方体抗压强度标准值；

f_{ck} 、 f_{cd} ——STC 轴心抗压强度标准值、设计值；

- f_{fk} ——STC 抗弯拉强度标准值；
 f_{tk} 、 f_{td} ——不配筋 STC 的轴心抗拉强度标准值、设计值；
 $[f_{t,trans}^{serv}]$ 、 $[f_{t,longi}^{serv}]$ ——STC 横、纵桥向名义抗裂强度；
 $[f_{t,trans}^{ulti}]$ 、 $[f_{t,longi}^{ulti}]$ ——STC 横、纵桥向名义抗拉极限强度；
 $[f_{t,trans,joint}^{serv}]$ 、 $[f_{t,longi,joint}^{serv}]$ ——施工缝处 STC 横、纵桥向名义抗裂强度；
 $[f_{t,trans,joint}^{ulti}]$ 、 $[f_{t,longi,joint}^{ulti}]$ ——施工缝处 STC 横、纵桥向名义抗拉极限强度；
 G_c ——STC 剪切变形模量；
 K ——STC 中纤维取向系数；
STC22——100mm × 100mm × 400mm 的棱柱体抗弯拉强度标准值为 22 MPa 的高韧性混凝土；
 α_c ——STC 温度线膨胀系数；
 γ ——配筋 STC 重度；
 μ_c ——STC 泊松比。

3 材料

3.1 一般规定

- 3.1.1 STC 材料应采用工厂预拌干混料生产工艺。
- 3.1.2 STC 强度等级应根据抗弯拉强度标准值确定，可分为 STC22、STC25、STC28 级。
- 3.1.3 不同强度等级 STC 干混料应分别进行配合比设计并通过检验验证，干混料出厂时应提供施工配合比。

3.2 STC 原材料

- 3.2.1 水泥的强度等级应不低于 42.5 级，并应符合下列规定：
 - 1 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥除应符合现行《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的规定外，铝酸三钙的含量宜小于 6%。
 - 2 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥应符合现行《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》（GB/T 200）的规定。
 - 3 白色硅酸盐水泥应符合现行《白色硅酸盐水泥》（GB/T 2015）的规定。
- 3.2.2 矿物掺合料应符合现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定。
- 3.2.3 纳米碳酸钙除应符合现行《纳米碳酸钙》（GB/T 19590）的规定外，尚应符合表 3.2.3 的规定。

表 3.2.3 纳米碳酸钙技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
碳酸钙含量	%	> 90	GB/T 19590
平均粒径	nm	55 ~ 65	GB/T 19590

- 3.2.4 纳米二氧化硅应符合表 3.2.4 的规定。

表 3.2.4 纳米二氧化硅技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
二氧化硅含量	%	>99.9	GB/T 3286.2
平均粒径	nm	7 ~ 13	GB/T 28600
比表面积	mm ² /g	6.45×10^8	GB/T 19587
氯离子含量	%	<0.028	JGJ/T 322

3.2.5 细集料应符合下列规定：

1 细集料的含泥量、石粉含量、泥块含量、有害物质限量、坚固性应符合现行《建设用砂》（GB/T 14684）中的 I 类规定。

2 采用石英砂和石英粉时，应符合现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定。

3.2.6 外加剂应符合现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定。

3.2.7 钢纤维宜采用长、短搭配的混杂高强度钢纤维，并应符合表 3.2.7 的规定，性能检验应符合现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定。

表 3.2.7 钢纤维技术要求

检验项目	单位	技术要求
抗拉强度	MPa	$\geq 2\,000$
长度合格率 ^a	%	≥ 96
直径合格率 ^b	%	≥ 90
形状合格率	%	≥ 96
杂质含量、表面污染和锈蚀状况	%	≤ 1.0

注：^a50 根试样中，实测长度与公称长度偏差在 $\pm 2\text{mm}$ 内的纤维所占数量比。

^b50 根试样中，实测直径与公称直径偏差在 $\pm 0.02\text{mm}$ 内的纤维所占数量比。

条文说明

纤维搭配以不结团为基本原则。目前工程中常用的长钢纤维长度为 12 ~ 14mm，直径为 0.18 ~ 0.22mm；短钢纤维长度为 7 ~ 9mm，直径为 0.11 ~ 0.15mm。

3.2.8 钢纤维的长径比应在 60 ~ 100 范围内，其中短钢纤维体积含量宜为钢纤维体积总含量的 30% ~ 40%。

3.3 STC 干混料

3.3.1 STC 干混料配合比宜采用绝对体积法进行设计。

3.3.2 集料与胶凝材料中各组分的相对比例宜按颗粒紧密堆积理论设计，并应通过试验验证。

3.3.3 STC 水胶比不宜大于 0.20，钢纤维体积率不应小于 2.5%，且不宜大于 3.5%。

条文说明

研究表明，STC 水胶比低于 0.22 时，内部毛细孔基本不连通，从而保障了其耐久性。从国内外实践经验看，超高性能混凝土的水胶比绝大部分在 0.20 以下。因此，为保证 STC 优异的耐久性，规定水胶比的上限值为 0.20。

钢纤维是 STC 的必需组分，钢纤维的加入是为了提高 STC 的韧性。STC 需具有优良的抗拉应变硬化性能，以满足钢桥面上的高拉应力要求，因此，对 STC 的钢纤维体积率下限值进行了规定。另一方面，钢纤维体积率过高，会增加材料成本，同时可能会产生纤维结团、工作性能和力学性能降低等不利影响，因此，结合国内外已有经验，STC 中纤维体积率一般不大于 3.5%。

3.3.4 胶凝材料用量不宜大于 $950\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中硅灰用量不宜小于胶凝材料用量的 15%，水泥用量不宜小于胶凝材料用量的 50%。选掺纳米碳酸钙或纳米二氧化硅时，纳米碳酸钙掺量不宜大于胶凝材料用量的 3%，纳米二氧化硅掺量不宜大于胶凝材料用量的 1%。

条文说明

胶凝材料用量过多会增加 STC 的收缩量；硅灰用量过少难以实现颗粒间的紧密堆积；纳米碳酸钙可以提高基体的抗拉强度及基体与钢纤维的黏结强度，纳米二氧化硅可以提高密实度及基体与钢纤维的黏结强度，因而可以选掺这两种纳米材料中的一种，以防止 STC 收缩受钢板约束而出现早期宏观裂缝，但纳米材料掺入过多会降低 STC 的工作性能。

3.3.5 STC 干混料应在计算初始配合比的基础上，经试验室调整得到满足强度条件和工作性能要求的基础配合比。

3.3.6 不同强度等级的 STC 施工配合比, 宜根据 STC 干混料基础配合比, 采用干混料加水, 或采用干混料加液体外加剂及水进行设计。

3.3.7 配制不同抗压强度的 STC 宜以调整水胶比为主; 配制不同抗弯拉强度的 STC 宜以调整钢纤维体积率、长度、长径比、形状等参数为主, 以调整水胶比为辅。

3.3.8 STC 干混料生产配料应符合现行《活性粉末混凝土》(GB/T 31387) 的规定。

3.3.9 STC 干混料中钢纤维应均匀分散, 无纤维结团和锈蚀现象。

3.3.10 STC 干混料产品应干燥、色泽均匀、无结块, 应采用防潮包装; 拌和均匀且单次拌和的干混料宜置于同一包装中。

3.3.11 STC 干混料产品生产后的存放时间不应超过 3 个月。

3.3.12 STC 干混料生产厂家应提供干混料出厂合格证、质量证明书、产品使用说明书, 以及按施工配合比拌制的 STC 性能检验报告。

3.4 STC

3.4.1 STC 的配制强度应按式 (3.4.1-1) 和式 (3.4.1-2) 计算:

$$f_{cu,0} \geq 1.15f_{cu,k} \quad (3.4.1-1)$$

$$f_{f0} \geq 1.1f_{fk} \quad (3.4.1-2)$$

式中: $f_{cu,0}$ ——STC 抗压强度的配制强度 (MPa);
 f_{f0} ——STC 抗弯拉强度的配制强度 (MPa);
 $f_{cu,k}$ ——STC 立方体抗压强度标准值 (MPa);
 f_{fk} ——STC 抗弯拉强度标准值 (MPa)。

条文说明

本规范定义 STC 立方体抗压强度标准值是指按标准方法制作, 并经蒸汽养护的边长为 100mm 立方体试件, 以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度值。STC 抗弯拉强度标准值是指按标准方法制作并经蒸汽养护的 100mm × 100mm × 400mm 棱柱体试件, 以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗弯拉强度值。由于 STC 层受力由抗拉性能控制, 因此, 本规范以 STC 抗弯拉强度标准值定义其强度等级。

3.4.2 STC22、STC25、STC28 的轴心抗拉强度标准值宜分别取 7MPa、8MPa、9MPa, STC 抗拉强度、抗压强度的标准值和设计值应按表 3.4.2 的规定采用。

表 3.4.2 STC 抗拉强度、抗压强度标准值和设计值

强度等级	轴心抗拉强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)		
	标准值 f_{tk}	设计值 f_{td}	立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$	轴心抗压强度标准值 f_{ck}	轴心抗压强度设计值 f_{cd}
STC22	7	4.8	120	84	58
STC25	8	5.5	140	98	68
STC28	9	6.2	160	112	77

条文说明

对 STC 轴心抗拉强度、抗压强度标准值和设计值，说明如下：

(1) STC 轴心抗拉强度标准值：根据 STC 抗弯拉强度等级划分，STC22、STC25 和 STC28 的轴心抗拉强度标准值依次取 7MPa、8MPa 和 9MPa。

(2) STC 轴心抗拉强度设计值：考虑材料分项系数的抗拉强度设计值，记为 f_{td} ，用于构件设计。编写组调研国内外已有 STC 组合桥面负弯矩试验，共搜集了 48 个组合桥面负弯矩抗弯试验结果，并对 STC 材料分项系数进行误差分析和可靠度校核。结果表明，在满足可靠指标 4.2 的要求下，对于 35mm 厚 STC 层，STC 材料分项系数取 1.3；对于 40mm 及以上厚度的 STC 层，STC 材料分项系数取 1.2。结合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)，偏安全地将 STC 的材料分项系数取为 1.45。因此抗拉强度设计值为： $f_{td}=f_{tk}/1.45$ 。

(3) 轴心抗压强度标准值：根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018) 的规定，混凝土轴心抗压强度标准值为棱柱体抗压强度，记为 f_{ck} ，其与混凝土强度等级（立方体抗压强度标准值）的关系为式 (3-1)：

$$f_{ck}=0.88\alpha f_{cu,k} \quad (3-1)$$

式中： α ——棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值，编制组统计了国内外总计 142 组强度范围在 77~189MPa 范围内的超高性能混凝土立方体抗压强度和棱柱体抗压强度试验结果，结果表明，超高性能混凝土棱柱体抗压强度和立方体抗压强度的比值约在 0.76~1.01 间，平均值为 0.890，标准差为 0.055，95% 保证率的数值为 0.800，因此本规范取 $\alpha=0.80$ 。同时，由于超高性能混凝土中掺有钢纤维，超高性能混凝土的受压脆性得到显著改善，可以不考虑脆性折减系数。

(4) 轴心抗压强度设计值：考虑材料分项系数的抗压强度设计值，记为 f_{cd} ，用于构件设计。对于 STC，材料分项系数取为 $\gamma_c=1.45$ ，因此轴心抗压强度设计值为： $f_{cd}=0.88 \times 0.80 \times f_{cu,k}/1.45$ 。

3.4.3 STC 应具有轴拉应变硬化特性，极限拉应变标准值 ε_{tk} 宜取 $2\,000\mu\varepsilon$ 。初裂应

变标准值 $\varepsilon_{\text{crack},k}$ 应根据轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 和本规范第 3.4.4 条规定的 STC 弹性模量 E_c 计算确定（图 3.4.3）。

