

海南省地方标准制修订项目计划
《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》
编制说明



标准编制组

2021年6月8日

目录

第 1 章 工作简况.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 协作单位.....	1
1.3 主要工作.....	1
1.4 主要起草人.....	1
第 2 章 编制目的、指导思想和原则.....	2
2.1 编制目的.....	2
2.2 指导思想.....	2
2.3 编制原则.....	3
第 3 章 钢-STC 轻型组合桥面研究.....	5
3.1 研究概况.....	5
3.2 钢-STC 组合板横向抗弯试验.....	7
3.3 钢-STC 组合梁纵桥向抗弯试验.....	7
3.4 钢-STC 界面抗剪试验.....	8
3.5 经济社会效益.....	8
第 4 章 其他情况说明.....	10
4.1 研究水平.....	10
4.2 适用范围.....	10
4.3 与国家、地方法律法规、标准的关系.....	10
4.4 重大分期意见的处理过程和依据.....	10

第 1 章 工作简况

1.1 任务来源

根据海南省铺前跨海大桥钢-超高韧性混凝土(STC)轻型组合桥面结构的应用编制此标准。

1.2 协作单位

湖南大学、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、中交第二航务工程局有限公司。

1.3 主要工作

- (1) 形成编制大纲后由主管部门召开大纲评审会；
- (2) 交流已有调研成果和专题研究成果，讨论规范初稿；
- (3) 验收调研成果和专题研究成果，讨论规范第二稿，形成规范征求意见稿修改意见；
- (4) 完成规范公开征求意见稿，并开始广泛征求意见；
- (5) 形成送审稿，并组织召开送审稿审查会；
- (6) 召开总校会议，形成总校稿；
- (7) 成报批稿，交付出版，出版发行。

1.4 主要起草人

中国公路工程咨询集团有限公司：吴敬武、孙平宽。

湖南大学：邵旭东、曹君辉、王洋。

中交第二公路勘察设计研究院有限公司：刘新华

中交第二航务工程局有限公司：黄鹏、向梨梨

第 2 章 编制目的、指导思想和原则

2.1 编制目的

归纳总结编制组对钢-超高性能轻型组合桥面结构的研究和应用成果，并广泛调研，总结国内已完成的钢-STC 轻型组合桥面结构工程经验，对 STC 或 UHPC 原材料及性能等级，轻型组合桥面结构设计计算、施工、检验与验收等做出明确规定，形成轻型组合桥面结构设计规程。该规范的编制将指导钢-STC 轻型组合桥面结构的设计和施工，从根源上解决正交异性钢桥面板疲劳开裂、沥青铺装破损等病害问题。

2.2 指导思想

本次《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》编制的指导思想：严格贯彻国家法律、法规和方针、政策，充分考虑我国国情，做到安全可靠、技术先进、经济合理、便于实施。以编制团队多年的科研成果积累，并结合国内外最新研究成果和工程实践为依托，广泛征求各方意见，集思广益、博采众长，发挥行业合力和技术优势，如期、保质地完成《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》的编制工作。具体包括：

(1) 服务行业、服务工程。准确把握公路行业发展需求，针对公路钢桥普遍面临的正交异性钢桥面板疲劳开裂、沥青铺装破损等难题，总结轻型组合桥面结构的科研成果和成功应用经验，明确 STC 材料性能，轻型组合桥面结构设计理论和方法，施工工艺、检验与验收等关键技术问题，体现行业现阶段技术水平、先进方法与手段，适应公路发展的迫切需求，开展标准编制工作。

(2) 整合资源，群策群力。整合行业内与钢-STC 轻型组合桥面结构相关的研究与应用技术资源（包括有关科研、设计、施工优势单位和专家），结合公路桥涵工程特点，深入剖析 STC 材料性能，轻型组合桥面结构设计、施工与检验验收的特点，集思广益、博采众长，发挥行业合力和技术优势，共同做好标准编制工作。

(3) 保质保量、及时规范。主编单位湖南大学及项目负责人确保充足的人力、物力投入到规范制订工作，参编单位都安排了有相关丰富经验的专家进行相关章节地编制，同时相互校对。严格执行《公路工程行业标准制修订管理导则》(JTG A02-2013)和《公路工程标准编写导则》(JTG A04-2013)的规定，项目执行规程中及时汇报工作进展，做好大纲、征求意见稿、送审稿和报批稿等各环节工作，按时、高质量、规范化、程序化地完成《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》制订工作。

