

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.05.080

C50 快硬聚丙烯纤维混凝土在桥面铺装层中的应用

赵 晖

(上海市道路运输事业发展中心, 上海市 200023)

摘 要: 针对 S20 公路沪宁沪杭铁路立交桥桥面铺装快速整治工程,综合考虑施工工艺以及工程结构特点,采用粗细 2 种聚丙烯纤维和 2 种改性矿物掺合料,检测不同掺量下 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度,据此找出最佳组合和掺量,并成功运用于实体工程中。

关键词: 快硬混凝土;聚丙烯纤维;改性粉;桥面铺装

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)05-0281-04

0 引 言

随着交通运输压力的增加,道路路面大规模修复的需求也逐渐扩大。为尽量减少维修对交通的影响,满足快速通车要求,对路面材料提出了更高的要求。

当前,钢纤维混凝土施工技术已广泛应用于桥面铺装中。钢纤维混凝土作为一种复合型材料,相比于普通混凝土,其抗压性能和抗冲击性能提升显著,且抗裂性、抗剪性、耐磨性也较好。钢纤维混凝土应用于桥面铺装时具有以下优点:(1)显著提升桥面的刚度与抗折性;(2)增加桥面抗裂性和耐久性;(3)显著提升桥面的刚度,可以有效减小铺装厚度和桥梁自重;(4)改善桥梁的受力结构^[1-2]。

近年来,聚丙烯粗纤维作为钢纤维的替代材料,开始应用于公路桥梁路面和隧道衬砌工程中,简称塑钢纤维。塑钢纤维具有不会锈蚀、对混凝土和易性施工性能影响较小、成本较低的优点^[3]。

1 工程概况和设计要求

S20 公路沪宁沪杭铁路立交桥大修工程为上海市公路局于 2020 年立项的重点工程项目,工程跨度范围约 1.4 km,覆盖双向 8 车道。原桥主体为空心板梁桥结构,本次大修需对原有沥青和铺装混凝土进行铣刨凿除重新施工,进一步提升桥梁质量和延长桥梁使用寿命,更高效地保障外环线的交通运输畅通。

混凝土铺装结构采用分段施工,以桥面收缩缝

为界,单段长度约 90 m,混凝土厚度 110~150 mm,双层钢筋网片。混凝土设计要求为:泵送 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土,抗压强度 1 d 达到 30 MPa,7 d 达到 40 MPa,28 d 达到 50 MPa。

C50 快硬聚丙烯纤维混凝土中改善收缩性能的原材料要求为:28 d 限制膨胀率(水中 7 d 转空气中 21 d)不小于 -0.02%。

C50 快硬聚丙烯纤维混凝土技术指标见表 1。

表 1 泵送型 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土技术指标

性能指标	控制范围
抗压强度 1 d/MPa	≥30.0
抗压强度 3 d/MPa	≥40.0
抗压强度 28 d/MPa	≥50.0
抗折强度 28 d/MPa	≥6.5
抗拉强度 28 d/MPa	≥4.5
耐久性	良好

借鉴既有经验配比,通过常用材料验证 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土各项性能,初步比选试验配合比。比选参数有水胶比、总浆量、砂率、空隙率以及外加剂掺量等,通过初步比选试验,测试混凝土坍落度、坍落度扩展度以及工作性经时损失,选择拌合物性能较好、较优的配合比。C50 快硬聚丙烯纤维混凝土性能指标及配合比设计参数范围选择^[4]见表 2,配合比设计参数调整范围见表 3。

2 混凝土配合比设计试验

C50 快硬聚丙烯纤维混凝土配合比试验时,首先通过常规材料优选确定其规格型号,然后通过配合比参数设计,选择功能材料和纤维并调整参数用量,使得 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土性能达到设计和施工

收稿日期: 2020-11-24

作者简介: 赵晖(1969—),男,本科,工程师,主要从事公路道路、桥梁建设管理工作。

表 2 泵送型 C50 快硬聚丙烯纤维混凝土性能指标

性能指标	控制范围
坍落度 /mm	170±30
扩展度 /mm	400~600
3 h 经时损失 /mm	≤50
流速 T500/s	≤10
含气量 /%	≤3.5
工作性	不离析不沉降,有黏聚性

表 3 配合比设计参数调整范围

配合比参数	范围
水胶比	0.30~0.35
总浆量 /L	285~315
砂率 /%	38~45
砂细度	2.3~2.6
外掺料比例 /%	30~40

要求^[5]。

2.1 主要材料

(1) 52.5PⅡ 南方水泥,其主要性能指标见表 4。

表 4 52.5PⅡ 南方水泥主要性能指标

初凝 时间 /mm	终凝 时间 /min	标准 稠度 /%	比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa	
				3 d	28 d	3 d	28 d
183	226	27.8	389	31.0	59.6	7.0	8.9

