

回收粉加水泥作填料的沥青混合料试验及应用

褚乃静¹, 赵成², 张延昭²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027; 2. 西北民航机场建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 以圣乔治国际机场跑道升级改造项目为依托, 采用回收粉加水泥作沥青混合料的矿物填料, 基于 P-401 沥青混合料进行了配合比设计, 并通过室内试验对回收粉加水泥作填料的沥青混合料性能进行了研究及应用。室内试验表明: 完全以回收粉作填料的沥青混合料水稳定性能难以满足设计要求; 水泥替代部分回收粉作填料后, 当掺加 1.5% 的水泥时, 较未加水泥的混合料水稳定性能和高温稳定性能分别提高了 24.4%、34.8%; 经工程应用表明: 利用回收粉加水泥作填料的沥青混合料可应用于施工且具有良好的效果, 对类似工程具有一定指导借鉴价值。

关键词: 回收粉; 水泥; 填料; 沥青混合料

中图分类号: U654; U414

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2025)01-0075-05

doi: 10.7640/zggwjs202501012

Study and application of asphalt mixture with baghouse fines and cement as fillers

CHU Nai-jing¹, ZHAO Cheng², ZHANG Yan-zhao²

(1. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;

2. China Northwest Civil Aviation Airport Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Based on St. George International Airport runway upgrading project, baghouse fines and cement were used as mineral fillers for asphalt mixture. A proportion design was carried out based on P-401 asphalt mixture, and the performance of asphalt mixture with baghouse fines and cement as fillers was studied and applied through the indoor test. The test shows that: the water stability performance of asphalt mixture completely with baghouse fines as filler is difficult to meet the design requirements; cement to replace part of the baghouse fines as filler, when adding 1.5% of the cement, compared with the uncemented mixture of water stability performance and high temperature stability performance were improved by 24.4%, 34.8%; and after the engineering application shows that: the asphalt mixture using baghouse fines and cement as fillers can be applied in the construction and has good results, providing certain value of guidance and reference for similar projects.

Key words: baghouse fines; cement; filler; asphalt mixture

0 引言

回收粉于沥青混合料拌和过程中产生, 其粒径一般在 0.075 mm 以下, 且随着集料生产能力的不断提升, 集料洁净度得到有效改善, 使得回收粉质量也有所提升, 已与矿粉非常接近。但若仍将回收粉直接废弃, 不但会造成大气环境污染和空间资源浪费, 还会使得矿物资源严重浪费, 因

此如能将回收粉二次利用于沥青混合料生产是较为经济有效的处理方式。

目前, 国外对回收粉应用于沥青混合料的生产较为广泛, 美国每年有多达 80% 的回收粉被重新利用于沥青混合料生产, 但都需要掺加部分石灰、水泥等外加剂进行性能提升^[1]。我国因考虑到回收粉性状不稳定, 可能对沥青混合料产生不良

影响,而严格限制其应用,但科技工作者仍开展了一定的研究。裴旭^[2]研究了回收粉与矿粉的不同,提出回收粉可提高沥青胶浆的高温性能。朱发明^[3]研究了回收粉代替部分矿粉对沥青混合料性能的影响,结果表明掺入适量回收粉可提高沥青混合料抗水损害性能。莫吕群等^[4]研究了回收粉替代部分矿粉对沥青混合料性能的影响,结果表明掺加一定量回收粉对沥青混合料的水稳定性、高温稳定性和低温抗裂性影响不大。但是,经过众多研究,还未见有针对回收粉和水泥完全替代矿粉当作填料生产沥青混合料,并将其实际应用于现场的试验研究。

本文借格林纳达圣乔治国际机场跑道升级改造项目无矿粉采购且设计文件同意使用回收粉这一契机,通过对回收粉加水泥完全替代矿粉的沥青混合料进行室内试验研究,并经现场应用验证,研究回收粉加水泥完全替代矿粉生产沥青混合料的可行性,为类似工程提供借鉴与参考。

1 室内试验

1.1 试验材料

格林纳达圣乔治国际机场跑道升级改造项目主要施工内容是对跑道进行渐变厚度的铣刨及重新沥青盖被,跑道全长 2 700 m,铣刨厚度 5.0~7.5 cm,沥青盖被 5.0~7.5 cm。此次改造项目设计完全参照美国联邦航空管理局下发的 FAA 150/5370-10H《机场建设标准规范》进行,道面沥青混合料应满足其中 P-401 的要求。