2.3 编制原则

本次《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》的编制将遵循如下编制原则：

(1) 协调性原则。本规范以《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)、《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)、《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01-2015)、《公路桥梁施工技术规范》(JTG/T F50-2011)、《公路工程质量检验评定标准第一册-土建工程》(JTG F80/1-2017)等为基础，在公路行业标准规范体系的总体指导下开展制订工作，协调钢-STC 轻型组合桥面结构与钢桥、组合桥梁之间的关系，充分考虑我国公路桥涵工程的实际特点，避免与现行国家标准和行业标准之间发生矛盾和冲突，并符合《公路工程行业标准制修订管理导则》(JTG A02-2013)和《公路工程标准编写导则》(JTG A04-2013)的要求。其中，与目前规范规定相同的部分不重复赘述，有规定但不完整的部分补充完善，有显著区别的材料、设计、施工、检验与验收等部分进行重点阐述。

(2) 成熟性原则。紧密结合中国国情，既要反映我国近年来成熟的钢-STC 轻型组合桥面结构研究成果和工程经验，又要充分借鉴和吸取国外在 UHPC 材料与结构方面的成熟和先进的经验，做到既坚持中国特色，又与国际接轨，保证其成熟性和前瞻性。

(3) 开放性原则。鉴于钢-STC 轻型组合桥面结构是一项新技术，通过一次规范编制解决所有的问题并不现实，编制的《超高性能轻型组合桥面结构技术规程》应是一个开放的体系，既要有原则规定，又要体现一定的灵活性，具有较强的包容性、拓展性和可修正性，有利于不断吸纳更多的研究成果和工程实践。

(4) 可操作性原则。规范的编制应理论正确，依据充分，验证可信，条文明

晰规范，简便易用，可操作性强。广泛征集业主单位、材料供应商、设计单位、施工单位、监理单位等的意见，凝聚共识，确保其可操作性。

第 3 章钢-STC 轻型组合桥面研究

3.1 研究概况

超高性能混凝土（Ultra-High Performance Concrete, UHPC），也称活性粉末混凝土（Reactive Powder Concrete, RPC），是过去三十年中最具创新性的水泥基工程材料，实现了工程材料性能的大跨越。超高性能混凝土基于最大堆积密度原理配制，其组分具有低水胶比、无粗骨料、含高掺量钢纤维等特点，使得材料内部高度致密，以获得优异的力学性能和耐久性。湖南大学从 1993 年开始在国内率先研究超高性能混凝土，是国内最早开展相关研究的单位之一（图 1），期间作为核心成员参编超高性能混凝土首部国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）。

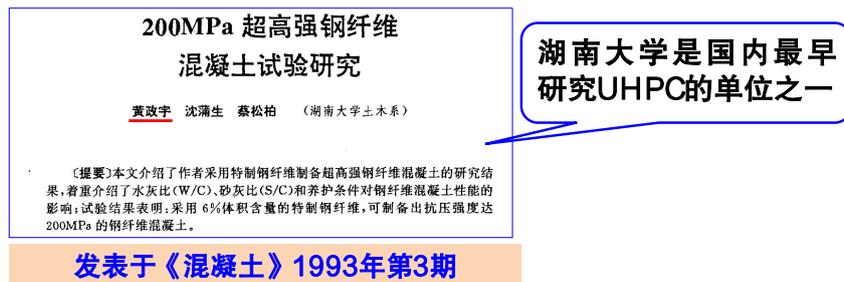


图 1 湖南大学 1993 年发表的关于 UHPC 的研究论文

但若将超高性能混凝土直接用于钢桥面，极易开裂，原因为：1）钢桥面中超高性能混凝土层的设计拉应力高达 15MPa，远大于材料自身的抗拉强度（仅约为 8MPa）；2）因水泥用量大、水胶比低，超高性能混凝土的总收缩应变高达 500~800 $\mu\epsilon$ ，收缩受到钢桥面板的强力约束，导致收缩应力过高而开裂，这在国内外均有实例教训。

因此，为实现轻型组合桥面结构，必须研发满足钢桥面受力需求的高性能水泥基复合材料。项目组对超高性能混凝土进行改性和强化，研发成功超高韧性混凝土（STC），为钢桥面强化技术提供了可靠的新材料。一方面，通过掺入纳米材料，提高致密性，并掺入混杂钢纤维、重配筋，大幅提升抗裂强度，超高韧性混凝土的抗裂强度超过 30MPa，疲劳寿命超过 2000 万次，预测可达百年寿命（图 2）。另一方面，掺入纳米材料，大幅提高材料的基体抗裂强度；重配筋则强力限制收缩变形，导致混凝土出现高拉应力，通过高温蒸汽养护，水化物迅速致密，使得

