

拌和工艺对 STC 超高韧性混凝土 工作性能的影响分析

徐 池, 祁 涛

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘 要: STC 超高韧性混凝土以其高抗折强度、高韧性和高耐久性在钢桥面铺装中已得到逐步推广和应用。通过对比分析钢纤维不同投料方式和混合料不同搅拌方式对 STC 超高韧性混凝土工作性能的影响得出以下结论: 采用钢纤维分散器辅助进行钢纤维投料, 其混合料更均匀, 没有出现明显的钢纤维团聚; 采用振动搅拌, 通过振动和搅拌的双重作用, 钢纤维在混凝土中的分布更加无序, 可以有效地改善混凝土的工作性能。

关键词: STC 超高韧性混凝土; 钢纤维掺入方式; 搅拌工艺; 工作性能; 影响分析; 云龙湾大桥

中图分类号: U444; U445; U448.3; U442

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)04-0015-04

Influence of Mixing Mode on Service Performance of STC Concrete

XU Chi, QI Tao

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd, Chengdu, Sichuan 610213)

Abstract: STC (super toughness concrete) has been gradually popularized in steel-bridge deck pavement due to its high flexural strength, toughness and durability. By comparing the influence of different batching methods of steel fiber and different mixing methods of mixture on the service performance of STC concrete, this paper concludes that, when steel fiber disperser is used to assist the batching of steel fiber, the mixture is more uniform and the agglomeration of steel fiber is not apparent; By vibration mixing, the distribution of steel fiber in concrete is more disorderly due to the dual effect of vibration and mixing, and the service performance of concrete can be improved effectively.

Key words: STC concrete; mixing mode of steel fiber; Mixing process; Service performance, Influence; Yunlongwan Bridge

1 概 述

由“钢桥面+钢栓钉+钢筋网+STC 超高韧性混凝土铺装”体系组成的 STC 复合钢桥面体系是国内首创的解决钢梁疲劳破坏和路面易损坏问题的领先技术, 目前已应用于广东马房大桥和湖南株洲枫溪大桥, 应用效果良好。

云龙湾大桥位于成都天府新区, 衔接益州大道锦江南北两岸, 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, 主桥全长 428.35 m, 基本与锦江河道正交。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, 梁体较柔, 活载作用下其变形可达 28 cm。钢桥面设计采用 STC 超高韧性混凝土铺装, 铺装的总厚度为

4 cm 厚 SMA-13C 沥青混凝土, 底层为 5 cm 厚 STC 超高韧性混凝土。该项目 STC 超高韧性混凝土桥面铺装层总面积达 15 836 m², 其中 STC 超高韧性混凝土的设计指标为 STC22, 即 STC 超高韧性混凝土的抗压强度不小于 120 MPa、抗折强度不小于 22 MPa, 抗渗性能的级别不低于 P20。

结合工程实践, 对比分析了钢纤维加料方式对钢纤维均匀性的影响, 以及普通搅拌和振动搅拌技术对 STC 超高韧性混凝土工作性能的影响, 总结并得出最佳搅拌工艺。

2 STC 超高韧性混凝土的主要特性

2.1 STC 超高韧性混凝土材料

STC 超高韧性混凝土是由水泥、细骨料、掺合料、钢纤维、减水剂或由上述材料制成的干混

收稿日期: 2022-05-05

料,其首先与水进行混合,然后凝固、硬化后制成为具有高抗压、高抗弯拉强度和高耐久性的水泥基复合材料^[1]。与常规普通混凝土相比,用于 STC 超高韧性混凝土的水泥为低热优质硅酸盐水泥,骨料一般为最大粒径的石英砂(粒径 ≤ 2 mm),掺入大量的石英粉、硅粉、粉煤灰等超细高活性外加剂,根据最密实堆积的原则合理确定其各外加剂的组成比例。

由亚微米颗粒(硅灰)填充微米颗粒(水泥、粉煤灰和矿粉)的间隙,由微米颗粒填充毫米颗粒(骨料)的间隙。由于混凝土组成材料的细度大,在密实级配的条件下,超高韧性混凝土的内部密度得以大大提高,初始内部缺陷大为减少。同时,由于

表 1 未加筋 STC 超高韧性混凝土强度等级表

强度等级	抗弯拉强度 /MPa		抗压强度 /MPa		
	标准值	设计值	立方体抗压强度标准值	轴心抗压强度标准值	设计值
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

