

硬质沥青混合料生产及施工工艺研究

汪志勇¹, 刘 威², 李明宸²

(1. 宜春公路勘察设计院, 江西 宜春 336000; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海市 201804)

摘要: 已有研究表明, 硬质沥青混合料高温性能及疲劳性能较普通沥青要好, 用于重交通沥青路面面层可在发挥其结构层作用的同时显著降低造价。在室内试验评价硬质沥青混合料性能的基础上, 依托在建公路铺筑试验路段, 通过调整拌和时间、摊铺和碾压工艺, 研究适用于硬质沥青混合料的生产及施工工艺。现场测试结果表明, “钢轮2遍+胶轮3遍+钢轮8遍”压实工艺下路面的压实效果最佳。同时, 证明了延长硬质沥青混合料的干拌时间及增加现场压实功能能够有效改善硬质沥青路面的高温性能。

关键词: 硬质沥青; 拌和工艺; 碾压工艺; 试验路检测

中图分类号: U414.75

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)04-0230-04

Study on Production and Construction Techniques of Hard Asphalt Mixtures

WANG Zhiyong¹, LIU Wei², LI Mingchen²

(1. Yichun Highway Survey Design Institute, Yichun 336000, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Department of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The existing research shows that high-temperature and fatigue performances of the hard asphalt mixture are better than that of the conventional asphalt mixtures. The asphalt pavement layer used for heavy traffic can significantly reduce the cost while playing the role of its structural layer. On the basis of the laboratory tests evaluating the performance of hard asphalt mixtures, relying on the trial paving section of road under construction, and by adjusting the mixing time, paving and rolling technology, the production and compaction processes suitable for the hard asphalt mixture are studied. The field test results show that the compaction effect of pavement under the “steel wheel 2 times + rubber wheel 3 times + steel wheel 8 times” compaction process is the best. At the same time, it is proved that extending the dry mixing time of hard asphalt mixture and increasing the field compaction function can effectively improve the high temperature performance of hard asphalt pavement.

Keywords: hard asphalt; mixing process; rolling compaction process; trial road detection

0 引言

随着高等级道路交通量的快速增长和交通重载化的加剧, 沥青路面经常过早出现车辙、开裂等问题。车辙已成为当前沥青路面病害的主要形式之一。为此, 我国多采用改性沥青改善路面性能, 但由于改性沥青的价格比较昂贵, 盲目采用改性沥青会大幅度提高工程造价。硬质沥青混合料具备优良的高温抗车辙性能^[1-2], 且硬质沥青的价格较改性沥青也相对便宜, 正是由于硬质沥青的上述优势, 使得硬质沥青及其混合料受到越来越多研究者的重视。

硬质沥青混合料的生产及施工工艺复杂, 对配合比设计、生产及施工工艺等方面提出了更高的要求。刘黎萍等^[3]将压实功作为设计参数, 对硬质沥青混合料进行了优化设计。研究结果表明, 与采用常规设计方法制备的硬质沥青混合料相比, 以压实功为设计参数的硬质沥青混合料在高温性能、低温性能和水稳定性方面均有所提升。然而, 目前关于硬质沥青混合料现场生产和施工工艺的研究还相对较少, 如何通过现场施工工艺生产出与室内压实相同效果的硬质沥青混合料仍需进一步探索。因此, 本研究以硬质颗粒制备的硬质沥青为例, 从现场拌合楼拌和工艺、路面碾压工艺等方面进行深入探究, 以为硬质沥青混合料在实际工程中的应用提供技术参考。

收稿日期: 2024-09-03

作者简介: 汪志勇(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事公路勘查设计工作。

1 硬质沥青混合料设计

1.1 试验材料

考虑到试验段沥青用量较少,本研究通过在 70# 基质沥青中掺加硬质颗粒的方法制备硬质沥青,所用硬质颗粒为黑色颗粒状固体。通过前期大量的预研究以及综合考虑,最终确定采用 8% 和 16% 硬质颗粒掺量分别制备 30#和 50#硬质沥青。

