

路面基层材料抗冲刷性能试验研究

Experimental study on the anti-erosion properties of pavement base materials

沙爱民, 胡力群

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 应用新研制的抗冲刷试验装置对国内常用无机结合料稳定土基层材料作了系统的抗冲刷性能试验研究。随着冲刷试验时间的延长, 无机结合料稳定细粒土的冲刷量呈线性增长, 而无机结合料稳定粗粒土早期冲刷量较大, 后期逐渐减少; 对于同种类型的无机结合料稳定土而言, 抗冲刷能力随着结合料剂量的增加而增强; 试件成型压实度对基层材料抗冲刷能力影响很大; 基层材料抗冲刷能力与其抗压强度之间的关系并不单纯; 此外, 冲刷试验时间过短不能很好的反映材料的抗冲刷能力。同时进行了抗冲刷机理分析。

关键词: 抗冲刷性能; 路面基层材料; 水损害; 半刚性基层

中图分类号: U 416. 212; U 414. 1

文献标识码: A

文章编号: 1000- 4548(2002) 03- 0276- 05

作者简介: 沙爱民(1964-), 男, 安徽宣城人。乌克兰哈尔科夫国立汽车公路技术大学博士毕业, 现为长安大学公路学院教授, 博士生导师, 道路系主任。主要研究方向为加固土理论与应用, 公路工程材料与工艺。

SHA Ai-min, HU Li-qun

(Highway College of Chang'an University, Xi'an, Shanxi 710064, China)

Abstract: By means of a new erosion test equipment, a systematic experimental study on the anti-erosion properties of pavement base materials, including stabilized fine and coarse soils with inorganic binders, was executed. The quantity of eroded fine grained soils stabilized with inorganic binder increases with time linearly, while quantity of eroded coarse grained soils stabilized with inorganic binder increases rapidly in the early stage and slowly later; as for soils stabilized with the same type of inorganic binder, its erosion is weaker when more binder is added; the degree of compaction of samples affect its erosion greatly; the relationship between anti-erosion properties of base course materials and its compressive strength is not simple; short experimental time can't fairly reflect anti-erosion properties. The anti-erosion mechanism is also analyzed in this paper.

Key words: anti-erosion properties; pavement base materials; water damage, semi-rigid base

1 前言*

水泥、二灰和石灰等无机结合料稳定类半刚性材料在我国公路建设中被广泛地用作各级公路的基层或底基层。半刚性材料与其他基层材料相比有其显著的技术和经济优势。但半刚性基层材料, 尤其是无机结合料稳定细粒土材料的抗冲刷能力不足时, 常常引起路面的破坏。

目前, 国外用来测试半刚性基层材料抗冲刷性能的室内试验方法主要有旋转刷或振动台试验方法, 但它们都存在着明显的缺陷^[1]。因此, 笔者提出了新的试验装置和试验方法, 研制方法及结果有另文论述^[2]。新的试验方法依靠 MTS 平台采用自上而下的加载方式, 作用力和作用频率可精确地施加和控制, 并且为了避免试件在冲刷过程中因自身质量的损失对试验结果带来影响, 试件被固定起来, 放在一个能将试件固定同时又与 MTS 底座相连的盛水的冲刷桶内, 如图 1 所示。

本文应用所研制的半刚性基层材料抗冲刷性能试验装置, 针对国内常用的不同种类的、不同配合比的半刚性基层材料进行了抗冲刷性能试验研究, 并进行了相应的抗冲刷机理分析。

