

基于抗裂性能的 AC-13 级配优选

黄雪峰, 吴晨悦, 谭云鹏

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

摘要: 为了提高沥青面层的抗裂性能,根据抗裂型级配的特点初步拟定了一组级配,以抗裂性能作为筛选级配的依据,再通过高温性能、低温性能与水温性能进一步优选。结果表明:抗裂型级配在 SCB 试验下的断裂能优于 AC-13 中,不同失效概率下的抗裂型级配的等效疲劳寿命至少可提升 22%;抗裂型级配的高温性能试验结果趋势一致,动稳定度均低于 AC-13 中,但抗剪强度部分优于 AC-13 中;随着抗裂型级配细料含量与油石比的增加,表现出低温性能与水稳性能均优于 AC-13 中。通过抗裂性能与路用性能的优选,确定了抗裂型面层级配的范围。

关键词: AC-13;抗裂性能;级配;路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)03-0209-04

0 引言

超载与道路大修日益频繁的背景下,尽管研究者提出了诸多提升面层功能的设计方法,如采用 SMA 提高道路的抗渗水性能、抗车辙性能与抗滑性能,对于在旧水泥路面加铺沥青面层的道路,反射裂缝依然普遍存在。为了解决这个问题,研究者提出了两种解决方案,一是应力吸收层,另一个是裂缝衰减式沥青混合料(CAM)。2000 年以后美国对后者就有较为系统的研究,而国内主要以设置应力吸收层提高基层的抗裂性,而在面层沥青的抗裂性研究还不多。吴志勇研究了 CAM 级配的设计方法与路用性能,验证了 CAM 级配的良好路用性能与抗开裂性能^[1-2]。高占华研究了 CAM 级配与其他两种常用应力吸收层级配的路用性能,发现 CAM 的抗裂性能和疲劳性能优于其他两种级配,并且能兼顾其他路用性能^[3]。以上研究的抗裂型级配最佳油石比往往在 6.5%以上,常规 CAM 级配公称最大粒径为 9.5 mm,鉴于此本文以抗裂性能优选 AC-13 级配。

1 抗裂级配初定

1.1 抗裂型级配的特征

根据美国德克萨斯州沥青混合料抗裂研究的结果以及在美国实体工程确定的最优级配见表 1、表 2。

从表 2 可知,相对于 AC-13,抗裂型级配在 0.3 mm 以下以及 9.5 mm 以上较少,而 0.3~9.5 mm 部分高

于 AC-13 级配,说明同为密级配沥青混合料,AC-13 偏粗,而抗裂型级配偏细。参照美国联邦公路管理局(FHWA)和国家沥青路面管理局(NAPA)以及我国公路沥青路面施工技术规范,表 2 给出了粗、细级配混合料划分标准^[4]。

已有研究表明,空隙率越大则抗裂性能越差,因此在兼备以上要求的基础上,调整 AC-13 的级配以提高抗裂性。

1.2 级配初定

据此由粗至细初步拟定 6 种抗裂沥青混合料级配,拟定代号为抗裂 13-1~6,见表 3。

抗裂型 AC-13 级配采用壳牌高弹性模量改性沥青,技术指标见表 4。粗集料均为石灰岩碎石,细集料为石灰岩机制砂,矿粉为石灰岩矿粉,技术指标符合规范要求。

将拟定的 6 种级配与 AC-13 中值级配进行马歇尔试验,试验结果见表 5。

2 基于路用性能的级配优选

2.1 抗裂性能

2.1.1 断裂能

(1)评价方法

评价沥青混合料抗裂性能的很多,尤其以断裂学评价方法最符合实际,而半圆弯曲试验(SCB 试验)操作简单,试件来源广,是近年来评价沥青混合料开裂性能的主要方法^[5]。相比小梁弯曲试验,更易于在现场取样,试验结果离散性小,可降低相关的检测成本、提高研究效率。因此采用基于 SCB 试验的断裂能评

