

路面沥青混凝土配合比优化设计

左晓维, 张伟

(中交一航局第五工程有限公司)

摘要: 花岗岩石料呈酸性, 与沥青的黏附性不好, 无法用于工程施工。为解决这一问题, 通过采用不同岩性碎石, 加入剥落剂、水泥、消石灰等材料进行配合比设计试验, 并对试验结果进行对比分析, 发现花岗岩掺加上述材料, 可大大改善其抗剥落性能, 且花岗岩及花岗岩改良后的沥青混合料低温性能明显优于石灰岩沥青混合料。花岗岩改性沥青混合料可用于我国北方低温少雨地区的中、下面层和南方高温多雨地区的下面层, 可节约成本。

关键词: 沥青混凝土; 花岗岩; 黏附性; 抗剥落

0 引言

广西玉湛高速公路工程中沥青混凝土路面用量最大的材料是石料, 占用料总量的 80% 以上。以往我国修筑高等级公路沥青路面普遍选用石灰岩, 但当地缺乏石灰岩碎石, 不得不远距离购买优质石材, 极大地提高了施工成本, 制约了施工进度。因此, 选用当地储量丰富的地材, 采取措施保证路用性能, 是亟待解决的问题。该地区花岗岩分布广泛, 但花岗岩石料呈酸性, 与沥青黏附性不好。本次研究通过进行多组对比试验, 发现花岗岩通过添加特定比例的抗剥落剂、水泥、消石灰等材料, 能够满足中下面层施工的质量要求。此项研究成果极大减少了项目对石灰岩的需求量, 降低了施工成本, 摆脱了施工进度受石料控制的局面, 对其他项目具有借鉴意义。

1 试验方案

选用优质的、物理性能均满足施工规范要求的石灰岩集料和花岗岩集料, 分别进行沥青混凝土配合比设计; 针对酸性石料与沥青黏附性差的问题, 采取添加抗剥落剂、消石灰粉、水泥等措施进行改良, 对改良后沥青混凝土进行配合比设计验证; 同时采取酸性石料和超基性岩石料组合对掺的方式, 形成复合集料, 并对复合集料进行沥青混凝土配合比设计^[1-3]。最后对此 6 种配合比的沥青混凝土分别进行高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性的试验并对试验结果进行对比分析。

2 材料优选

试验所用石灰岩、花岗岩生产地为秦皇岛市抚宁区。70 号沥青、SBS 改性沥青生产厂家为广

西金天地有限公司。抗剥落剂生产厂家为西安华泽道路材料有限公司, 采用 PA-1 型沥青抗剥落剂。水泥、消石灰、矿粉生产厂家抚顺水泥股份有限公司, 水泥强度等级为 P.I42.5。

3 沥青与集料的黏附性试验

通过对 3 种碎石集料与沥青的黏附性进行试验, 结果见表 1。

表 1 沥青与集料黏附性试验汇总表

沥青种类	沥青与集料的黏附等级		
	石灰岩	花岗岩	复合集料
70 号沥青	5	2	3
SBS 改性沥青	5	4	4
SBS 改性沥青+抗剥落剂	5	5	5
SBS 改性沥青+水泥	—	5	—
SBS 改性沥青+石灰	—	5	—

通过对 3 种沥青与 3 种集料的抗剥落性试验结果分析可知, 石灰岩与 70 号沥青和 SBS 改性沥青的黏附性等级均为 5 级抗剥落。花岗岩与 70 号普通沥青的抗剥落性较差, 与 SBS 改性沥青的抗剥落性提升到了 4 级, 与“SBS 改性沥青+抗剥落剂”的抗剥落性提升到了 5 级。

因此, 本文采用 SBS 改性沥青和抗剥落性能相对较差的花岗岩进行与石灰岩的对比研究^[4]。

4 沥青混合料配合比试验方案

采用沥青路面中面层 AC-20C 进行混合料配合比设计^[2-5], 矿料规格采用 10~20 mm、5~10 mm、3~5 mm、0~3 mm 碎石, 填料为矿粉、水泥、石灰, 沥青采用 SBS I-D 改性沥青。依据不同岩性集料组成及提高集料黏附性措施, 共设计 6 种试

验方案见表 2。

表 2 试验方案

试验方案	集料种类	沥青种类
1 号	10~20 mm、5~10 mm、3~5 mm、0~3 mm 全部集料采用石灰岩碎石，填料采用矿粉	改性沥青
2 号	10~20 mm、5~10 mm、3~5 mm、0~3 mm 全部集料采用花岗岩碎石，填料采用矿粉	
3 号	在 2 号配合比的基础上添加抗剥落剂	
4 号	在 2 号配合比的基础上添加消石灰粉	
5 号	在 2 号配合比的基础上添加水泥	
6 号	10~20 mm、5~10 mm 花岗岩碎石；3~5 mm、0~3 mm 石灰岩碎石，填料采用矿粉	

