

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.07.019

水泥改性冷再生沥青混合料设计与耐久性试验

代科, 潘瑞

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 分别以3种水泥掺量(3%、4%、5%)和4种旧沥青混合料(RAP)掺量(0%、30%、40%、50%)制备水泥改性冷再生沥青混合料,并将其应用于路面基层。首先,通过击实试验进行混合料配合比设计;然后,通过7d无侧限抗压强度试验确定混合料的最佳水泥掺量和最佳RAP掺量;最后,采用干湿循环试验和冻融循环试验评价混合料的耐久性能。试验结果表明:水泥改性冷再生沥青混合料的最佳水泥用量为3%,最佳RAP掺量为40%;RAP掺量为40%时,混合料的干湿循环无侧限抗压强度达到最大值,RAP的掺加有效提升了混合料的水稳定性,并且RAP掺量越大,提升效果越明显;水泥有助于混合料抗冻性能的提升,且水泥掺量越大,对于混合料抗冻性能的改善越明显。

关键词: 水泥改性;再生沥青混合料;耐久性

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)07-0070-03

0 引言

随着我国道路基础工程的飞快发展,目前绝大多数道路已经进入改扩建阶段,在此阶段势必会产生大量废弃路面材料^[1-2]。为了保护环境和节约工程造价,应该合理利用这些旧路面材料。我国大多采用半刚性路面基层,这种基层虽具有较高的强度和承载力^[3],但由于采用水泥稳定碎石等水硬性材料,势必造成其收缩能力差,易产生反射裂缝等^[4]。此外,工程试验和相关研究显示,半刚性基层抗水损害能力不足,渗水性很差^[5]。因此,本文拟以水泥作为稳定剂来制备水泥改性冷再生沥青混合料,并将其应用于路面基层,期望可以改善半刚性基层的抗裂性能及长期耐久性,同时对于旧沥青混合料(RAP)的再利用也具有很大的经济社会效益^[6]。

1 原材料性能检测

1.1 水泥

本试验所用水泥为绿杨牌P·O42.5水泥,经检测,其性能符合《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),检测结果见表1。

1.2 旧沥青混合料(RAP)

本试验所用的旧沥青混合料是将城市道路改扩建过程中产生的废弃路面材料,经上中下面层同时

表1 水泥性能检测结果

检测项目	检测结果	规范指标
初凝时间/min	170	≥45
终凝时间/min	210	≤600
3d抗压强度/MPa	30.0	≥22.0
3d抗折强度/MPa	5.4	≥4.0

铣刨后得到的。经测量,旧沥青混合料(废旧沥青路面铣刨所得材料,需对该材料的油石比和级配进行分析)的油石比为4.4%。对抽提后的旧沥青混合料进行筛分试验,结果见表2。由表2可知,旧沥青混合料整体级配通过率偏高,骨料出现细化现象,必须添加适量粗骨料来完善骨架结构。

表2 旧沥青混合料筛分结果

级配种类	筛孔通过率/%						
	37.5 mm	31.5 mm	19 mm	9.5 mm	4.75 mm	0.6 mm	0.075 mm
旧料	100	97.4	87.3	58.6	37.5	5.9	2.3
上限	100	100	90	68	50	22	7
下限	100	90	67	45	29	8	0

1.3 新集料

采用1#(20~30 mm)、2#(10~20 mm)、3#(5~10 mm)3档石灰岩集料来改善混合料级配。各档石灰岩集料通过率见表3。

2 水泥改性再生沥青混合料配合比设计

本研究水泥掺量设置为3%、4%、5%,通过标准击实试验来确定不同旧沥青混合料掺量下的水泥改

收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 代科(1988—),男,硕士,工程师,从事路桥设计工作。

表3 新集料筛分结果

集料种类	筛孔通过率 /%						
	31.5 mm	19 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.6 mm	0.075 mm
1#	100	6.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
2#	100	84.2	0.8	0.3	0.3	0.3	0.1
3#	100	100	57.6	5.3	1.4	1.2	0.2

性冷再生沥青混合料配合比,并采用7 d无侧限抗压强度来研究不同旧沥青混合料掺量所对应的最佳水泥掺量。

2.1 级配选择

本研究以《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20—2015)为设计依据,以混合料级配曲线接近规范中值为原则进行配合比设计。0%、30%、40%、50%旧沥青混合料掺量下的混合料级配见表4。