收稿日期: 2022-05-03

作者简介: 黄雪峰(1973—),男,学士,高级工程师,从事道路工程研究工作。

表 1 沥青混合料面层级配

混合料类型	下列筛孔(mm)通过质量百分率 /%								
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
CAM-10	100	95-100	85-95	70-85	50-70	25-30	10-20	4-10	3-6
AC-13	100	90-100	68-85	38-68	24-50	10-28	7-20	5-15	4-8
AC-13 中值	100	95	76	53	37	19	14	10	6

表 2 级配粗、细界限

级配界定	界定筛孔 /mm	下列最大公称粒径(mm)下对应筛孔通过率 /%				
		26.5	19	16	13.2	9.5
粗	2.36	—	<35	<38	<40	<45
	4.75	<40	—	—	—	—
细	2.36	—	>35	>38	>40	>45
	4.75	>40	—	—	—	—

表 3 拟定的抗裂沥青混合料级配

混合料类型	下列筛孔(mm)通过质量百分率 /%								
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13 中	100	95	76	53	37	19	14	10	6
抗裂 13-1	100	95	85	70	50	25	11	4	3
抗裂 13-2	100	95	85	73	53	26	12	5	3
抗裂 13-3	100	95	85	76	55	27	13	5	3
抗裂 13-4	100	95	85	79	57	27	14	5	4
抗裂 13-5	100	95	85	82	61	28	16	6	5
抗裂 13-6	100	95	85	84	65	28	18	7	5

表 4 高弹性模量改性沥青技术指标

实测项目	测定值	规范值
25℃针入度(0.1 mm)	51	≥40
5℃延度 /cm	33	≥20
软化点 /℃	83	≥60
15℃密度 /(g·cm ⁻³)	1.033	实测记录
针入度指数	0.29	≥+0.2
闪点 /℃	298	≤230
溶解度 /%	99.6	≤99.0
25℃弹性恢复 /%	92	≥70
135℃动力粘度 /(Pa·s)	1.6	≥3.0
沥青薄膜加热试验(163℃,5 h)	质量损失 /%	≤±1.0
	5℃延度 /cm	≤15
	25℃针入度比 /%	≤65

表 5 马歇尔试验结果

代号	最佳油石比 /%	毛体积密度 /(g·cm ⁻³)	空隙率 /%	饱和度 /%	VMA/ %	马歇尔稳定度 / kN	流值 / mm
AC-13 中	4.9	2.521	3.9	72.73	14.3	12.13	3.36
抗裂 13-1	5.9	2.447	4.2	77.78	18.9	12.27	2.93
抗裂 13-2	6.0	2.453	4.2	77.54	18.7	12.41	2.85
抗裂 13-3	6.1	2.456	4.1	77.96	18.6	12.53	2.77
抗裂 13-4	6.1	2.449	4.0	78.26	18.4	12.39	2.83
抗裂 13-5	6.2	2.442	3.9	78.69	18.3	12.21	2.87
抗裂 13-6	6.3	2.439	3.8	79.01	18.1	12.28	2.92

价抗裂性能。

(2)SCB 试验

试验在 -10℃进行,加载速率为 5 mm/min,采用具有伺服机制的 UTM 试验机开展试验。为了减小平行试件的误差,试件直径为 150 mm^[6]。为了防止切口过大造成应力集中^[7],切口尺寸参照 AASHTO TP124,长度和宽度分别为 15 mm 和 1.5 mm,试件底部支撑点间距取 120 mm。SCB 试验模型及试验方法见图 1。



图 1 半圆弯曲试验试件

抗拉强度按式(1)计算。

$$\sigma = \frac{12 Pa}{t \phi^2} \tag{1}$$

式中: P 为极限荷载,N; a 为支座间距,mm,一般 $a=0.4 \Phi$; t 为试件厚度,mm,一般选为 50 mm。

(3)断裂能计算方法

基于 SCB 试验以线弹性断裂力学的方法,用断裂能可以评价沥青混合料的抗裂性能。计算见式(2):

$$G_f = \frac{1}{t(r-a)} \int_0^{u_{final}} P du \tag{2}$$

式中: u_{final} 为试件破坏时对应的加载点位移; t 为试件厚度,mm; r 为试件半径,mm; a 为 SCB 切口深度,mm; P 为破坏荷载,kN。

