

STC 超高韧性混凝土配合比的研究与应用

钟 波

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

摘 要:云龙湾大桥桥面铺装采用 STC 超高韧性混凝土,利用 STC 的超高抗弯拉强度及抗压强度、高耐久性(可达 100 a)等特点,提高了桥面结构层的刚度及抗拉强度,因此,研究 STC 超高韧性混凝土配合比,能更好地解决正交异性组合钢桥面板结构疲劳破坏及桥面铺装极易损坏等世界性质量通病和施工难题。

关键词:STC;钢桥面;原材料;配合比;超高韧性混凝土;研究

中图分类号:U445;U444;U442

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)05-0041-03

Study and Application of Mix Ratio of STC Super Toughness Concrete

ZHONG Bo

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: The STC (super toughness concrete) is used in the deck pavement of Yunlongwan Bridge. The characteristics of super flexural, compressive strength and high durability (up to 100a) of STC are used to improve the stiffness and tensile strength of the deck structure. Therefore, the study of STC mix ratio can better solve the fatigue damage of orthotropic composite steel bridge deck structure as well as the damage of bridge deck pavement and other worldwide common quality and construction problems.

Key words: STC; steel bridge deck; original material; mix ratio; super toughness concrete; study

1 概 述

云龙湾大桥位于锦江云龙湾,其呈南北走向,基本与锦江正交。工程起点里程为 K4+448.000,终点里程为 K5+567.000,全长 1 119 m。主桥一跨跨越锦江水面,孔跨布置为(30+80+205+80+30)m 自锚式悬索桥,全长 428.35 m,主跨跨度为 205 m,桥宽 48.5 m。主梁为纵横格构式正交异性桥面板钢梁,纵桥向由钢桥面板、U 肋组成,桥面板厚 16 mm,U 肋间距为 600 mm。

该桥为自锚式悬索桥,主梁为钢梁,梁体较柔,活载作用下变形达 28 cm。经多方对比与综合考虑,最终钢桥面采用超高韧性混凝土组合结构和沥青混凝土铺装层的方案,铺装总厚度为 9 cm,面层为 4 cm 厚 SMA-13C 沥青混凝土,底层为 5 cm 厚超高韧性混凝土(STC)。为保证底层超高韧性混凝土与钢桥面的结合,在桥面板上设置剪力钉并铺设钢筋网。

超高韧性混凝土(Super Toughness Concrete, STC)是一种新型超高强度、高韧性的水泥基复合材料。与普通混凝土相比,其显著特点是强度更高、韧性更大、耐久性更好。利用 STC 材料的这些特性替代传统的混凝土用于建筑结构中,可以提高其构件的开裂强度,增强结构的耐久性;用于道路和桥梁结构中,可以增加结构的刚度,提高结构的疲劳寿命等。STC 的拌和分为干拌和湿拌,首先将水泥、矿物掺合料、细集料、钢纤维和减水剂等几种材料拌和组成干混料,然后加水进行湿拌。STC 组分中所用的水泥、钢纤维、减水剂等均应符合现行的国家或行业标准。STC 层与钢桥面之间通过焊接栓钉连接,栓钉直径为 13 mm,高度为 35 mm,纵横向标准间距为 150 mm。STC 层内配置 HRB400 级带肋钢筋网,纵、横桥向钢筋直径均为 10 mm 且横桥向钢筋位于上层,所有钢筋的净保护层厚度均为 15 mm。该项目超高韧性混凝土(STC)桥面铺装层面积为 15 836 m²,其中 STC 的设计指标为 STC22,即

收稿日期:2019-07-06

STC 的抗压强度不小于 120 MPa, 抗折强度不小于 22 MPa。

2 STC 混凝土原材料的选择及配合比设计

超高韧性混凝土的原材料主要为水泥、矿物掺合料、细集料、钢纤维、减水剂和水等, 这些原材料的选择及配合比直接影响 STC 混凝土的性能。针对各项性能要求较高的超高韧性混凝土, 需要注重原材料的选择及拌和物的匀质性, 因此, 需要在保证其基本性能的前提下严格选择原材料并控制其配合比, 以满足其各项性能的特殊要求。

