

橡胶沥青混合料密实度影响因素试验分析

李文赛,徐文远

(东北林业大学 土木工程学院,黑龙江 哈尔滨 475400)

摘要:通过马歇尔击实试验对橡胶沥青混合料的胶粉参量、集料特性、击实方法等方面展开研究,分析其最大蜡封干密度、油石比和空隙率,得出影响橡胶沥青混合料密实度的因素及变化规律。试验结果表明:胶粉掺量对混合料密实度影响很小;对于龙嫩公路用混合料级配,通过优化级配来提高密实度的提升空间不大;集料吸水率对空隙率影响明显,吸水率增加1%时,混合料空隙率增大约2%;相同的马歇尔试件100次击实比75次击实空隙率减小了31%,改变击实方法空隙率仅改变了1.6%。

关键词:道路工程;橡胶沥青混合料;密实度;吸水率;马歇尔击实试验

中图分类号:U414.1

文献标识码:A

Analysis of the density of asphalt rubber stress testing

LI Wensai ,XU Wenyuan

(College of Civil Engineering, Northeast Forestry University , Heilongjiang Harbin 150040,China)

Abstract: Marshall compaction test were carried out for crumb rubber asphalt mixture parameters, aspects, aggregate properties, compaction methods. The wax seal maximum dry density, porosity and aggregate ratio were analyzed, derived affect rubber asphalt variation factors and compactness. The results show that the powder content on the density of the mixture is very small; For mixture gradation using for Long - nen highway, improvement room for the density by optimizing is not graded; Aggregate water absorption effects obviously on the porosity. When water rate increases by 1%, the mix porosity increases by about 2%; the same Marshall specimen with 100 times compaction times reduces the porosity of 31% than 75 times compaction; the porosity changes only by 1.6% through changing the method of compaction.

Key words: road engineering; rubber asphalt; density; water absorption

近些年来,国内很多学者从沥青混合料的矿料组成结构出发,研究了混合料密实状态的形成原理。张肖宁^[1]首先提出沥青混合料体积设计法;沙庆林^[2]提出采用各档矿料的毛体积密度代替原来的表观密度,进行矿料体积指标的计算,使计算更合理。这两种设计方法总体上设计思想简单易懂,但关于橡胶沥青混合料其它性质以及施工方法对密实度的影响尚需深入研究。本试验以龙嫩公路为实体工程,对影响橡胶沥青混合料密实特性的橡胶沥青掺量、集料特性、成型方法等三个方面进行试验分析。

1 试验原材料

1.1 基质沥青

本试验采用的基质沥青为东北地区常用的盘锦产90#道路沥青,其基本性能指标完全符合规范要求。

1.2 集料

在集料与沥青混合料拌合时会吸收一部分沥青进入石料内部,使得混合料中的自由沥青减少,也降低了有效沥青含量^[3]。混合料吸水率的大小

对沥青的吸附有很大影响,因此本次试验分别对龙嫩公路用东北地区集料和北京地区石灰岩进行吸水率检测,并对两种石料分别进行试验分析。吸水率检测如表1所示。

1.3 橡胶沥青

本次试验橡胶粉采用细度为40目的橡胶颗粒。采用 $(185 \pm 5)^\circ\text{C}$, 250 r/min 转速的强力搅拌器将沥青与橡胶粉混合搅拌 90 min^[4]。根据该工艺配制了四种不同胶粉掺量的橡胶沥青,掺量分别为18%、20%、22%以及24%,橡胶改性沥青常规指标检测结果均满足规范要求。

1.4 级配设计

本试验采用幂函数级配设计,其中4.75 mm筛孔通过率分别为40%、35%、30%、25%;0.075 mm通过率均为7%的四种配合比A、B、C和D。通过马歇尔实验,调整空隙率并对设计级配进行如下调整:4.75 mm筛孔通过率改为30%,0.075 mm筛孔通过率改为8%^[5]。调整后的试验级配见表2。

