

文章编号:1674-2869(2015)09-0057-05

水泥稳定碎石基层抗冲刷性能的试验研究

黄俭才,王 峰^{2*},熊永松¹,徐 浩¹,胡国祥²

1.湖北省荆州市公路管理局,湖北 荆州 434020;

2.武汉工程大学交通研究中心,湖北 武汉 430074

摘 要:采用自行研制的冲刷仪,以 30 min、18 000 次的冲刷量作为代表值,开展了骨架密实结构和悬浮密实结构两种不同结构类型的水泥稳定碎石在 7 d、14 d、28 d 龄期的冲刷试验。结果表明,两种结构类型的水泥稳定碎石冲刷量随水泥用量增加总体呈下降趋势,且骨架密实结构的抗冲刷性能好于悬浮密实结构。对于骨架密实结构,水泥用量由 3.5%增加到 4.0%时,冲刷量下降缓慢;水泥用量由 4.0%增加到 4.5%、5.0%时,冲刷量下降明显。对于悬浮密实结构,水泥用量由 3.5%增加到 4.0%、4.5%、5.0%时,冲刷量下降较缓慢。在养生期 28 d 下,两种结构类型的水泥稳定碎石冲刷量均随冲刷时间增长而增大,初期 15 min 内冲刷量增加较快,而后逐渐减弱,达到 25 min 后趋于平缓,规范中采用 30 min 的冲刷量评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能是合理的。为节省试验时间,也可用初期 15 min 内的平均冲刷速率评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能。

关键词:水泥稳定碎石基层;抗冲刷试验;骨架密实结构;悬浮密实结构;抗冲刷性能

中图分类号:U414

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.09.010

0 引 言

水泥稳定碎石具有强度高、刚度大、稳定性好、造价低廉等特点,是目前乃至今后相当长一段时期内各级公路主要的基层形式。大量的路况调查表明,目前我国许多路面使用寿命严重不足,早期病害十分普遍。其中,水泥稳定碎石基层抗冲刷性能不足是主要原因之一^[1],例如水泥混凝土路面的断板、错台、唧泥等病害,沥青路面的裂缝、唧浆、沉陷等破坏。虽然《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)提到基层应具有足够的抗冲刷能力^[2],《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009)介绍了无机结合料稳定材料抗冲刷试验方法^[3],但都没有给出抗冲刷性能的控制指标^[4],导致的结果是只重视水泥稳定碎石基层的强度,忽视对其抗冲刷性能的控制。

本研究采用自行研制的冲刷仪,对骨架密实与悬浮密实两种不同结构类型的水泥稳定碎石进行冲刷试验,并对比两者在不同时段以及不同水泥用量下的冲刷试验结果,从而分析出它们之间的影响规律,进而评价水泥稳定碎石基层的抗冲刷性能。

1 水泥稳定碎石基层配比设计

1.1 水泥稳定碎石基层级配设计

对骨架密实结构的级配设计,借鉴沙庆林院士提出的 SAC 系列矿料级配设计思想^[5],粗细集料的分界线统一为 4.75 mm,做矿料级配时,采用三个控制点。第一个控制点是公称最大粒径(26.5 mm)的通过率,设定为 95%;4.75 mm 筛孔的通过率为第二个控制点,设定为 25%;第三个控制点为 0.075 mm 筛孔的通过率,设定为 3%。利用这 3 个控制点,可以计算得到一条级配曲线,以这条曲线作为参照,根据实际石料筛分结果,找到一条合适的级配曲线。

试验原材料:①水泥采用湖北宜昌华新水泥厂生产的 32.5 普通硅酸盐缓凝水泥;②粗集料为颗粒形状良好、坚硬的石灰岩,产于湖北荆门;③细集料为石灰岩石屑。经检验,试验所用水泥、粗细集料各项指标均满足《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)^[6]要求。通过 SAC 设计方法得到粗细集料各个筛孔的通过率如表 1 所示。骨架密实结构(GM)与悬浮密实结构(XM)各自的合成级配如表 2 所示。

收稿日期:2015-09-06

基金项目:湖北省公路管理局科技项目(鄂路计[2014]297 号)