作为超高性能轻型组合桥面结构体系中超高韧性混凝土 (STC) 层其超高韧性混凝土的设计理论是最大密实度理论。不同于普通混凝土, 超高韧性混凝土去除了大粒径的粗骨料, 所选用的最大粒径一般为不大于 2 mm 的石英砂作骨料, 选用优质硅酸盐水泥, 掺入大量超细高活性掺合料, 按最紧密堆积原理确定各组成材料的比例。最大密实理论的主要原理是毫米级颗粒 (骨料) 的间隙由微米级颗粒 (水泥、粉煤灰、矿粉) 填充; 微米级颗粒的间隙由亚微米级颗粒 (硅灰) 填充, 因此而大大提高了超高韧性混凝土的内部密实度, 减少了初始内部缺陷, 但也使混凝土组成材料的细度增大。同时, 由于高性能减水剂和钢纤维的掺入, 加上采用极低的水灰比, 其强度和韧性获得明显提高, 进而得到其特殊的物理力学性能。

2.1 原材料的选择

(1) 材料组成: 超高韧性混凝土由一定比例的水泥、矿物掺合料、细集料、钢纤维、核心料和水组成^[1]。

(2) 水泥: 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007) 的规定, 一般选用 P.O42.5 级以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 且应保证其与外加剂的适应性。在为同一工程提供超高韧性混凝土时, 所用水泥应为同一厂家、同一品种、同一标号, 以保证超高韧性混凝土拌和物的均质性。

(3) 细集料: 一般选用石英砂, 主要起填充作用。石英砂是由石英石经破碎加工而成的颗粒, 石英砂的质地坚硬、耐磨、价格低廉且化学性质稳定, 是一种制作 UHPC 很好的细集料, 其主要矿物成分是 SiO_2 。用于制备 UHPC 的石英砂的平均粒径通常为 0.315~0.63 mm, 且其性能指标符合表 1 中的规定。

表 1 石英砂和石英粉技术指标表 /%

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	≤0.5
云母含量	≤0.5

(4) 钢纤维: 钢纤维是影响 STC 抗弯拉强度和韧性的主要因素。混凝土的拉应力主要是通过基体与钢纤维的粘结作用传递, 因此, 基体与钢纤维粘结力的大小直接影响到 STC 抗拉强度的大小。而影响其粘结力的因素包括基体的配比、钢纤维的形状、钢纤维的长径比、钢纤维的刚度等。该工程采用镀铜高强度钢纤维, 其性能指标符合表 2 中的规定。

表 2 钢纤维性能指标表

项目	技术指标
抗拉强度 /MPa	≥1 600
长度 (12~14 mm 或 6~8 mm 的体积含量) /%	≥96
直径 (0.18~0.22 mm 或 0.12~0.16 mm 的体积含量) /%	≥90
形状合格率 /%	≥96
杂质含量 /%	≤1

注: (1) 50 根试样的长度平均值应在 12~14 mm 或 6~8 mm 范围内。 (2) 50 根试样的直径平均值应在 0.18~0.22 mm 或 0.12~0.16 mm 范围内。

(5) 减水剂: 减水剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076—2008) 和现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2013) 的规定, 宜选用高性能减水剂, 减水剂的减水率宜大于 30%。

(6) 水: 应符合《混凝土用水标准》(JGJ63—2006) 的规定。

2.2 配合比设计

(1) STC 配合比的设计目标。为了使 STC 的力学性能达到最佳, 笔者结合云龙湾大桥施工的实际情况, 对 STC 的配合比进行了研究。根据以往经验配比, 对本次研究拟订了两个试验思路: ①用水量对 STC 性能的影响, 既固定水泥、石英砂、核心料、钢纤维用量, 改变用水量进行 STC 配合比试验, 最终确定最佳用水量; ②石英砂用量对 STC 性能的影响, 既固定水泥、核心料、钢纤维、用水量, 改变石英砂用量进行 STC 配合比试验, 最终确定石英砂的最佳用量。

(2) 基准配合比的选定。按照经验配比, STC 的水胶比宜为 0.16~0.25。该试验采用以下配合比进行试配:

表 3 STC 基准配合比表 /kg

水胶比 W/B	水 泥	水	石英砂	核心料	粗钢 纤维 A	细钢 纤维 B
0.18	800	200	880	420	125	75

(3) 试验方法。

① 试验用原材料取自工地现场, STC 的拌和方法采用 60 L 强制式搅拌机拌和。

② 配合比试配量按 18 L 进行试拌。

③ 试验方法及步骤:

a. 按计算称量水泥、粉料、石英砂并进行干混搅拌, 边搅拌, 边将称好的钢纤维均匀筛入搅拌缸, 钢纤维完全加入后再继续搅拌 60 s, 直至搅拌均匀;

b. 将按计量称量的水加入干混料中, 搅拌 3~4 min 成砂浆;

c. 待 STC 流化后继续搅拌 2 min, 最终成型;

d. 测量 STC 坍落度(或扩展度)并记录;

e. 将所配得的 STC 混凝土入模, 采用高频振动器振捣密实, 制得一组 100 mm×100 mm×100 mm 的标准抗压试块和一组 100 mm×100 mm×400 mm 的抗折试件, 盖膜养护至终凝;

f. 终凝后拆模进行高温蒸汽养护, 采用 80 °C~90 °C 蒸汽养护(72±1)h, 或为 90 °C 及以上蒸汽养护(48±1)h;

g. 养护 3 d 后再进行抗压抗折试验并做好记录。

(4) 试配采用的调整方法。按以上配合比进行试拌, 检查拌和物性能, 试拌符合要求后得出基准配合比, 若坍落度、粘聚性、保水性不能满足要求时, 则需在保证水灰比不变的情况下调整用水量或减水剂, 经现场试配后, 得出基准配合比。

在基准配合比基础上: ① 用水量分别增减 15 kg/m³ 变动得到三种配合比, 用其进行 STC 强度试验; ② 石英砂用量分别增减 80 kg/m³ 变动得到三种配合比, 用其进行 STC 强度试验。试件留置: 试配方量为每次 18 L, 每种配合比留件 1 组。具体试验数据见表 4、5^[2,3]。

(5) 试验总结。

① 根据表 4 中的试验数据可以得出用水量对 STC 性能的影响: 相对于基准配比, 上调用水量至

表 4 配合比调整用水量试验参数表

项目	基准	上调用水量	下调用水量
水 /kg	200	215	185
水泥 /kg	800	800	800
石英砂 /kg	880	880	880
核心料 /kg	420	420	420
钢纤维 /kg	125	125	125
钢纤维 /kg	75	75	75
坍落度 /mm	200	230	170
扩展度 /mm	430	460	370
抗折强度 /MPa	30.4	23.5	32.6
抗压强度 /MPa	148.3	126.5	160.1

表 5 配合比调整用砂量试验参数表

项目	基准	上调用水量	下调用水量
水 /kg	200	200	200
水泥 /kg	800	800	800
石英砂 /kg	880	960	800
核心料 /kg	420	420	420
钢纤维 /kg	125	125	125
钢纤维 /kg	75	75	75
坍落度 /mm	200	170	220
扩展度 /mm	430	390	450
抗折强度 /MPa	30.4	29.6	33.2
抗压强度 /MPa	148.3	143.7	161.4

215 kg/m³ 的配比抗压和抗折强度减小, 坍落度和扩展度增大; 下调用水量至 185 kg/m³ 的配比其抗压和抗折强度增大, 坍落度和扩展度减小。

在一定范围内, 减少用水量可以使 STC 的力学性能增加, 但会使其坍落度和扩展度减小而无法达到设计要求, 从而使实际施工的难度增大。综合上述两个因素可以得出 STC 配比的最佳用水量为 200 kg/m³。

② 根据表 5 中的试验数据可以得出石英砂用量对 STC 性能的影响: 相对于基准配比, 上调石英砂用量至 960 kg/m³ 的配比其抗压和抗折强度有少许减小, 坍落度和扩展度减小; 下调用水量至 800 kg/m³ 的配比其抗压和抗折强度增大, 坍落度和扩展度增大。

在一定范围内增加石英砂用量, 对 STC 的力学性能影响不大, 但会使其坍落度和扩展度

(下转第 52 页)