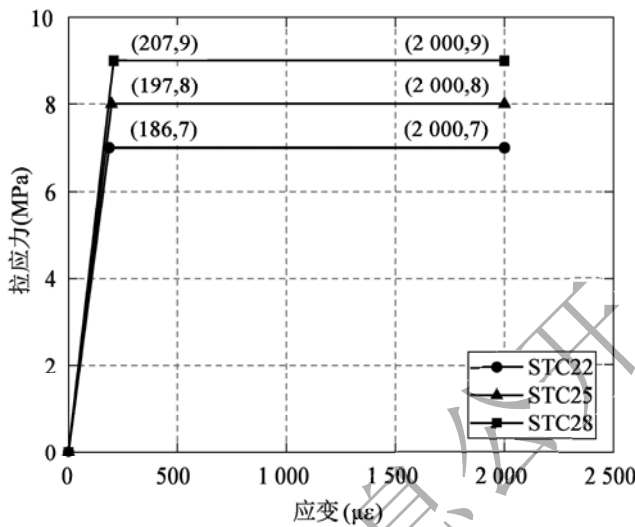


图 3.4.3 STC 的轴拉应力-应变曲线

3.4.4 STC 弹性模量 E_c 应按现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的规定通过试验确定。当无相关试验资料时，可按表 3.4.4 取用。

表 3.4.4 不同强度等级 STC 弹性模量 E_c

STC 强度等级	STC22	STC25	STC28
弹性模量 E_c ($\times 10^3$ MPa)	37.6	40.7	43.5

条文说明

STC 弹性模量的计算方法参考了文献 *Design Guide for Precast UHPC Waffle Deck Panel System, including Connections* (FHWA, 2013) 的相关公式，见式 (3-2)：

$$E_c = 3\,435.6 \sqrt{f_{\text{cu},k}} \quad (3-2)$$

式中： E_c ——STC 弹性模量 (MPa)；

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

将表 3.4.2 中不同强度等级 STC 的立方体抗压强度标准值代入式 (3-2)，得到表 3.4.4 中的 STC 弹性模量。

3.4.5 STC 剪切变形模量 G_c 宜按表 3.4.4 中 E_c 值的 0.4 倍采用，STC 泊松比 μ_c 可取为 0.2。

3.4.6 STC 温度线膨胀系数 α_c 宜取为 $1.1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

3.4.7 STC 蒸汽养护后收缩应变值应取为 0，徐变系数终极值应取为 0.2。

条文说明

自然养护条件下, STC 的收缩在 28d 龄期约完成 60% ~ 70%, 全部收缩完成需要约 30 年。若不蒸汽养护, STC 层的长期收缩变形受到钢面板的强力约束, 运营中存在较高的收缩开裂风险。而蒸汽养护可以消除 STC 的绝大部分收缩应变, 并显著降低 STC 的徐变变形。

3.5 钢材

3.5.1 焊钉连接件应符合现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433) 的规定。

3.5.2 普通钢筋宜选用 HRB400 或 HRB500 钢筋, 并应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 的规定。

3.5.3 Z 形钢板宜选用 Q345 及以上钢材, 并应符合现行《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64) 的规定。

3.6 黏结层材料

3.6.1 黏结层材料应同时具备与 STC 层、磨耗层牢固黏结的能力, 具有较强的变形适应性, 且高温与低温环境下性能良好。

3.6.2 黏结层材料宜采用高黏高弹沥青、环氧沥青、二次固化环氧树脂。

条文说明

酷热地区、重载交通、重要通道及长大纵坡等对层间抗剪强度要求高的工程, 黏结层建议采用改性环氧树脂, 一般工程采用高黏高弹沥青、环氧沥青等。

3.6.3 高黏高弹沥青黏结剂除应符合现行《高黏高弹道路沥青》(GB/T 30516) 的规定外, 尚应符合表 3.6.3 的规定。

表 3.6.3 高黏高弹沥青黏结剂技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
复合试件 层间剪切强度	23℃ ± 2℃	MPa	≥0.80	JTG/T 3364-02
	60℃	MPa	≥0.35	
黏结强度 (与 STC 层)	23℃ ± 2℃	MPa	≥0.6	
	60℃	MPa	≥0.20	

3.6.4 环氧沥青黏结剂除应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定外, 尚应符合表 3.6.4 的规定。

表 3.6.4 环氧沥青黏结剂技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
复合试件 层间剪切强度	23℃ ± 2℃	MPa	≥ 1.2	JTG/T 3364-02
	60℃	MPa	≥ 0.5	
黏结强度 (与 STC 层)	23℃ ± 2℃	MPa	≥ 1.5	
	60℃	MPa	≥ 0.7	

3.6.5 二次固化环氧树脂黏结剂应符合表 3.6.5 的规定。

表 3.6.5 二次固化环氧树脂黏结剂技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
AB 组分混合后/表干时间 (25℃ ± 2℃)		h	12 ~ 24	不黏手
完成面层摊铺时间		h	24 ~ 48	—
拉伸强度 (23℃ ± 2℃)		MPa	≥ 3.0	GB/T 2567
延伸率 (23℃ ± 2℃)		%	≥ 150	GB/T 2567
柔韧性 (-20℃ ± 2℃)		—	无裂纹	JC/T 408
耐热性 (160℃ ± 2℃)		—	不流淌, 不滑动	JC/T 408
复合试件 层间剪切强度	23℃ ± 2℃	MPa	≥ 1.6	JTG/T 3364-02
	60℃	MPa	≥ 0.8	
黏结强度 (与 STC 层)	23℃ ± 2℃	MPa	≥ 2.0	
	60℃	MPa	≥ 1.0	

条文说明

二次固化环氧树脂具有分两次固化的特性, 将环氧树脂喷洒或涂刷在抛丸处理后的 STC 层表面, 养护一定时间后第一次固化。铺筑热拌沥青混合料时树脂黏结层迅速熔解软化, 冷却后黏结剂二次固化, 从而在 STC 层与沥青磨耗层间形成牢固的黏结。

3.7 磨耗层材料

3.7.1 磨耗层宜采用 SMA、改性沥青混凝土、改性环氧树脂碎石薄层等材料。

3.7.2 磨耗层材料应具有抗滑耐磨、抗裂耐久、抗高温变形等性能, 并应与黏结层黏结良好。

条文说明

改性环氧树脂碎石薄层的总厚度通常为 7~10mm，能有效减轻桥面自重，具有高抗弯拉强度和抗压强度，能够提供长久的抗滑能力，温度稳定性好，无车辙和推移破坏，根据 *Long-Term Performance of Polymer Concrete for Bridge Decks*（NCHRP Synthesis 423，2011）的研究，其服役寿命为 15~20 年。

3.7.3 SMA、改性沥青混凝土应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》（JTG/T 3364-02）的规定。

3.7.4 改性环氧树脂碎石薄层用改性环氧树脂应符合表 3.7.4 的规定。

表 3.7.4 改性环氧树脂碎石薄层用改性环氧树脂技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
固化时间（25℃）		h	≤12	—
拉伸强度	23℃ ± 2℃	MPa	≥12	GB/T 2567
	- 10℃	MPa	≥40	
断裂伸长率	23℃ ± 2℃	%	≥40	
	- 10℃	%	≥5	
吸水率		%	≤0.3	
邵氏硬度（Shore D）		—	50 ~ 70	GB/T 2411
耐腐蚀性 （20℃）	Ca(OH) ₂ 中浸泡 15d	—	无异常	—
	3% 盐水浸泡 15d	—	无异常	
黏结强度 （与 STC 层）	23℃ ± 2℃	MPa	> 3.0	JTG/T 3364-02
	60℃	MPa	> 1.5	

3.7.5 改性环氧树脂碎石薄层用撒布碎石应符合表 3.7.5 的规定。

表 3.7.5 改性环氧树脂碎石薄层用撒布碎石技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
石料压碎值	%	≤10	JTG 3432
洛杉矶磨耗损失	%	≤20	
磨光值	PSV	≥48	
含水率	%	≤1	
密度	g/cm ³	≥2.6	
粒度	mm	3.0 ~ 5.0	
针片状颗粒含量	%	≤5	

3.7.6 改性环氧树脂碎石薄层技术指标应符合表 3.7.6 的规定。

表 3.7.6 改性环氧树脂碎石薄层技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
外观	—	色泽均匀，集料分布均匀， 面层及缝隙处无裂缝	目测
三点弯曲试验，破坏应变 (-10℃，50mm/min)	με	≥4 000	JTG 3410
三点弯曲试验，破坏应变 (15℃，50mm/min)	με	≥6 000	JTG 3410
车辙试验 (60℃，4h)	—	无明显磨损和脱层	T 0719

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 STC 组合桥面计算的作用（或荷载）应符合现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）的规定。

4.1.2 STC 组合桥面设计应按承载能力极限状态进行强度计算。作用（或荷载）组合应采用基本组合，材料强度应采用其强度设计值。

4.1.3 STC 组合桥面疲劳计算应符合现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定。

条文说明

根据《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定，疲劳荷载有三种类型，钢桥面采用疲劳荷载模型Ⅲ，且为单车模型。

4.1.4 STC 组合桥面应按正常使用极限状态，进行裂缝宽度、挠度和连接件滑移计算。裂缝宽度、挠度和连接件滑移验算的作用（或荷载）组合应符合现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64-01）的规定。

4.1.5 STC 组合桥面应分别按第一、第二和第三体系计算，并对计算结果进行线性叠加。

条文说明

STC 组合桥面计算的三个体系：（1）第一体系：组合桥面作为钢主梁全截面的上翼缘，承受整体荷载，称为“主梁体系”；（2）第二体系：STC 层与带纵肋的钢桥面共同形成支撑在主梁腹板、横隔板上的组合桥面板，承受车辆局部荷载，称为“桥面体系”；（3）第三体系：STC 层与钢面板共同形成支撑在桥面纵向加劲肋上的连续组合板，板体承受车轮的局部荷载，称为“面板体系”。

4.1.6 第一体系应按现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01)的规定进行整体受力计算。

4.1.7 第二、第三体系应建立节段有限元模型进行局部受力计算。

条文说明

STC 组合桥面纵桥向计算分析将整体和局部计算结果进行线性叠加,整体计算建模时以杆系单元为主;横桥向仅计入局部受力计算结果,局部计算建模时钢梁采用板壳单元,STC 层采用实体单元,连接件采用弹簧单元。

4.1.8 配筋 STC 重度可按式 (4.1.8) 计算;当有可靠试验依据时,也可按实测数据确定。

$$\gamma = 24 (1 - \rho_f - \rho_s) + 78.5 (\rho_f + \rho_s) \quad (4.1.8)$$

式中: γ ——STC 重度 (kN/m^3);

ρ_f ——钢纤维体积率;

ρ_s ——钢筋体积率。

4.1.9 STC 组合桥面表面功能层的黏结层应与磨耗层进行匹配设计。

4.1.10 STC 层的设计使用年限为 100 年;磨耗层设计使用年限应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定。

4.2 作用效应计算

4.2.1 STC 组合桥面的作用效应计算应符合下列规定:

- 1 应按弹性方法进行计算。
- 2 当计算桥梁的整体受力时,作用效应计算可不计入钢面板与 STC 层间的滑移效应;当计算桥面局部受力时,应计入两者间的滑移效应。

条文说明

整体受力计算时,由于钢面板与 STC 层间的连接件数量较多,且层间剪力较小,通常忽略两者间的滑移效应。而局部受力计算时,组合桥面在车轮荷载作用下,层间剪力较大,需要计入钢面板与 STC 层间的滑移效应。

4.2.2 STC 组合桥面的整体温度效应计算应符合现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 的规定。

4.2.3 STC 组合桥面的温度梯度效应按图 4.2.3 所示的竖向温度梯度分布形式计算, 温度梯度的取值应按式 (4.2.3-1)、式 (4.2.3-2) 计算。

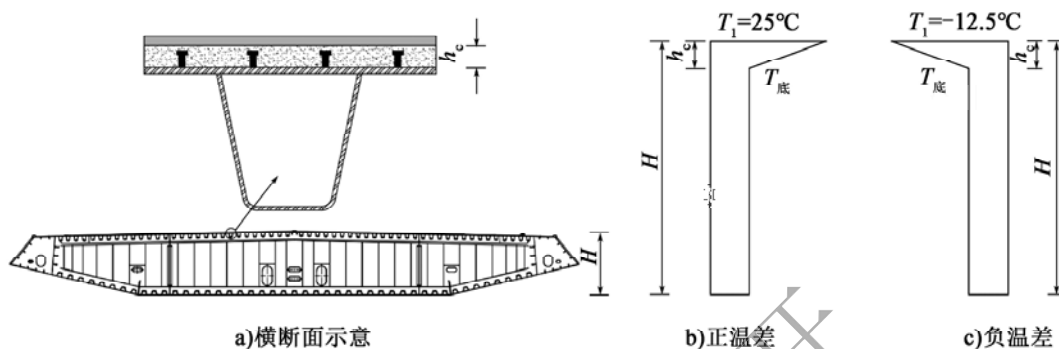


图 4.2.3 温度梯度计算图示

1 正温差时, 按式 (4.2.3-1) 计算:

$$T_{\text{底}} = 25 - \frac{25 + 6.7}{100} h_c \quad (4.2.3-1)$$

2 负温差时, 式 (4.2.3-2) 计算:

$$T_{\text{底}} = -12.5 - \frac{-12.5 + 3.3}{100} h_c \quad (4.2.3-2)$$

式中: h_c ——STC 层厚度 (mm)。

条文说明

现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 规定的竖向温度梯度曲线由三折线组成, 其中折线的第一段 (从混凝土顶面开始) 的范围为 100mm。由于组合桥面的 STC 层厚度通常小于 100mm, STC 层始终落在第一段折线内。因此, 根据 STC 的设计厚度内插计算出 STC 底面的温度, 并假设从 STC 底面至钢主梁底面, 截面的温度保持恒定。因 STC 顶面的磨耗层厚度较薄, 计算中偏保守忽略了磨耗层的有利影响。以 50mm 厚的 STC 为例, 其温度梯度的分布如图 4-1 所示。