研究中所用集料为石灰岩集料,按粒径的不同将集料分为了 5 档,5 档集料的筛分结果及密度结果如表 1、表 2 所列。

表 1 5 档集料筛分结果

筛孔/mm	矿粉	1#	2#	3#	4#	5#
31.5	100	100	100	100	100	100
26.5	100	100	100	100	98.7	52.1
19	100	100	100	100	37.4	14.5
16	100	100	100	99.5	11.9	8.4
13.2	100	100	100	86.0	0.8	3.9
9.5	100	100	95.5	15.9	0.3	0.5
4.75	100	98.7	9.6	0.3	0.3	0.2
2.36	100	47.8	0.2	0.2	0.3	0.2
1.18	100	23.1	0.2	0.2	0.3	0.2
0.6	100	14.3	0.2	0.2	0.3	0.2
0.3	99.6	9.4	0.2	0.2	0.3	0.2
0.15	93.6	7.1	0.2	0.2	0.3	0.2
0.075	81.3	4.5	0.2	0.2	0.3	0.2

1.2 试验路信息

本研究依托我国河北地区的在建公路中试验段

表 4 各级配最终的设计结果

级配	级配类型	沥青	油石比/%	压实次数/次	空隙率/%	抗剪强度/ MPa	低温劈裂强度/ MPa	断裂功/ (N·m)	冻融劈裂 强度比/%
AC25	AC25-3	30#	3.7	85	3.8	1.02	3.53	27.61	75.8
		50#			3.8	0.88	3.95	30.65	77.4

2 硬质沥青混合料生产及施工工艺

2.1 硬质沥青混合料生产工艺

硬质沥青混合料的拌和工艺是确保混合料质量、性能和施工质量的关键环节。基于室内拌和工艺研究成果,针对不同的硬质颗粒掺量对硬质沥青混合料的拌和工艺做出相应调整。具体为,采用干拌法制备硬质沥青混合料,对比了不同拌和时间下硬质沥青混合料的体积参数指标,测试结果见表 5 所列。

由表 5 可以看出,增长集料与硬质颗粒干拌时间可以提升硬质沥青混合料的稳定度,综合考虑,针对不同硬质颗粒掺量硬质沥青混合料,推荐了对应的

表 2 5 档集料密度测试结果

相对密度	矿粉	1#	2#	3#	4#	5#
毛体积相对密度	2.736	2.698	2.721	2.718	2.733	2.729
表观相对密度	2.736	2.752	2.759	2.751	2.764	2.754

S1,对硬质沥青路面的施工方法开展了研究。试验路方案信息如表 3 所列。

表 3 试验段 S1 方案信息

方案	上面层	下面层
1	AC16+70#沥青	AC25+50#硬质沥青
2	AC16+70#沥青	AC25+30#硬质沥青

对于 AC-25 型硬质沥青混合料,参照刘黎萍^[3]、吴帮伟^[4]等人的研究成果对混合料进行设计,具体步骤如下。

步骤一:选择 3 组 AC-25 级配和不同的压实次数代表不同的压实功。接着针对每种级配和每个压实功水平,根据施工经验选择 3 组可行的沥青用量,形成多种“级配-压实功-沥青用量”组合。

步骤二:选择满足 3%~5% 空隙率的“级配-压实功-沥青用量”组合,其余组合舍弃。

步骤三:对所选的组合试件进行性能检验,确保其符合工程实际需求。

步骤四:根据上述步骤挑选出符合要求的组合,如有多个符合要求的组合,将根据现场施工条件和工程造价等因素推荐最终采纳的组合方案。

按照上述试验方法对硬质沥青混合料进行设计,最终的设计结果见表 4。

表 5 不同拌和工艺下硬质沥青混合料马歇尔参数对比

颗粒掺量	干拌时间/s	稳定度/KN	流值/mm
8%	10	9.02	2.06
	15	10.07	2.04
	20	10.96	2.03
8%	15	8.75	2.03
	15	8.43	2.01
	20	11.22	2.11

拌合楼生产工艺,如表 6 所列。

2.2 硬质沥青混合料施工工艺

拌和楼生产出的硬质沥青混合料,需经过合适的摊铺、碾压工艺才能表现出良好的路用性能。在硬质沥青路面的摊铺碾压过程中,其温度控制较为关键。过低的施工温度会使硬质沥青路面的压实效

