

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.069

花岗岩机制砂对沥青混合料水稳定性影响试验研究

赵文坤¹, 冯浩¹, 朱宇杰²

(1. 中交第一航务工程局有限公司, 天津市 300461; 2. 南京润程工程咨询有限公司)

摘要:酸性花岗岩机制砂影响沥青混合料的水稳定性,因此在沥青路面中应用较少。该文通过分析掺加不同水泥剂量的花岗岩机制砂沥青混合料水稳定性差异和冻融劈裂试验后试件的开裂情况,确定花岗岩机制砂沥青混合料的最佳水泥掺量。同时,进行花岗岩机制砂和石灰岩机制砂沥青混合料(延长时间)浸水马歇尔试验和2次冻融循环试验对比,得出掺1.0%~2.0%水泥的花岗岩机制砂与未掺水泥的石灰岩机制砂对沥青混合料水稳定性影响效果相当。

关键词:花岗岩机制砂;石灰岩机制砂;沥青混合料;水稳定性;对比分析

1 概述

沥青路面水损害是沥青路面典型的早期损坏之一,沥青与集料黏附性差是造成沥青路面水损害的根本原因。为保证沥青与集料的黏附性,中国高速公路通常采用黏附性较好的石灰岩、玄武岩、辉绿岩等碱性或中性石料作为沥青面层集料。随着近几年国家对环境保护的逐步重视,优质路用集料的日渐匮乏,酸性花岗岩集料逐步得到应用。例如广东省汕汾高速、江西省赣定高速、广西岑梧高速、辽宁丹庄高速、湖北麻武高速公路等均有花岗岩集料应用于沥青混合料的成功案例。

中国高速公路沥青路面主要将花岗岩作为粗集料使用,对于花岗岩细集料的应用相对保守,绝大部分省份高速公路建设要求采用石灰岩机制砂作为细集料,甚至禁止使用玄武岩和辉绿岩机制砂。张明、王月峰等进行了花岗岩细集料与石灰岩细集料的对比分析,得出采用花岗岩细集料的沥青混合料水稳定性不如石灰岩细集料,通过掺加抗剥落材料,花岗岩细集料混合料的水稳定性优于石灰岩细集料混合料。

广东玉湛高速公路位于广东省湛江市,当地盛产花岗岩,缺乏石灰岩等其他石料,项目拟采用花岗岩作为中下面层粗、细集料。该文以在建广东玉湛高速公路为依托工程,通过对比掺加不同水泥剂量的花岗岩机制砂与石灰岩机制砂对沥青混合料水稳定性影响,

进行花岗岩机制砂在中下面层的应用性能研究。

2 试验方案

使用水泥替代部分或全部矿粉是减小水损害、提高沥青与集料黏附性的主要方法之一,也是国际公认的最有效方法。该文试验研究以水泥作为抗剥落剂,通过将掺加不同水泥剂量的花岗岩机制砂与石灰岩机制砂沥青混合料水稳定性对比,分析花岗岩机制砂对沥青混合料水稳定性的影响。试验步骤如下:

步骤1:设计未掺水泥的花岗岩机制砂GAC-25沥青混合料配合比,作为基准配合比。为减小空隙率对混合料水稳定性影响,沥青混合料设计空隙率控制为 $4.0\% \pm 0.1\%$ 。

步骤2:在基准配合比基础上,分别用不同掺量(1.0%、1.5%、2.0%)水泥替代矿粉,测试不同水泥剂量下,沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂试验结果,并观察试验后试件的开裂情况,确定花岗岩机制砂最佳的水泥掺量。

步骤3:采用相同比例的石灰岩机制砂替代花岗岩机制砂,分别测试未掺水泥和最佳的水泥掺量下,不同机制砂沥青混合料残留稳定性和冻融劈裂试验结果,并通过延长浸水马歇尔试验浸水时间(96 h)和增加冻融循环次数(2次冻融)方法,评价不同机制砂混合料水稳定性差异。