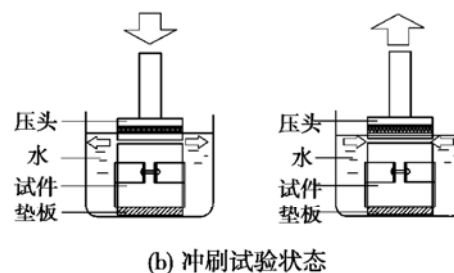
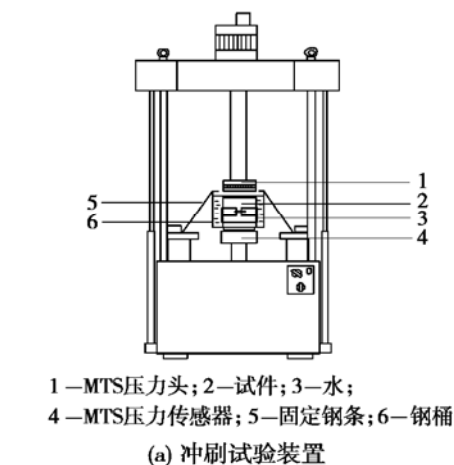


图1 冲刷试验装置与试验状态

Fig. 1 Erosion test equipment

表 1 透水基层级配、透水系数和空隙率

Table 1 Gradation, coefficient of permeability and porosity of permeable base course materials

透水 基层	通过筛孔百分率/ %							空隙率 / %	透水系数 /($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
	26.5 mm	19 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.075 mm		
A	100	—	60	32.7	5	1.5	0	16.2	0.98
B	100	—	60	—	10	5	2	16.0	1.12

2 原材料与混合料组成性质

2.1 原材料性质

试验所采用的土均取自陕西省西安市南郊, 该土为新生代第四纪黄土, 取土深度> 2 m。土的物理及化学性质分析试验结果表明该土属粉质亚黏土。试验采用的石灰为熟石灰, 其路用等级为 II 级。试验所用的粉煤灰取自西安灞桥电厂的湿排粉煤灰, 其物理化学性质符合要求。试验中所用的砂砾采自西安灞河, 碎石为石灰岩质。砂砾与碎石的级配按照《公路路面基层施工技术规范》确定。砂砾、碎石通过筛孔尺寸 30, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.25 mm 的百分率分别为 100%, 80.5%, 60.2%, 44.0%, 36.0%, 28.6%, 20%, 10%。试验中采用的 425# 水泥的性质符合要求。

2.2 混合料的配合比

根据《公路路面基层施工技术规范》中有关无机结合料稳定土的建议配合比, 并考虑到冲刷试验结果的可对比性, 试验中采用了下列质量配合比。水泥土: 水泥: 土 = 4: 96, 水泥: 土 = 6: 94, 水泥: 土 = 8: 92; 二灰土: 石灰: 粉煤灰: 土 = 10: 30: 60, 石灰: 粉煤灰: 土 = 10: 40: 50; 石灰土: 石灰: 土 = 8: 92, 石灰: 土 = 10: 90, 石灰: 土 = 12: 88; 水泥砂砾: 水泥: 砂砾 = 4: 96, 水泥: 砂砾 = 6: 94, 水泥: 砂砾 = 8: 92; 二灰砂砾: 石灰: 粉煤灰: 砂砾 = 10: 30: 60, 石灰: 粉煤灰: 砂砾 = 10: 40: 50; 水泥碎石: 水泥: 碎石 = 4: 96, 水泥: 碎石 = 6: 94, 水泥: 碎石 = 8: 92; 二灰碎石: 石灰: 粉煤灰: 碎石 = 10: 30: 60, 石灰: 粉煤灰: 碎石 = 10: 40: 50。

国内外新近提出的采用透水性基层可以减小路面结构的冲刷现象, 为此, 本试验也将透水性基层材料列入评价的范围。本试验采用两种透水性基层材料, 其配合比均为水泥: 碎石 = 10: 90, 两种透水性基层材料 (A 和 B) 的级配不同, 因而, 其透水系数和空隙率也不同, 如表 1 所示。

2.3 混合料的密度

本试验中采用《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中无机结合料稳定土的击实试验方法测定混合料的最佳含水率和最大干密度, 作为强度试验和抗冲刷试验的试件成型标准。不同配合比下的混合料击实试验结果见表 2。

表 2 不同配合比下的混合料击实试验结果

Table 2 Maximum dry unit weight and optimum moisture content of different materials