4.1 原材料密度

沥青混合料配合比采用优质的花岗岩和石灰岩，材料的表观相对密度及毛体积相对密度见表 3。

表 3 花岗岩、石灰岩表观相对密度及毛体积相对密度表

粒径/mm	花岗岩		石灰岩	
	表观相对密度	毛体积相对密度	表观相对密度	毛体积相对密度
10~20	2.566	2.486	2.844	2.806
5~10	2.640	2.564	2.853	2.790
3~5	2.660	2.586	2.810	2.697
0~3	—	—	2.863	2.730

改性沥青相对密度为 1.037，水泥密度为 3.62 g/cm³，消石灰密度为 2.288 g/cm³，矿粉密度为 2.692 g/cm³。

4.2 原材比例

采用沥青路面中面层 AC-20C 进行混合料配合比设计时，填料为矿粉、水泥、石灰，每个配合比方案中原材料所占比例见表 4。

表 4 原材比例

原材料	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
10~20 mm 集料	36.0	47.0	47.0	47.0	47.0	42.0
5~10 mm 集料	25.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0
3~5 mm 集料	19.0	30.0	30.0	30.0	30.0	24.0
0~3 mm 集料	19.0	—	—	—	—	15.0
矿粉	1.0	3.0	3.0	—	1.0	1.0
水泥	—	—	—	—	2.0	—
石灰	—	—	—	3.0	—	—

注：方案 3 中剥落剂掺量为沥青质量的 0.4%，所用沥青含量通过油石比得出。

4.3 合成级配

经过试验，每个配合比方案中集料合成级配见表 5。

表 5 不同配合比方案集料合成级配

试验方案	通过下列筛孔的质量百分比/%											
	26.5 mm	19.0 mm	16.0 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm
1 号	100.0	96.4	84.4	74.4	65.5	40.7	30.3	20.4	13.1	8.5	7.1	6.1
2 号	100.0	99.5	81.9	76.3	59.2	36.5	25.7	21.1	15.8	10.1	7.2	5.9
3 号	100.0	99.5	81.9	76.3	59.2	36.5	25.7	21.1	15.8	10.1	7.2	5.9
4 号	100.0	99.5	81.9	76.3	59.2	36.5	25.7	21.1	15.8	10.1	7.2	5.8
5 号	100.0	99.5	81.9	76.3	59.2	36.5	25.7	21.1	15.8	10.1	7.2	5.9
6 号	100.0	99.6	81.9	78.8	63.5	43.7	32.4	22.1	14.6	9.7	8.2	7.0

4.4 性能检测方案

依据现行行业标准 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[3]对每种方案的沥青

混合料分别进行高温稳定性、水稳定性和低温抗裂性能测试。

试验方法及内容见表 6。

表 6 试验检测依据及内容

性能指标	试验依据	试验内容
高温稳定性	T0719—2011《沥青混合料车辙试验》	每种方案成型 2 组试件(3 块/组)，分别进行车辙试验和 60℃水浴车辙试验
水稳定性	T0709—2011《沥青混合料马歇尔稳定性试验》	每种方案成型马歇尔试件 6 组，分别进行马歇尔试验和浸水马歇尔试验，浸水时间 0.5 h、48 h、72 h、96 h 和 108 h，试验水温为(60±1)℃
	T0729—2000《沥青混合料冻融劈裂试验》	每种方案成型马歇尔试件 5 组(4 个/组)，冻融 1、2、3、4 次后测定劈裂抗拉强度，计算冻融劈裂抗拉强度比
低温抗裂性	T0715—2011《沥青混合料弯曲试验》	每种方案用轮碾法成型板块状试件，用切割法制作棱柱体试件 1 组，测定抗弯拉强度、弯拉应变和弯曲劲度模量，试验温度为(−10±0.5)℃

4.5 技术指标

6 种配合比方案沥青混合料的技术指标如表 7 所示。通过对石灰岩集料沥青混合料与 5 种花岗岩集料沥青混合料的技术指标分析可知, 6 种沥

青混合料的基本技术指标均能够满足设计指标要求, 使用花岗岩及经过改良的花岗岩沥青混合料的力学性能高于单纯使用石灰岩的沥青混合料, 耐久性指标需要进一步进行试验研究。