(2) 上海宝田 S95 级矿粉,其主要性能指标见表 5。

表 5 上海宝田 S95 级矿粉主要性能指标

比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	流动度比 /%	活性指数 /%	
		7 d	28 d
428	103	83	106

(3) FⅡ 荣迪粉煤灰。

(4) 外加剂为瑞士 Sika 公司 V1220-A3 型(液)高效聚羧酸系外加剂(A3 西卡),具有减水率高、掺量低、与水泥适应性好、坍落度损失小和无污染等特点,并辅助添加消泡组分,可减少混凝土内部的气泡数。

(5) 中砂,级配见表 6。

表 6 砂筛分

筛孔直径 /mm	筛余 /%	
	JGJ 52—2006 标准	本工程用砂
5.0	0~10	5.4
2.50	0~25	16.6
1.25	10~50	29.4
0.630	41~70	47.0
0.315	70~92	82.8
0.160	90~100	98.0

(6) 改性矿物掺合料为 DENKA 改性粉和苏博特改性粉,其主要性能指标见表 7、表 8。

表 7 DENKA 改性粉主要性能指标

比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	抗压强度 /MPa		限制膨胀率 /%	
	7 d	28 d	水中 7 d	空气中 21 d
355	29.9	49.0	0.105	0.063

表 8 苏博特改性粉主要性能指标

比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	抗压强度 /MPa		限制膨胀率 /%	
	7 d	28 d	水中 7 d	空气中 21 d
318	26.5	48.8	0.110	0.072

(7) 聚丙烯纤维为长坚细纤维(简称细纤维)和 BarChip 长纤维(简称粗纤维),其主要性能指标见表 9、表 10。

表 9 长坚细纤维主要性能指标

直径 /μm	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa
13	860	8.32

表 10 BarChip 长纤维主要性能指标

长度 /mm	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa
48	670	11.20

2.2 基准配合比^[6]

初步采用的基准配合比为:水胶比 0.33,砂率 38%,外加剂掺量 0.8%;胶凝总量 470 kg/m³,其中水泥 70%,矿粉 18%,粉煤灰 12%。基准配合比见表 11。

表 11 基准配合比 单位:kg/m³

水	水泥	矿粉	粉煤灰	砂	石	外加剂
155	329	85	56	668	1 091	3.76

在基准配合比基础上,对比掺加 2 种聚丙烯纤维和 2 种改性粉料,测试混凝土工作性能、抗压强度、抗折强度、劈裂抗拉强度后进行优选,确定最佳的纤维类型和改性粉品种及其掺量。

2.3 单掺聚丙烯纤维

聚丙烯纤维分为细纤维和粗纤维 2 种,前者纤维直径在 0.06 mm 以下,长度在 20 mm 以下,在混凝土中掺加的体积分数一般不超过 0.1%,主要起减少混凝土早期塑性收缩裂缝与沉降裂缝的作用;后者直径在 0.1 mm 以上,长度在 30 mm 以上,其主要作用是减少混凝土的干缩裂缝,大幅度提高混凝土的延性、韧性与抗冲击性,若在混凝土中掺加的体积分数达 0.5% 以上,可起到与钢纤维类似的作用^[7]。本次研究采用正交试验方法,对比纤维类型和掺量对混凝土各项性能指标的影响,具体试验情况见表 12。

由表 12 可知,掺入聚丙烯纤维后,混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度均有一定增长,但随着掺量的提高,提升的幅度不大。细纤维掺量增加对混凝土工作性能影响较大,需要通过增加外加剂掺量来调整;粗纤维掺量增加对混凝土工作性能影响不大。

2.4 单掺改性粉

近几年来,为提高混凝土相应指标性能,满足不同工况条件要求,各种混凝土改性粉状掺合料也得到开发和应用。本次研究采用的 DENKA 改性粉和苏博特改性粉都具有一定的微膨胀作用,能减小混凝土自收缩,降低混凝土开裂风险(产品性能描述)^[8]。

对比单掺 20 kg/m³、30 kg/m³ 改性粉对混凝土各项性能指标的影响,具体试验情况见表 13。

由表 13 可知,单掺改性粉对混凝土工作性能影响不大;单掺 DENKA 改性粉的混凝土 3 d、7 d 抗压强度和劈裂抗拉强度增加较大,28 d 抗折强度有一定增加;单掺苏博特改性粉的混凝土,因为其中的温控组分对其早期水化反应有一定抑制作用,使其早