作者简介:黄俭才(1961-),男,湖北天门人,高级工程师。研究方向:公路建设与管理。*通信联系人

表 1 基于 SAC 设计方法得到的粗细集料各个筛孔的通过率

		通过下列筛孔(mm)的质量分数/%											
筛孔尺寸	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SAC-30	100	95	73.4	64.2	55.3	42.8	25	17.4	12.3	8.7	6.1	4.3	3

表 2 骨架密实结构与悬浮密实结构的合成级配

级配编号	各筛孔(mm)通过率/%						
	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
GM	100	72.4	43.0	23.2	16.7	9.0	4.3
XM	100	89.0	64.5	32.5	22.8	12.2	5.9

1.2 最佳含水率和最大干密度的确定

参照《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)中对中粒土和粗粒土水泥用量的建议范围^[6],并结合以往的工程经验,采用 3.5%、4.0%、4.5%、5.0% 四种水泥用量. 按照《公路工程无机结

合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009)^[3] 的击实试验方法,采用丙法分别对水泥用量为 3.5%、4.0%、4.5%、5.0%的这两种级配进行重型击实,测得每种配合比的最佳含水率 ω_0 与最大干密度 ρ_{max} . 试验结果列于表 3 中.

表 3 击实试验结果

		级配编号							
		GM				XM			
水泥用量/%		3.5	4.0	4.5	5.0	3.5	4.0	4.5	5.0
最佳含水率/%		5.30	4.80	4.80	4.80	5.40	5.56	5.50	5.43
最大干密度/g·cm ⁻³		2.424	2.474	2.493	2.560	2.395	2.459	2.475	2.475

2 抗冲刷性能试验

2.1 冲刷仪的研制

对基层材料的抗冲刷性能,国外的试验方法主要有旋转刷损试验法和旋转剪切试验法,但两者与实际的有压水流冲刷作用有很大差异^[7]. 国内主要采用的试验方法有振动台试验法和利用 MTS (材料试验系统)施加冲击力的冲刷试验法^[8-9],但难以反映实际的冲刷原理. 按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009)^[3]规定的参数,本课题组自行研制了一种基层材料冲刷仪,如图 1 所示.

本冲刷试验仪的电机通过一系列传动装置,带动冲刷头上下往复运动产生激振力,在激振力的作用下产生动水压力对试件顶面进行冲刷;当冲刷头快速上升时,在试件顶面产生泵吸作用,将表面的细料带出,从而能较真实地模拟车轮荷载作用在路面上时动水压力对基层顶面的冲刷作用.

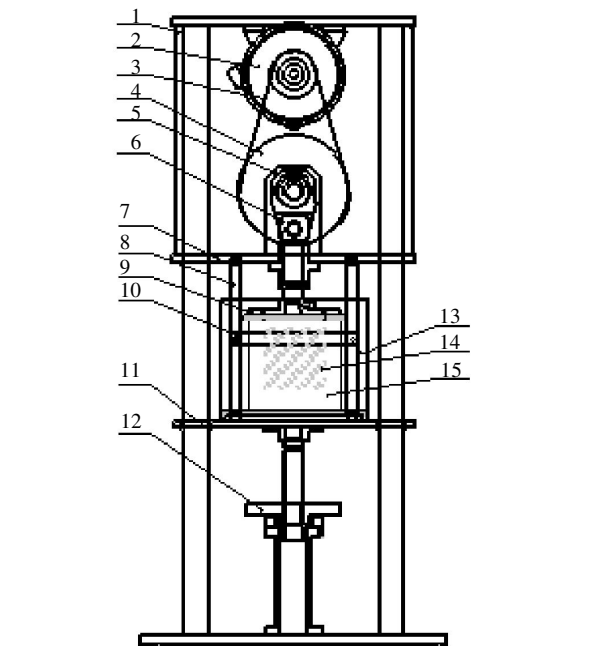


图 1 冲刷试验仪

Fig.1 Erosion test apparatus

注:1—机架;2—电机;3—V 带;4—带轮;5—计数器;6—连杆;
7—钢板;8—定位杆;9—冲刷头;10—钢夹;11—可升降钢板;
12—手轮;13—冲刷桶;14—试件;15—水