表6 硬质颗粒混合料拌合楼生产工艺

颗粒 掺量/%	集料加热 温度/℃	干拌 时间/s	拌和步骤	总拌和 时间/s
8	185~195	15	(1)集料+硬质颗粒干拌 (2)加入沥青 (3)加沥青后5 s加入矿粉,即矿粉延迟5 s加入	50~55
16		20	(4)湿拌35 s	

果受到影响。若温度过高,会造成沥青老化并增加生产成本。同时,由于硬质沥青混合料粘度较大,为达到室内设计压实度,需适当增加现场压实功。但目前没有具体规范对碾压工艺做出要求,本研究采用了不同的碾压工艺对试验段进行施工,方案如表7所示。对试验路施工各环节进行总结,并与《公路沥青路面施工技术规范》(JET F40—2004)^[5]和《公路高模量沥青路面施工技术规范》(T/CHTS 10004—2018)^[6]进行对比,方案对比如表8所列。

表7 试验段S1硬质沥青混合料施工碾压工艺

路面类型	碾压阶段	压路机类型	碾压遍数	碾压速度/ (km·h ⁻¹)
50#硬质 沥青	初压	钢轮(13 t)	静压2遍	2~3
	复压	胶轮(30 t)	3遍	3~5
	终压	钢轮(13 t)	强振3遍 弱振3遍 静压2遍	2~3
50#硬质 沥青	初压	胶轮(30 t)	3遍	3~5
	复压	钢轮(13 t)	强振3遍 弱振3遍	2~3
	终压	钢轮(13 t)	静压2遍	2~3
30#硬质 沥青	初压	胶轮(30 t)	3遍	3~5
	复压	钢轮(13 t)	强振4遍 弱振4遍	2~3
	终压	钢轮(13 t)	静压2遍	2~3

表8 试验段S1硬质沥青混合料施工碾压工艺

项目	《公路沥青路面施工技术 规范》	《公路高模量沥青 路面施工技术 指南》	试验段
矿料加热温度/℃	160~175	175~205	185~195
沥青混合料出料 温度/℃	155~175	170~185	175~180
混合料摊铺温度 (不低于)/℃	160	160	160
开始碾压的混合料 内部温度 (不低于)/℃	155	150	160
初压	钢轮静压 1~2遍	>11 t双钢轮前静 后振1~2遍	采用不同 压实工艺
复压	>25 t胶轮碾压 至要求压实度	>25 t胶轮3~6遍	
终压	双钢轮碾压不 少于2遍	>11 t钢轮1~2遍	

3 硬质沥青混合料试验路检测及评价

试验段铺筑完成后对试验段进行了现场取芯测试。

3.1 芯样压实度测试

两试验段各取芯样30个,芯样直径为100 mm,高度为150 mm。将芯样标号,并根据层位对芯样进行标记、切割。通过现场取芯,对两试验段不同压实工艺对应的压实度进行检测,检测结果如表9所列。

表9 试验段S1硬质沥青混合料施工碾压工艺

路面类型	压实工艺	芯样空隙率/%	压实度/%
AC25+50#硬质 沥青	钢轮2遍+胶轮3遍+ 钢轮8遍	4.8	99.2
AC25+50#硬质 沥青	胶轮3遍+钢轮6遍+ 钢轮2遍	6.3	97.6
AC25+30#硬质 沥青	胶轮3遍+钢轮8遍+ 钢轮2遍	6.0	97.9

由表9可知,在本研究中采用的多种压实工艺中,“钢轮2遍+胶轮3遍+钢轮8遍”压实工艺下路面的压实效果最佳,路面压实度达到99.2%。与施工单位采用的常规压实工艺相比,增加压实遍数可以有效提高路面的压实度。

3.2 马歇尔试件及芯样性能测试

对生产过程中拌和出料成型的各马歇尔试件及路面芯样进行性能测试选采用单轴贯入试验测试其高温抗剪性能,选用低温劈裂试验测试其低温抗裂性能,试验具体步骤参考《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[7],试验结果如表10所列。