2 试验项目

2.1 级配类型影响

试验材料采用橡胶粉目数为40目,且参量为22%的橡胶沥青;集料采用龙嫩公路用材料。分为A、B、C、D等四种幂函数级配进行马歇尔击实试验,沥青混合料油石比分别为4.8%、5.2%、5.6%、6.0%、6.4%,试验结果汇总见表3。

由表3分析得出,B、C级配的最佳油石比较小,级配C的空隙率和矿料间隙率均达到最小值。但空隙率最小值与最大值仅相差平均值的5.4%,矿料间隙率相差平均值的7.8%,波动幅度较小。对密实度的影响因素还需其他试验进行分析。

矿料间隙率VMA、粗集料矿料间隙率VCA、毛体积干密度 $G_{g,m}$ 是表示沥青混合料紧密状态的指标。其计算公式如下。

$$VMA = 1 - \frac{G_m}{\gamma_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_a},$$

$$VCA = 1 - \frac{G_m}{\gamma_{sb,ca}} \times \frac{100}{100 + P_a} \times P_{ca}, G_{g,m} = G_m \times \frac{100}{100 + P_a}.$$

根据公式可以看出对于一个固定级配的混合料,其粗集料毛体积密度、粗集料的比例以及矿料的毛体积密度都相对固定^[6]。所以在计算VMA、

表1 东北地区集料与北京石灰岩吸水率检测结果

Tab.1 Test results of water absorption of Northeast

Region aggregate and Beijing limestone

粒径/mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3
吸水率/%							
东北地区集料	1.47	1.63	2.00	2.46	2.70	2.81	2.97
北京地区石灰岩	0.40	0.60	0.64	0.76	1.74	1.29	1.61

表2 调整后的试验级配

Tab.2 Adjusted test grading

级配类型	以下筛孔的通过百分率/%									
AR-AC16	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
A	100.0	84.2	62.1	30.0	29.8	22.3	16.8	12.5	9.4	8.0
B	100.0	83.5	60.9	30.0	26.7	20.4	15.7	12.0	9.2	8.0
C	100.0	82.6	59.6	30.0	23.5	18.4	14.5	11.4	8.9	8.0
D	100.0	81.6	58.1	30.0	20.2	16.3	13.3	10.7	8.7	8.0

表3 不同级配类型的马歇尔击实试验结果汇总表

Tab.3 Test results of Marshall Compaction of different types

级配类型	最大蜡封干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	最佳油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率/%
A	2.178 3	6.2	9.5	20.06
B	2.163 1	5.9	9.3	20.47
C	2.128 5	5.9	9.0	19.71
D	2.120 7	6.1	9.2	21.31

VCA 和 $G_{g,m}$ 时这些参数可以认为是常数,从公式中也可以发现表征混合料紧密程度的三个体积指标互相等效^[7]。本试验采用粗集料捣实 VCA 为参数,考察混合料的紧密程度。同时本试验在原先幂函数的基础上增加指数函数和对数函数两种级配类型(4.75 mm 筛孔通过率均为 30%);另外,根据集料筛分情况,增加 10~15 mm 和 5~10 mm 不同比例的矿料级配,共计 8 种矿料级配。并对这 8 种矿料级配进行 VCA 捣实试验。各级配粗集料捣实 VCA 对比图如图 1。

根据 VCA 的试验结果对比图可以看出,针对这种矿料,粗集料级配在 2:1 左右,VCA 值最小;在 1:3 时,最大相差不足 1.2%,仅为 VCA 平均值的 2.6%。因此对于龙嫩公路用的幂函数级配类型,通过级配调整对集料间隙率影响不大,也就是说对混合料的密实度影响不大。

2.2 胶粉掺量的影响

基于 C 级配对胶粉掺量对密实度的影响进行试验分析。采用马歇尔击实试验分别对油石比(质量百分比)为 4.8%、5.2%、5.6%、6.0%、6.4%,胶粉参量为 18%、20%、22%、24% 进行试验分析,实验结果汇总见表 4。