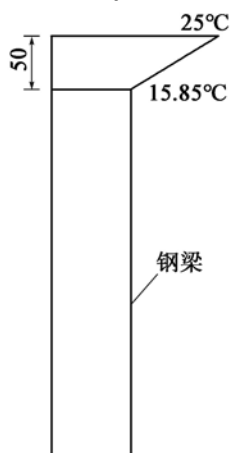


图 4-1 STC 温度梯度计算示意 (以升温为例) (尺寸单位: mm)

编制组对 STC 组合桥面的温度梯度取值进行了热传导分析,验证了这一取值方式的合理性及适用性。

4.2.4 STC 的收缩徐变计算应符合下列规定:

- 1 STC 经蒸汽养护后,可不计算收缩应力。
- 2 STC 徐变效应计算宜假定徐变与 STC 应力呈线性关系。当缺乏符合当地实际条件的数据和计算方法时,可按式 (4.2.4) 计算:

$$\phi(t, t_0) = \phi_0(t_\infty, t_0) \cdot \frac{\sqrt{t - t_0}}{\sqrt{t - t_0} + 10} \quad (4.2.4)$$

式中: $\phi(t, t_0)$ ——STC 蒸汽养护结束后,加载龄期为 t_0 、计算龄期为 t 时对应的徐变系数;

$\phi_0(t_\infty, t_0)$ ——STC 的徐变系数终极值,取 0.2;

t ——STC 的计算龄期 (d),从蒸汽养护结束开始计算;

t_0 ——STC 的加载龄期 (d),从蒸汽养护结束到开始施加荷载的时间。

4.3 强度计算

4.3.1 STC 组合桥面抗弯承载力计算应符合下列规定:

- 1 整体受力状态下的正应力应采用线弹性方法,按式 (4.3.1-1) 计算:

$$\sigma_{\text{global}} = \sum_{i=1}^{\text{II}} \frac{M_{d,i}}{W_{\text{eff},i}} \quad (4.3.1-1)$$

式中: σ_{global} ——整体受力状态下的正应力 (MPa);

i ——变量,表示不同的应力计算阶段。其中, $i = \text{I}$ 表示未形成组合桥面的应力计算阶段; $i = \text{II}$ 表示形成组合桥面之后的应力计算阶段;

$M_{d,i}$ ——对应不同应力计算阶段,作用于钢梁或组合梁的弯矩设计值 (N·mm);

$W_{\text{eff},i}$ ——对应不同应力计算阶段,钢梁或组合梁的抗弯模量 (mm^3)。

- 2 局部受力状态下的正应力 σ_{local} 应基于线弹性理论,采用有限元法计算。
- 3 整体和局部效应叠加后的正应力应按式 (4.3.1-2) 计算:

$$\sigma = \sigma_{\text{global}} + \sigma_{\text{local}} \quad (4.3.1-2)$$

式中: σ ——组合桥面相应计算方向上考虑整体和局部叠加后的正应力 (MPa)。

- 4 抗弯承载力验算应式 (4.3.1-3) 验算:

$$\gamma_0 \sigma \leq f \quad (4.3.1-3)$$

式中: σ ——组合桥面考虑整体和局部叠加效应后的应力 (MPa);

f ——钢筋、钢梁及 STC 的强度设计值 (MPa),其中 STC 的轴心抗压强度设计

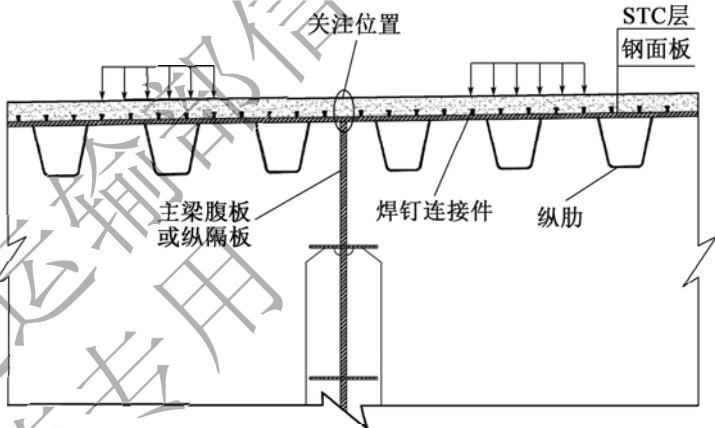
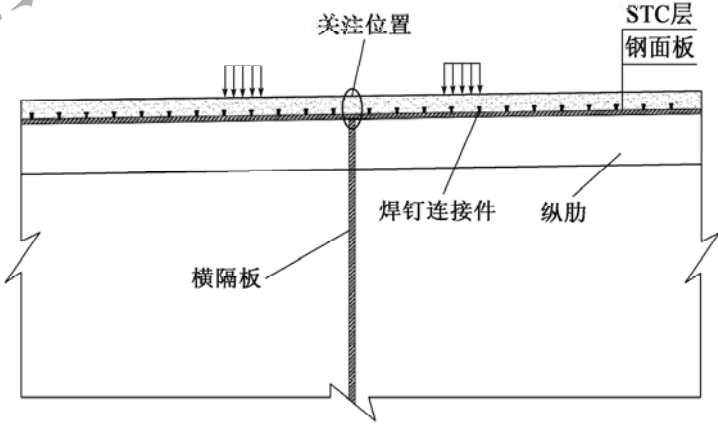
值按表 3.4.2 取用，STC 的名义抗拉极限强度按表 4.5.3-2 取用，钢筋和钢梁的强度设计值分别按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）、《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定取值；

γ_0 ——结构重要性系数，应按现行《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）规定的结构设计安全等级确定。

条文说明

抗弯承载力验算参考了现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64-01）的规定，其中，STC 层的抗拉计算采用名义抗拉极限强度，按本规范表 4.5.3-2 确定。对于局部受力计算，负弯矩区 STC 层的主要关注区域参考表 4-1。

表 4-1 组合桥面中 STC 层主要关注位置

关注位置	图示	说明
主梁腹板或纵隔板顶面位置		正应力，沿横桥向
横隔板顶面位置		正应力，沿纵桥向

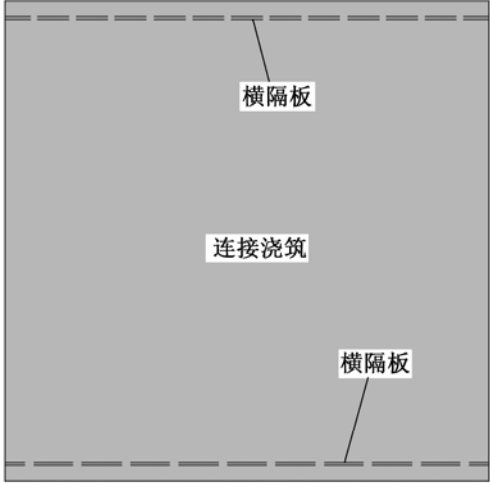
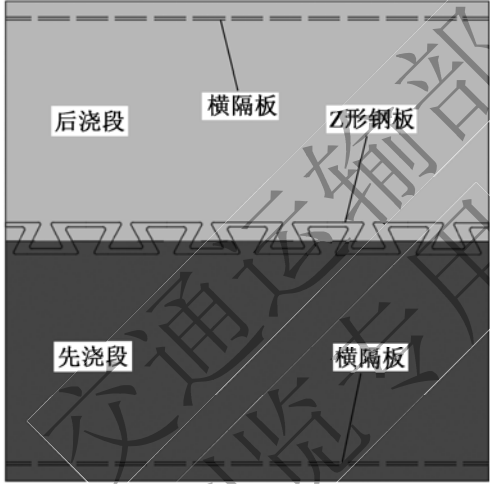
续表 4-1

关注位置	图示	说明
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
纵肋腹板顶面位置- 横隔板位置处		正应力， 沿横桥向

4.4 疲劳计算

- 4.4.1 STC 组合桥面应对正交异性钢桥面板、连接件、STC 层进行疲劳验算。
- 4.4.2 STC 组合桥面疲劳计算应采用弹性分析方法。
- 4.4.3 STC 组合桥面疲劳计算宜采用名义应力法。
- 4.4.4 STC 层的抗裂疲劳强度应按表 4.4.4 取值。

表 4.4.4 STC 层的疲劳细节及分类

细节位置及示意	施工要求	疲劳强度（MPa）
STC 层连续区域 	STC 层连续浇筑	$0.70 [f_{t,trans}^{serv}]$ ——横桥向 $0.70 [f_{t,longi}^{serv}]$ ——纵桥向
STC 层施工缝区域 	先浇与后浇交界处设置 STC 层施工缝	$0.70 [f_{t,trans,joint}^{serv}]$ ——横桥向 $0.70 [f_{t,longi,joint}^{serv}]$ ——纵桥向

条文说明

编写组对 STC 组合桥面试件进行了负弯矩作用下的疲劳试验，试验中控制 STC 层的弯拉应力幅为 21.3MPa。结果表明，当经历 310 万次疲劳应力循环后，STC 层未疲劳开裂，此时钢梁已严重疲劳开裂。试验中的 STC 材料等级为 STC25，根据本规范第 4.5.3 条，当配筋间距为 30mm 时，STC 层的横桥向名义抗裂强度为 20.1MPa。根据本条规定，疲劳强度为 $0.7 \times 20.1 = 14.07\text{MPa}$ 。根据 Miner 准则，偏保守取 STC 的 S-N 曲线斜率为 $m = 3$ ，则可得在该疲劳强度下，STC 的疲劳寿命将超过 $310 \times (21.3/14.07)^3 = 1\,075$ 万次，超过了桥面结构的疲劳寿命设计要求（一般为 200 万次）。

研究表明，超高性能混凝土的疲劳极限约为 $0.70f_t$ ， f_t 为超高性能混凝土的抗拉弹

性强度，系数 0.7 来源于瑞士洛桑理工大学 Tohru Makita 和 Eugen Brühwiler 对超高性能混凝土开展的轴拉疲劳试验研究成果 *Tensile Fatigue Behaviour of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC)* (Materials and Structures, 2014)，该研究关注的疲劳加载次数为 1000 万次。由于 STC 组合桥面中密配钢筋，当裂缝宽度达到 0.05mm 时，仍处于裂缝扩展阶段的起始阶段。因此，结合上述研究成果，定义 STC 层在 1000 万次疲劳寿命下的疲劳强度为 0.7 倍的名义抗裂强度，能够确保 STC 组合桥面的安全。

4.4.5 钢桥面、焊钉连接件及焊接钢筋网连接件的疲劳强度应按现行《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64) 的规定取用。

条文说明

焊接钢筋网连接件主要依靠间隔焊缝传递界面剪力，其构造如图 4-2 所示。因焊缝主要承受剪应力幅，参考现行《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64) 对角焊缝抗剪疲劳细节的规定，200 万次疲劳强度取为 80MPa， $S-N$ 曲线取 $m=5$ 。

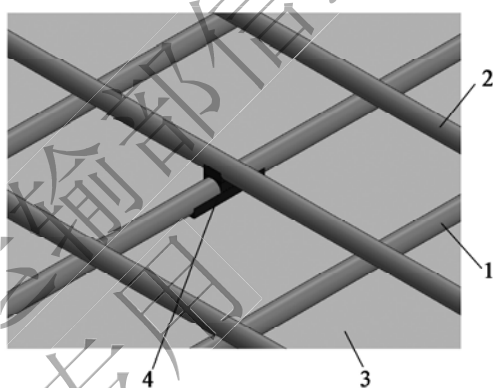


图 4-2 焊接钢筋网连接件示意

1-纵向钢筋；2-横向钢筋；3-钢板；4-焊缝

4.5 STC 抗裂计算

4.5.1 正常使用极限状态下，组合桥面负弯矩区 STC 层表面的最大裂缝宽度应按式 (4.5.1-1) ~ 式 (4.5.1-3) 计算：

$$w_{\max} = \alpha_{\text{cr}} \psi \frac{\sigma_{\text{ss}}}{E_r} \left(1.06c_s + 0.152 \frac{d_s}{\rho_{\text{te}}} \right) \frac{y_0 - h_{\text{td}}}{y_0 - h_{\text{td}} - h_r} \quad (4.5.1-1)$$

$$\psi = 1.1 - 0.12 \frac{f_{\text{tk}}}{\rho_{\text{te}} \sigma_{\text{ss}}} \quad (4.5.1-2)$$

$$\rho_{\text{te}} = \frac{A_r}{A_{\text{te}}} \quad (4.5.1-3)$$

式中： $w_{\max}$ ——STC 层表面的最大裂缝宽度 (mm)；

α_{cr} ——构件受力特征系数，按表 4.5.1 取用；

- ψ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数：当 $\psi < 0.2$ 时，取 $\psi = 0.2$ ；当 $\psi > 1.0$ 时，取 $\psi = 1.0$ ；
- σ_{ss} ——根据作用（或荷载）频遇组合计算的钢筋拉应力（MPa），应按本规范附录 A 计算；
- E_r ——钢筋的弹性模量（MPa）；
- c_s ——验算方向上（纵桥向或横桥向），受拉区钢筋外边缘至 STC 层表面的距离（mm）；
- ρ_{te} ——按有效受拉 STC 层截面面积计算的受拉钢筋配筋率；
- A_r ——受拉区钢筋截面面积（mm²）；
- A_{te} ——STC 层有效受拉截面面积（mm²），纵桥向 STC 层按轴心受拉构件计算，取计算模型中 STC 层截面面积 $A_{te} = b_c h_c$ ，横桥向 STC 层按偏心受拉构件计算，取 $A_{te} = 0.5b_c h_c$ ， b_c 、 H_c 分别为计算模型中 STC 层的宽度和厚度；
- d_s ——验算方向上（纵桥向或横桥向），受拉区钢筋直径（mm）；
- f_{tk} ——不配筋 STC 的轴心抗拉强度标准值（MPa）；
- y_0 ——受拉区 STC 层表面到中性轴的距离（mm）；
- h_{td} ——受拉区未开裂 STC 层的高度，即拉应力在 $0 \sim f_{tk}$ 的高度（mm）；
- h_r ——受拉区钢筋重心到 STC 层表面的距离（mm）。