3 钢纤维的喂入方式对钢纤维均匀性的影响

3.1 混凝土加料工艺现状

一次进料法是混凝土搅拌的常规施工方法,即水泥和砂石骨料混合在一起加水搅拌,其缺点为水泥颗粒被砂石骨料包裹,加水后易形成小骨料和絮状结构并被更多的搅拌水包裹。小骨料夹在粗骨料中导致粗骨料粒径越大、小骨料受损的可能性越小,进而降低了混合料的和易性;水灰比越小,这种现象越严重。水泥骨料吸附在骨料上并填充在骨料间隙中,导致包裹在砂中的水泥颗粒相对减少、水泥水化不足,从而降低了混凝土强度^[3]。

采用二次加料法施工时,砂和水泥经干混分散后均匀分布。加水时,细骨料中的空气被排出,水泥被包裹在砂的表面形成软水泥浆壳,混合形成均匀的水泥砂浆;当加入残余水和粗骨料时,水泥砂浆可以更容易、更均匀地包裹粗骨料。至此,一次加料法中粗骨料界面厚度不均匀的问题得到了有效的克服,混凝土的整体强度在定量配合比中得到了提高^[4]。

3.2 试验时的搅拌工况

基于以上混凝土加料工艺现状,STC 超高韧性混凝土一般采用先干拌后水湿拌的搅拌工艺。

加入了高性能减水剂和级配钢纤维并使用了极低的水灰比,明显提高了混凝土的抗压及抗弯拉强度,从而获得了其特殊的物理力学性能^[2]。

2.2 STC 超高韧性混凝土的力学性能

根据《四川省城镇超高韧性组合钢桥面结构技术标准》(dbj51/t089-2018)中的相关规定,STC 超高韧性混凝土组合钢桥面结构按混凝土不开裂设计,设计基准期应与主体结构使用寿命一致。针对不配钢筋的 STC 超高韧性混凝土强度等级,应根据其抗弯拉强度进行划分,各等级 STC 超高韧性混凝土抗弯拉强度和抗压强度的标准值和设计值不得小于表 1。未加筋 STC 超高韧性混凝土强度等级见表 1。

对比分析了以下两种送料方式:(1)钢纤维采用人工送料;(2)钢纤维由钢纤维分散器输送。试验采用 Jw400 立式强制搅拌机,单机搅拌量为 0.35 m³。通过研究两种喂料方式下 STC 超高韧性混凝土混合料的均匀性,以选择最佳的钢纤维喂料方式。

(1) 工况一:加入石英砂、石英粉、硅粉、纳米碳酸钙干混 90 s;加入水泥、粉煤灰干拌 90 s;然后手动加入钢纤维干混 120 s;最后,加入用减水剂和 SAP 溶解的水,搅拌 3 min。

(2) 工况二:先加入石英砂、石英粉、硅粉、纳米碳酸钙干混 90 s;加入水泥、粉煤灰干拌 90 s;然后用钢纤维分散机加入钢纤维干混 120 s;最后,加入用减水剂和 SAP 溶解的水,搅拌 3 min。

3.3 试验结果分析

通过两种工况的拌和试验,STC 超高韧性混凝土混合料表露情况分别为:

工况一:STC 超高韧性混凝土混合料在人工加料的条件下,混凝土中的钢纤维明显结块和弯曲。

工况二:采用钢纤维分散机投料条件下的 STC 超高韧性混凝土混合料,其混凝土中的钢纤维均匀分布在混合料中。

3.4 小结

STC 超高韧性混凝土搅拌试验结果表明:采取先干拌后加水湿拌的拌和方式,采用钢纤维分散器进行钢纤维投料,拌和料较均匀且钢纤维无明显成团现象。

通过试验确定的拌和工艺为:先加石英砂、石英粉、硅灰、纳米碳酸钙,干拌 90 s;再加入水泥、粉煤灰,干拌 90 s;再加入钢纤维,干拌 120 s;最后加入溶有减水剂、SAP 的水,搅拌 3 min。

4 搅拌工艺对 STC 超高韧性混凝土工作性能的影响

4.1 振动搅拌技术

振动搅拌技术是一种新的混凝土搅拌技术,其基本原理是在混合时振动。通过振动和混合的双重作用,材料颗粒相互猛烈碰撞,从而加强混合物的对流和扩散,最终达到整体均匀性。振动技术对搅拌过程的影响主要体现在以下几个方面:增强骨料颗粒的运动,破坏水泥团聚体,使水泥颗粒均匀地分散在混合料中;降低混合物组分之间的黏度和内耗,增加活化分子的数量,加速材料的对流和扩散,同时加强搅拌剪切效应;由于混合物