2.2 抗冲刷试验

按照击实试验测出的最佳含水率以及取98%压实度用静压法成型试件,试件高和直径均为150 mm。试件脱模后放置在标准养护箱内养生,养生温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,养生湿度 $\geq 95\%$ 。选用7 d、14 d、28 d三个养生期的试件,分别对不同水泥用量的水泥稳定碎石进行冲刷试验,并对比骨架密实与悬浮密实两种不同结构类型水泥稳定碎石在相同养护期的冲刷性能。试验采用30 min、18 000次的冲刷量作为代表值。

当水泥用量分别为3.5%、4.0%、4.5%、5.0%时,骨架密实结构与悬浮密实结构7 d、14 d、28 d三个养生期30 min冲刷试验结果如表4和表5所示。

表4 骨架密实结构不同水泥用量、不同养生期的冲刷试验结果

Table 4 Erosion test results of skeleton dense structure in different cement contents and different curing periods

水泥用量/%	30 min 总冲刷量/g		
	7 d	14 d	28 d
3.5	87.2	79.5	66.5
4.0	76.5	68.5	60.5
4.5	57.2	55.4	36.0
5.0	33.9	32.5	22.6

表5 悬浮密实结构不同水泥用量、不同养生期的冲刷试验结果

Table 5 Erosion test results of suspended dense structure in different cement contents and different curing periods

水泥用量/%	30 min 总冲刷量/g		
	7 d	14 d	28 d
3.5	134.4	110.4	91.8
4.0	106.5	94.5	83.5
4.5	88.8	81.1	77.4
5.0	72.6	64.7	61.4

由表4和表5可知,两种结构的冲刷量随水泥用量增加总体呈下降趋势,且骨架密实结构的抗冲刷性能好于悬浮密实结构。在相同养生期下,对于骨架密实结构,水泥用量由3.5%增加到4.0%时,冲刷量下降缓慢;水泥用量由4.0%增加到4.5%、5.0%时,冲刷量下降明显。对于悬浮密实结构,水泥用量由3.5%增加到4.0%、4.5%、5.0%时,试件冲刷量下降较缓慢。表明为提高水泥稳定碎石的抗冲刷性能,除了应适当增加水泥用量外,还应优先选择骨架密实结构。

养生期为28 d时,两种结构类型的冲刷量与时间关系如图2和图3所示。

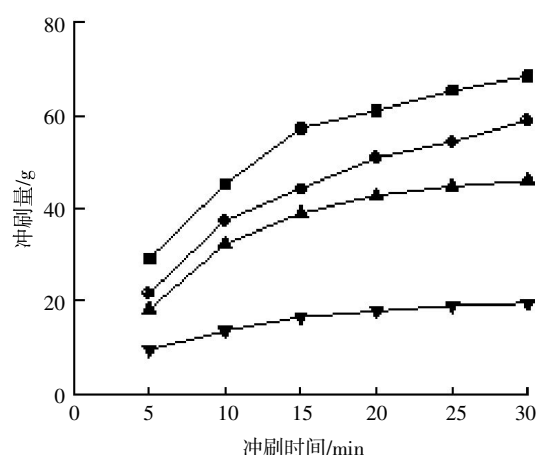


图2 骨架密实结构冲刷量与时间关系

Fig.2 The relationship between the erosion quantity and the time of the skeleton dense structure

注: ■—3.50%; ●—4.0%; ▲—4.5%; ▼—5.0%

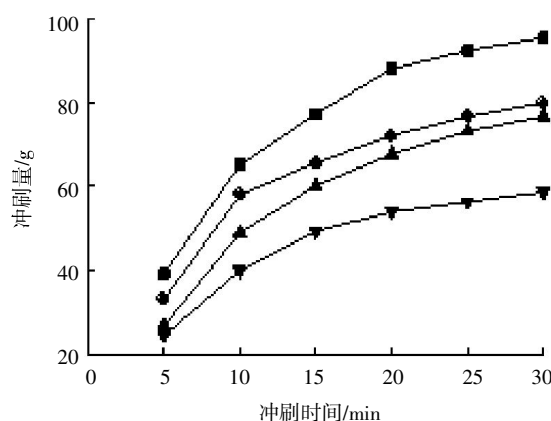


图3 悬浮密实结构冲刷量与时间关系

Fig.3 The relationship between the erosion quantity and the time of the suspended dense structure