表 4.5.1 构件受力特征系数

计算方向	α_{cr}
横桥向	1.6
纵桥向	1.8

条文说明

编写组对 40 个 STC 组合桥面试件进行了负弯矩作用下的静力试验，研究了主要设计参数对试件横向受弯性能的影响，对平均裂缝间距和钢筋应变进行了统计和分析，并结合现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）中裂缝宽度计算公式，对平均裂缝间距计算公式和钢筋应变不均匀系数计算公式进行了修正，建立了 STC 组合桥面最大裂缝宽度公式，公式的保证率达到 95%。

4.5.2 正常使用极限状态下，STC 层表面的最大裂缝宽度应不大于 0.05mm。

条文说明

根据 Rafiee Alireza 的研究 *Computer Modeling and Investigation on the Steel Corrosion in Cracked Ultra-High Performance Concrete*（Kassel University, 2012），当 STC 层表面的最大裂缝宽度不超过 0.05mm 时，对其耐久性无影响。因此，在正常使用极限状态下，组

合桥面中 STC 层表面的纵、横桥向裂缝宽度限值均为 0.05mm。

4.5.3 当钢面板厚 12mm，STC 层厚 45mm，横桥向钢筋（位于上层，净保护层厚度为 15mm）、纵桥向钢筋（位于下层）直径均为 10mm 时，配筋 STC 的名义抗裂强度和名义抗拉极限强度应分别按表 4.5.3-1、表 4.5.3-2 采用；对于其他情形，相应的强度值应按本规范第 4.5.1 条计算确定。

表 4.5.3-1 各强度等级下 STC 的名义抗裂强度

强度等级	钢筋间距 (mm)	横桥向名义抗裂强度 $[f_{t,trans}^{serv}]$ (MPa)	纵桥向名义抗裂强度 $[f_{t,longi}^{serv}]$ (MPa)
STC22	75	13.5	15.1
	50	15.0	15.5
	37.5	16.7	16.3
	30	18.3	17.2
STC25	75	15.2	17.3
	50	16.7	17.6
	37.5	18.4	18.2
	30	20.1	19.0
STC28	75	16.9	19.3
	50	18.4	19.6
	37.5	20.2	20.0
	30	21.9	20.7

表 4.5.3-2 各强度等级下 STC 的名义抗拉极限强度

强度等级	钢筋间距 (mm)	横桥向名义抗拉极限强度 $[f_{t,trans}^{ulti}]$ (MPa)	纵桥向名义抗拉极限强度 $[f_{t,longi}^{ulti}]$ (MPa)
STC22	75	22.0	19.0
	50	29.3	20.2
	37.5	37.1	21.3
	30	44.7	22.2
STC25	75	23.9	21.2
	50	31.4	22.1
	37.5	39.2	23.1
	30	47.1	23.9
STC28	75	25.9	23.3
	50	33.4	23.9
	37.5	41.3	24.7
	30	49.3	25.4

条文说明

由于 STC 层裂缝宽度计算公式较为复杂, 为便于设计人员选取, 给出了表 4.5.3-1 和表 4.5.3-2 情况下, 各强度等级下 STC 的名义抗裂强度和名义抗拉极限强度。对于其他情况, 根据公式计算确定名义抗裂或名义抗拉极限强度。

编写组研究表明, 在承载能力极限状态下组合桥面的破坏模式均为钢板屈服, 且纵、横桥向试件破坏时 STC 层表面最大裂缝宽度分别为 0.08mm 和 0.2mm。因此, 在承载能力极限状态下组合桥面中 STC 层的纵、横桥向裂缝宽度限值偏安全地分别定义为 0.08mm、0.2mm。据此计算得到表 4.5.3-2 中的 STC 名义抗拉极限强度。

4.5.4 施工缝处 STC 层的名义抗裂强度 ($[f_{t,trans,joint}^{serv}]$ 或 $[f_{t,longi,joint}^{serv}]$) 和名义抗拉极限强度 ($[f_{t,trans,joint}^{ulti}]$ 或 $[f_{t,longi,joint}^{ulti}]$) 应分别按表 4.5.3-1 和表 4.5.3-2 的 0.7 倍取用。

条文说明

编写组提出了多种施工缝构造, 通过对比, 优选了 Z 形钢板接缝, 其构造详见本规范第 4.10.5 条。根据试验结果, 该类施工缝处 STC 的名义抗裂强度为连续浇筑 STC 名义抗裂强度的 79%, 因此, 偏保守按 0.7 倍取值。

4.6 变形计算

4.6.1 STC 组合桥面在车轮荷载作用下的局部挠度, 不应超过 $l/1\,000$, 其中 l 为纵肋 (或横隔板) 腹板的中心间距。

条文说明

限制局部挠度以避免磨耗层因局部变形过大而出现开裂、脱层等病害问题, 同时确保行车舒适性。

4.7 连接件计算

4.7.1 钢桥面与 STC 层间应设置连接件。

4.7.2 STC 层厚度不低于 35mm 时, 宜采用焊钉连接件 [图 4.7.2a)]; STC 层厚度低于 35mm 时, 可采用焊接钢筋网连接件 [图 4.7.2b)]; 不宜采用开孔板连接件。

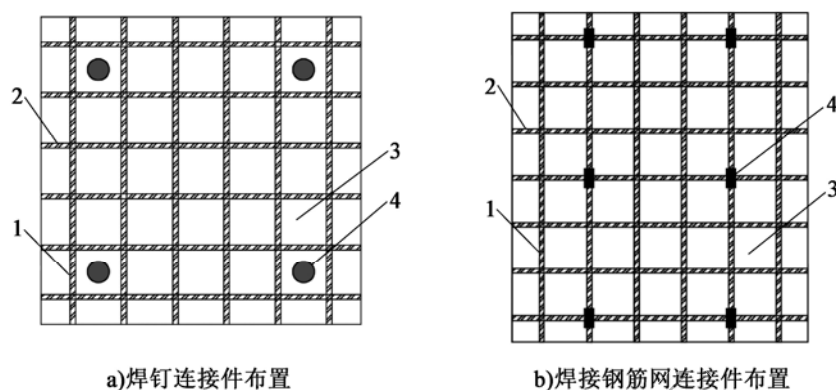


图 4.7.2 连接件布置示意图

1-纵向钢筋；2-横向钢筋；3-钢面板；4-连接件

4.7.3 连接件应与 STC 层共同承担作用力，并应具有协同变形能力。

4.7.4 计算连接件剪力设计值时，应按照纵桥向、横桥向进行作用组合。

4.7.5 连接件的抗剪刚度应按下列方法计算。

1 焊钉连接件的抗剪刚度按式 (4.7.5-1) 计算：

$$k_{ss} = \frac{\alpha_s V_{su}}{S_s} \quad (4.7.5-1)$$

式中：\$k_{ss}\$——焊钉连接件抗剪刚度 (N/mm)；对于直径 13mm 焊钉连接件，当无试验数据时，抗剪刚度可取为 270 000N/mm；

\$V_{su}\$——焊钉连接件抗剪承载力设计值 (N)；

\$\alpha_s\$——计算焊钉连接件抗剪刚度时的系数，建议取 0.3 ~ 0.4；

\$S_s\$——焊钉连接件荷载-滑移曲线中，荷载为 \$\alpha_s V_{su}\$ 时对应的滑移值 (mm)。

2 焊接钢筋网连接件的抗剪刚度按式 (4.7.5-2) 计算：

$$k_{ws} = \frac{V_{0.025}}{S_w} \quad (4.7.5-2)$$

式中：\$k_{ws}\$——焊接钢筋网连接件抗剪刚度 (N/mm)；当无试验数据时，对于直径 10mm 的焊接钢筋网连接件，单侧焊缝长度 30mm 的双面焊缝，其抗剪刚度可取为 900 000N/mm；

\$V_{0.025}\$——焊接钢筋网连接件荷载-滑移曲线中，滑移值为 0.025mm 时对应的荷载 (N)；

\$S_w\$——焊接钢筋网连接件荷载-滑移曲线特征滑移值，取为 0.025mm。

4.7.6 承载能力极限状态下连接件的抗剪承载力应按式 (4.7.6) 进行验算：

$$\gamma_0 V_d \leq V_u \quad (4.7.6)$$

式中: V_d ——承载能力极限状态下连接件剪力设计值 (N);

V_u ——承载能力极限状态下连接件抗剪承载力设计值 (N)。

4.7.7 连接件抗剪承载力设计值应按下列方法计算。

1 焊钉连接件按式 (4.7.7-1) 计算 (焊钉连接件剪断破坏):

$$V_{su} = (0.85A_{sc}f_{stud} + \eta f_{ck}d_{sw}l_{sw}) / \gamma_v \quad (4.7.7-1)$$

式中: A_{sc} ——焊钉连接件钉杆横截面面积 (mm^2);

f_{stud} ——焊钉连接件的抗拉强度 (MPa), 当焊钉连接件材料性能等级为 4.6 级时, 取 400MPa;

f_{ck} ——STC 轴心抗压强度标准值 (MPa);

η ——焊缝尺寸对焊钉抗剪强度的贡献系数, 取为 2.5;

d_{sw} 、 l_{sw} ——焊钉根部焊缝直径、高度 (mm), 可按现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433) 取用;

γ_v ——焊钉抗力分项系数, 取为 1.25。

2 焊接钢筋网连接件应按式 (4.7.7-2) 计算:

$$V_{wu} = \min \left\{ \frac{\sqrt{2}}{2} h_{ww} l_{ww} \tau_{wud}, \frac{1}{2} \pi d_w l_b \tau_{cud} \right\} \quad (4.7.7-2)$$

式中: V_{wu} ——焊接钢筋网的抗剪承载力设计值 (N);

h_{ww} 、 l_{ww} ——焊接钢筋网中, 纵筋与钢面板间焊脚尺寸、焊缝长度 (mm);

d_w ——焊接钢筋网的公称直径 (mm);

l_b ——焊接钢筋网中, 纵向钢筋黏结长度, 即纵筋与钢面板焊缝的纵向间距 (mm);

τ_{wud} ——纵向钢筋与钢板焊缝的抗剪强度设计值, 取 295MPa, 已考虑 1.2 的材料分项系数;

τ_{cud} ——纵筋与 STC 的黏结强度设计值, 取 22MPa, 已考虑 1.45 的材料分项系数。

条文说明

编写组调研了国内外已有焊钉抗剪性能静力试验, 共搜集了 97 组相关试验结果, 建立了焊钉连接件抗剪性能静力试验数据库。以现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01) 和《公路工程结构可靠度设计统一规范》(JTG 2120) 为基础进行焊钉连接件抗剪承载力计算, 并考虑焊钉连接件根部焊缝贡献。基于焊钉连接件抗剪承载力计算公式, 采用一次二阶矩阵法 (JC 法), 对 STC 中焊钉连接件抗剪承载力公式的可靠度进行验证, 得到焊钉连接件抗剪承载力可靠指标均值为 5.1, 高于其目标可靠指标 4.2, 满足要求。