将拌和好混合料分别进行长、短期老化,参照沥青混合料试验规程进行老化试验设计,短期老化温度为 135℃,时间为 4 h,长期老化温度为 85℃,时间为 48 h。为了降低试验结果的离散型,将老化后的混合料制成直径 100 mm、厚度为 50 mm 的半圆形试件,裂缝开口高度 10 mm,开口宽度 2.5 mm^[8]。试验结果见表 6。

由表 6 可知,AC-13 中与抗裂型级配混合料均

变现为长期老化断裂能小于短期老化的断裂能,这是因为老化加速了沥青混合料的开裂进程。随着细料组分的增加,抗裂型级配断裂能呈先增大后减小趋势,而总体抗裂性能优于 AC-13 中。

2.1.2 疲劳寿命

疲劳试验仪器为 MTS-810 伺服仪器,试验温度为 15℃,加载频率为 10 Hz,加载波形为正弦波,应力比取 0.45。小梁尺寸为 40 mm×40 mm×250 mm^[9]。考虑到沥青混合料的不均匀性,且受温度等试验条件等因素影响,同一应力水平下的疲劳试验结果仍有较大离散性,采用 Weibull 分布处理后一定失效概率下的等效疲劳寿命进行评价^[10]。试验结果见表 7。

由表 7 可知,在 0.45 的应力水平下,不同失效概率下的抗裂型级配的疲劳寿命均高于 AC-13 中,在断裂能高于 AC-13 中的情况下,疲劳性能至少提升 22%。

2.2 高温性能

高温性能采用车辙试验与单轴贯入试验,试验结果见表 8。

表 6 不同老化时间下断裂能

老化时间 /h	不同代号下的断裂能/(N·mm)						AC-13 中
	抗裂 13-1	抗裂 13-2	抗裂 13-3	抗裂 13-4	抗裂 13-5	抗裂 13-6	
4	7 849.3	8 077.6	8 222.3	8 416.6	8 794.1	8 539.2	8 106.7
48	6 794.2	6 822.7	7 198.3	7 375.3	7 677.4	7 549.1	7 129.3

表 7 等效疲劳寿命

失效概率 /%	各级配在不同失效概率下的等效疲劳寿命						AC-13
	抗裂 13-1	抗裂 13-2	抗裂 13-3	抗裂 13-4	抗裂 13-5	抗裂 13-6	
5	498	513	537	558	572	601	421
50	831	876	935	992	1 056	1 194	601

表 8 高温性能测试结果

级配类型	抗裂 13-1	抗裂 13-2	抗裂 13-3	抗裂 13-4	抗裂 13-5	抗裂 13-6	AC-13
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	3 224	3 424	3 591	3 424	3 370	3 298	4 234
抗剪强度/MPa	0.416	0.442	0.453	0.472	0.492	0.466	0.475

由表 8 可知,抗裂型级配的动稳定度和抗剪强度的变化趋势一致,动稳定度总体小于 AC-13 中是因为 2.36 mm 筛孔通过率的限制导致整体偏细。随着细料进一步增加,油石比随之增加,高温性能逐渐减低。而抗剪强度并未整体低于 AC-13 中,说明抗剪强度会受到公称最大粒径和油石比的影响,因此抗裂型级配不宜采用较高的油石比。

2.3 低温性能

低温性能采用低温弯曲试验下小梁的性能进行评价,试验结果见表 9。

由表 9 可知,随着细料的增加,抗裂型级配的抗弯拉强度随之增加,但始终小于 AC-13 中,而 AC-13 中的弯拉应变却小于抗裂型级配,这是因为 AC-13 中细料相对偏少,较大的颗粒缺乏沥青砂浆

