

## 水泥稳定碎石抗冲刷性能试验研究

梁国焱<sup>1</sup>, 王子昂<sup>2</sup>, 刘宏富<sup>2</sup>, 黄云涌<sup>2</sup>

(1.保利长大工程有限公司, 广东 广州 510620; 2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**在多雨地区,交通荷载作用下半刚性基层材料的水损害是造成道路早期损坏的主要原因之一。为研究在行车荷载作用下水泥稳定碎石基层的浸水抗冲刷性能,在参考国内外现有抗冲刷设备的基础上,研发模拟半刚性基层材料冲刷过程的试验设备,并利用该设备进行水泥稳定碎石和石灰、粉煤灰(二灰)稳定碎石冲刷试验研究。结果表明,开发的冲刷试验仪可较好地模拟交通荷载作用下半刚性基层材料的浸水冲刷过程;在级配和压实度条件相同的条件下,相比二灰稳定碎石,水泥稳定碎石具有更好的抗冲刷性能;水泥稳定碎石的 7 d 无侧限抗压强度与冲刷深度呈非线性指数函数关系;综合考虑经济因素与水泥稳定碎石的抗冲刷性能,建议在进行水泥稳定碎石材料配合比设计时采用 4.3%~6.0% 的水泥用量。

**关键词:**公路;水泥稳定碎石;抗冲刷性能;半刚性基层

**中图分类号:** U416.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2022)03-0069-03

中国高等级公路大多采用半刚性基层沥青路面结构。由于半刚性基层材料的透水能力极弱,水不易排除,沥青路面结构常出现早期病害。尤其是在南方潮湿多雨地区,在路面积水不能及时排除的情况下,路面水沿着裂缝渗入半刚性基层并滞留其中,在车辆荷载作用下,半刚性基层与沥青面层间产生高速水流与高孔隙水压力而发生冲刷作用,细集料剥落并产生路面唧泥;唧泥导致沥青面层底产生脱空,使沥青路面受力不均匀,上面层和中下面层进一步在路面局部产生网裂。深入研究半刚性基层材料的抗冲刷特性对于提升沥青路面的耐久性具有重要意义。该文研发半刚性基层材料冲刷试验仪,以石灰、粉煤灰(二灰)稳定碎石作为对比,研究不同水泥用量下水泥稳定碎石的抗冲刷特性。

## 1 试验仪器

考虑荷载和水的联合作用对半刚性基层材料的作用,开发能较真实地模拟冲刷和抽吸循环状况下水对半刚性基层材料冲刷作用的冲刷试验仪,其组成见图 1。

以冲刷试验仪的水箱作为试验平台,水箱中注水以模拟半刚性基层材料在浸水时的工作环境。圆形冲压头由刚性圆板制成,半径为 20 cm,由电动机提供动力。试验时偏心驱动轮可提供循环反复的加载冲压,每次循环过程包含一次完整的加载、冲刷、

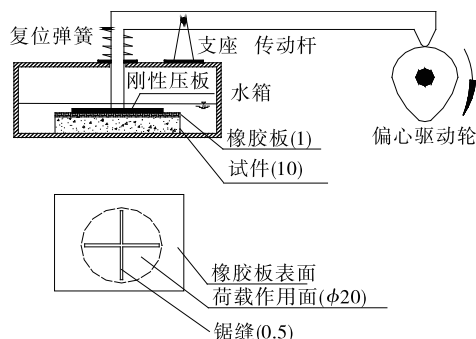


图 1 冲刷试验仪的结构示意图(单位:cm)

卸载和抽吸,冲刷试验仪每分钟可加载 162 次。为模拟实际情况,并控制不产生过大的直接撞击力,圆头接触处设置橡胶隔离层,循环加载时橡胶板与试件表面产生动水压力,对试件表面形成冲刷作用。经理论计算,结合实际调试,圆形冲压头和橡胶板的界面上产生的最大压强为 $(0.7 \pm 0.5)$  MPa,相当于标准轴载车辆通行时轮胎对路面产生的压强。

## 2 冲刷试验方案

### 2.1 材料及试验配比方案

试验采用韶峰牌 425 号普通硅酸盐水泥、3 级消石灰粉、株洲电厂生产的 3 级粉煤灰,集料为产自邓家塘料场的石灰岩石料。

试验主要研究水泥稳定碎石的抗冲刷性能,以不掺加水泥的二灰稳定碎石作为对比方案。共设计

9种基层试验配比方案,各方案的材料配比见表1。  
9种方案均采用同一种级配设计,设计结果见表2。

表1 试验材料配比方案

方案号	各材料的比例(质量份数)			
	水泥	石灰	粉煤灰	集料
方案1	0.0	5	12	100
方案2	1.0	4	12	100
方案3	2.5	—	—	100
方案4	3.0	—	—	100
方案5	3.5	—	—	100
方案6	4.5	—	—	100
方案7	5.5	—	—	100
方案8	6.5	—	—	100
方案9	8.0	—	—	100