收稿日期:2020-10-07

作者简介:赵文坤,男,大学本科,工程师。E-mail:286317166@qq.com

3 水泥剂量对花岗岩机制砂混合料水稳定性能影响分析

3.1 原材料

(1) 粗集料。此次配合比设计采用 GAC-25 型沥青混合料,采用花岗岩粗集料,规格分别为:20~25、10~20、5~10、3~5 mm。粗集料检测结果见表 1。

(2) 细集料。分别采用花岗岩机制砂和石灰岩机

制砂,细集料级配及指标检测结果见表 2。

(3) 沥青、水泥、矿粉。采用壳牌 AH-70# 道路石油沥青作为配合比试验沥青,采用 P. O. 42.5 级水泥作为抗剥落剂,矿粉采用石灰岩矿粉。沥青、水泥和矿粉指标皆满足要求。

3.2 基准配合比设计

采用花岗岩粗集料和机制砂,按 $4.0\% \pm 0.1\%$ 设计空隙率进行 GAC-25 沥青混合料设计,设计基准配合比结果见表 3、4。

表 1 花岗岩粗集料检测指标

集料规格/mm	常温压碎值/%	高温压碎值/%	黏附性/级	表观密度/($g \cdot cm^{-3}$)	吸水率/%	磨耗值/%	针片状含量/%	含泥量/%
3~5				2.746	0.83	24.8	8.7	0.7
5~10	16.2	14.3	3	2.743	0.67	15.1	6.2	0.6
10~20				2.743	0.42		5.0	0.3
20~25				2.737	0.34	13.6	5.6	0.3

表 2 花岗岩机制砂和石灰岩机制砂级配及指标

机制砂类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							表观密度/($g \cdot cm^{-3}$)	砂当量/%	亚甲蓝值/($g \cdot kg^{-1}$)	棱角性(流动时间)/s
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075				
花岗岩	100	86.6	69.8	55.1	36.7	24.7	10.5	2.703	66.1	1.0	31.6
石灰岩	100	81.2	62.5	50.8	33.4	21.6	9.6	2.694	62.4	1.0	37.8

表 3 基准配合比原材料比例及混合料体积指标设计结果

掺配比例编号	各类原材料比例/%								油石比/%	空隙率/VV/%	稳定度/kN
	粗集料				细集料						
	20~30 mm	10~20 mm	5~10 mm	3~5 mm	花岗岩机制砂	石灰岩机制砂	矿粉	水泥			
1	18	25	20	7	26	0	4	0	4.0	3.9	16.06

表 4 基准配合比级配设计结果(掺配比例编号:1)

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
31.5	100	2.36	27.3
26.5	98.5	1.18	22.8
19	81.2	0.6	19.0
16	73.5	0.3	14.2
13.2	64.9	0.15	11.1
9.5	54.1	0.075	5.9
4.75	36.3		

3.3 不同掺配比例配合比设计

在基准配合比基础上,分别采用 1.0%、1.5%、2.0% 水泥替代矿粉,其余原材料比例不变。不同掺配比例配合比设计结果见表 5、6。

试验结果表明:水泥代替矿粉后,混合料级配、空隙率和稳定度无较大的变化,因此可以排除混合料体积指标对试验结果的影响。

3.4 水泥剂量对花岗岩机制砂混合料水稳性能影响

分别采用表 5 掺配比例,进行沥青混合料浸水马歇尔试验和冻融循环试验,试验结果见表 7。

由表 7 可知:

(1) 未掺水泥的花岗岩机制砂混合料,残留稳定度能够满足要求,劈裂强度比不满足要求。

(2) 掺加 1.0% 水泥后,花岗岩机制砂沥青混合料劈裂强度比较未掺水泥时提高了 22.6%,且满足设计要求。

(3) 随着水泥剂量的提高,花岗岩机制砂沥青混合料 48 h 浸水马歇尔稳定度、残留稳定度、冻融前后

表5 不同水泥剂量花岗岩机制砂原材料比例及混合料体积指标设计结果

掺配比例 编号	各类原材料比例/%								油石比/ %	空隙率 VV/%	稳定度/ kN
	粗集料				细集料						
	20~30 mm	10~20 mm	5~10 mm	3~5 mm	花岗岩 机制砂	石灰岩 机制砂	矿粉	水泥			
1	18	25	20	7	26	0	4.0	0	4.0	3.9	16.06
2	18	25	20	7	26	0	3.0	1.0	4.0	4.0	15.47
3	18	25	20	7	26	0	2.5	1.5	4.0	4.0	15.22
4	18	25	20	7	26	0	2.0	2.0	4.0	4.1	14.06

表6 不同水泥剂量花岗岩机制砂混合料级配设计结果

掺配比 例编号	水泥剂 量/%	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%												
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1	0	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.3	27.3	22.8	19.0	14.2	11.1	5.9
2	1.0	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.3	27.3	22.8	19.0	14.2	11.1	6.0
3	1.5	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.3	27.3	22.8	19.0	14.2	11.1	6.1
4	2.0	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.3	27.3	22.8	19.0	14.2	11.0	6.2

表7 不同掺配比例混合料水稳定性试验结果

机制砂 类型	掺配 比例 编号	水泥剂 量/%	浸水马歇尔试验			冻融循环		
			稳定度/kN		残留稳定 度/%	劈裂强度/MPa		劈裂强度 比/%
			0.5 h	48 h		冻融前	1次冻融	
花岗岩	1	0	16.06	13.18	82.1	1.39	0.91	65.5
	2	1.0	15.47	13.73	88.8	1.51	1.33	88.1
	3	1.5	15.22	14.46	95.0	1.61	1.45	90.1
	4	2.0	14.06	17.17	122.1	1.76	1.47	83.5
设计要求			≥8	—	≥80	—	—	≥75

的劈裂强度逐步提高。劈裂强度比上升至最大值后呈下降趋势,最大值出现在1.5%水泥剂量附近。表明沥青混合料存在最佳水泥掺量范围。

(4) 水泥掺量为1.5%时,部分未冻融循环试件劈裂试验后,发生脆性开裂;水泥掺量为2.0%时,冻融循环前后部分试件劈裂试验后均发生了脆性开裂,见图1。试件在非冻融条件下较冻融条件下更容易开

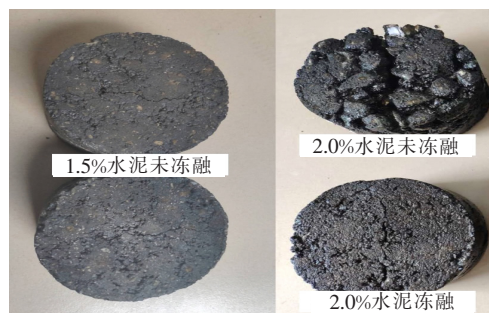


图1 1.5%、2.0%水泥剂量部分试件劈裂后脆性开裂

裂。表明掺加水泥会使沥青混合料变硬,脆性变大,从而影响沥青混合料的抗裂性能,容易产生裂缝。

综合比较不同水泥掺量混合料的残留稳定度和劈裂强度比结果,结合混合料试件劈裂试验后开裂状态及经济性等因素,选择1.0%水泥掺量为配合比最佳水泥掺量。

4 花岗岩机制砂与石灰岩机制砂混合料水稳定性对比分析

进行0%、1.0%、2.0%水泥剂量花岗岩机制砂和0%、1.0%石灰岩机制砂混合料水稳定性对比分析。为减少级配差异对试验结果的影响,石灰岩机制砂混合料采用与掺配比例编号1、2相同的粗集料、矿粉、水泥、沥青材料和比例,采用相同比例石灰岩机制砂代替花岗岩机制砂,配合比设计结果见表8、9。