表 7 不同方案沥青混合料技术指标汇总表

试验方案	稳定度/kN		流值/mm		空隙率/%		矿料间隙率/%		沥青饱和度/%		油石比/%
	实测值	设计指标	实测值	设计指标	实测值	设计指标	实测值	设计指标	实测值	设计指标	
1 号	10.51	≥ 8	3.9	1.5~4.0	4.4	4~6	13.4	≥ 13	67.1	65~75	4.6
2 号	12.93		3.8		4.3		13.3		67.8		5.0
3 号	12.91		3.9		4.2		13.3		68.4		5.0
4 号	12.07		3.9		4.6		13.9		67.0		5.0
5 号	12.54		3.8		4.2		13.3		68.4		5.0
6 号	11.56		3.8		4.3		13.4		67.9		4.8

5 试验及结果分析

5.1 不同水浴时间的马歇尔稳定度试验

针对 6 种配合比设计方案成型马歇尔试件 6 组, 每组分别进行马歇尔试验和浸水马歇尔试验(浸水时间 0.5 h、48 h、72 h、96 h 和 108 h), 试验结果见图 1、图 2。

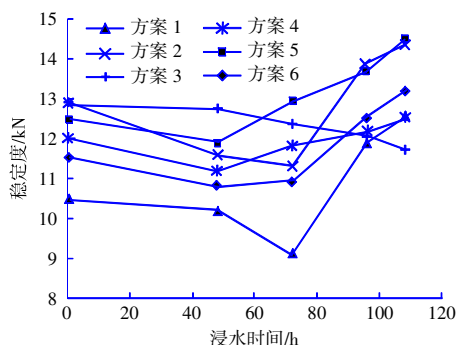


图 1 浸水时间-稳定度曲线

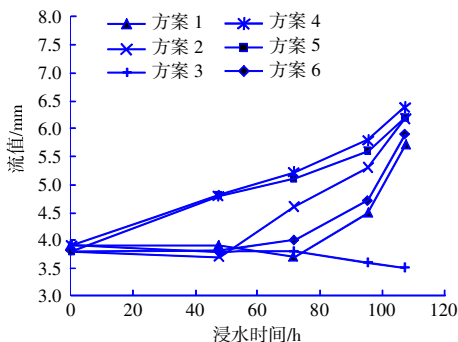


图 2 浸水时间-流值曲线

掺配石灰岩与花岗岩的沥青混合料浸水马歇尔试验数据对比可知, 掺配花岗岩的沥青混合料力学性能要高于石灰岩沥青混合料。稳定度数值在 72 h 后增大, 说明在 60℃水浴的条件下, 72 h 前沥青混合料试件的浸水破坏以水剥落破坏为主, 72 h 后以沥青老化为主, 沥青老化后, 沥青变得

坚硬, 使稳定度增加。

花岗岩沥青混合料掺加抗剥落剂、消石灰、水泥后, 混合料的抗剥落性能提升, 力学性能的提升不明显, 石灰岩与花岗岩的掺配使用, 马歇尔稳定度指标介于两者之间。

上述试验表明, 沥青混合料在浸水后, 花岗岩+石灰的沥青混合料、花岗岩+水泥的沥青混合料流值明显提高, 而花岗岩+抗剥落剂的沥青混合料流值却明显下降。

5.2 不同冻融次数的沥青混合料冻融劈裂试验

对 6 种配合比的沥青混合料成型标准马歇尔试件, 分别进行 1—4 次冻融劈裂试验, 以观察沥青混合料抵抗冻融循环破坏的规律, 见表 8、图 3。

表 8 不同冻融次数的沥青混合料冻融劈裂试验数据汇总

试验方案	未冻融试件/MPa	冻融循环/MPa				冻融劈裂抗拉强度比/%
		1 次	2 次	3 次	4 次	
1 号	1.19	1.06	1.02	0.90	0.89	89.1
2 号	1.62	1.40	1.38	1.37	1.36	86.4
3 号	1.82	1.57	1.55	1.51	1.50	86.3
4 号	1.79	1.52	1.50	1.49	1.48	84.9
5 号	1.81	1.54	1.52	1.50	1.49	85.1
6 号	1.41	1.23	1.17	1.10	1.09	87.2