表2 半刚性基层材料的级配

筛孔 尺寸/mm	通过 百分率/%	筛孔 尺寸/mm	通过 百分率/%
31.50	100.0	4.750	37.0
26.50	96.0	2.360	28.0
19.00	82.5	0.600	16.0
9.50	55.0	0.075	4.5

## 2.2 试验步骤

对9种配比方案分别进行击实试验,得到各配比方案下半刚性基层材料的最佳含水量和最大干密度(见表3)。

表3 半刚性基层材料的最大干密度及冲刷试验结果

方案号	水泥用量/%	最大干密度/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	最佳含水量/%	7 d 无侧限抗压强度/MPa	冲刷深度/mm
方案1	0.0	2.14	6.2	0.65	0.88
方案2	1.0	2.18	6.4	0.70	0.72
方案3	2.5	2.32	4.2	2.20	0.75
方案4	3.0	2.31	4.1	2.88	0.69
方案5	3.5	2.37	4.2	3.24	0.62
方案6	4.5	2.35	4.3	4.17	0.59
方案7	5.5	2.34	4.7	5.63	0.58
方案8	6.5	2.36	5.1	6.43	0.56
方案9	8.0	2.32	5.0	7.13	0.54

采用振动击实法,按98%的压实度成型30 cm(长)×30 cm(宽)×20 cm(高)的板状试件进行冲刷试验。每种方案成型3组试件进行平行试验,以平均值作为试验结果。在标准养护环境下将试件养生3个月后,采用冲刷试验仪进行7万次冲刷,测量

冲刷前后构造深度的变化,计算冲刷深度。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 冲刷次数和冲刷量的关系

对9种方案的试件分别进行冲刷试验,记录9种半刚性基层材料在0.0、0.5万次、1.5万次、2.5万次、3.5万次、4.5万次、6.0万次、7.0万次冲刷次数下的冲刷深度。图2为9种材料的冲刷深度随冲刷次数的变化。

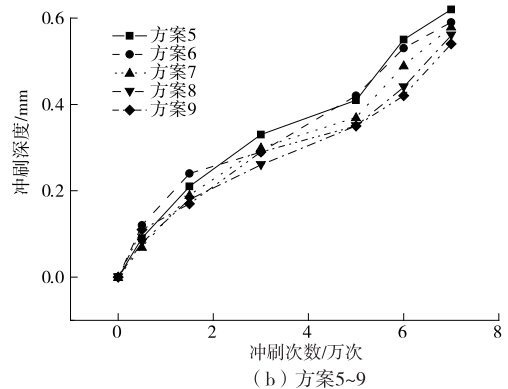
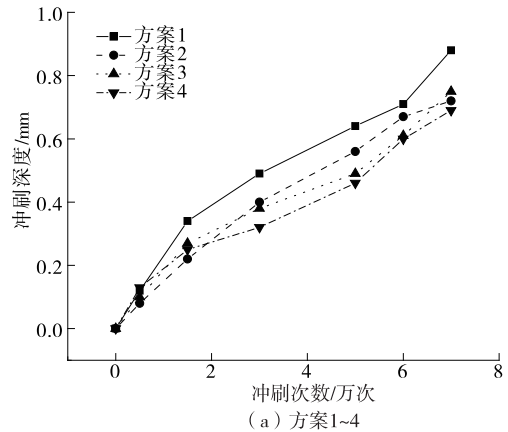


图2 冲刷次数与冲刷深度的关系

由图2可知:随着冲刷次数的增多,二灰稳定碎石与水泥稳定碎石的冲刷深度均增大,两者呈现相似的类似于线性的增长趋势,且这种趋势与半刚性基层材料种类及水泥用量无关。说明开发的冲刷试验仪可较好地模拟浸水条件下半刚性基层材料在车轮荷载作用下的冲刷过程。

### 3.2 冲刷量与7 d无侧限抗压强度的关系

每种方案分别成型直径为150 mm、高度为150 mm的9个圆柱形平行试件,在标准环境下养生7 d后,按JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》进行7 d无侧限抗压强度试验。9种方案的7 d无侧限抗压强度平均值见表3,水泥稳定碎