由表 4 分析得出,在相同的级配类型以及相同的试验条件下,改变胶粉掺量的沥青混合料空隙率在 9.1%~9.5% 范围内,波动幅度较小。所以胶粉掺量对橡胶沥青混合料的密实特性影响较小,1% 的胶粉增量仅能使空隙率改变 0.1% 左右。

2.3 集料性质的影响

为进一步说明集料性质对橡胶沥青混合料密实特性的影响,本试验方案增加北京地区石灰岩对比试验。试验采用 C 级配类型,22% 胶粉掺量的橡胶沥青。本次试验采用三种试验方案:一是北京地区粗集料+龙嫩公路用细集料(Ⅰ);二是龙嫩公路用粗集料+北京地区细集料(Ⅱ);三是龙嫩公路用粗集料+龙嫩公路用细集料(Ⅲ),试验结果汇总见表 5。

由表 5 分析得出,采用低吸水性集料可以显著的提高橡胶沥青混合料的密实性,空隙率下降到 5% 以下。同时,采用东北地区安山岩做粗集料时空隙率较大,达到了 9%。可以推测在相同油石比下,采用北京地区石灰岩粗集料的混合料空隙率将远远小于东北地区安山岩用粗集料的混合料空隙率。

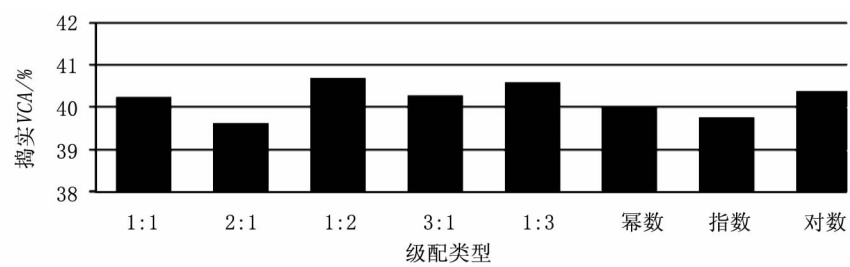


图1 粗集料级配对应的集料间隙率对比
Fig.1 The gradation gap contrast ratio of coarse aggregate

表 4 不同胶粉掺量的沥青混合料马歇尔试验结果汇总

Tab.4 Marshall asphalt test results of different crumb rubber content summary

胶粉掺量/%	最大蜡封干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	最佳油石比/%	紧密状态空隙率/%
18	2.138 7	6.1	9.3
20	2.145 1	6.2	9.1
22	2.128 5	5.9	9.0
24	2.135 3	6.2	9.5

表 5 不同性质集料马歇尔击实试验结果

Tab.5 Marshall compaction test results of different aggregates types

材料组成	最大蜡封干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	最佳油石比/%	紧密状态空隙率/%
Ⅰ	2.264 3	6.1	4.7
Ⅱ	2.193 3	6.0	8.7
Ⅲ	2.128 5	5.9	9.0

表6 设定油石比对应的有效油石比

Tab.6 Effective asphalt ratios corresponding for designed asphalt ratios

设定油石比/%	4.8	5.2	5.6	6	6.4
考虑吸水率与沥青吸收系数有效油石比	3.87	4.28	4.68	5.08	5.49
沥青饱和度反算的有效油石比	3.71	4.16	4.6	5.02	5.43

表7 不同击实功、击实方式的试验结果

Tab.7 Test results with different compaction energy and compaction way

击实方式	击实次数	最大蜡封干	试验项目	空隙率/%
		密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	油石比/%	
马歇尔击实	75	2.128 5	5.9	9.0
	100	2.191 6	5.8	6.2
旋转压实	100	2.185 4	5.9	6.1