应急处置结束后,应及时做好善后处理工作、认真开展调查评估,这也是保持应急管理工作连续性、总结经验教训的过程,对于应急管理工作的改进具有重要意义。目前,建筑施工企业对应急恢复的重视还不够,对应急恢复涉及的工作也不明确,因此,就需要在这方面做更多的工作以改善现有状况。

4 对建筑施工企业及项目部应急能力建设的建议

(1)整合机构,吸纳公司内外应急管理专家设立公司级常设的应急管理权威部门。

(2)建立完善的应急管理人才培训制度,旨在提高应急管理人员的素质。

(3)提高危机意识,消除麻痹思想;不断运用新技术、新科技提高监测预警能力。

(4)编制施工组织设计和施工方案时必须细化安全措施,尽可能地做到施工方法的“本质安全”。

(5)建立和完善一套程序化的应急启动模块(可理解为应急启动的“情景模式”,如:迎检模式、蓝色、黄色、橙色、红色预警模式,每种模式可根据项目辨识的危险源和可能出现的突发事件再细分)。

(6)切实提高应急预案的实效性。

(7)整合并充分利用既有的应急资源,尽量减少企业不必要的投入,同时使有限的各项应急资

(上接第 43 页)

减小,从而使实际施工的难度增大。综合上述两个因素可以得出 STC 配比中的最佳石英砂用量为 880 kg/m^3 。

(6)配合比的确定。根据试验得出的 STC 强度与其对应的用水量和石英砂用量的关系,结合云龙湾大桥的设计要求及施工环境确定的最终配合比见表 6^[4,5]。

表 6 STC 最终配合比表 /kg

水胶比 W/B	水泥	水	石英砂	核心料	粗钢 纤维 A	细钢 纤维 B
0.18	800	200	880	420	125	75

3 结 语

STC 混凝土配合比确定后,云龙湾大桥经过 2 个月时间的施工,STC 混凝土经历原材料的控制、拌和、现场摊铺、蒸养等工序后,经检测各项指

源应用到最关键的环节。

(8)重视特种设备管理在应急能力建设中的重要性。

(9)加强总结评估和恢复重建工作。

5 结 语

建立和提高建筑施工企业的应急能力,需要政府有关部门、建设单位、各施工企业等共同努力,在应急管理所包含的机构、资金、预案、演练、队伍、指挥等互相融合、共同提高的原则下,明确各方监督机构的职能,构建完整的应急体系和合理的管理协作模式,保证应急流程中各个环节高效运行,进而将事故危害降低到最小程度,保障全社会健康稳定发展。

参考文献:

- [1] 秦华礼,焦连柯,刘 菊.浅析我国安全生产应急管理现状[D].中国职业安全健康协会 2010 年学术年会论文集[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [2] 温志强.地震灾后反思应急管理准备机制:挑战与对策[A].“建设服务型政府的理论与实践”研讨会暨中国行政管理学会 2008 年年会论文集[C].2008.
- [3] 赵影聪.我国应急管理体系初探[D].燕山大学,2008.
- [4] 王红星.建设工程风险管理[J].安徽建筑,2007,34(6):137-138.
- [5] 李 乐.建筑企业安全事故应急管理体系的探讨[J].知识经济,2010,12(4):89-90.

作者简介:

张雪松(1972-),男,四川彭山人,工程师,从事项目安全管理工作。

标均满足设计及规范要求,真正发挥了其强度更高、韧性更大、耐久性更好的显著特点。

参考文献:

- [1] 何 峰,黄政宇.活性粉末混凝土原材料及配合比设计参数的选择[J].新型建筑材料,2007,34(3):74-77.
- [2] 王术华,李 军,李 好.钢纤维混凝土配合比设计方法研究[J].混凝土世界,2014,35(1):78-81.
- [3] 郭天雄,黄科运,李 杨.基于正交试验的钢纤维活性粉末混凝土配合比优化设计[J].江西建材,2016,36(12):7-8.
- [4] GDJTGT A01-2015,超高性能轻型组合桥面结构技术规范[S].
- [5] DB43/T 1173-2016,钢-超高韧性混凝土轻型组合桥面技术规范[S].

作者简介:

钟 波(1977-),男,四川仁寿人,工程师,从事市政工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)