表4 不同旧沥青混合料掺量下的混合料级配调整

RAP 掺量 /%	筛孔通过率 /%											
	31.5 mm	26.5 mm	19 mm	16 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.075 mm
0	98.0	87.3	78.6	10.7	54.5	35.4	24.9	17.5	12.5	7.3	5.4	3.3
30	97.5	84.3	76.8	19.7	58.2	35.1	24.3	16.7	11.3	6.8	4.6	2.6
40	97.2	83.4	77.3	70.9	58.6	35.7	23.6	16.1	10.4	6.3	4.2	2.2
50	97.2	84.8	80.3	74.1	62.5	34.8	22.1	14.8	9.2	5.6	3.5	1.6
级配中值	100	84.0	76.0	68.5	57.5	40.0	26.5	17.5	11.5	7.5	5.0	3.5
级配上限	100	86	79	72	62	45	31	22	15	10	7	5
级配下限	100	82	73	65	53	35	22	13	8	5	3	2

表5 水泥改性冷再生沥青混合料标准击实试验结果

RAP 掺量 /%	水泥掺量 /%	最佳含水量 /%	最大干密度 / (g·cm ⁻³)
0	3	4.63	2.375
	4	4.94	2.383
	5	5.36	2.431
30	3	4.35	2.324
	4	4.48	2.331
	5	5.09	2.347
40	3	4.25	2.255
	4	4.24	2.264
	5	4.65	2.280
50	3	3.72	2.115
	4	3.90	2.175
	5	4.04	2.196

合料而言,其最佳含水量随RAP掺量的增加而减小,这是由于旧沥青混合料中的集料被沥青裹附,集料难以与水分接触,所以混合料最佳含水量随RAP掺量的增加而减小。

另外,在相同RAP掺量下,水泥改性冷再生沥青混合料的最大干密度随水泥掺量增加而增加;在相

2.2 标准击实试验

按照文献[7]进行标准击实试验。水泥改性冷再生沥青混合料击实试验结果见表5。

由表5可知,对于RAP掺量相同、水泥掺量不同的水泥改性冷再生沥青混合料而言,其最佳含水量均随着水泥掺量的增加而增加,这是由于增加了水泥用量,水泥水化所需用水量也必然增加;对于水泥掺量相同、RAP掺量不同的水泥改性冷再生沥青混

同水泥掺量下,其最大干密度随RAP掺量的增加而降低,原因可能是旧沥青混合料中的旧沥青密度远小于新骨料,随着旧沥青混合料掺量的增加,旧沥青含量增加,新集料含量减小,所以混合料最大干密度随着RAP掺量的增加而减小。

2.3 无侧限抗压强度测试

现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)规定,中等交通量下,水泥稳定类材料7 d无侧限抗压强度代表值应大于3 MPa。本研究按照规范相关要求,对水泥掺量和RAP掺量不同的水泥改性冷再生沥青混合料进行7 d无侧限抗压强度测试,试验结果见图1。

由图1可知,无论RAP掺量多大,水泥改性冷再生沥青混合料的7 d无侧限抗压强度均随着水泥掺量的增加呈现出一种近乎线性增长的趋势。在中等交通量下,即使水泥掺量为最低的3%,混合料7 d无侧限抗压强度也已满足规范大于3 MPa的要求。考虑到过多的水泥掺量会增加工程建设成本,也会导致基层材料过度收缩,因此确定水泥的最佳掺量