高拉应力松弛。在已应用的 100 多座实桥中，超高韧性混凝土的实测收缩应变仅为 $30\sim 70\mu\epsilon$ ，未出现任何开裂现象（图 3）。因此，从本质上来看，超高韧性混凝土（STC）是一种经过改性和强化的、钢桥面专用的超高性能混凝土（UHPC）。

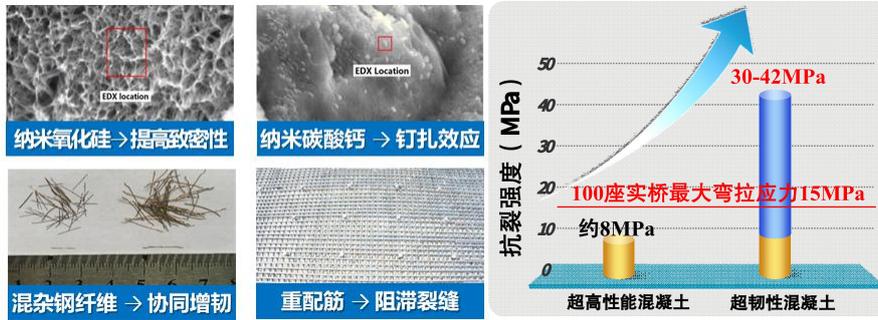


图 2 提高 STC 抗裂强度的措施及效果

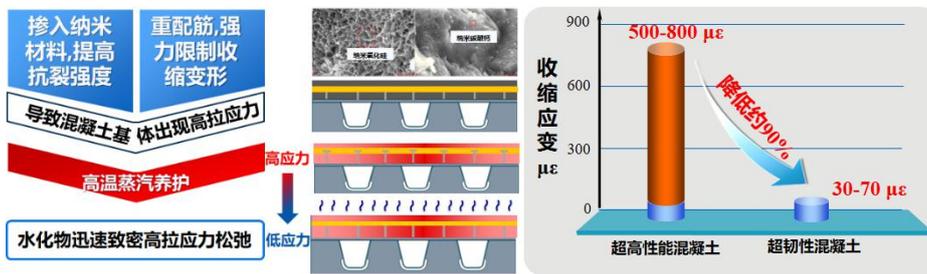
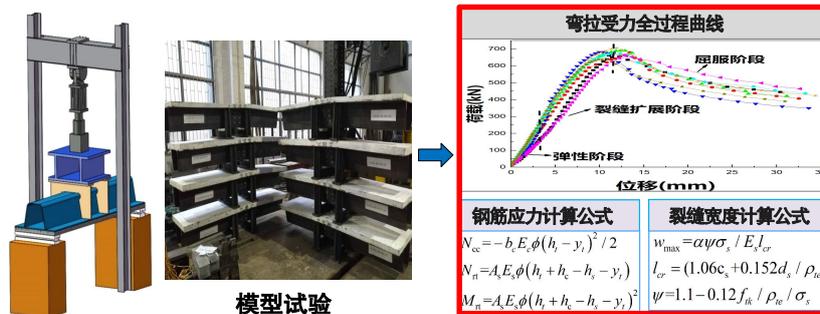
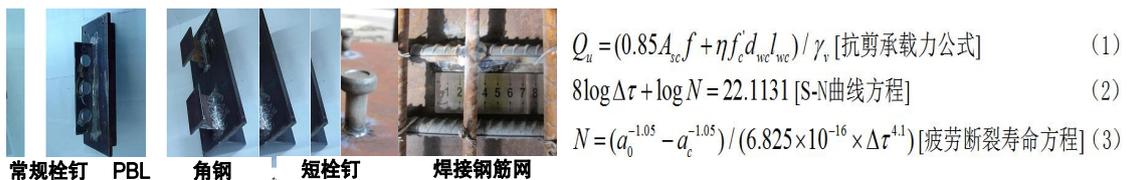


图 3 降低 STC 收缩的措施及效果

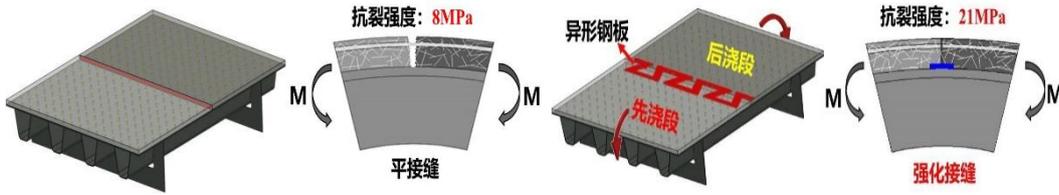
项目组对轻型组合桥面结构开展了 1000 多个构件试验（图 4），探明其基本受力性能，构建了钢-STC 薄层组合结构理论，扩充了传统钢-混凝土组合桥梁结构理论体系，形成了大量原创性科研成果。



