

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.04.013

粗粒式应力吸收层在半刚性基层沥青路面中的应用研究

陈汝筠

(长沙市公路桥梁建设有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 反射裂缝是半刚性基层沥青混凝土路面的高发病害之一,快速、高效地吸收来自基层的反射应力是解决路面结构反射开裂病害的主要途径。文中基于半刚性基层反射裂缝病害实际,以应力吸收为导向,提出一种粗粒式应力吸收层混合料设计方案,该方案采用 CAVF 法和 GTM 法进行混合料级配设计及优化;根据实际工况建立粗粒式应力吸收层有限元分析模型,分析粗粒式应力吸收层在不同层厚下的应力响应,据此推荐应力吸收层厚度取为 9 cm;将设计优化方案应用于某高速公路改建工程,通过铺设试验段,论证粗粒式应力吸收层在承载及应力吸收方面的优势。

关键词: 公路;粗粒式应力吸收层;半刚性基层;沥青路面;反射裂缝

中图分类号:U416.223

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)04-0051-03

路面工程施工实践表明,在沥青加铺面层以下或半刚性路面基层以上增设应力吸收层,能有效控制反射开裂病害。针对砂粒式基层的性能劣势,该文提出一种粗粒式应力吸收层混合料设计方案,以增强对沥青路面反射开裂病害的控制能力。

1 原材料性能要求

考虑到沥青混合料整体性能、质量受各原材料单项目性能及级配设计质量的影响显著,对原材料性能进行必要检测,同时为混合料级配设计提供基础数据。

(1) 集料。所选集料为花岗岩,其硬度、表面粗糙度及清洁度满足规范要求。

(2) 矿粉。为增强集料与沥青基质间的黏结性能,添加一定比例碱性矿粉。选择石灰岩矿粉作为

填料,其性能指标符合规范要求。

(3) 沥青。为满足粗粒式应力吸收结构层沥青混合料的高黏性要求,对普通基质沥青进行高黏改性,使混合料具备较高的塑性和强度。

2 粗粒式应力吸收层混合料级配设计

2.1 混合料级配设计方案

沥青混合料级配常用设计方法有 Superpave 法、《公路沥青路面施工技术规范》中设计方法、CAVF 法,其中 CAVF 法强调粗集料之间的嵌挤作用,粗集料充当骨架,细集料填充骨架空隙,二者共同构成骨架密实结构。

采用半经验半理论法确定试验油石比,分别为 5.0%、5.5%、6.0%、6.5%,采用 CAVF 法设计不同油石比混合料级配方案(见表 1)。

表 1 不同油石比混合料级配设计方案

级配编号	油石比/ %	下列筛孔(mm)的通过率/%											
		26.5	19.0	16.0	13.2	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.150	0.075
级配 1	5.0	100.0	95.01	87.30	75.60	46.90	29.20	29.20	22.70	18.10	14.60	12.01	5.01
级配 2	5.5	100.0	95.01	87.10	75.30	46.40	28.50	28.50	22.20	17.70	14.30	11.80	5.01
级配 3	6.0	100.0	94.90	87.01	75.10	45.90	27.80	27.80	21.70	17.30	14.01	11.60	5.01
级配 4	6.5	100.0	94.90	86.90	74.80	45.30	27.01	27.01	21.10	16.90	13.70	11.40	5.01

2.2 最佳级配方案确定

采用高温稳定性、水稳定性、抗车辙性能及抗裂

性能等指标,对表 1 所示粗粒式应力吸收层混合料级配方案进行对比分析,选择最佳级配方案。分别

通过标准马歇尔试验、车辙试验、浸水马歇尔试验、小梁抗弯试验评价沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、抗车辙性能、低温抗裂性能,试验结果表明4种级配混合料的性能指标均满足规范要求。对4种级配混合料进行谢伦堡沥青析漏试验,油石比超过6.5%时,析漏损失不断增大,施工和易性不达标。兼顾施工和易性与混合料黏性二者的平衡关系,经多指标横向对比,油石比为6.0%时,混合料施工和易性、高温稳定性、水稳定性、抗车辙性能及抗裂性能等指标均满足规范要求,故选定级配3(油石比为