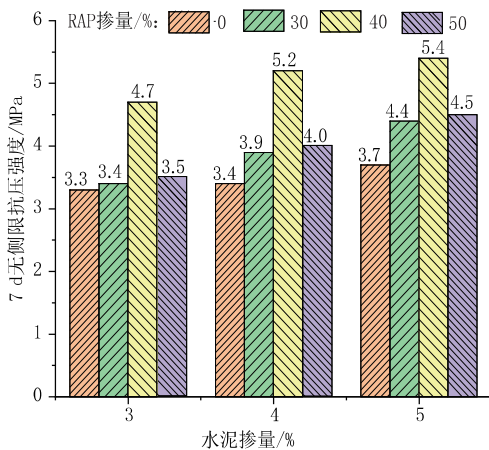


图1 不同水泥掺量下,水泥改性冷再生沥青混合料无侧限抗压强度与 PAP 掺量的关系

为3%。

由图1还可看到,同一水泥掺量下,混合料的7d无侧限抗压强度随着RAP掺量的增加呈现先增大后减小的变化趋势。因此,最佳的RAP掺量为40%。

3 水泥改性冷再生沥青混合料耐久性研究

本文以水稳定系数和冻融强度比为技术指标^[8],采用干湿循环试验和冻融循环试验来研究水泥改性再生沥青混合料的耐久性能。所用试件均养护28d。

3.1 干湿循环试验

本试验所需试件的制作及成型均按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)严格执行。试件在标准养护室养护28d后,以浸水1d、风干2d,继续浸水1d为1个干湿循环。如此反复进行5个干湿循环后,测试其无侧限抗压强度。经过5个干湿循环试件和未经干湿循环试件的无侧限抗压强度试验结果见表6。

表6 干湿循环试验结果

水泥掺量 1%	RAP掺量 1%	无侧限抗压强度/MPa		水稳定系数 1%
		干湿循环后	未经干湿循环	
3	0	5.02	5.5	90.3
	30	5.70	6.1	93.5
	40	5.93	6.3	94.1
	50	4.05	4.3	94.3

由表6可知,随着RAP掺量增加,干湿循环后试件的无侧限抗压强度先增大后减小,当RAP掺量为40%时,干湿循环后试件的无侧限抗压强度达到最大值,与试件7d无侧限抗压强度变化规律一致。从水稳定性系数角度分析,相比于不掺RAP的混合料,RAP的掺加有效提升了混合料的水稳定性,并且RAP掺量越大,水稳定性的提升效果越明显。

3.2 冻融循环试验

以冻融循环前后试件的无侧限抗压强度比值BDR作为评价混合料抗冻性能的指标,设置2组正交试验:(1)最佳水泥掺量3%,RAP掺量为0%、30%、40%、50%;(2)最佳RAP掺量40%,水泥掺量为3%、4%、5%。试验结果见表7、表8。

表7 最佳水泥掺量下冻融循环试验结果

水泥掺量 1%	RAP掺量 1%	无侧限抗压强度/MPa		质量变化率 1%	BDR/ %
		冻融试件	未冻融试件		
3	0	4.78	5.4	1.5	87.4
	30	5.51	6.0	1.2	90.4
	40	5.72	6.2	2.3	91.0
	50	3.85	4.2	1.6	89.8

表8 最佳RAP掺量下冻融循环试验结果

RAP掺量 1%	水泥掺量 1%	无侧限抗压强度/MPa		质量变化率 1%	BDR/ %
		冻融试件	未冻融试件		
40	3	5.73	6.3	2.4	91.0
	4	6.38	6.9	1.9	92.5
	5	7.02	7.5	2.2	93.6

由表7可知,在控制水泥掺量不变的情况下,当RAP掺量为0%时,水泥改性冷再生沥青混合料的BDR值最小,抗冻性能最差;RAP的掺加在不同程度上改善了水泥改性冷再生沥青混合料的抗冻性能,其中40%掺量RAP的提升效果最为明显。原因可能是再生沥青混合料中骨料内部空隙被旧沥青填充,并且随着水泥水化的进行,骨料空隙被进一步填充。

由表8可知,在RAP掺量不变的情况下,无论是冻融前后,随着水泥掺量的增加,试件的无侧限抗压强度均在不断提升,抗冻性能也在不断增大,说明水泥有助于再生沥青混合料抗冻性能的提升,且水泥掺量越大,对于再生沥青混合料抗冻性能的改善越明显。

4 结语

(1)通过7d无侧限抗压强度试验,得到水泥改性冷再生沥青混合料的最佳水泥掺量为3%,最佳RAP掺量为40%。

(2)RAP掺量为40%时,水泥改性冷再生沥青混合料的干湿循环无侧限抗压强度达到最大值;RAP的掺加有效提升了水泥改性冷再生沥青混合料的水稳定性,并且RAP掺量越大,提升效果越明显。

(下转第90页)

该工程实施过程中,通过在拉索表面设置应力计进行拉索拉力的监测,并在不同转体角度时进行数据采集,具体数据见表2。通过采集的数据与有限元分析理论值进行对比分析,理论与现场变化轨迹基本吻合,且桥塔竖转过程中,整体空间姿态较为理想,变化趋势见图8。桥塔最终对口位置准确无误。