表 8 不同水泥剂量石灰岩机制砂原材料比例及混合料体积指标设计结果

掺配 比例 编号	各类原材料比例/%								油石比/ %	空隙率 VV/%	稳定度/ kN
	粗集料				细集料						
	20~30 mm	10~20 mm	5~10 mm	3~5 mm	花岗岩 机制砂	石灰岩 机制砂	矿粉	水泥			
5	18	25	20	7	0	26	4	0	4.0	4.0	14.08
6	18	25	20	7	0	26	3	1	4.0	4.0	12.97

表 9 不同水泥剂量石灰岩机制砂混合料级配设计结果

掺配比 例编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
5	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.4	25.9	20.9	17.9	13.4	10.3	5.7
6	100	98.5	81.2	73.5	64.9	54.1	36.4	25.9	20.9	17.9	13.4	10.3	5.8

为测试不同机制砂的水稳定性,进行如下试验:

(1) (延长时间)浸水马歇尔试验。通过延长马歇尔试验的浸水时间,分别测试马歇尔试验在 60℃ 水浴中浸泡 0.5、48 和 96 h 的马歇尔稳定度,并计算残留稳定度。

(2) 2 次冻融循环试验。试验通过增加冻融循环

次数,分别测试马歇尔试件在冻融 0、1、2 次后的劈裂强度,并计算劈裂强度比 TSR。

由于 96 h 残留稳定度和 2 次冻融后劈裂强度比 TSR 没有相关的指标要求规定,因此主要通过对比两种机制砂混合料指标,评价不同机制砂对混合料水稳定性影响。试验结果见表 10。

表 10 两种机制砂混合料(延长时间)浸水马歇尔试验和 2 次冻融循环试验结果

机制砂 类型	掺配 比例	水泥剂 量/%	(延长时间)浸水马歇尔试验					冻融循环					
			稳定度/kN			残留稳定度/%		劈裂强度/MPa			劈裂强度比 TSR/%		
			0.5 h	48 h	96 h	48 h	96 h	未冻融	1 次 冻融	2 次 冻融	1 次 冻融	2 次 冻融	
花岗岩	1	0	16.06	13.18	12.19	82.1	75.9	1.39	0.91	0.69	65.5	49.6	
	2	1.0	15.47	13.73	13.02	88.8	84.2	1.51	1.33	0.82	88.1	54.3	
	4	2.0	14.06	17.17	13.11	122.1	93.2	1.76	1.47	1.07	83.5	60.8	
石灰岩	5	0	14.08	13.03	12.32	92.5	87.5	1.13	0.92	0.64	81.4	56.6	
	6	1.0	12.97	13.51	12.79	104.2	98.6	1.03	0.96	0.81	93.2	78.6	
设计要求		—	≥8	—	—	≥80	—	—	—	—	≥75	—	

表 10 表明:

(1) 未掺水泥的石灰岩机制砂混合料 1 次冻融循环后劈裂强度比 TSR 满足设计要求,明显优于未掺水泥花岗岩机制砂。

(2) 掺 1.0% 水泥的花岗岩机制砂混合料,其 48、96 h 残留稳定度及 2 次冻融劈裂强度接近未掺水泥的石灰岩机制砂混合料,其 1 次冻融劈裂强度比优于未掺水泥的石灰岩机制砂混合料。掺 2.0% 水泥的花岗岩机制砂混合料,其各项水稳定性指标均略高于未掺水泥的石灰岩机制砂混合料。

(3) 掺 1.0% 水泥的石灰岩机制砂混合料,其各项水稳定性指标明显优于掺 1.0% 水泥花岗岩机制砂混

合料,冻融循环指标明显优于掺 2.0% 水泥的花岗岩机制砂混合料。

(4) 可认为花岗岩机制砂掺混合料总质量的 1.0%~2.0% 水泥后,与未掺水泥的石灰岩机制砂对沥青混合料水稳定性影响效果相当。

5 结论

(1) 花岗岩机制砂抗剥落性能差,其沥青混合料试件 1 次冻融循环后劈裂强度比 TSR 不满足设计要求,明显低于石灰岩机制砂沥青混合料。

(2) 掺加 1.0% 水泥时,花岗岩机制砂混合料水稳