4.7.8 正常使用极限状态下连接件的抗剪计算应符合下列规定。

1 连接件的抗剪最大滑移值按式 (4.7.8-1) 验算：

$$S_{\max} \leq S_{\lim} \quad (4.7.8-1)$$

式中： $S_{\max}$ ——正常使用极限状态下结合面的最大滑移值 (mm)；

$S_{\lim}$ ——正常使用极限状态下结合面的滑移限值 (mm)，可取 0.05mm。

2 结合面最大滑移值按式 (4.7.8-2) 计算：

$$S_{\max} = \frac{V_{sd}}{k_s} \quad (4.7.8-2)$$

式中： $S_{\max}$ ——正常使用极限状态下的结合面最大滑移值 (mm)，临界滑移值取为 0.05mm；

V_{sd} ——正常使用极限状态下的连接件剪力设计值 (N)；

k_s ——连接件抗剪刚度 (N/mm)。

4.8 黏结层设计

4.8.1 STC 层与沥青磨耗层间应设置黏结层。

4.8.2 黏结层设计应通过界面联结性能试验确定，界面联结性能试验试件应由 STC 层、黏结层和磨耗层组成。

4.8.3 在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 60°C 条件下，进行界面黏结强度试验和界面剪切强度试验，试验结果应分别满足式 (4.8.3-1) 和式 (4.8.3-2) 的规定。

$$\sigma_s \geq \sigma_d + Z_{\alpha} S \quad (4.8.3-1)$$

$$\tau_s \geq \tau_d + Z_{\alpha} S \quad (4.8.3-2)$$

$$\sigma_d = K_C K_J \sigma_m \quad (4.8.3-3)$$

$$\tau_d = K_C K_J \tau_m \quad (4.8.3-4)$$

式中： σ_s ——组合结构试件界面黏结强度试验值 (MPa)，按《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02—2019) 附录 B 的规定进行试验；

σ_d ——磨耗层与 STC 层界面黏结强度设计值 (MPa)，按式 (4.8.3-3) 计算；

τ_s ——组合结构试件界面剪切强度实测值 (MPa)，按《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02—2019) 附录 C 的规定进行试验；

τ_d ——磨耗层与 STC 层界面剪切强度设计值 (MPa)，按式 (4.8.3-4) 计算；

K_C ——公路等级系数，应符合《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02—2019) 表 3.4.2-1 的规定；

K_J ——交通荷载等级修正系数，应符合《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》

(JTG/T 3364-02—2019) 表 3.4.2-2 的规定;

σ_m ——标准轴载作用下, 磨耗层与 STC 层间界面最大正应力 (MPa), 可采用有限元法计算;

Z_α ——标准正态分布表中随保证率 (或置信度 α) 而变的系数, 高速公路和一级公路取保证率 95%, 即 $Z_\alpha = 1.645$; 其他等级公路取保证率 90%, 即 $Z_\alpha = 1.282$;

S ——组合结构试件界面黏结和界面剪切强度试验值标准差;

τ_m ——标准轴载作用下, 磨耗层与 STC 层间最大剪应力 (MPa), 可采用有限元法计算。

4.9 磨耗层设计

4.9.1 磨耗层设计应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定。

4.10 构造要求

4.10.1 STC 组合桥面 (图 4.10.1) 中各层厚度及材料用量应符合下列规定:

- 1 钢面板厚度不应小于 12mm。
- 2 STC 层厚度不宜小于 35mm。
- 3 SMA、改性沥青混凝土磨耗层厚度宜为 20 ~ 50mm, 改性环氧树脂碎石薄层厚度宜为 7 ~ 10mm。
- 4 黏结层材料用量应通过试洒确定, 高黏高弹沥青宜为 1.0 ~ 1.5kg/m²、环氧沥青宜为 0.7 ~ 1.0kg/m²、改性环氧树脂宜为 0.7 ~ 1.0kg/m²。

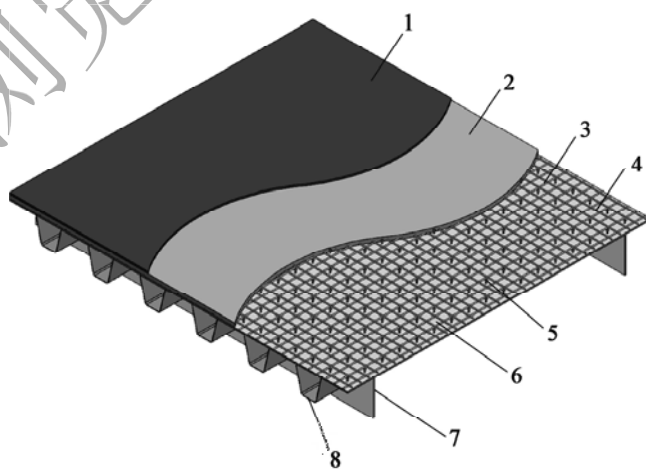


图 4.10.1 STC 组合桥面构造示意

1-磨耗层; 2-STC 层; 3-纵向钢筋; 4-横向钢筋; 5-焊钉连接件; 6-钢面板; 7-横隔板; 8-U 肋

4.10.2 钢筋网的设置应符合下列规定：

- 1 钢筋直径不宜小于 10mm。
- 2 钢筋净间距不宜小于 1.5 倍的钢纤维长度，中心间距不宜大于 50mm。
- 3 钢筋的上净保护层厚度不应小于 10mm，也不应大于 20mm，宜采用 15mm。
- 4 钢筋接头宜设置在相邻横隔板的跨中区域；搭接长度不宜小于 20 倍的钢筋直径。
- 5 STC 层内应包含横桥向和纵桥向两层钢筋，纵桥向钢筋应置于下层，横桥向钢筋应置于上层。

条文说明

研究表明，STC 层横桥向受力时，因截面高度小（通常不到 60mm），钢筋位置对抗弯性能更敏感，因此，将横桥向钢筋置于上层。

4.10.3 焊钉连接件的设置应符合下列规定：

- 1 焊钉连接件直径不应大于钢面板厚度的 1.5 倍。
- 2 焊钉连接件的间距宜为 150~250mm，且不应小于焊钉直径的 5 倍。
- 3 焊钉连接件的外侧边缘与钢面板边缘的距离应不小于 25mm。
- 4 当焊钉连接件间距为 250mm 时，应对钢面板四周的焊钉加密一倍。

4.10.4 焊接钢筋网连接件的设置应符合下列规定：

- 1 焊接钢筋直径宜为 10~14mm。
- 2 纵向钢筋与钢面板间连接件单侧焊缝长度不宜小于 20mm，应采用双面焊。
- 3 连接件的纵、横向焊缝间距不宜小于 200mm，且不宜大于 500mm。

4.10.5 STC 层分段浇筑时，宜设置 Z 形钢板施工缝（图 4.10.5-1），并应符合下列规定：

- 1 Z 形钢板厚度宜为 10mm，宽度宜为 300mm。
- 2 Z 形钢板通过角焊缝间隔焊固定在钢面板上，焊接总长度不宜低于 Z 形钢板边缘总长度的 20%。
- 3 横向施工缝应布设在相邻横隔板中间 $l/3$ 区域， l 为横隔板间距，纵向施工缝应设置在相邻纵肋的中间位置（图 4.10.5-2）。

条文说明

STC 层中连续分布的钢纤维在施工缝处被阻断，导致接缝抗裂强度低，因而须对施工缝进行强化，以提高施工缝的抗裂性能。

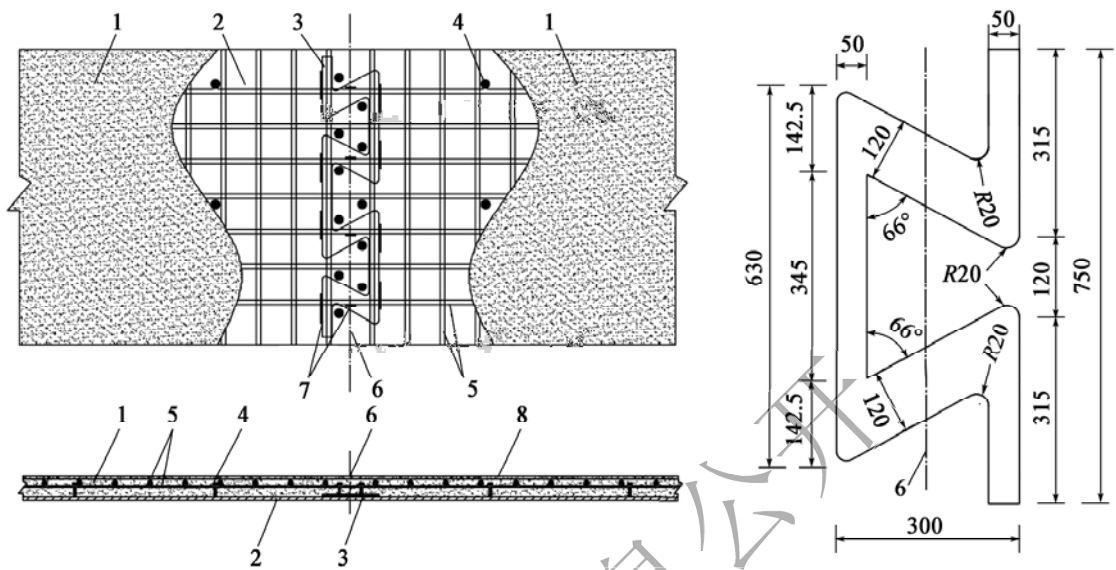


图 4.10.5-1 Z 形钢板施工缝构造示意 (尺寸单位: mm)

1-STC 层; 2-钢面板; 3-Z 形钢板; 4-焊钉连接件; 5-钢筋; 6-施工缝; 7-单面焊缝; 8-磨耗层

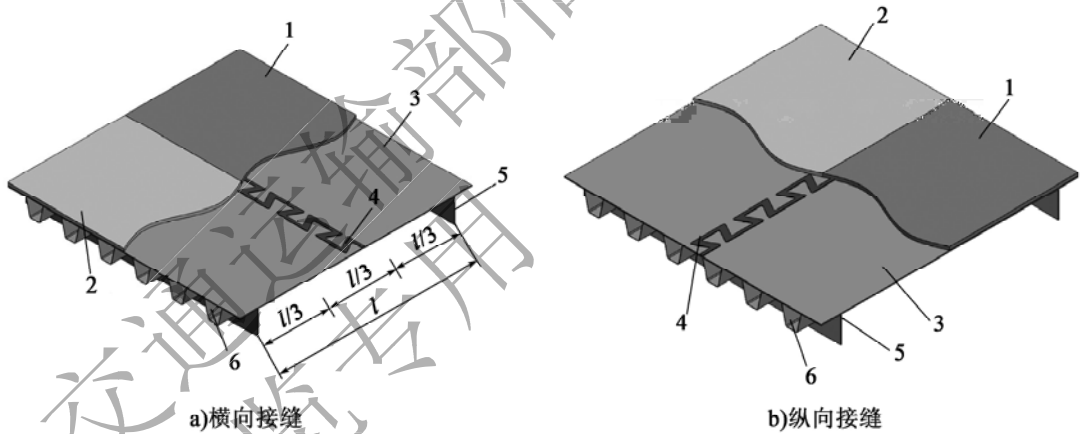


图 4.10.5-2 STC 层施工缝布置

1-先浇段; 2-后浇段; 3-钢面板; 4-Z 形钢板; 5-横隔板; 6-U 肋

4.10.6 STC 层与周边钢结构连接时, 宜采用焊接 U 形钢筋作为连接构造, 并应符合下列规定:

- 1 焊接 U 形钢筋时, 应按图 4.10.6 进行设计, U 形钢筋应与 STC 层中的钢筋同型号。
- 2 U 形钢筋与钢结构界面间应采用单面满焊方式。
- 3 U 形钢筋两肢长度不宜小于 150mm, 开口端宽度宜为 150mm。
- 4 相邻 U 形钢筋间距不宜大于 300mm。

4.10.7 STC 层连接周边混凝土结构时, 连接构造宜采用预埋锚固钢筋的方式, 并应符合下列规定:

1 应在混凝土结构中预埋锚固钢筋，钢筋型号应与 STC 层内的钢筋相同，并与横向钢筋处于同一平面，间距应不大于 300mm，搭接长度不应小于 $15d$ 。

2 锚固钢筋预埋长度 L 应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 的规定。

3 植筋代替预埋钢筋时，应符合现行《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22) 的规定。STC 层与混凝土结构的边界连接构造可按图 4.10.7 设置。