表 9 不同混合料的低温试验结果

混合料类型	抗弯拉强度 /MPa	最大弯拉应变 / $\mu\epsilon$
抗裂 13-1	8.12	3 873
抗裂 13-2	8.26	3 992
抗裂 13-3	8.56	4 105
抗裂 13-4	8.85	4 258
抗裂 13-5	9.68	4 498
抗裂 13-6	9.31	4 692
AC-13 中	10.65	3 314

的粘结。

2.4 水稳性能

水稳定性采用残留稳定度和冻融劈裂, 试验结

表 10 不同混合料的水稳性能试验结果

级配类型	抗裂 13-1	抗裂 13-2	抗裂 13-3	抗裂 13-4	抗裂 13-5	抗裂 13-6	AC-13
浸水残留稳定度 /%	88.4	88.5	90.6	92.3	90.2	89.6	88.5
冻融劈裂强度 /%	86.3	85.7	84.7	84.6	85.3	83.2	87.0

表 11 抗裂型面层级配

尺寸筛孔 /mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率 /%	100	95	85	73-82	53-61	26-28	12-16	5-6	3-5

4 结 语

(1)根据级配设计的理论和方法以及抗裂型级配的特点初步拟定了一组级配;

(2)抗裂性能的对比中,在老化加速了沥青混合料开裂的情况下,所有级配变现为长期老化断裂能小于短期老化的断裂能,而级配总体抗裂性能优于 AC-13 中,不同失效概率下的抗裂型级配的疲劳寿命均高于 AC-13 中,在断裂能高于 AC-13 中的情况下,疲劳性能至少提升 22%,可见通过优选级配范围可以提高面层的抗裂性能。

(3)其他路用性能验证中,高温性能试验结果趋势一致。随着抗裂型级配细料进一步增加,油石比随之增加,低温性能与水稳性能均优于 AC-13 中,因此为提高抗裂性宜根据高温性能优选,并且油石比不宜过高。

(4)通过抗裂性能与路用性能的优选,确定了抗裂型面层级配的范围。

果见表 10。

由表 10 可知,AC-13 中与抗裂型级配的残留稳定度均满足施工规范规定面层沥青混合料残留稳定度不小于 85%与残留强度比不小于 80%的要求。由于抗裂型级配偏细,油石比较高,矿料表面裹覆了较厚的沥青膜导致浸水残留稳定度总体高于 AC-13 中。

3 抗裂 CAM 级配

经抗裂性能、路用性能与 AC-13 中的比较,宜采用 CAM 级配中细料的上限。根据路用性能的比选,以高温性能较高的抗裂 13-2~5 的优选抗裂型级配范围,经优选的抗裂型面层级配见表 11。

参考文献:

[1] 吴志勇.缓裂沥青混合料设计研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.
[2] 吴志勇,舒富民,李闯民.CAM 沥青混合料路用性能分析[J].交通运输工程与信息学报,2013,11(3):82-86.
[3] 高占华.应力吸收层 CAM 的级配特征与性能研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(3):141-143,146.
[4] 严二虎,沈金安.2001 年版美国 HMA 路面沥青混合料类型选择指南简介[J].中外公路,2003,23(2):5.
[5] 范世平.沥青混合料 SCB 宏观断裂及自愈合性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
[6] 冯德成,崔世彤,易军艳,等.基于 SCB 试验的沥青混合料低温性能评价指标研究[J].中国公路学报,2020,33(7):50-57.
[7] 付欣,刘秋,陈拴发.基于 ANSYS 的带切口半圆弯曲试验参数分析[J].公路交通科技,2012,29(2):13-17.
[8] 陈巧巧,凌天清,何立.基于 SCB 试验的沥青混合料抗裂性能影响因素研究[J].公路交通技术,2018,34(4):37-41.
[9] 刘峰,李宇峙,黄云涌.沥青混合料疲劳试验中两种控制模式的选择分析[J].中外公路,2005,25(4):192-195.
[10] 蒋应军,赵占林,李明杰.两种方法设计沥青混合料的疲劳特性[J].江苏大学学报(自然科学版),2016,37(4):473-478.