注: ■—3.50%; ●—4.0%; ▲—4.5%; ▼—5.0%

由图2和图3可知,养生期28 d时,骨架密实结构与悬浮密实结构的冲刷量均随冲刷时间增加而增大,从0到15 min内,混合料冲刷量明显增加,15 min后开始减弱,25 min后趋于平缓,表明《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009)^[3]中采用30 min的冲刷量评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能是合理的。

养生期28 d时,骨架密实结构与悬浮密实结构各时段的冲刷量如表6、表7所示。

由表6、表7可见,两种结构类型的冲刷量在冲刷初期15 min内增加较快,此后逐渐减弱,这主要是由于水泥稳定碎石试件表面有一层细粒浆包裹,当冲刷到一定程度后,混合料的粗骨料起支承

表 6 骨架密实结构各时段冲刷量

Table 6 The erosion quantity of skeleton dense structure in various periods

时间/min	冲刷量/g			
	水泥用量 3.5%	水泥用量 4.0%	水泥用量 4.5%	水泥用量 5.0%
5	29.2	21.8	18.3	9.6
10	45.2	37.4	32.3	13.6
15	57.3	44.3	39.0	16.6
20	61.1	50.9	42.8	17.9
25	65.4	54.4	44.8	19.1
30	68.5	59.0	46.0	19.6
15 min 内冲刷速率/ $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$	3.82	2.95	2.6	1.12

表 7 悬浮密实结构各时段冲刷量

Table 7 The erosion quantity of suspended dense structure in various periods

时间/min	冲刷量/g			
	水泥用量 3.5%	水泥用量 4.0%	水泥用量 4.5%	水泥用量 5.0%
5	39.2	33.2	26.8	24.5
10	65.2	58.0	49.0	40.0
15	77.3	65.7	60.2	49.4
20	88.1	72.2	67.8	54.0
25	92.4	76.7	73.2	56.4
30	95.5	79.9	76.8	58.7
15 min 内冲刷速率/ $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$	5.15	4.38	4.01	3.29

作用,从而使冲刷减弱^[10].因此,为节省试验时间,也可用初期 15 min 内的平均冲刷速率评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能.

3 结 语

a.两种结构类型的水泥稳定碎石冲刷量随水泥用量增加总体呈下降趋势,且骨架密实结构的抗冲刷性能好于悬浮密实结构.对于骨架密实结构,水泥用量由 3.5%增加到 4.0%时,冲刷量下降缓慢;水泥用量由 4.0%增加到 4.5%、5.0%时,冲刷量下降明显;对于悬浮密实结构,水泥用量由 3.5%增加到 4.0%、4.5%、5.0%时,冲刷量下降较缓慢.

b.两种结构类型的水泥稳定碎石冲刷量均随冲刷时间增长而增大,初期 15 min 内冲刷量增加较快,而后逐渐减弱,达到 25 min 后趋于平缓,规范中采用 30 min 的冲刷量评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能是合理的.为节省试验时间,也可用初期 15 min 内的平均冲刷速率评价水泥稳定碎石的抗冲刷性能.

致 谢:

本研究得到湖北省交通运输厅公路管理局的资金资助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 朱亮唐,谈至明.半刚性基层材料抗冲刷性能影响因素研究[J].公路交通技术,2014,31(11):41-46.
ZHU Liang-tang, TAN Zhi-ming. Influencing factor study on anti-erosion properties of Semi-rigid base material [J]. Technology of Highway and Transportation, 2014, 31(11): 41-46. (in Chinese)
- [2] JTG D40-2011.公路水泥混凝土路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,2011.
JTG D40-2011. Specifications for design of highway cement concrete pavement[S]. Beijing: People's Communications Press, 2011. (in Chinese)
- [3] JTG E51-2009.公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2009.
JTG E51-2009. Test methods of materials stabilized with inorganic binders for highway engineering[S]. Beijing: People's Communications Press, 2009. (in Chinese)
- [4] 盛燕萍.基于抗冲刷性能的半刚性基层材料组成设计[J].郑州大学学报:工学版,2012,33(3):19-23.
SHENG Yan-ping. Mix design of semi-rigid base material base on Anti-erosion performance[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering science, 2012, 33(3): 19-23. (in Chinese)