6.0%)作为推荐方案。

2.3 基于GTM法的合理级配确定及论证

马歇尔试验对公路交通量的划定标准较笼统,分为轻量、中量和重量三等,与目前复杂的交通构成和路面状况不匹配。而GTM法在模拟路面实际工况方面具有明显优势,故采用GTM法对粗粒式应力吸收层混合料级配3进行验证。

采用级配3,以0.3%为步长设置5个油石比,分别为4.8%、5.1%、5.4%、5.7%、6.0%,制作试件进行GTM试验,试验结果见表2。

表2 GTM试件体积参数及试验结果

油石比/%	相对密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	空隙率VV/ %	矿料间隙 率VMA/%	沥青饱和度 VFA/%	旋转稳定 系数GSI	旋转剪切 系数GSF
4.8	2.394	3.440	12.634	72.854	0.984	1.202
5.1	2.397	2.910	12.781	77.148	0.991	1.264
5.4	2.400	2.450	12.964	81.172	1.000	1.281
5.7	2.401	2.000	13.168	84.813	1.021	1.394
6.0	2.401	1.558	13.345	88.300	1.083	1.171

由表2可知:油石比为5.7%时,旋转稳定系数为1.02;油石比大于5.7%时,旋转稳定系数增速加快,说明试件的塑性变形过大;旋转剪切系数随油石比增加呈先增大后降低的趋势,增降分界点对应的油石比为5.7%。综合考虑各因素,经GTM法优化后的粗粒式应力吸收层混合料的最佳油石比为5.7%。

以GTM法、GAVF法分别确定的最佳油石比和最佳级配为基准拌制改性沥青混合料,对其各项性能进行试验论证,试验结果表明两者的高温稳定性、水稳定性、抗车辙性能及抗裂性能等指标均满足规范要求,采用GTM法加工成型的试件的骨架密实度更高,且具有优异的路用性能。

3 粗粒式应力吸收层有限元分析

3.1 有限元模型建立

采用ABAQUS软件分析不同厚度下粗粒式应力吸收层的应力响应。建模时作如下基本假定:1)结构整体均匀连续,材料各向同性、处于完全弹性范围;2)结构模型中央布置双向正交构造缝,缝宽5mm;3)结构模型尺寸为长 \times 宽 \times 厚=10.00m \times 8.50m \times 4.82m;4)结构层的所有变形均协调,不考虑滑移。

模型的边界条件为竖向及表面位移自由,底部刚性约束。模型中路面结构及材料参数见表3。为

简化计算,认为轮胎胎面与地面有效接触区域为正方形,接触面参数为189mm \times 189mm。图1为粗粒式应力吸收层有限元分析模型。

表3 路面结构模型尺寸及材料参数

路面层结构	厚度/cm	弹性模量/MPa	泊松比
上面层 SMA-13	4	1 200	0.25
中面层 AC-20	5	1 300	0.25
粗粒式应力吸收层	5~12, 固定时取9	800~1 200, 固定时取1 000	0.25
水泥板	24	22 500	0.16
二灰土基层	20	100	0.26
底基层(级配碎石)	20	80	0.25
土基	400	60	0.31



图1 粗粒式应力吸收层有限元分析模型

3.2 不同厚度下应力分析

路面结构设计方案为4cm上面层(SMA-13)+5cm中面层(AC-20)+应力吸收层。采用

上述有限元模型分析不同厚度下粗粒式应力吸收层的应力响应,确定最佳层厚,分析结果见表4。

表4 粗粒式应力吸收层有限元分析结果

应力吸收层厚度/cm	层位	指标	应力值/kPa
5	水泥面板	整体拉应力极值	202.800
	上面层	整体剪应力极值	405.500
	应力吸收层	拉应力极值	8.641
		剪应力极值	129.700
7	水泥面板	整体拉应力极值	182.200
	上面层	整体剪应力极值	398.900
	应力吸收层	拉应力极值	8.002
		剪应力极值	129.800
9	水泥面板	整体拉应力极值	148.700
	上面层	整体剪应力极值	402.300
	应力吸收层	拉应力极值	7.403
		剪应力极值	132.100
11	水泥面板	整体拉应力极值	140.100
	上面层	整体剪应力极值	404.200
	应力吸收层	拉应力极值	7.180
		剪应力极值	124.400