期抗压强度有所下降,28 d 后差距减小;随着改性粉掺量增加,混凝土各龄期抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度均有一定幅度增加^[9]。

2.5 复掺纤维和改性粉

取纤维 2.5 kg/m³,改性粉 30 kg/m³,外加剂掺量为 0.8%,进行混凝土性能指标试验,具体试验情况见表 14。

由表 14 可知,复掺纤维和改性粉的混凝土各项性能指标与前述单掺时相似,掺细纤维时工作性稍差,掺粗纤维时工作性较好,掺 DENKA 改性粉时早期性能发展较快,掺苏博特改性粉时早期性能发展较慢;选择 BarChip 粗纤维+DENKA 改性粉的组合能够更好满足实际工程要求。

2.6 配合比确定

根据上述试验数据进行综合分析,确定聚丙烯纤维为 BarChip 粗纤维、改性矿物掺和料为 DENKA 改性粉。该混凝土和易性能优良,抗压强度早期和 28 d 龄期最高,劈裂抗拉强度和抗折强度较高。所确定的配合比见表 15。

表 12 单掺纤维试验情况

编号	外加剂 /%	纤维用量 / (kg·m ⁻³)	坍落度 /mm		抗压强度 /MPa				劈裂抗拉强度 /MPa			抗折强度 /MPa
			初始	1 h	1 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	28 d
基准	0.80	0	230	200	30.2	36.2	46.6	61.1	1.41	2.62	3.42	5.9
长坚-1	0.80	1.0	200	180	31.4	38.4	49.5	62.3	2.53	3.83	4.55	7.4
长坚-2	0.80	1.5	180	150	32.5	39.4	50.2	62.6	2.64	3.95	4.75	7.5
长坚-3	0.80	2.5	170	150	31.8	39.8	51.1	63.1	2.68	4.12	4.91	7.7
BarChip-1	0.80	1.0	220	190	31.0	38.2	49.0	68.4	3.40	3.87	4.63	7.2
BarChip-2	0.80	1.5	210	180	31.4	38.5	49.3	65.3	3.52	3.92	4.95	7.4
BarChip-3	0.80	2.5	200	170	31.6	38.7	49.1	67.2	3.55	3.96	5.12	7.5

表 13 单掺改性粉试验情况

编号	外加剂 /%	改性粉用量 / (kg·m ⁻³)	坍落度 /mm		抗压强度 /MPa				劈裂抗拉强度 /MPa			抗折强度 /MPa
			初始	1 h	1 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	28 d
基准	0.80	0	230	190	30.4	36.5	47.4	61.3	1.46	2.66	3.45	5.8
DENKA-1	0.80	20	230	200	32.1	46.8	58.3	63.8	3.23	3.58	3.84	6.2
DENKA-2	0.80	30	230	200	33.4	49.5	59.3	65.4	3.35	3.61	4.18	7.4
苏博特-1	0.80	20	220	200	28.5	35.6	46.3	60.5	2.31	3.42	3.91	6.4
苏博特-2	0.80	30	230	190	28.1	35.1	45.9	59.6	2.30	3.44	4.45	6.2

表 14 复掺纤维和改性粉试验情况

编号	坍落度 /mm		抗压强度 /MPa				劈裂抗拉强度 /MPa			抗折强度 /MPa
	初始	1 h	1 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	28 d
基准	230	210	30.5	36.5	47.3	62.1	1.43	2.60	3.15	5.9
长坚细纤维+DENKA 改性粉	190	180	31.2	43.8	52.7	63.4	2.49	3.84	4.52	7.7
BarChip 粗纤维+DENKA 改性粉	210	180	32.4	45.6	59.3	69.5	3.15	3.93	5.25	7.4
长坚细纤维+苏博特改性粉	220	180	29.4	35.4	46.3	61.3	2.35	3.52	4.52	7.1
BarChip 粗纤维+苏博特改性粉	230	190	30.1	36.3	47.6	64.1	3.02	3.62	4.21	7.3

表 15 配合比确定

单位:kg/m³

自来水	52.5PⅡ 水泥	S95 级矿粉	FII 粉煤灰	DENKA 改性粉	中砂	5~25 mm 石	A3 西卡外加剂	BarChip 粗纤维
155	329	55	56	30	668	1 091	3.76	2.5

经检测,该优选配合比混凝土膨胀率为 -0.01% ,满足设计施工要求。

混凝土收缩试验:在确定的混凝土配合比基础上,当混凝土达到最佳泵送流淌效果并保持其性能时,进行混凝土收缩测试。测试得到的混凝土收缩值及混凝土收缩平均值(收缩值/试件长度)见表 16。