该工程沥青混合料所用的粗、细集料的技术指标见表 1 和表 2。粗集料为玄武岩碎石,细集料为石灰岩机制砂。经调研了解格林纳达及周边国家无矿粉生产售卖,因此利用回收粉充当矿物填料,回收粉的技术指标见表 3。该地区常年高温、多雨,掺加水泥为抗剥落剂。沥青为从瑞士进口的 PG 76-22 SBS 改性沥青,技术指标见表 4。

表 1 粗集料技术指标

Table 1 Technical index of coarse aggregate

检测指标	技术要求	试验结果	标准
洛杉矶磨耗损失/%	≤40.0	22.3	ASTM C131
坚固性(硫酸钠)/%	≤10.0	5.6	ASTM C88
黏土块含量/%	≤1.0	0.2	ASTM C142
断裂面百分比(至少一个面)/%	≥85	100	ASTM D5821
针片状(5:1)/%	≤8.0	4.7	ASTM D4791

表 2 细集料技术指标

Table 2 Technical index of fine aggregate

检测指标	技术要求	试验结果	标准
液限/%	≤25	—	ASTM D4318
塑性指数	≤4	—	ASTM D4318
坚固性(硫酸钠)/%	≤10.0	5.3	ASTM C88
黏土块含量/%	≤1.0	0.6	ASTM C142
砂当量/%	≥45	75	ASTM D2419

表 3 回收粉技术指标

Table 3 Technical index of baghouse fines

检测指标	技术要求	试验结果	标准
塑性指数	≤4	—	ASTM D4318
<0.075 mm 含量/%	70~100	100	ASTM D546

表 4 PG 76-22 SBS 改性沥青技术指标

Table 4 Technical index of PG 76-22 SBS modified asphalt

检测指标		技术要求	试验结果	标准
原材料	闪点/℃	≥230	554	ASTM D92
	135 ℃旋转黏度/(Pa·s)	≤3.0	1.7	ASTM D4402
	70 ℃车辙因子/kPa	≥1.00	1.42	ASTM D7175
旋转薄膜老化(ATSM D2872)	70 ℃车辙因子/kPa	≥2.20	2.49	ASTM D7175
	质量变化/%	≤1.00	-0.05	ASTM D2872
	25 ℃弹性恢复/%	≥75	80	ASTM D6084
110 ℃压力老化(ATSM D6521)	70 ℃车辙因子/kPa	≤5 000	3 538	ASTM D7175
	-12 ℃蠕变劲度/MPa	≤300	182	ASTM D6648
	-12 ℃蠕变劲度变化率	≥0.300	0.328	ASTM D6648

1.2 配合比设计

进行混合料铺筑之前,需要依次进行目标配合比设计、生产配合比设计及生产配合比验证三个阶段,本文以目标配合比设计为主要内容进行介绍,目标配合比设计参照美国沥青混凝土协会 MS-2(第 7 版)马歇尔配合比设计方法进行。