由表4可知:随着粗粒式应力吸收层厚度的增大,应力吸收层的拉应力极值和剪应力极值逐步减小,应力吸收层厚度达9 cm后,下降趋势减缓。统筹路用性能和经济性两大因素,推荐应力吸收层厚度取为9 cm。

4 粗粒式应力吸收层的应用

4.1 工程概况

某高速公路的交通量常年处于高位。取其中一段作为试验段,试验路段长2 km、宽24.5 m,该路段水泥混凝土路面裂缝、错台严重。设计对旧路面进行病害综合处治后加铺沥青面层,沥青路面结构从上到下为4 cm上面层(SMA-13)+5 cm中面层(AC-20)+9 cm应力吸收层(模量1 000 MPa)+黏层+原水泥砼面板。

4.2 试验段级配方案

采用CAVF法设计粗粒式应力吸收层混合料目标级配,采用GTM法对级配进行验证和优化,最终确定混合料油石比为5.7%,各类集料掺量见表5。取厂拌热料仓内的混合料进行试验,结果表明混合料相关性能指标均达到规范要求,具备大规模摊铺施工条件。

表5 粗粒式应力吸收层的生产级配

集料粒径/mm	掺量/%	集料粒径/mm	掺量/%
10~20	53.0	0~3	20.5
5~10	10.0	矿粉	7.5
3~5	9.0		

4.3 试验段路面性能检测评定

试验路施工完成后,考虑到粗粒式应力吸收层的层位特点,仅对抗渗性能、压实度、层厚等指标进行试验检测。结果如下:1)检测点的渗水系数均低于10 mL/min,路面整体结构的抗渗能力达到规范要求;2)压实度均不低于98%,满足规范要求;3)检测点层厚与设计层厚误差在规范要求的合理范围内。

5 结语

采用CAVF法进行粗粒式应力吸收层混合料级配设计,经GTM法优化,确定油石比为5.7%。经有限元模拟分析,推荐粗粒式应力吸收层的最佳设计厚度取9 cm。按上述方案铺筑粗粒式应力吸收层试验段,其各项指标均达到规范要求,能有效改善路面反射裂缝问题。

参考文献:

- [1] 刘斌.应力吸收层沥青混合料体积参数及抗压回弹模量研究[J].湖南交通科技,2017,43(3):42-46.
- [2] 王鹏,李昆,黄卫东.基于有限元方法的应力吸收层延缓反射裂缝分析[J].公路工程,2011,36(3):54-60.
- [3] 李铁成,胡超峰,冯明林,等.复合改性橡胶沥青应力吸收层应用技术研究[J].公路与汽运,2019(1):72-74+164.
- [4] 陈明,肖杰,杨和平,等.旧水泥砼路面加铺沥青层的三维有限元分析[J].公路与汽运,2018(4):89-93.
- [5] 蔡永利.设应力吸收层复合式路面的沥青层合理厚度研究[J].公路与汽运,2016(3):95-98.
- [6] 叶平,吴旷怀,蔡旭,等.粗粒式应力吸收结构层的设计与路用性能[J].筑路机械与施工机械化,2019,36(3):91-96.
- [7] 戴鹏.半刚性基层沥青路面沥青砂应力吸收层研究[D].南京:东南大学,2008.
- [8] 赵文美.设置应力吸收层的路面结构应力分析[J].森林工程,2015,31(4):123-126+133.