针对东北地区的岩石吸水率较高的特点。有必要对其吸附沥青量进行考虑,并折算有效沥青含量,或有效油石比。计算有效油石比一种方法是根据矿料吸水率计算矿料的沥青吸收系数,进而计算有效沥青含量;另一种方法是根据沥青混合料的体积参数、沥青密度,反算有效沥青含量^[8]。根据两种方法分别进行试验分析,试验采用C级配,试验中矿料毛体积密度为 $2.668 5 \text{ g/cm}^3$ 、矿料表观密度为 $2.796 4 \text{ g/cm}^3$ 、合成吸水率为 1.714% 、加权系数C为 $0.527 7$ 、矿料有效密度为 2.736 g/cm^3 、沥青吸附率为 $0.961 2\%$ 。在设定的油石比下分别计算两种情况下对应的有效油石比,其结果如表6。

根据表6可以看出,两种算法折算的混合料中有效沥青含量均较低,导致混合料中缺乏足够的有效沥青填充混合料中的空隙。由于沥青吸附率几乎达到 1% ,这意味着吸附沥青过多、自由沥青过少。混合料 1% 的空隙率,大约相当于 5 cm^3 。填充 1 cm^3 的体积需要约 1 g 的沥青。有效沥青减少约 1% 的油石比相当于减少 11.4 g 沥青(矿料重 1140 g),多增加约 10 cm^3 空隙体积,混合料的空隙率增加约 2% 。因此采用高吸水率的石料会增大空隙率。

2.4 击实功及成型方式的影响

当前马歇尔击实和旋转压实是沥青混合料配合比设计中采用的主要方法,对于同一种混合料,马歇尔击实试件以冲击成型为主,旋转压实以揉搓成型为主^[3]。两种试验方法都在一定程度上模拟了混合料现场压实成型状态,从成型方法上难以说明孰优孰劣^[9]。本试验分别进行75次和100次马歇尔击实试验,和100次旋转压实试验进行

对比分析。本次试验级配选用C级配,沥青采用胶粉掺量为 22% 的橡胶沥青,龙嫩公路用矿料,试验结果如表7所示。

由表7分析得出,增加压实功可以显著改善沥青混合料的密实特性,马歇尔击实试验中,100次击实试件与75次击实试件相比空隙率减小了 31% ;最大蜡封干密度增大了 $0.063 1 \text{ g/cm}^3$ 。但在相同的压实功下,不同的压实方式对空隙率的改变较小,仅仅改变了 1.6% 。可见不论是冲击成型还是揉搓成型对于橡胶沥青混合料的密实特性影响不大。

3 结论

1)在相同的级配类型下,级配调整对混合料的密实度影响不大。

2)胶粉掺量对橡胶沥青混合料的密实特性影响不大,其影响可以忽略。

3)在相同油石比下,粗集料的吸水率较低时混合料密实度较大,粗集料吸水率每减小 1% ,空隙率可减小 2% 左右。

4)增大击实功可以显著的提高混合料的密实性效果,但不同的成型方式对密实度影响不大。

参考文献:

- [1]张肖宁,王绍怀,吴旷怀,等. 沥青混合料组成设计的CAVF法[J]. 公路,2001(12):17-21.
- [2]沙庆林. 多碎石沥青混凝土SAC系列的设计和施工[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [3]王旭东,张 蕾. 基于骨架嵌挤结构原理的沥青混合料均衡设计方法[M]. 北京:人民交通出版社,2014.
- [4]张舒畅,付建峰,王选仓. 橡胶颗粒沥青路面除冰效果及影响因素分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(4):21-24.