(a) 轻型组合桥面结构抗弯性能研究



(b) 矮剪力键抗剪性能研究



(c) STC强化接缝抗弯性能研究

图 4 轻型组合桥面结构受力理论体系构建

项目组获授权专利 40 余项，出版地方标准 2 部、专著 2 部，发表期刊论文一百余篇。经同行专家鉴定，该技术达到国际领先水平。成果获得教育部技术发明一等奖、中国公路学会科学技术进步一等奖，成果入选 2018 年度“交通运输部重大科技创新成果库—重大科技创新项目”。

3.2 钢-STC 组合板横向抗弯试验

开展了钢-STC 组合板负弯矩受弯正交试验，如图 5 示。探究了主要设计参数对钢-STC 轻型组合桥面结构横向受弯性能的影响，深入探究了保护层厚度、配筋率、栓钉间距、STC 层厚度等主要设计参数对平均裂缝间距、开裂应力、极限承载力的影响规律，得到了主要设计参数影响性的敏感性排序，并提出了钢-STC 组合结构极限承载力计算理论，可用于钢-STC 轻型组合桥面结构的设计。

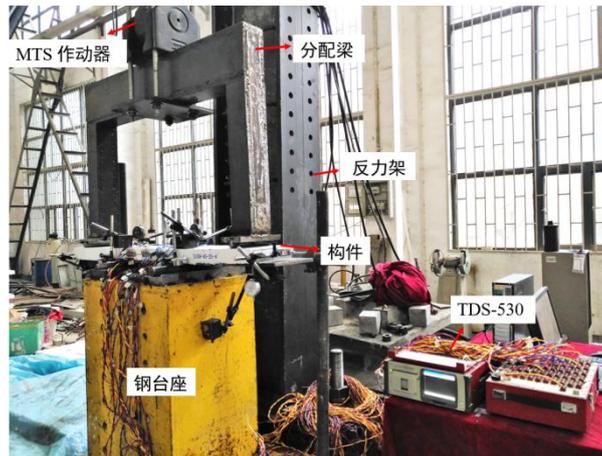


图 5 试验加载照片

3.3 钢-STC 组合梁纵桥向抗弯试验

开展了钢-STC 组合梁纵桥向抗弯试验，按负弯矩受力进行加载。结果表明，试件的破坏模式为纵肋底部局部屈曲（图 6），此时 STC 顶面仅出现 0.04mm 宽

的裂缝，对应的名义抗裂强度为 30.1 MPa，表明对于钢-STC 组合桥面结构纵向受力，钢梁的破坏先与 STC。因此，STC 的纵向抗裂安全储备极高，不会成为该加固结构的设计控制因素。

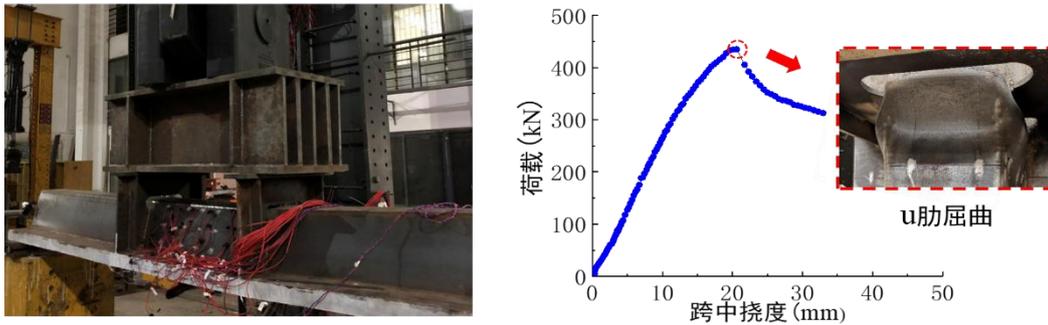


图 6 钢-STC 组合梁纵向抗弯静力试验

3.4 钢-STC 界面抗剪试验

为了验证短栓钉的抗剪性能，开展了推出试验，其中栓钉尺寸为 $\Phi 13 \times 24 \sim 32 \text{mm}$ （图 7）。结果表明，试件的破坏模式均为短栓钉被剪断，单个栓钉的抗剪承载力高达 90kN，而实桥计算表明，设计荷载下单个短栓钉的最大剪力仅为 8.9 kN，不到其抗剪承载力的 10%，安全储备很高。因此，短栓钉抗剪同样不是该加固结构的设计控制因素。