为简化试验内容,目标配合比设计阶段完全采用回收粉进行,设计完成后采用不同掺量的水泥替代等质量回收粉组成复合填料进行路用性能试验。

1) 矿料级配

P-401 沥青混合料的最大公称粒径为 12.5 mm,级配设计曲线如图 1 所示。

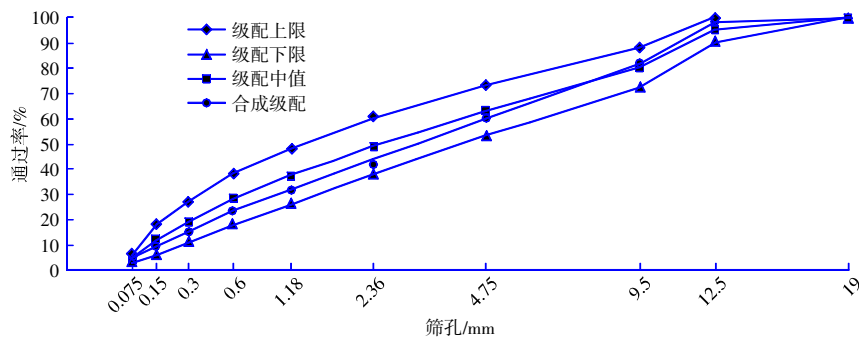


图 1 P-401 沥青混合料合成级配曲线

Fig. 1 Synthetic grading curve of P-401 asphalt mixture

2) 最佳油石比确定

根据美国沥青混凝土协会 MS-2(第 7 版)马歇尔配合比设计规范,对最佳油石比进行确定,得到最佳油石比为 5.3%。

2 室内试验结果分析

本项目地处大西洋加勒比海地区,常年高温、多雨,若路用性能不佳会导致混合料服役寿命锐减。依照 FAA150/5370-10H 文件要求分别对回收粉加水泥作填料的沥青混合料进行了水稳定性能 and 高温抗车辙性能测试。水稳定性试验采用美标 ASTM D4867《水分对沥青混凝土铺路混合物影响的标准测试方法》(TSR),高温抗车辙试验采用美标 AASHTO T340《使用沥青路面分析仪(APA)测定热拌沥青(HMA)车辙敏感性的标准试验方法》(APA)。

2.1 水稳定性试验

以完全采用回收粉作填料设计的沥青混合料为基础,进行沥青混合料水稳定性能测试。设计文件要求,当劈裂抗拉强度比(TSR)低于 80%,需添加抗剥落剂提高混合料水稳定性能。美标 ASTM D4867 试验与国标的 T0729—2000《沥青混合料冻融劈裂试验》略有不同,1) 美标要求试件孔隙率在 7%±1%,而国标要求击实次数为双面各 50 次即可,2) 美标只需在具有寒冷条件的地区进行低温冷冻,而在无低温条件的地区可略去此步骤,除此之外美标亦对保水率等进行了相应的要求。比较而言,美标试验虽较复杂,但严格的要求使试验结果更符合实际。试验结果见表 5。

表 5 回收粉作填料的沥青混合料水稳定性试验结果

Table 5 Results of water stability of asphalt mixtures with baghouse fines as filler

试件状态	孔隙率/%	劈裂强度/kPa	TSR/%
干	6.8	622.0	71.2
湿	7.1	443.0	

由表 5 结果可知,回收粉作填料的沥青混合料 TSR 仅 71.2%,难以满足设计要求。这是因为粗集料为玄武岩,强度虽高,但偏中性,与显弱酸性的沥青黏附性不强;同时由于回收粉中夹杂部分泥土等杂质,影响沥青胶浆与集料的黏附性,在水的作用下,黏附性能降低,难以抵抗水分的剥蚀作用,导致混合料水稳定性难以满足要求^[9]。

常规应用的抗剥落剂有液体、粉状以及化合物固体三大类,以水泥和消石灰为代表的粉状类抗剥落剂应用最为广泛^[9]。本工程采用水泥为抗剥落剂,分别使用 0.5%、1.0%、1.5%和 2.0%的水泥代替部分回收粉进行水稳定性试验,结果见表 6。

表 6 回收粉加水泥作填料的沥青混合料水稳定性试验结果

Table 6 Results of water stability of asphalt mixtures with baghouse fines and cement as fillers

水泥掺量/%	试件状态	孔隙率/%	劈裂强度/kPa	TSR/%
0	干	6.8	622.0	71.2
	湿	7.1	443.0	
0.5	干	6.8	636.3	74.6
	湿	7.1	474.8	
1.0	干	7.2	645.1	78.4
	湿	7.1	505.8	
1.5	干	6.9	631.0	88.6
	湿	6.9	559.1	
2.0	干	6.8	585.4	92.5
	湿	6.9	541.5	

由表 6 结果可知,相较未掺加水泥的试验结果,0.5%、1.0%、1.5%、2.0%水泥掺量对应混合料的 TSR 分别提高 4.8%、10.1%、24.4%、29.9%,随着水泥掺量的增加,TSR 显著增加。分析原因:水泥为碱性材料,而沥青中含有部分羧酸与亚砷,为弱酸性材料,因此水泥与沥青会因酸碱中和发生反应,产生具有较强黏附性的化学物质,使沥