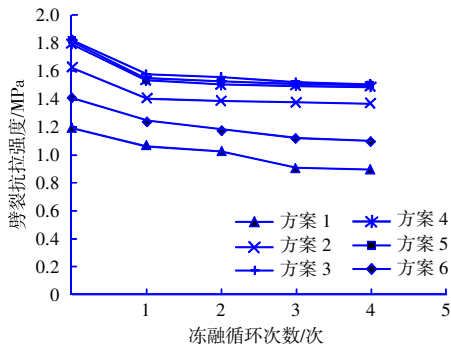


图 3 冻融循环-劈裂抗拉强度曲线

通过对6种配合比的沥青混合料冻融劈裂试验分析可知,掺配花岗岩的沥青混合料的未冻融及冻融的劈裂抗拉强度明显高于掺配石灰岩的沥青混合料,说明掺配花岗岩的沥青混合料低温性能相对较好,分析原因是花岗岩骨料表面相对于石灰岩骨料表面呈粗糙状态,在低温状态下,花岗岩与沥青的剥落趋势不明显,所以造成掺配花岗岩的沥青混合料低温性能相对掺配石灰岩沥青混合料的低温性能较好。

掺配花岗岩的沥青混合料经过冻融循环后的冻融劈裂抗拉强度比低于掺配石灰岩的沥青混合料的冻融劈裂抗拉强度比,这说明由于沥青与花岗岩集料的黏附性较差,导致在冻融循环中,试件遭到了破坏。当石灰岩与花岗岩掺配使用时,沥青混合料的冻融劈裂抗拉强度比介于两者之间。从冻融劈裂抗拉强度的发展规律可知,第3次冻融循环和第4次冻融循环的变化相对较小,说明低温冻胀的破坏与水浴熔融沥青弹性恢复基本平衡。

5.3 室内车辙试验

对6种配合比的沥青混合料成型车辙试件,分别进行60℃水浴和空气中车辙试验分析沥青混合料高温稳定性,试验结果见表9。

表9 沥青混合料室内车辙试验数据汇总表

试验方案	60℃水浴	60℃空气
1号	2 520	8 076
2号	1 158	6 057
3号	1 242	7 078
4号	1 858	7 590
5号	1 627	7 326
6号	1 218	6 973

试验结果分析可知:

- 1) 在空气中60℃的试验条件下花岗岩沥青混合料的抗车辙能力低于石灰岩沥青混合料。花岗岩沥青混合料掺加抗剥落剂、消石灰、水泥后,抗车辙能力明显提高,接近使用石灰岩的沥青混合料状态。
- 2) 在60℃水浴中,花岗岩沥青混合料即便采取掺加抗剥落剂、消石灰、水泥的措施,抗车辙能力明显还是弱于使用石灰岩沥青混合料。说明在高温及水浸泡与车辙共同作用下,花岗岩与沥青混合料的高温稳定性仍然较差。

5.4 低温弯曲试验

对6种配合比的沥青混合料成型车辙试件后切制棱柱体小梁进行抗弯拉试验来评价沥青混合料低温拉伸性能,试验结果见表10。

表10 沥青混合料低温弯曲试验数据汇总

试验方案	抗弯拉强度/MPa	弯拉应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量/MPa
1号	10.12	3 303	3 063.2
2号	10.02	3 888	2 578.3
3号	11.84	5 359	2 209.2
4号	6.49	4 959	1 307.7
5号	12.42	5 276	2 353.5
6号	10.10	3 606	2 801.3

根据相关规范的要求,我国寒冷地区改性沥青混合料的弯拉应变要不小于2 800 $\mu\epsilon$,以上6组配合比的沥青混合料弯拉应变均满足要求。

由6组数据可以看出,花岗岩及花岗岩改良后的沥青混合料的弯拉应变均优于石灰岩沥青混合料,因此花岗岩沥青混合料的低温性能优于石灰岩沥青混合料。

6 结语

通过对采取不同措施的沥青混合料的性能分析,得出以下结论:

- 1) 石灰岩与沥青及改性沥青的黏附性能明显优于花岗岩与沥青及改性沥青的黏附性能。
- 2) 花岗岩通过掺加抗剥落剂、水泥、消石灰可明显改善抗剥落性能,提高黏附性。掺加量的大小需要根据不同的材料经试验确定。
- 3) 花岗岩及花岗岩改良后的沥青混合料低温性能明显优于石灰岩沥青混合料低温性能。
- 4) 高温及水浸泡与车辙共同作用下,花岗岩与改性沥青的抗剥落性能相对石灰岩与改性沥青的抗剥落性能较差。

通过本文的试验数据分析,认为采用花岗岩改性沥青混合料用于我国北方低温少雨地区的中、下面层和南方高温多雨地区的下面层较为安全。对于花岗岩改性沥青混合料掺加抗剥落剂、水泥、消石灰以后的长期稳定性缺乏实践经验,后续还应该通过相关的试验研究进行验证。

参考文献:

[1] 余芳. 花岗岩沥青混合料水稳定性试验研究[J]. 大众科技, 2019,21(5):22-23,57.

[2] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

[3] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].