的运动被加速,增加了颗粒之间的有效碰撞时间并增强了水合反应^[5]。

4.2 试验方法

基于以上振动搅拌技术,深入研究了振动搅拌对 STC 超高韧性混凝土工作性能的影响,对比分析了普通搅拌、振动搅拌下 STC 超高韧性混凝土坍落度、含气量、抗压强度、抗折强度等的变化情况。

采用振动搅拌机用于成型。关闭振动为常规静力搅拌;打开振动为振动搅拌;搅拌过程中,加入石英砂、石英粉、硅灰、纳米碳酸钙干混 90 s,水泥、粉煤灰干混 90 s,钢纤维干混 120 s,最后加入溶有减水剂和 SAP 的水,搅拌 3 min 后将成型的试样放入标准养护室进行标准养护。

4.3 试验结果分析

(1)振动搅拌对 STC 超高韧性混凝土工作性能的影响。STC 超高韧性混凝土采用振动搅拌和普通搅拌两种方式。振动搅拌的振动加速度为 19.6 m/s^2 ,普通搅拌为静力混合。两者的其他工艺参数相同。两种搅拌工艺下新拌 STC 超高韧性混凝土的工作性能见表 2。

表 2 两种搅拌工艺下新拌 STC 超高韧性混凝土的工作性能表

搅拌方式	坍落度 /mm	扩展度 /mm	倒置坍落度筒排空时间 /s	含气量 /%
普通搅拌	210	615	27	3.7
振动搅拌	221	635	19	4

从表 2 中可以看出:

①与普通搅拌相比,振动搅拌下新拌 STC 超高韧性混凝土的坍落度、膨胀率和含气量分别提高了 5.2%、3.3% 和 8.1%,倒置坍落度筒的排空时间缩短了 29.6%。

②试验结果表明:在振动搅拌作用下,颗粒的

微观结构分散更均匀,振动搅拌下新拌 STC 超高韧性混凝土的流动性、黏结性和稳定性更好。

(2)振动搅拌对 STC 超高韧性混凝土抗压和抗折强度的影响。在普通搅拌和振动搅拌条件下,两种搅拌工艺下 STC 超高韧性混凝土的抗压强度、抗折强度和分散系数见表 3。

表 3 两种搅拌工艺下 STC 超高韧性混凝土的抗压强度、抗折强度和分散系数表

项 目	3 d		7 d		28 d	
	普通搅拌	振动搅拌	普通搅拌	振动搅拌	普通搅拌	振动搅拌
抗压强度 /MPa	66.3	68.6	135.2	141.8	159.8	168.7
抗压离差系数 /%	7	5.7	6.8	5.7	6.5	5.5
抗折强度 /MPa	10.5	10.8	23.7	24.8	29.3	31.3
抗折离差系数 /%	8.1	6.2	8.1	6.4	8	6.2

从表 3 中可以看出:

①与普通搅拌相比,振动搅拌条件下 3 d、7 d 和 28 d 时 STC 超高韧性混凝土的抗压强度分别

提高了 3.5%、4.9% 和 5.6%;分散系数分别降低了 18.6%、16.2% 和 15.4%;从整个生命周期看,其平均抗压强度提高了 4.7%,分散系数降低了

16.7%。

②与普通搅拌相比,振动搅拌条件下 3 d、7 d 和 28 d 时 STC 超高韧性混凝土的抗折强度分别提高了 2.9%、4.6% 和 6.8%,分散系数分别降低了 23.5%、21% 和 22.5%。从整个寿命周期看。其抗弯强度提高了 4.8%,分散系数降低了 22.3%。

③对于 STC 超高韧性混凝土,振动搅拌可以提高其抗压强度和抗折强度,分散系数亦显著降低。从钢纤维形成高性能混凝土的机理看,钢纤维起到了加强混凝土材料之间连接的作用,但传统的搅拌方法难以保证钢纤维的均匀搅拌和水泥等粉末颗粒的均匀分散。特别需要指出的是:振动搅拌是在普通搅拌的基础上进行的,其解决了传统搅拌方式易使水泥粉颗粒和钢纤维高性能混凝土结块的缺点,宏观上表现为强度提高,分散系数降低^[6]。