表10 试验段S1硬质沥青混合料施工碾压工艺

路面类型	试件类型	抗剪强度/ MPa	低温劈裂抗拉 强度/MPa
AC25+50#硬质 沥青	马歇尔试件	0.82	3.88
	芯样	0.79	3.57
AC25+30#硬质 沥青	马歇尔试件	1.02	4.47
	芯样	0.88	3.52
AC25+70#沥青	马歇尔试件	0.57	3.93
	芯样	0.52	3.76

由试验结果可以看出,与70#基质沥青相比,添加硬质颗粒可以显著提高沥青混合料的高温抗剪性能,但低温抗裂强度略有降低。考虑到硬质沥青混合料本身低温性能较差,可以尝试从混合料设计角度进行改进,使硬质颗粒混合料满足实际工程的性能要求。

对比室内成型试件与现场芯样的性能结果可以发现,现场芯样的性能表现略逊于室内成型试件。

尽管采用“钢轮 2 遍+胶轮 3 遍+钢轮 8 遍”的压实工艺,路面的压实效果较好,但现场施工压实度仍未达到设计要求,从而未能完全展现室内设计阶段的优良性能。因此,如何使硬质沥青混合料在现场施工中达到设计的压实度,仍是下一步研究的重点。

4 结 语

本研究利用硬质颗粒铺筑硬质沥青混合料试验路,并对其生产施工工艺进行研究,主要结论如下。

(1)延长集料与硬质颗粒的干拌时间可以使混合料的拌和效果更加均匀。根据测试结果,推荐了相应的拌合楼生产工艺,初步确定了在 8% 硬质颗粒掺量下,混合料的干拌时间为 15 s;在 16% 掺量下,干拌时间为 20 s。

(2)由于硬质沥青混合料粘度较大,在现场施工碾压时需要增加压实功。根据试验段的测试结果,推荐采用“钢轮压路机 2 遍+胶轮压路机 3 遍+钢轮压路机 8 遍”的现场碾压工艺,以确保混合料的充分压实和均匀性。

(3)相较于普通基质沥青,硬质沥青混合料路面具有优异的高温抗车辙性能。但由于现场的施工压实尚不能达到设计的压实度,现场芯样的性能表现要略逊于室内成型的试件。因此,如何使硬质沥青混合料的现场施工压实度达到设计要求,仍然是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 韩青英.国内外硬质道路沥青标准比较分析[J].石油沥青,2022,36(6):56-60.
- [2] 蔡俊华,童巨声,马涛,等.低标号沥青在福建省沥青路面中的应用[J].公路交通科技,2021,38(3):1-6.
- [3] 刘黎萍,刘威,孙立军.将压实功作为设计参数的硬质沥青混合料设计[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2020,44(6):952-955.
- [4] 吴帮伟.将压实功作为设计参数的沥青混合料设计新方法研究[D].上海:同济大学,2018.
- [5] JET F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [6] T/CHTS 10004—2018,公路高模量沥青路面施工技术规范[S].
- [7] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

(上接第 229 页)

撑。应重视钢支撑的应力松弛,建议采用伺服控制系统。土方开挖时,建议临路侧留土台。

(7)应采用帷幕隔断潜水与坑外的水力联系,必要时对接缝止水进一步补强。尽可能隔断承压水,坑内泄压。无法隔断时,建议隔水帷幕深入承压水层不小于 9 m,且大于承压水层厚度的一半,最大限度遮拦坑内降承压水对抗外的影响。

参考文献:

- [1] 孙海忠.关于上海某基坑坍塌事故的分析研究[J].地下空间与工程学报,2012,8(增刊2):1743-1746.
- [2] 沈玉涛,张露.市政道路交通荷载下深基坑开挖的稳定性研究[J].土工基础,2022,36(3):301-303,307.
- [3] 张兴周,陈江,万励,等.交通荷载及其对紧邻基坑支护结构影响的现场实测分析[J].地震工程学报,2020,42(2):490-497.
- [4] 王新.软土地区交通重载下条形深基坑支护设计[J].城市道桥与防洪,2022(12):244-247.