表 16 混凝土 7 d、28 d 收缩检测

龄期	收缩值读数/mm			收缩平均值
	试件 1	试件 2	试件 3	
初始	5.451	1.290	2.070	0
7 d	5.395	1.233	1.963	113×10^{-6}
28 d	5.325	1.170	1.952	183×10^{-6}

由表 16 可知,掺加纤维和改性粉后,混凝土 7 d、28 d 收缩平均值均符合设计要求,更有利于混凝土收缩裂缝和耐久性的质量控制^[10]。

3 实体工程应用

混凝土生产过程中,掺合料和纤维采用定量包装、人工投料方式添加,为保证搅拌均匀性,搅拌时间延长至 120 s 一盘。运输过程中搅拌车保持罐体转动,并在卸料前快速转动 2 min 以保证出料的均匀性。

实体工程中,单向 4 车道分 2 次施工,2 根车道封闭,2 根开放。混凝土施工以泵送施工为主,尽量安排在夜间车流量较小时进行,可以减少交通压力以及对混凝土扰动的影响。长度方向上以 1 联约 90 m 长为 1 个施工段,采用跳仓法施工。每晚施工 2 联左右,全部混凝土施工完成后,进行表面凿毛后摊铺沥青,随后开放交通。

截至 2020 年 8 月底,已完成 1 条单向 4 车道的作业施工并通车。期间浇筑的 C30 快硬聚丙烯纤维混凝土施工性能良好,无明显有害裂缝。

4 结 语

(1)掺入聚丙烯纤维后,混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度均有一定增长,但随着纤维掺量的提高,其提升的幅度不大。细纤维掺量增加对混凝土工作性能影响较大,需要通过增加外加剂掺量来调整。粗纤维掺量增加对混凝土工作性能影响不大。

(2)掺入含有微膨胀组分的改性粉,混凝土收缩性能得到改善,但对混凝土工作性能影响不大;掺入

DENKA 改性粉的混凝土早期 3 d、7 d 抗压强度和劈裂抗拉强度增加较大,抗折强度有一定增加;掺苏博特改性粉的混凝土,因为其中的温控组分对其早期水化反应有一定抑制作用,导致其早期指标有所下降,28 d 后差距减小;随着改性粉掺量增加,混凝土各龄期的抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度均有一定幅度增加。

(3)复掺纤维和改性粉的混凝土各项性能指标与单掺时相似,掺长坚细纤维时工作性稍差,掺 BarChip 粗纤维时工作性较好;掺 DENKA 改性粉时早期性能发展较快,掺苏博特改性粉时早期性能发展较慢;选择 BarChip 粗纤维+DENKA 改性粉的组合能够更好满足实际工程要求。

(4)通过优化混凝土配合比,添加纤维和改性矿物掺合料等功能材料,提高了混凝土早期强度和抗裂性能,一方面能快速修复车道并恢复交通,减少施工对交通通行的影响,另一方面延长了混凝土的使用寿命,避免了反复修、经常修的情况,降低了道路的维护成本。

(5)通过搅拌站集中预拌快硬混凝土,胶凝材料主要使用硅酸盐系列,更有利于结构耐久性要求。同时解决了现场拌制快硬混凝土效率低下问题,也解决了现场生产带来的扬尘、噪音等环境污染问题。

参考文献:

- [1] 李丽宁.钢纤维混凝土施工技术在路桥工程中的应用[J].交通世界,2019(26):123-124.
- [2] 王志华,宋明勇.路桥施工中现代钢纤维砼技术的应用[J].江西建材,2014(6):165.
- [3] 齐港,高原.聚丙烯纤维对快硬混凝土力学性能影响研究[J].混凝土,2019(2):92-94,99.
- [4] 孙卫江,李双喜,李艺珍,等.快硬混凝土的配制技术研究[J].粉煤灰综合利用,2017(4):22-25.
- [5] 何军保,刘旋,张方翔,等.基于细观层次的塑钢纤维混凝土破坏机理数值模拟分析[J].建筑技术,2019(5):625-628.
- [6] 上海城建物资有限公司.一种快硬型超高性能混凝土及其制备方法:CN202010209660.6[P].2020-06-05.
- [7] 杨荣俊,刘海云.西长安街大修工程使用新型预拌快硬混凝土[J].市政技术,2014,32(5):9.
- [8] 刘桂鑫.超早强快硬混凝土施工质量控制探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2012(33):125.
- [9] 吴刘中,李纲治.快硬超早强混凝土的研究与工程应用[J].山西建筑,2006,32(13):140-141.
- [10] 张秀珍,许贤敏.修补路面用的快硬混凝土[J].国外公路,2001,21(2):43-46.