石7 d无侧限抗压强度及冲刷深度随水泥用量的变化见图3。

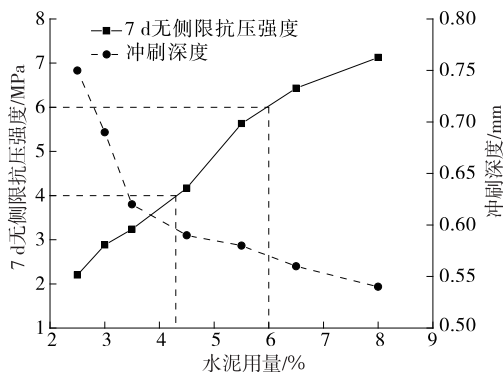


图3 水泥稳定碎石7 d无侧限抗压强度及冲刷深度与水泥用量的关系

由表3可知:相比于二灰稳定碎石(方案1、方案2),水泥稳定碎石(方案3~9)的7 d无侧限抗压强度更高;进行7万次冲刷后,相比于二灰稳定碎石,水泥稳定碎石的冲刷深度更小,抗冲刷性能显著优于二灰稳定碎石。

由图3可知:随着水泥用量的提高,水泥稳定碎石的7 d无侧限抗压强度提高,且增长速度没有明显变缓;随着水泥用量的增加,水泥稳定碎石的冲刷深度减小,抗冲刷能力增强,但水泥用量超过3.5%时冲刷深度减小趋势放缓。

通过数值拟合建立水泥稳定碎石无侧限抗压强度与冲刷深度的关系曲线(见图4),采用最小二乘法进行回归分析,建立水泥稳定碎石7 d无侧限抗压强度 $x$ 与冲刷深度 $y$ 的关系式:

$$y = A_1 \times \exp(-x/t_1) + y_0 \quad (1)$$

式中: $A_1$ 、 $t_1$ 和 $y_0$ 为常数, $y_0 = 0.530\ 07 \pm 6.113\ 91 \times 10^{-4}$ , $A_1 = 0.768\ 9 \pm 0.008\ 46$ , $t_1 = 1.733\ 98 \pm 0.015\ 29$ 。

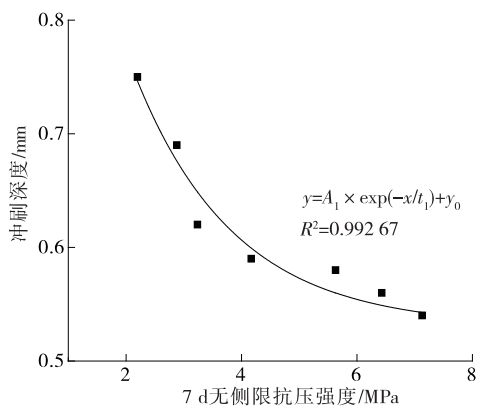


图4 水泥稳定碎石7 d无侧限抗压强度与冲刷深度的关系

由图4可知:水泥稳定碎石的7 d无侧限抗压强度与7万次冲刷深度呈非线性指数函数关系,随着7 d无侧限抗压强度的增大,7万次冲刷深度减小,且逐渐趋于稳定。

根据JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》,重交通等级高速公路和一级公路所使用的水泥稳定材料的7 d无侧限抗压强度标准值为4~6 MPa。综合考虑经济因素和与水泥稳定碎石的抗冲刷性能,建议在进行水泥稳定碎石材料配合比设计时采用4.3%~6.0%的水泥用量。

## 4 结论

(1) 开发的冲刷试验仪可较好地模拟浸水条件下半刚性基层材料在车轮荷载作用下的冲刷过程。

(2) 水泥稳定碎石的抗冲刷性能显著优于二灰稳定碎石。水泥稳定碎石的7 d无侧限抗压强度与冲刷深度呈非线性指数函数关系,冲刷深度随着7 d无侧限抗压强度的增大而减小。

(3) 配合比设计时建议采用4.3%~6.0%水泥用量,此时水泥稳定碎石具有良好的抗冲刷能力和7 d无侧限抗压强度,也具有较好的经济性。

## 参考文献:

- [1] 赵亚兰.水泥稳定再生碎石路用性能研究[J].公路与汽运,2013(5):166—170.
- [2] 周玉晖.公路路面基层中水泥稳定碎石的施工技术[J].四川建材,2017,43(7):106—107.
- [3] 雷勇.水泥稳定碎石基层材料抗冲刷性能影响因素试验研究[J].公路与汽运,2017(2):111—113+117.
- [4] 王砚.高等级公路沥青路面常见病害及防治方法研究[J].公路与汽运,2011(5):122—124.
- [5] 李莉波.二级公路水稳碎石基层裂缝成因及防治技术[J].四川建材,2020,46(8):122—123.
- [6] 刘军.基于水泥稳定碎石的路面基层振动成型法设计[J].湖南交通科技,2017,43(3):101—105.
- [7] 许志琴.振动成型法水泥稳定碎石基层施工工艺及要点[J].山西建筑,2014,40(11):147—148.
- [8] 交通部公路科学研究院.公路工程无机结合料稳定材料试验规程:JTG E51—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [9] 交通运输部公路科学研究院.公路路面基层施工技术细则:JTG/T F20—2015[S].北京:人民交通股份有限公司,2015.