表2 塔体竖转拉索拉力监测结果表 单位:kN

工况描述	北侧牵引索	南侧牵引索	理论值	北侧误差 1%	南侧误差 1%
转体 0°	7 627	7 792	7 453	2.3	4.5
转体 20°	4 834	4 941	4 726	2.3	4.5
转体 42°	3 319	3 382	3 251	2.1	4.0
转体 42°拉背索	5 000	5 077	4 915	1.7	3.3
转体 60°	3 586	3 635	3 534	1.5	2.9
转体 70°	2 889	2 917	2 857	1.1	2.1
转体 82°	2 467	2 466	2 459	0.3	0.3

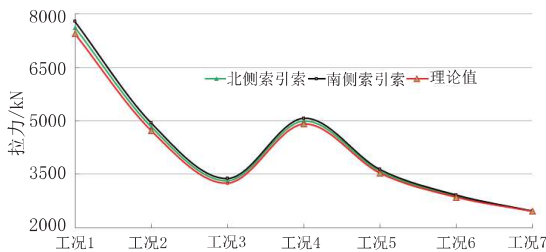


图8 监测截面应力测点变化趋势图

由表2和图8可知,桥塔竖转过程中,受滚轴摩擦影响,南侧牵引索张拉力均略大于北侧牵引索张拉力,但整体误差均在4.5%以内,满足设计和规范的要求。

5 结 语

(1)针对高度较高的桥塔采用竖向转体法可有效解决高空作业风险,提高施工效率,保证安装精度。较常规吊装方案具有显著优势。

(2)拉索采用钢绞线拉索相较刚性拉索与平行钢丝拉索具有经济性好、安全性高、安装方便、受力状态清晰等优点,更适用于高度较高、重量较大的塔体竖转施工。

(3)拉索在转体各阶段的受力状态通过采用有限元理论分析,实测采集数据结果与之相比基本吻合。

(4)本文未对柔性拉杆和刚性压杆开展理论与实际研究对比分析,建议后续开展相应研究,并结合拉索的研究开展总体论证。

参考文献:

[1] 李宇航. 蕴藻浜公路大桥斜塔竖转采用超大型液压同步提升技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2013(4):77-81.

[2] 杨士成. 斜主塔竖转吊装结构的局部应力分析[J]. 施工技术, 2015, 44(S1):354-357.

[3] 蔡宁. 大跨度针形独塔斜拉桥钢主塔竖转提升施工过程分析[J]. 中国市政工程, 2014(3):58-61.

[4] 宋佳杰. 大跨度斜拉桥彩针形钢独塔施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2019, 17(4):34, 40-43.

[5] 康俊涛, 何林, 范杰, 等. 马蹄形独塔斜拉桥钢主塔竖转施工监控关键技术[J]. 公路, 2016, 61(1):95-101.

[6] 张伟, 卢龙. 倾斜独塔斜拉桥钢塔竖转施工技术[J]. 山西建筑, 2020, 46(12):143-144.

[7] 张波. 大跨度矮塔斜拉桥V形钢主塔的竖转施工与结构分析[J]. 城市道桥与防洪, 2020(1):36.

(上接第72页)

(3)水泥有助于再生沥青混合料抗冻性能的提升,且水泥掺量越大,对于水泥改性冷再生沥青混合料抗冻性能的改善越明显。

参考文献:

[1] 吴正光, 徐剑, 康爱红, 等. 水泥稳定废旧沥青混合料的强度试验[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2014, 17(1):71-74.

[2] GEORGE M F. Shrinkage cracking of soil-cement base: Theoretical and model studies[M]. [S.l.]: Highway Research Board, 1971.

[3] RAMZI T. Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases[J]. Journal of Materials in Civil En-

gineering, 2002, 14(3): 239-245.

[4] 李强, 马松林, 王鹏飞, 等. 水泥稳定废旧沥青混合料路用性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(5):25-28.

[5] 王艳, 倪富健, 李再新. 水泥稳定碎石混合料疲劳性能[J]. 交通运输工程学报, 2009(4):10-14.

[6] 孙正. 旧二灰碎石基层再生利用关键技术[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2017.

[7] 交通部公路科学研究所. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[8] 张鹏. 水泥稳定旧沥青混合料基层长期性能研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2019.