4.4 小结

试验结果表明:振动搅拌相比普通搅拌,可以提高 STC 超高韧性混凝土的流动性、抗压强度及抗折强度,且其抗压、抗折离差系数变小,说明在混凝土拌和中加入振动效果,可以使各组成材料分散度较好,避免了水泥等粉末颗粒发生团聚现象,并保证了水泥浆与细集料均匀包裹,使钢纤维的分布更加均匀且乱向,与其他各组成材料的联系更紧密。

5 结 语

针对 STC 超高韧性混凝土的拌和施工,利用

钢纤维分散器辅助加料,采用先干拌后加水湿拌的工艺及振动搅拌工艺,可有效提高钢纤维在混凝土拌和物内的均匀分散性,同时改善混凝土的各项工作性能。

针对正交异性钢桥面板易出现疲劳开裂的质量问题,新型 STC 超高韧性混凝土复合钢桥面铺装方案以其高抗压强度、高抗弯拉强度及高耐久性等特点必将逐步被推广使用。所取得的分析成果不仅在所依托的工程项目建设中起到了重要的指导作用,而且可为类似工程项目提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 四川省城镇超高韧性组合钢桥面结构技术标准, DBJ51/T089-2018[S].
- [2] 钟波. STC 超高韧性混凝土配合比的研究与应用[J]. 四川水力发电, 2019, 38(5): 41-43, 52.
- [3] 覃宾. 混凝土二次投料和工艺及其配合与设计探讨[J]. 科技资讯, 2008, 20(16): 11.
- [4] 覃宾. 二次投料和二次振捣对混凝土性能的影响[J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 9(16): 3255.
- [5] 张健健, 赵悟, 赵凯音, 等. 振动对立式搅拌均匀性的影响[J]. 筑路机械与施工机械化, 2018, 35(9): 109-112, 118.
- [6] 蔡力, 胡敏, 贾文渊, 等. 振动搅拌对钢纤维混凝土工作性能的影响研究[J]. 新型建筑材料, 2021, 48(7): 75-77, 88.

作者简介:

徐池(1978-),男,四川仁寿人,副总经理,高级工程师,硕士,从事市场营销与市政工程施工技术与管理工

作; 祁涛(1988-),男,安徽宿州人,工程师,学士,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工

作。(责任编辑:李燕辉)

水电十局机电安装分局新能源公司吉能通榆 300 兆瓦风电项目首台风机基础顺利浇筑

2022 年 8 月 28 日,由水电十局机电安装分局新能源公司承建的吉林省首个风电项目——吉能通榆向荣 300 兆瓦风电项目首台风机基础浇筑顺利完成,标志着项目基础施工作业正式拉开序幕,为后续完成工程施工节点提供了有力保障。该工程位于吉林省白城市通榆县境内,项目充分利用通榆县境内丰富的风力资源和太阳能资源,属于国家大力支持范围内的项目,符合《吉林省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》。项目建成后,将成为通榆县县域重要的支撑性电源,能有效地改善吉林省 500 千伏“两横两纵双环网”的电网结构,满足西部地区新能源开发需求,提高东西部电网的互济能力,起到资源利用、节约能源的示范作用。项目部高度重视此次基础浇筑。浇筑前,精心策划,周密部署,协调各施工单位做好各项准备工作。组织 HSE 小组成员和质量管理专工对工程安全和质量进行全程跟踪监督,对参建人员进行安全技术交底,对混凝土浇筑、养护等细节进行周密部署以确保现场安全、质量管控措施到位。对原材料严格把关,严格控制沙石料和水泥配比、对到场的车载混凝土运输车进行入模温度检测和混凝土塌落度试验,以确保各项指标达到要求的标准、整个基础的质量达到规定要求。为以防万一,现场同时配备有足够数量的水泥罐车以确保随时可以下料,从而为浇筑工作顺利进行提供可靠保障。浇筑期间,项目部严格按照国家规范和合同要求施工,最终顺利完成了首台风机基础混凝土的浇筑。此次顺利完成首台风机基础浇筑任务,极大地增强了项目部开展后续工作的信心和决心。项目部将对首台风机基础浇筑的经验进行总结,进一步优化施工方案,加快工程施工进度,确保项目工期按节点目标如期完成。

(中国水电十局 供稿)