青胶浆与集料黏附更紧致,不易被水分破坏,从而提高沥青混合料的水稳定性能^[7]。

试验结果显示随着水泥掺量的增加,劈裂强度先增加后减小,当水泥掺量为 1.5% 时干、湿劈裂强度均达到较大值,之后开始下降。表明并不是水泥掺量越高混合料 TSR 值越高,水稳定性能就越好。分析原因:当水泥掺量过大时,水泥因具有较大的比表面积,具有强吸附能力,导致沥青混合料变干、变硬,劈裂强度降低。

2.2 高温抗车辙试验

为了评价回收粉加水泥作填料的沥青混合料高温抗车辙性能,并比较水泥对沥青混合料高温性能的影响,参照美标 AASHTO T340 选用添加 1.5% 水泥与不添加水泥的 2 种沥青混合料进行高温抗车辙试验。设计文件中要求:当使用 690 kPa (100 psi) 软管压力、在 64 ℃ 测试温度下,车辙深度应在 8 000 次轮载时不大于 5 mm。此试验与 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的 T0719—2011 沥青混合料车辙试验完全不同:1) 试件成型采用旋转压实仪进行制备;2) 测试设备的荷载轮通过压在试件顶的充气硬橡胶管施加垂直荷载,轮速 0.6 m/s,充气压力可调,硬橡胶管直径可调,可选择多种工况下进行试验;3) 该设备能够在同一测试条件下同时进行多个试件的测试,可降低其他因素影响,提高试验结果准确性^[8]。试验结果见表 7。

表 7 混合料高温稳定性试验结果

Table 7 Asphalt mixture high temperature stability test results

水泥 掺量/%	试件 编号	车辙深度/mm	
		试验值	平均值
0	1	4.986	5.038
	2	4.924	
	3	5.096	
	4	5.147	
1.5	5	3.028	3.286
	6	3.490	
	7	3.352	
	8	3.274	

由表 7 结果可知,掺加水泥后沥青混合料的车辙深度较未掺加水泥的降低了 34.8%,表明掺加水泥可有效提高混合料的高温抗车辙性能,且当掺加 1.5% 水泥时混合料的车辙深度满足设计要求。分析原因:一方面水泥在沥青混合料中可以

起到增强黏结力的作用,对提高混合料的力学性能有益;另一方面随着水泥的加入,由于其较大的比表面积及多孔特性,导致混合料中自由沥青数量减小,内部“滑移”作用被阻碍,提高了高温抗车辙性能。

3 混合料应用

在格林纳达圣乔治国际机场跑道升级改造项目中,以上述的目标配合比为基础经进一步设计验证得到的施工配合比进行沥青混合料生产,施工过程中某次拌合站取样试验结果见表 8。

表 8 拌合站取样试验结果

Table 8 Sampling test results of mixing station

项目	毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙率/%	矿料 间隙率/%	TSR/%	车辙 深度/mm
试验结果	2.503	3.7	15.3	87.5	3.175
技术要求		2~5	≥15	≥80	≤5

由表 8 可知,以回收粉加水泥为填料的沥青混合料完全符合设计文件的相关参数要求,并在本工程通过规范的拌和、运输、摊铺、碾压等工艺成功实施,完成了跑道盖被的施工任务,且 1 a 后跑道状态依旧完整,无坑洞、车辙等病害发生。回收粉加水泥作填料的沥青混合料在格林纳达圣乔治机场项目的成功应用,将为类似施工条件的沥青道路建设提供一定的技术参考。

4 结语

本文前述的试验研究及成功应用表明:

1) 完全掺加回收粉作填料的沥青混合料 TSR 试验结果仅 71.2%,无法满足规范要求,仅用回收粉完全代替矿粉生产沥青混合料是不可行的。

2) 在完全掺加回收粉作填料的基础上,以水泥代替一定比例回收粉,可提高沥青混合料的水稳定性能及抗车辙性能,但水泥掺量不宜超过 1.5%,否则将导致混合料劈裂强度降低。

3) 利用美标 ASTM D4867 进行沥青混合料的水稳定性能测试,舍弃低温步骤,测试更切合实际,值得国内类似气候地区推广。

4) 回收粉加水泥作填料的沥青混合料可以应用于施工且具有良好的效果,对类似工程有一定指导借鉴价值。

参考文献:

- [1] TAYEBALI A A, SHIDHORE A V. Use of lime as anti-strip addi-

(下转第 96 页)