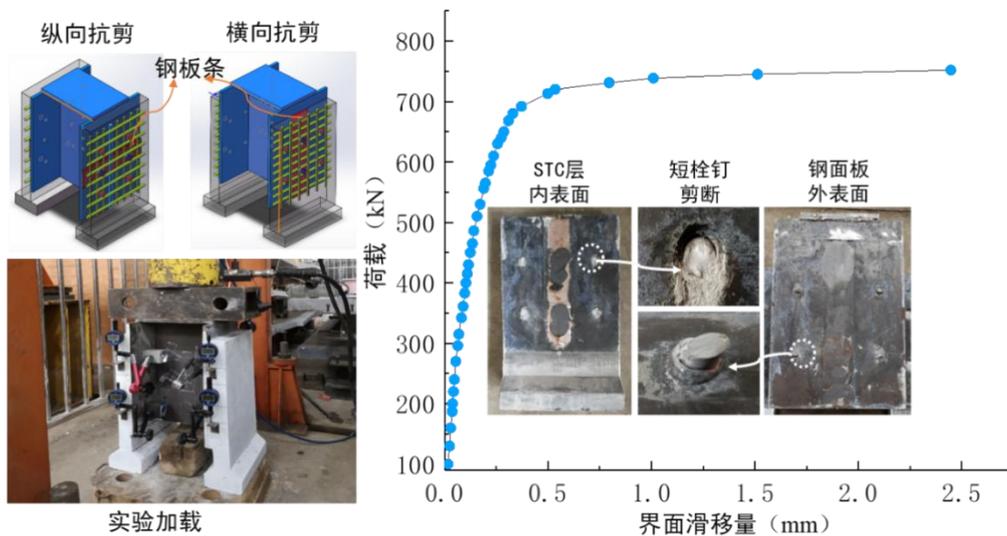


图 7 钢-STC 组合板中短栓钉抗剪推出试验

3.5 经济社会效益

钢桥是一种重要的桥梁结构形式，而钢桥面的两类典型病害问题影响着钢桥的耐久性，增加了运营成本，成为亟需解决的难题。本项目的研究成果将彻底解

决这两类病害问题。现以虎门大桥钢桥面为例计算静态直接经济效益：

环氧沥青等钢桥面铺装的价格约 1600 元/平方米，寿命平均约 8 年，100 年内需更换 12 次，总价 C1：

$$C1=1600 \times 888\text{m} \times 30\text{m} \times 12 \text{ 次} = 5.11 \text{ 亿元}$$

而超高性能轻型组合桥面结构的单价为 1900 元/平方米，其中 STC 寿命 100 年，磨耗层寿命约 8 年，100 年内只需更换 16 次磨耗层，单价为 80 元/平方米，总价 C2：

$$C2=1900 \times 888\text{m} \times 30\text{m} + 80 \times 888\text{m} \times 30\text{m} \times 12 \text{ 次} = 0.77 \text{ 亿元}$$

静态直接经济效益 $C1-C2=4.34$ 亿元。平均每年节省维护投资大于 500 万元。

同时，超高性能轻型组合桥面结构消除了钢结构疲劳开裂风险，将带来巨大的效益。此外，由于钢桥面的两类典型病害问题的已解决，桥梁在运营中的维护规模，以及在维护中对交通的阻断将大大减小，将产生潜在的经济和社会效益。

第 4 章其他情况说明

4.1 研究水平

国内领先水平。

4.2 适用范围

本技术指南适用于以钢-STC 轻型组合桥面结构作为桥面体系的桥梁结构,包括新建桥梁和大中修桥梁钢桥面改造,具体包含了钢-STC 轻型组合桥面结构工程的设计、施工及检验。对于其它领域的工程,亦可参考使用。

4.3 与国家、地方法律法规、标准的关系

工程建设标准编写规则应符合《公路工程标准编写导则》(JTGA04-2013)、《海南省地方标准制修订工作程序》(DB 46/ T 74—2018)的要求;非工程建设标准编写规则应符合《标准化工作导则·第 1 部分:标准的结构和编写》(GB/T 1.1-2009)的要求。

4.4 重大分期意见的处理过程和依据

参见《标准化工作指南 第 2 部分:采用国际标准》(GB/T 20000.2-2009)、《标准化工作指南 第 9 部分:采用其他国际标准化文件》(GBT 20000.9-2014)。其中,等同采用,指技术内容及文本结构相同,没有或仅有编辑性修改;修改采用,存在技术性差异,且差异及产生的原因被清楚地说明,文本结构有变化且有清楚的比较;非等效采用,技术内容和文本结构不同,且在标准中没有被清楚地说明,或只保留了少量或不重要的国际标准条款。