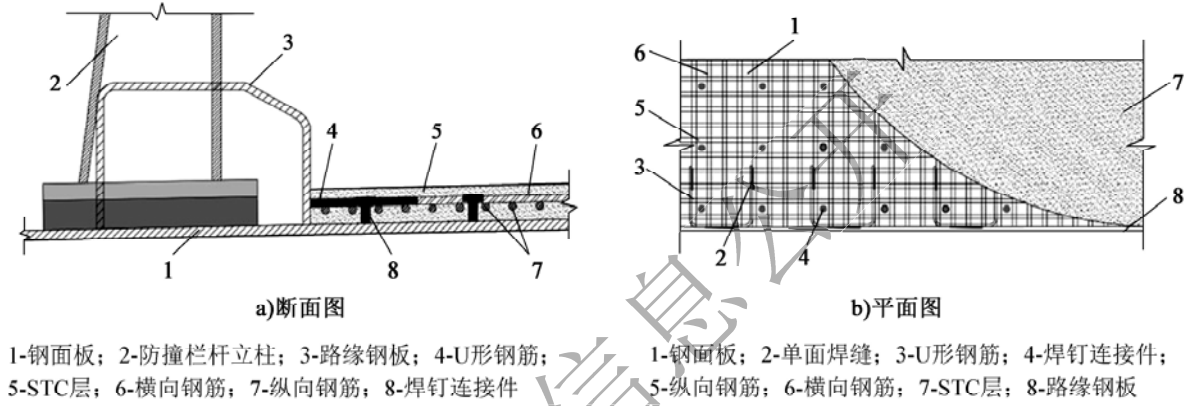


图 4.10.6 STC 层与钢结构连接示意

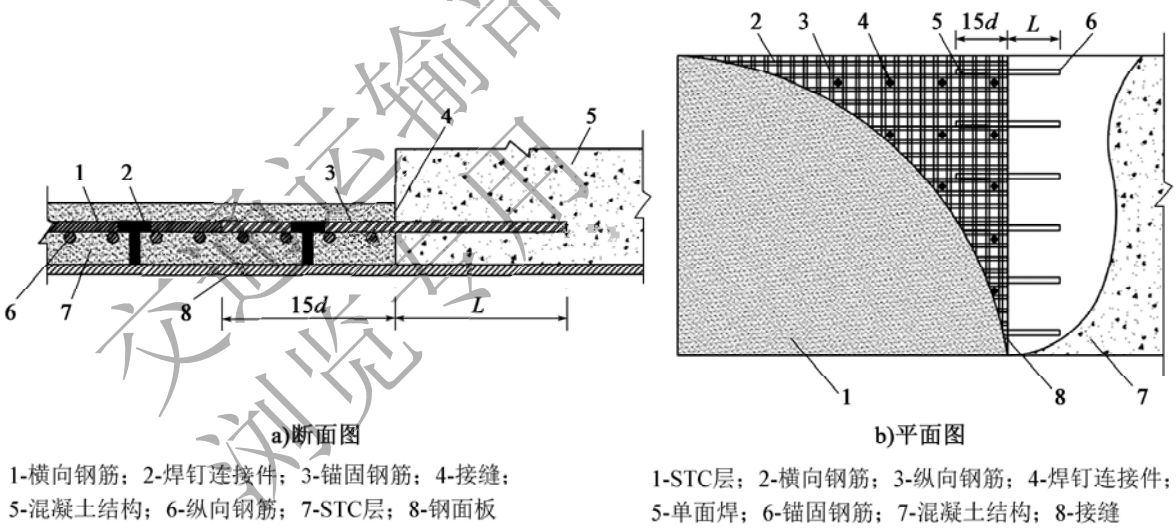


图 4.10.7 STC 层与混凝土结构连接示意

条文说明

本条规定了 STC 层与边界构造物（如路缘石）的构造措施，以避免该位置开裂。

4.10.8 对于栓接钢桥的 STC 组合桥面，螺栓带前、后与螺栓带等宽范围内的焊钉连接件数量应加密一倍（图 4.10.8）。

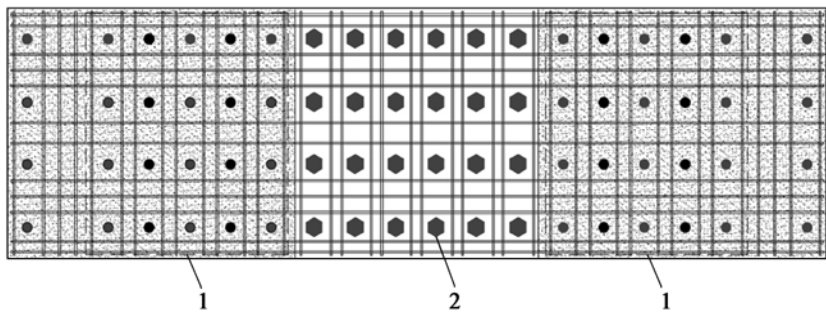


图 4.10.8 栓接钢桥螺栓带的局部强化措施（单位：mm）
1-焊钉连接件加密区；2-高强螺栓

条文说明

栓接钢桥因存在拼接板，导致 STC 层厚度突变（变薄），突变处易开裂，因而螺栓带区域须采取强化措施。编写组研究表明，螺栓带前后区域加密焊钉，可有效限制 STC 层开裂后与钢面板间的滑移，从而阻滞微裂纹宽度的发展，进而达到 STC 层顶面接缝截面不先于一般截面处 STC 层开裂的目的。

4.10.9 路缘石、伸缩装置等构筑物处，应对钢面板进行不小于 500mm 宽度的防腐处理。

4.10.10 钢筋在 STC 层中的最小锚固长度应符合表 4.10.10 的规定。

表 4.10.10 钢筋最小锚固长度

钢筋种类	HRB400	HRB500
受拉钢筋（直端）	10d	13d

注：1. d 为钢筋公称直径（mm）。
2. 当 STC 在凝固过程中易受扰动时，锚固长度应增加 25%。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 STC 组合桥面施工应进行施工组织设计，并保证合理的施工工期。

5.1.2 STC 浇筑时环境气温范围宜为 $5 \sim 35^{\circ}\text{C}$ ，风力不宜大于 5 级。

5.1.3 黏结层、磨耗层施工环境温度应不低于 10°C ，不应在下雨、下雪、结露等不利气候条件下施工。

5.1.4 高温期和低温期施工应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG/T F30) 的规定。

5.1.5 在役钢桥的 STC 组合桥面加固施工可采用半幅封闭、半幅通车方式，且在同条件养护试件的抗压强度达到 60MPa 前，应临时全桥封闭交通。

5.1.6 STC 层分块、分幅浇筑时，应在先浇与后浇连接处设置施工缝。

5.2 施工准备

5.2.1 现场施工前，应根据 STC 组合桥面的结构特点、受力特性、环境特征和施工条件等编制专项施工方案。

5.2.2 现场施工前，宜进行试验段施工，试验段面积不宜小于 100m^2 。

条文说明

通过试验段施工，验证 STC 施工配合比、资源配置、工艺参数设定等是否满足工程施工需求。

5.2.3 现场施工前，应采用网格法加密测量钢面板的高程，测量等级不应低于三等。

5.2.4 现场施工前，材料检查应符合下列规定：

- 1 应根据 STC 干混料供应单位提供的参数进行施工配合比验证。
- 2 STC 干混料应干燥储存，应有防雨、防潮、防尘等措施。不同批号、不同等级的产品应分别储存。

5.2.5 施工设备应符合下列规定：

- 1 应根据 STC 材料、工艺特点和工程需求，配备能确保施工连续性的机械设备和生产工具。
- 2 STC 搅拌应使用强制式搅拌机。
- 3 STC 拌合物运输宜采用带搅拌功能的密闭运输容器。
- 4 STC 振捣施工应采用表面振捣器。
- 5 STC 蒸养的温度控制宜采用温度自动采集及控制系统，蒸养设备应具有抗高温、防火等安全防护措施。

5.3 钢桥面处理

5.3.1 应对钢桥面进行联测，测定基面的纵向和横向线形。

5.3.2 施工前应对钢面板进行清洁处理，清除油污及其他污物。

5.3.3 新建钢桥可保留钢面板车间底漆，直接在钢面板上进行 STC 层施工。

5.3.4 旧桥施工前，基面处理除应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 应按设计严格控制原桥面铺装层铣刨深度，不应损伤桥面钢板。
- 2 应检查钢面板有无损伤，并按设计要求做相应修补。
- 3 喷砂除锈处理后的钢面板表面清洁度应达到 Sa2.5 级。
- 4 钢面板表面处理后应在 4h 内喷涂环氧富锌漆防锈层，总干膜厚度宜为 80 μ m。

5.4 连接件焊接

5.4.1 焊钉的焊接应符合下列规定：

- 1 焊接前，应进行焊接工艺评定确定焊接工艺参数，焊接工艺评定应符合现行《钢结构焊接规范》(GB 50661) 的规定。
- 2 应按焊钉的布置位置在钢面板上划线定位。
- 3 当焊钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时，应将焊钉偏离焊缝边界 2 ~ 3cm，不应将焊钉直接焊接在拼接焊缝顶面。

4 焊接前，应对待焊部位的钢面板进行局部打磨（大于焊钉直径的 2 倍），使钢面板表面显露出金属光泽。

5 每台班开始焊接前或更换焊接条件时，应按规定的焊接工艺参数在试板上试焊若干焊钉，经检验合格后方可正式焊接。

6 焊接完成后，应对钢面板打磨处补涂防腐涂层。

5.4.2 焊接钢筋网连接件的施工应符合下列规定：

1 焊接钢筋网连接件与钢面板采用间隔焊接方式，焊接施工应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

2 在焊接钢筋网连接件与钢面板焊接处，STC 层内纵向与横向钢筋采用点焊方式连接，焊接施工应符合现行《钢筋焊接及验收规程》（JGJ 18）的规定。

5.5 钢筋施工

5.5.1 钢筋的加工、连接及安装等除应符合本规范第 4.10.2 条外，尚应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的规定。

5.5.2 应根据钢面板的高程变化设置钢筋垫块，确保钢筋上净保护层厚度符合本规范第 4.10.2 条的规定。

5.5.3 钢筋与路缘石等边界构筑物的连接应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）和《公路桥梁加固施工技术规范》（JTG/T J23）的规定。

5.6 STC 施工

5.6.1 STC 计量应符合下列规定：

1 STC 的配料应采用电子计量系统，计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期校订，且设备迁移后应重新校订。

2 STC 干混料应按质量进行计量投料，水可按体积进行计量投料。

3 计量允许偏差应符合表 5.6.1 的规定。

表 5.6.1 STC 原材料的计量允许偏差

材料品种	单位	STC 干混料	水
每盘计量允许偏差	%	± 1	± 1

5.6.2 STC 的搅拌应符合下列规定：

1 同一包装件中的 STC 干混料应一次搅拌完成，不得分盘搅拌。

2 应根据厂家提供的干混料使用说明书及搅拌机类型、转速等,通过工艺试验确定投料顺序及搅拌时长。搅拌时观察到 STC 拌合物流化之后,应继续搅拌不少于 2min,且每盘拌合物的净搅拌时间不得少于 5min。

3 搅拌应保证拌合物均匀,出料口拌合物中不得有粉团或钢纤维结团现象。

5.6.3 STC 的运输应符合下列规定:

1 装料前,应对运输设备进行洒水湿润,但不得有积水;装料后,不应往 STC 拌合物内加水。

2 采用无搅拌装置的非密闭容器运输时,运输时间不宜超过 30min。

3 对于寒冷、炎热或大风的气候情况,STC 拌合物运输应具有保温、隔热降温或防水分挥发措施。

5.6.4 施工缝的位置应在 STC 浇筑前确定,并按设计要求和第 4.10.5 条的规定设置。施工缝应符合下列规定:

1 Z 形钢板应定位准确,加工及焊接应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650) 的规定。

2 STC 浇筑前,应对接缝面进行凿毛处理,清除表面松弱层,并使钢纤维外露;全断面凿除 STC 长度不宜小于 2cm。

3 STC 浇筑前,接缝面应采用洁净水冲洗干净,并保持表面湿润。

5.6.5 STC 浇筑应符合下列规定:

1 浇筑前,应对钢面板表面、与既有构筑物或施工缝接触面洒水充分湿润,但不得有积水。

2 应在搅拌地点和浇筑地点分别随机取样检测 STC 工作性能,每一工作班组应不少于 2 次,工作性能应满足施工工艺要求。

3 浇筑后可采用专用的整平设备进行表面振动和整平,不得进行插捣振动和整平。

5.6.6 STC 保湿养护应符合下列规定:

1 STC 浇筑后,应立即在 STC 层表面喷雾湿润,并及时覆盖养生薄膜,覆膜时不得损伤或污染 STC 层表面。

2 保湿养护时间不宜少于 24h。养护过程应安排专人进行巡视和检查,发现养生薄膜破裂或被风掀开,应重新洒水,及时恢复覆盖。

3 移除保湿养护薄膜后至开始蒸汽养护期间,应对 STC 层表面持续进行保湿养护。

5.6.7 STC 蒸汽养护应符合下列规定:

1 蒸汽养护宜在 STC 终凝后 3d 内进行。

2 蒸汽养护过程可分为升温、恒温、降温 3 个阶段，宜采用温度自动控制系统对各阶段进行控制。

3 蒸汽养护恒温阶段，养护温度在 90℃ 及以上时，养护时间不应少于 48h；养护温度在 80℃ 及以上时，养护时间不应少于 72h；养护过程中蒸汽养护棚内的相对湿度不宜低于 95%。

4 蒸汽养护升温阶段，升温速度不应大于 12℃/h，养护结束后，应以不大于 15℃/h 的降温速度均匀降至环境温度。

5 对于接缝部位，养护棚覆盖范围应超过接缝面 2m。

6 养护棚内温度及湿度监测指标应符合表 5.6.7 的规定。

表 5.6.7 蒸汽养护棚内监测指标

检查项目	规定值或允许偏差	检测方法和频率
养护膜内温度 (℃)	+10, -0	温度传感器, 每小时检查 2 次
养护膜内湿度 (%)	+5, -0	湿度传感器, 每小时检查 2 次