(下转第85页)

表3 背水坡各计算工况下海堤最小稳定系数
Tab.3 Minimum stability coefficient of each calculation conditions of downstream slope

工况	考虑因素	极限平衡法下稳定系数	强度折减法下稳定系数
工况1	多年平均高潮位+自重+降雨+地震力	1.422	-
工况2	20年一遇高潮位+自重+降雨	1.764	-
工况3	20年一遇高潮位+自重+降雨+地震力	1.316	-
工况4	历史最高潮位+自重+降雨	1.637	-
工况5	历史最高潮位+自重+降雨+地震力	1.197	1.200

通过表2、表3可以看出,海堤迎水坡与背水坡在上述工况下均是稳定的。摩根斯坦-普赖斯法得出的稳定系数与强度折减法得出的稳定系数稍有不同,但整体吻合。

5 结论

1)不同工况下,此海堤迎水坡和背水坡均是安全稳定的。相同工况下背水坡相比迎水坡稳定性好,这是由于背水坡不直接跟海平面接触,受到潮位和波浪的影响小。

2)潮位越高,其落潮后产生的渗流力越大(海堤内的水来不及排出),越容易使得堤身产生滑动破坏。潮位快速下降时,会在堤身内产生巨大的渗流力,越在坡脚位置,作用力越强,因此坡脚处极容易发生局部的破坏。

3)降雨影响了堤内孔隙水压力的大小和分布,即改变了浸润线的形状,增加了渗流力的作用,同时降雨会将海堤土逐渐由非饱和状态转化为饱和状态,从而增加了托浮力,导致了海堤破坏的发生。

4)地震使得海堤产生动荷载,使海堤土体处于反复的瞬时加荷和卸荷状态,可产生瞬时拉应力,从而导致海堤破坏的发生。其他条件相同状况下,当有地震荷载作用时,海堤的稳定系数最小。

5)波浪对于海堤抗滑稳定性的影响是一个长效机制,其冲刷、掏蚀等破坏影响需要数年才能看出,总体来看波浪力对于海堤的影响是破坏性的。

参考文献:

- [1]陈吉余.中国围海工程[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [2]林奇,王伟.潮位涨落过程中海堤渗流及稳定性分析[J].人民长江,2011(2):83-86.
- [3]蔡正银,陈海军,张桂荣,等.波浪荷载作用下滩海人工岛工程稳定性评价[J].水力学报,2007(10):220-225.
- [4]邱大洪.海岸和近海工程学科中的科学技术问题[J].大连理工大学学报,2000(11):631-637.
- [5]谢清海.波浪作用与海堤外护坡适应型式分析[J].水利科技,2008(2):22-24.
- [6]Morgenstern N R, Price V E. The analysis of the Stability of General Slip Surfaces[J]. Geo-technique, 1965, 15(1):36-51.
- [7]陈祖煜.土坡稳定性分析通用条分法及其改进[J].岩土工程学报,1983,5(4):11-27.
- [8]王庆乐,周彬.基于强度折减法对水电站坝头边坡稳定性分析[J].河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(1):33-37.
- [9]何欢,付成华.强度折减法在边坡稳定性分析中的应用[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(3):31-33.
- [10]GB18306-2001,中国地震动参数区划图[S].
- [11]袁俊平,韩春雷,丁巍,等.膨胀土边坡土工膜防护方案试验研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2015,32(4):6-10.

(责任编辑 王利君)

(上接第72页)

- [5]刘斌清,宋柳,王选仓.矿料级配对级配沥青稳定碎石性能影响研究[J].中外公路,2012(2):257-260.
- [6]王旭东,张蕾.基于最紧密嵌挤状态的沥青混合料油石比确定方法[C]//中国公路学会道路工程分会理事会换届会议暨第四届(2010)国际路面养护技术论坛,2010.
- [7]张晨晨.细集料干涉对沥青混合料性能的影响[D].重庆:重庆交通大学,2012.

- [8]杨瑞华,李宇峙,黄云涌.集料吸水率对沥青混合料最佳油石比的影响[J].长沙交通学院学报,2006(4):52-55.
- [9]孙长军.成型方法对粗集料断级配沥青混合料配合比设计的影响[C]//中国公路学会道路工程分会理事会换届会议暨第四届(2010)国际路面养护技术论坛,2010.

(责任编辑 王利君)