- [5] 沙庆林.SAC 和其他粗集料断级配的矿料级配设计方法[J].公路,2005(1): 143-150.
SHA Qing-lin.Mineral aggregate gradation design methods of SAC and other coarse aggregate gap gradation [J].Highway, 2005(1): 143-150.(in Chinese)
- [6] JTJ 034-2000.公路路面基层施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2000.
JTJ 034-2000. Technical specifications for construction of highway roadbases[S].Beijing: People's Communications Press, 2000(in Chinese)
- [7] 王博.半刚性基层材料抗冲刷性能研究[D].西安:长安大学,2010.
WANG Bo.Study on anti-erosion properties of semi-rigid base material [D].Xi'an: Chang'an University, 2010.(in Chinese)
- [8] 沙爱民,胡力群.路面基层材料抗冲刷性能试验研究[J].岩土工程学报,2002,24(3): 276-280.
SHA Ai-min,HU Li-qun. Experimental study on the anti-erosion properties of pavement base material [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2002,24 (3): 276-280.(in Chinese)
- [9] 郝培文,胡长顺,张炳乾,等.半刚性基层材料抗冲刷性能的研究[J].西安交通大学学报,2000,20(2): 9-11.
HAO Pei-wen, HU Chang-shun, ZHANG Bing-qian, et al. Study on anti-erosion properties of semi-rigid base material [J].Journal of Xi'an Jiaotong University, 2000,20(2):9-11.(in Chinese)
- [10] 胡力群,沙爱民.沥青路面水泥稳定类基层材料抗冲刷性能试验及机理研究[J].中国公路学报,2003,16(1): 15-18.
HU Li-qun, SHA Ai-min. Experiment and mechanism analysis for anti-erosion of cement stabilized soil material base-course of bituminous pavement [J].China Journal of Highway and Transport,2003,16(1):15-18.(in Chinese)

Experimental study on anti-erosion performance of cement stabilized macadam base

HUANG Jian-cai¹, WANG Feng², XIONG Yong-song¹, XU Hao¹, HU Guo-xiang²

1.Jingzhou Highway Administration Bureau, Jingzhou 434020, China;

2.Transportation Research Center, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: To test the skeleton dense anti-erosion performance of the skeleton structure and suspended dense structure of two different structure types of cement stabilized gravel in 7d, 14d and 28d curing period, a erosion test apparatus was developed and the amount of 30mins, 18000 times was regarded as a representative value. The test's results show that the erosion amount of the two structural types of cement stabilized macadam presents the overall downward trend when cement content increases, and skeleton dense structure has better anti-erosion performance than suspension dense structure. For skeleton dense structure, the erosion decreases slowly when the cement content increases from 3.5% to 4.0%; when the cement content increases from 4.0% to 4.5% and 5.0%, the erosion amount decreases significantly. For suspended dense structure, when the cement content increases from 3.5% to 4.0%, 4.5% and 5.0%, the erosion decreases more slowly. In the curing period of 28d, the erosion amount of the two structural types of cement stabilized gravel increases as the scouring time goes on. Beginning within 15mins, the erosion amount increases rapidly, and then gradually weakens, after reaching 25mins it tends to be gentle. In the standard, it's reasonable to adopt the erosion of 30mins to appraise anti-erosion performance of cement stabilized macadam. To save test time, the average erosion rate within the initial 15mins can also be used to evaluate anti-erosion performance of cement stabilized macadam.

Keywords: cement stabilized macadam base; anti-erosion test; skeleton dense structure; suspended dense structure; anti-erosion performance

本文编辑:陈小平