5.7 STC 层表面处理及黏结层施工

5.7.1 STC 层表面应进行糙化处理，处理后的表面构造深度应为 0.4 ~ 0.55mm，外观新鲜且均匀、洁净且干燥。

5.7.2 糙化处理方式宜采用抛丸处理，并在施工前进行工艺试验，确定抛丸机器行走速度、丸料粒径等参数。

5.7.3 高黏高弹沥青、环氧沥青黏结层施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定。

5.7.4 二次固化环氧树脂黏结层施工宜采用人工刮涂、辊涂或机械喷涂等方法。黏结层施工应符合下列规定：

1 环氧树脂混合后应在要求的容留时间内完成涂布，超过容留时间的环氧树脂应废弃。

2 材料用量应准确，涂布应均匀一致，对漏涂、针眼、气泡等局部应及时修补。

3 涂布完成后，应依据产品使用说明进行养生，并应在 48h（或按产品说明书要求时间）内摊铺沥青磨耗层。

5.8 磨耗层施工

5.8.1 SMA、改性沥青混凝土施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG

F40) 和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 的规定; 采用二次固化黏结层时, 沥青摊铺温度应符合黏结层产品说明书规定的要求。

5.8.2 改性环氧树脂碎石薄层施工应符合下列规定:

- 1 磨耗层宜分两次层铺法施工; 底层树脂用量宜为 $1.5 \sim 2.5 \text{ kg/m}^2$, 待 $10 \sim 30 \text{ s}$ 的自流平后, 按 $12 \sim 15 \text{ kg/m}^2$ 过量撒布粒径 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 的优质碎石; 固化后, 清除多余的集料。上层树脂用量宜为 $2.5 \sim 3.5 \text{ kg/m}^2$, 按 $12 \sim 15 \text{ kg/m}^2$ 过量撒布粒径 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 优质碎石; 碎石应在容留时间内撒布完毕。
- 2 养护完成后, 清除多余的集料, 开放交通。
- 3 集料撒布前可进行预热处理, 预热温度宜为 $40 \sim 90^\circ\text{C}$ 。

条文说明

本规范只提出施工基本要求, 具体施工细节需参考产品使用说明。

6 质量检验

6.1 一般规定

6.1.1 STC 组合桥面的检验与评定除应符合本规范外，尚应符合现行《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）和《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的规定。

6.1.2 在进行 STC 施工配合比验证和质量检验时，应按本规范第 6.6.3 条规定的试验方法进行评定。

6.1.3 STC 的抗压强度、抗弯拉强度试件应采用本规范第 5.6.6 条、第 5.6.7 条规定的条件养护，在养护结束后 7d 时进行试验，试验前应将试件储存于室内常规条件下，评定时以 7d 强度为准。

6.2 材料进场检验

6.2.1 应提供与本工程等级、规格型号均相同的 STC 干混料型式检验报告，以及所采用原材料的产品合格证和产品质量证明文件。随机取样进行 STC 施工配合比验证，且应符合下列规定：

- 1 STC 施工配合比宜采用 STC 干混料和水的质量比。
- 2 检验项目应包括工作性能、抗压强度、抗弯拉强度、弹性模量、钢纤维含量。

6.2.2 STC 干混料的进场检验应符合下列规定：

- 1 同一生产厂家、同一强度等级、同一生产批次的干混料，检验批量不应大于 200t，不足 200t 时，亦按一批计。
- 2 每批次干混料应提供产品合格证、质量证明书、出厂检验报告及产品使用说明书。
- 3 应对干混料的外观质量进行检验，包装应完好、无破损，STC 干混料应无结团或受潮现象。
- 4 每批次随机抽取 20 包进行重量偏差检验，袋装 STC 干混料的净含量应不少于其标识质量的 99%。

5 应按批次随机取样进行工作性能、抗压强度、抗弯拉强度、弹性模量、钢纤维含量的试验检验,检验方法除应符合本规范第6.6.3条的规定外,尚应符合现行《活性粉末混凝土》(GB/T 31387)的规定。

6.2.3 焊钉、焊接瓷环材料的质量及检验应符合现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433)的规定,同一厂家、同一材质、同一规格型号、同一生产批次的焊钉,检验不应少于一次。

6.2.4 钢筋、钢板的质量及检验应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的规定。

6.2.5 防腐涂料的质量及检验应符合现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)的规定。

6.2.6 黏结层材料、磨耗层材料的质量及检验除应符合本规范第3.6节、第3.7节的规定外,尚应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)和《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG 3410)的规定。

6.3 钢桥面处理

6.3.1 钢桥面的除锈及防腐涂装的基本要求、外观质量及实测项目应符合现行《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02)的规定。

6.4 连接件焊接

6.4.1 焊钉连接件焊接实测项目应符合表6.4.1的规定。其他连接件焊接实测项目应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1)的规定。

表 6.4.1 焊钉焊接实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	焊钉高度 (mm)	≤ 3	尺量;每 100m ² 检测 1 处
2	焊钉间距 (mm)	≤ 10	尺量;每 100m ² 检测 1 处
3	焊接可靠性 (%)	$\geq 95\%$	重锤平击帽头或钢套筒弯曲;抽取 1% 焊钉弯曲 30°,焊缝无肉眼可见裂缝

6.4.2 焊钉焊接外观质量应符合下列规定:

- 1 焊钉无锈蚀,磁环清理干净。

- 2 焊钉保持竖直，无明显倾角。
- 3 焊钉底角在 360° 范围内焊缝饱满，无气孔、夹渣、裂纹等明显缺陷。

6.5 钢筋工程

6.5.1 钢筋网铺设基本要求和外观质量应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 的规定。

6.5.2 钢筋网铺设实测项目应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 钢筋网铺设实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	网的长、宽 (mm)	± 10	尺量：逐边测
2	网眼尺寸 (mm)	± 5	尺量：每 100m^2 检测 1 处
3	网眼对角线差 (mm)	± 5	尺量：每 100m^2 检测 1 处
4	保护层厚度 (mm)	± 3	尺量：每 100m^2 检测 1 处

6.6 STC 工程

6.6.1 STC 工程实测项目应符合表 6.6.1 的规定。

表 6.6.1 STC 工程的实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	STC 强度 (MPa)	抗压强度	在合格标准内	本规范第 6.6.3 条：每 50m^3 检验一次
2		抗弯拉强度	在合格标准内	本规范第 6.6.3 条：每 50m^3 检验一次
3	厚度 (mm)		平均值 $+5$ ， -2 最小值不应小于 设计厚度的 85%	水准仪：以同一钢面板产生相同挠度变形的点 为基准点，测量 STC 组合桥面施工前后相对高 差：长度不大于 100m 每车道测 3 处，每增加 100m 每车道增加 2 处
4	平整度 (mm)		满足设计要求	3m 直尺：半幅车道板带每 200m 测 2 处 $\times 5$ 尺
5	横坡 (%)		± 0.15	水准仪：长度不大于 200m 时测 5 个断面，每 增加 100m 增加 1 个断面
6	裂缝宽度 (mm)		蒸汽养护结束后不开裂	每 50m^3 检验一次

6.6.2 STC 工程外观质量应符合下列规定：

- 1 养护结束后，STC 层应均匀完好，且目测 STC 层表面无收缩裂缝。
- 2 STC 层的边角处、不同浇筑时期接缝处等位置应衔接良好，无脱空、台阶现象。

6.6.3 STC 强度评定应符合下列规定：

1 STC 拌合物的取样应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204) 的规定。

2 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。

3 STC 试件制作应保证纤维分布的均匀性和试件整体性，并应符合下列规定：

1) STC 试件制作时，将拌合物一次性装入试模，并略高出试模上口。浇筑后可用橡皮锤轻敲侧模排除气泡，不得将试模置于振动台上振动以排除气泡，成型过程中不得进行插捣。成型密实后刮去多余的拌合物并用抹刀抹平。

2) 抗压强度试验应采用 100mm × 100mm × 100mm 立方体试件，加载速率应为 1.2 ~ 1.4MPa/s。

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

4) 弹性模量试验应采用 100mm × 100mm × 300mm 棱柱体试件，加载速率应为 1.2 ~ 1.4MPa/s。

5) 抗压强度与抗弯拉强度试验值均不应乘以尺寸换算系数。

4 STC 抗压强度的合格判定应符合下列规定：

1) 同批试件组数大于或等于 10 组时，应以数理统计方法评定，并满足式 (6.6.3-1) 和式 (6.6.3-2) 的条件：

$$f_{cu,m} \geq f_{cu,k} + 1.1S_n \quad (6.6.3-1)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad (6.6.3-2)$$

2) 同批试件组数小于 10 组时，可用非数理统计方法评定，并满足式 (6.6.3-3) 和式 (6.6.3-4) 的条件：

$$f_{cu,m} \geq 1.1f_{cu,k} \quad (6.6.3-3)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \quad (6.6.3-4)$$

式中： $f_{cu,m}$ ——同批试件抗压强度的平均值 (MPa)，精确到 0.1MPa；

S_n ——同批试件强度的标准差 (MPa)，精确到 0.01MPa，当 $S_n < 2.5$ MPa 时，取 $S_n = 2.5$ MPa；

$f_{cu,k}$ ——STC 抗压强度标准值 (MPa)；

$f_{cu,min}$ ——同批试件抗压强度最低一组的值 (MPa)，精确到 0.1MPa。

5 STC 抗弯拉强度的合格判定应满足式 (6.6.3-5) 和式 (6.6.3-6) 的条件：

$$f_{fm} \geq 1.05f_{fk} \quad (6.6.3-5)$$

$$f_{f,min} \geq 0.95f_{fk} \quad (6.6.3-6)$$

式中： f_{fm} ——同批试件抗弯拉强度的平均值 (MPa)，精确到 0.1MPa；

f_{fk} ——STC 抗弯拉强度标准值 (MPa)；

$f_{f,min}$ ——同批试件抗弯拉强度最低一组的值 (MPa)，精确到 0.1MPa。

6.6.4 STC 表面出现外观质量缺陷时,应按《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666)判断缺陷形式和修整。

6.7 STC 层表面处理及黏结层工程

6.7.1 STC 层表面处理应符合下列要求:

- 1 STC 层表面应无浮浆、油污和其他污物,表面洁净且干燥。
- 2 实测项目应符合表 6.7.1 的规定。

表 6.7.1 STC 层表面构造深度实测项目

检查项目	规定值	检测方法和频率
构造深度 TD (mm)	0.4 ~ 0.55	铺砂法:长度不大于 200m 时测 5 处,每增加 100m 增加 1 处

- 3 STC 层表面应光滑无遗留,其纹理和构造深度应均匀一致。

6.7.2 黏结层应符合下列规定:

- 1 STC 层表面处理后,应及时进行黏结层施工。
- 2 实测项目应符合表 6.7.2 的规定。

表 6.7.2 黏结层的实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	材料用量 (kg/m^2)	满足设计要求	按设计要求检查;或采用单位面积称重法:每洒布段检查 10 处,每处测 3 点
2	黏结强度 (与 STC 层) (MPa)	$\geq$ 设计值	按设计要求检查;或采用拉拔仪检查:每 1 000 m^2 检查 3 点,且每洒布段不少于 3 点

6.7.3 黏结层外观质量应符合下列规定:

- 1 STC 层表面应满涂黏结层。
- 2 黏结剂色泽应均匀、无鼓泡和起皱,表面无污染。

6.8 磨耗层工程

6.8.1 沥青磨耗层基本要求、实测项目及外观质量应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG/T F40)和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02)的规定。

6.8.2 改性环氧树脂碎石薄层应符合下列规定:

- 1 实测项目应符合表 6.8.2 的规定。

表 6.8.2 改性环氧树脂碎石薄层的实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	厚度（mm）	±2mm	钻孔：每 200m 测 1 处
2	平整度	满足设计要求	平整度仪：全桥每车道连续检测
3	横坡度（%）	±0.3	水准仪：长度不大于 200m 时测 5 个断面，每增加 100m 增加 1 个断面
4	渗水系数（mL/min）	满足设计要求	渗水试验仪：每 200m 测 1 处
5	构造深度（mm）	满足设计要求	铺砂法：每 200m 测 5 点
6	摩擦系数	满足设计要求	摆式仪：每 200m 测 5 点

2 外观应均匀、平整，表面无松散碎石。

条文说明

本条规定了 STC 组合桥面各工序的质量检验内容及指标，组合桥面质量检验贯穿施工中的每一道工序，各道工序检验合格后，方可进入下一道工序。

附录 A STC 裂缝宽度计算方法

A.0.1 由作用（或荷载）频遇组合效应引起的 STC 层中受拉钢筋拉应力 σ_{ss} 应按下列步骤计算：

1 横桥向 STC 层中受拉钢筋应力计算见图 A.0.1-1 和式（A.0.1-1）。

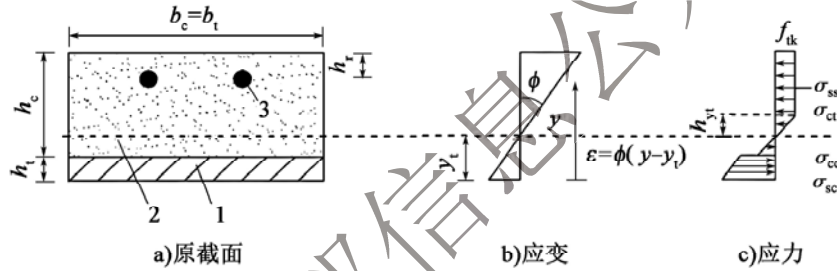


图 A.0.1-1 横桥向受力模型中钢筋应力计算示意

1-钢面板；2-STC 层；3-横向钢筋

1) 假设中性轴位于 STC 层内，外荷载作用下裂后截面内力和弯矩平衡方程如式（A.0.1-1）所示：

$$\begin{cases} N_{sr} + N_{ct} + N_{cc} + N_{sc} = 0 \\ M_{sr} + M_{ct} + M_{cc} + M_{sc} - M_{load} = 0 \end{cases} \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中： N_{sc} 、 M_{sc} ——受压区钢面板所承担的轴力（N）和弯矩（N·mm）；

N_{cc} 、 M_{cc} ——受压区 STC 所承担的轴力（N）和弯矩（N·mm）；

N_{ct} 、 M_{ct} ——受拉区 STC 所承担的轴力（N）和弯矩（N·mm）；

N_{sr} 、 M_{sr} ——钢筋所承担的轴力（N）和弯矩（N·mm）；

M_{load} ——外荷载引起的截面弯矩（N·mm）。

2) 对图 A.0.1-1 的截面应力分布进行积分，得到式（A.0.1-1）中各项的表达式，如式（A.0.1-2）所示：

$$\begin{cases} N_{sc} = b_t E_s \phi h_t (h_t/2 - y_t) \\ N_{cc} = -b_c E_c \phi (h_t - y_t)^2/2 \\ N_{sr} = A_r E_r \phi (h_t + h_c - h_r - y_t) \\ N_{ct} = b_c E_c \phi h_{yt}^2/2 + b_c f_{tk} (h_c + h_t - y_t - h_{yt}) \\ M_{sc} = b_t E_s \phi [y_t^3 - (y_t - h_t)^3]/3 \\ M_{cc} = b_c E_c \phi (y_t - h_t)^3/3 \\ M_{sr} = A_r E_r \phi (h_t + h_c - h_r - y_t)^2 \\ M_{ct} = b_c E_c \phi h_{yt}^3/3 + b_c f_{tk} [(h_c + h_t - y_t)^2 - h_{yt}^2]/2 \end{cases} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中: b_c 、 h_c ——计算模型中, STC 层的宽度和厚度 (mm);
 b_t 、 h_t ——计算模型中, 钢面板的宽度和厚度 (mm);
 A_r ——计算模型中, 横向钢筋的截面面积 (mm^2);
 E_r ——钢筋弹性模量 (MPa);
 E_s ——钢材弹性模量 (MPa);
 E_c ——STC 弹性模量 (MPa);
 ϕ ——计算模型中, 截面曲率 ($1/\text{mm}$);
 y_t ——计算模型中, 中性轴到钢面板底面的距离 (mm);
 h_r ——计算模型中, 横桥向钢筋重心到 STC 层表面的距离 (mm);
 f_{tk} ——不配筋 STC 的轴拉强度标准值 (MPa);
 h_{yt} ——STC 比例极限拉应变高度, $h_{yt} = \varepsilon_{\text{crack},k} / \phi$ (mm);
 $\varepsilon_{\text{crack},k}$ ——STC 初裂应变标准值 ($\mu\varepsilon$)。

将式 (A.0.1-2) 代入式 (A.0.1-1), 方程组仅含截面曲率 ϕ 和中性轴高度 y_t 两个未知参数, 可通过迭代计算, 得到钢筋应力。

2 纵桥向 STC 层中受拉钢筋应力计算见图 A.0.1-2 和式 (A.0.1-3)。

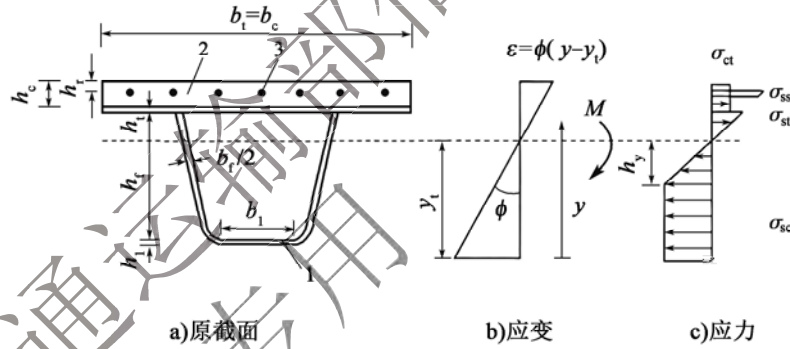


图 A.0.1-2 纵桥向计算模型中钢筋应力计算示意

1-U 肋; 2-STC 层; 3-纵向钢筋

1) 外荷载下初裂截面内力和弯矩平衡方程如式 (A.0.1-3) 所示:

$$\begin{cases} N_{sr} + N_{ct} + N_{st} + N_{sc} - N_{load} = 0 \\ M_{sr} + M_{ct} + M_{st} + M_{sc} - M_{load} = 0 \end{cases} \quad (\text{A.0.1-3})$$

式中: N_{sc} 、 M_{sc} ——受压区钢桥面所承担的轴力 (N) 和弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

N_{st} 、 M_{st} ——受拉区钢桥面所承担的轴力 (N) 和弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

N_{ct} 、 M_{ct} ——受拉区 STC 所承担的轴力 (N) 和弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

N_{sr} 、 M_{sr} ——钢筋所承担的轴力 (N) 和弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

N_{load} 、 M_{load} ——外荷载引起的轴力 (N) 和截面弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

2) 对图 A.0.1-2 的截面应力分布进行积分, 得到式 (A.0.1-3) 中各项的表达式, 如式 (A.0.1-4) 所示:

$$\begin{cases}
N_{sc} = f_y b_f (h_l - y_t) - f_y b_l h_l + f_y b_f h_y / 2 \\
N_{st} = b_t h_t E_s \phi (h_f + h_l - y_t + h_t / 2) + b_f E_s \phi (h_f + h_l - y_t)^2 / 2 \\
N_{sr} = A_r E_r \phi (h_c + h_t + h_f + h_l - y_t - h_r) \\
N_{ct} = f_{tk} b_c h_c \\
M_{sc} = b_f E_s \phi h_y^3 / 3 + b_f f_y [(y_t - h_l)^2 - h_y^2] / 2 + f_y b_l h_l (y_t - h_l / 2) \quad (A. 0.1-4) \\
M_{st} = b_t E_s \phi [(y_t - h_f - h_l)^3 - (y_t - h_f - h_l - h_t)^3] / 3 + \\
\quad b_f E_s \phi (h_l + h_f - y_t)^3 / 3 \\
M_{sr} = A_r E_r \phi (h_c + h_t + h_f + h_l - y_t - h_r) (h_c + h_t + h_f + h_l - y_t - h_r) \\
M_{ct} = f_{tk} b_c h_c (h_l + h_f + h_l - y_t + h_c / 2)
\end{cases}$$

式中： y_t ——计算模型中，中性轴到 U 肋底面的距离（mm）；

h_r ——计算模型中，纵向钢筋形心到 STC 层上表面的距离（mm）；

f_{tk} ——不配筋 STC 的轴心抗拉强度标准值（MPa）；

f_y ——钢材屈服强度（MPa）；

b_c ——计算模型中，STC 层宽度（mm）；

b_t 、 h_t ——计算模型中，纵肋顶部钢板宽度和厚度（mm）；

b_f 、 h_f ——计算模型中，腹板总厚度和高度（mm）；

h_l 、 b_l ——计算模型中，纵肋下翼缘厚度和宽度（mm）；

h_y ——受压钢板屈服区域高度，可按（A. 0.1-5）计算：

$$h_y = f_y / \phi \quad (A. 0.1-5)$$

将式（A. 0.1-4）和式（A. 0.1-5）代入式（A. 0.1-3），方程组仅含截面曲率 ϕ 和中性轴高度 y_t 两个未知参数，可通过迭代计算，得到钢筋应力。

A. 0.2 负弯矩作用下 STC 层顶面最大裂缝宽度计算算例：

1 STC 层最大拉应力计算

以某悬索桥为工程背景，建立全桥和局部计算模型。组合桥面中 STC 层厚 45mm。局部计算模型在横桥向取全幅宽 35.6m，纵桥向取 3 组吊杆的梁段长 24m，按 2 跨连续计算，横隔板间距 4m；U 肋高 260mm，开口宽 320mm，底板 210mm，钢面板厚 12mm，U 肋厚 6mm，组合箱梁的 STC 层作为桥面结构的一部分。局部车轮荷载作用范围为 200mm（纵桥向）×600mm（横桥向），加载模型如图 A. 0.2-1 所示。

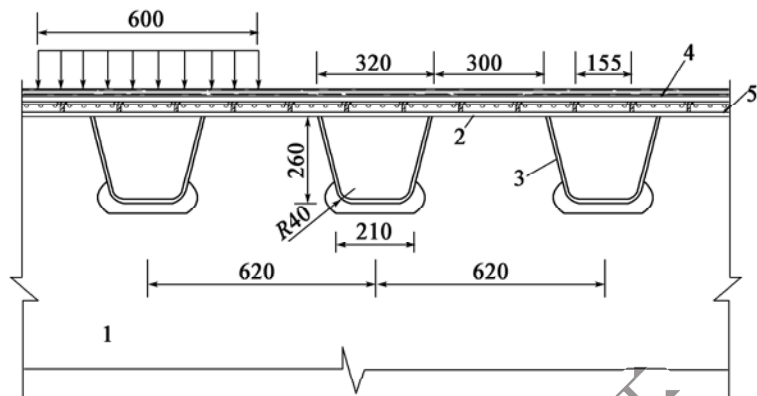


图 A.0.2-1 计算模型示意（尺寸单位：mm）

1-横隔板；2-钢面板；3-U 肋；4-磨损层；5-STC 层

根据有限元计算结果，组合桥面中 STC 层的应力如表 A.0.2-1 所示。

表 A.0.2-1 STC 层拉应力峰值

受力方向	拉应力（MPa）
纵桥向	10.08
横桥向	6.41

2 钢筋应力的计算

对于横桥向，取宽度为 200mm 的 STC 组合桥板模型，其横断面构造如图 A.0.2-2a) 所示；对于纵桥向，取宽度为 620mm 的 STC 组合梁模型，其横断面构造如图 A.0.2-2b) 所示。钢的弹性模量为 206GPa，STC25 的弹性模量为 40.7GPa。

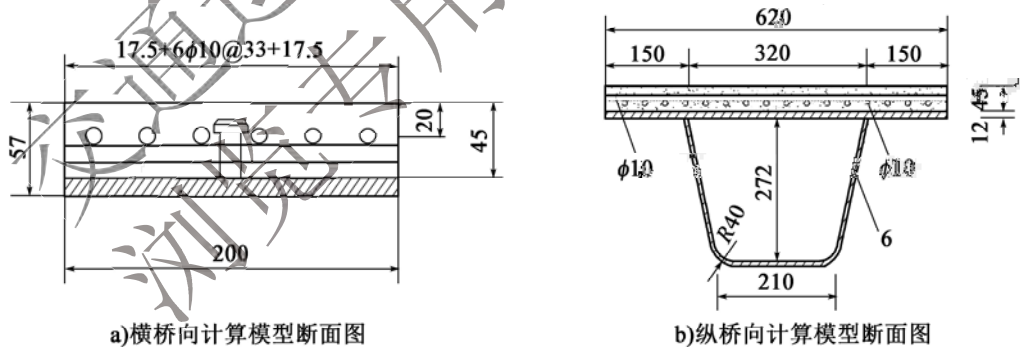


图 A.0.2-2 条带模型构造示意（尺寸单位：mm）

根据材料力学公式 $M = \sigma W$ ，并结合 STC 层的最大拉应力值和计算模型的截面特性值，可得到截面弯矩值 M 。由本规范第 A.0.1 条的计算公式可以计算得到 STC 层中受拉钢筋应力。

3 最大裂缝宽度计算

由本规范第 4.5.1 条计算得到 STC 层顶面的最大裂缝宽度，主要计算结果见表 A.0.2-2。可以看出，本例中 STC 层顶面的最大裂缝宽度小于 0.05mm，符合设计规定。

表 A.0.2-2 STC 层表面裂缝宽度计算结果

受力方向	σ_{ss} (MPa)	截面弯矩 M (kN · m)	STC 层表面最大裂缝宽度 w_{smax} (mm)
横桥向	15.5	1.16	0.0043
纵桥向	45.4	97.9	0.022

交通运输部信息公开
浏览专用

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本规范中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”“应符合本规范第×.×节的有关规定”“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。