材料号	材料类型	最大干容重 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	最佳含水率 / %
1	石灰土(8%)	1.83	18.9
2	石灰土(10%)	1.74	17.9
3	石灰土(12%)	1.68	16.3
4	水泥土(4%)	1.86	15.4
5	水泥土(6%)	1.88	15.7
6	水泥土(8%)	1.92	16.1
7	二灰土(10: 30: 60)	1.52	20.2
8	二灰土(10: 40: 50)	1.42	23.5
9	水泥砂砾(4%)	2.07	5.63
10	水泥砂砾(6%)	2.22	6.25
11	水泥砂砾(8%)	2.30	6.50
12	二灰砂砾(10: 30: 60)	1.82	12.5
13	二灰砂砾(10: 40: 50)	1.60	13.6
14	水泥碎石(4%)	2.20	6.50
15	水泥碎石(6%)	2.26	6.55
16	水泥碎石(8%)	2.29	6.64
17	二灰碎石(10: 30: 60)	1.85	10.2
18	二灰碎石(10: 40: 50)	1.64	12.4
19	透水基层(A)	2.06	
20	透水基层(B)	2.06	

3 基层材料的强度

为了便于比较, 首先试验测定了上述各种配合比条件下基层材料的无侧限饱水抗压强度。除试件养生采用 60℃下养生 3 d, 并在测试前饱水 1 d 的高温快速方法外, 试件成型及强度测定均按规范方法进行。

各组基层材料的抗压强度试验结果(见图 2) 表明, 透水性基层材料的水泥用量虽达到了 10%, 但其抗压强度却不及 8% 的水泥碎石材料。

4 基层材料的抗冲刷性能

4.1 试验方法

a) 试件的制备

(1) 试件形状、尺寸 采用高度与直径之比为 1: 1 的圆柱体试件, 试验中采用 $\phi 10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 的试件。

(2) 试件成型 按击实试验确定的最佳含水率和最大干容重标准用静压法成型试件。为了保证冲刷试

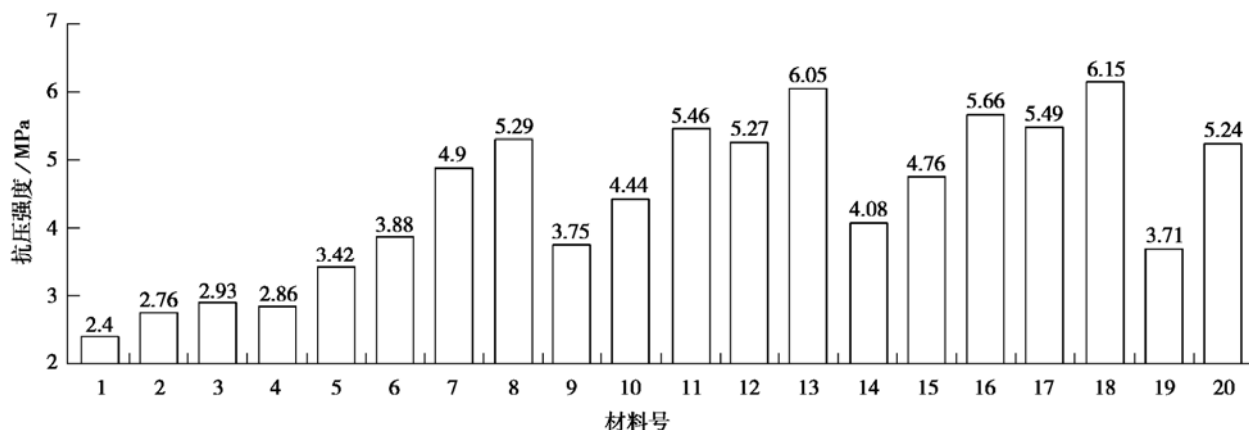


图2 基层的抗压强度试验结果

Fig. 2 Compressive strength of different base course materials

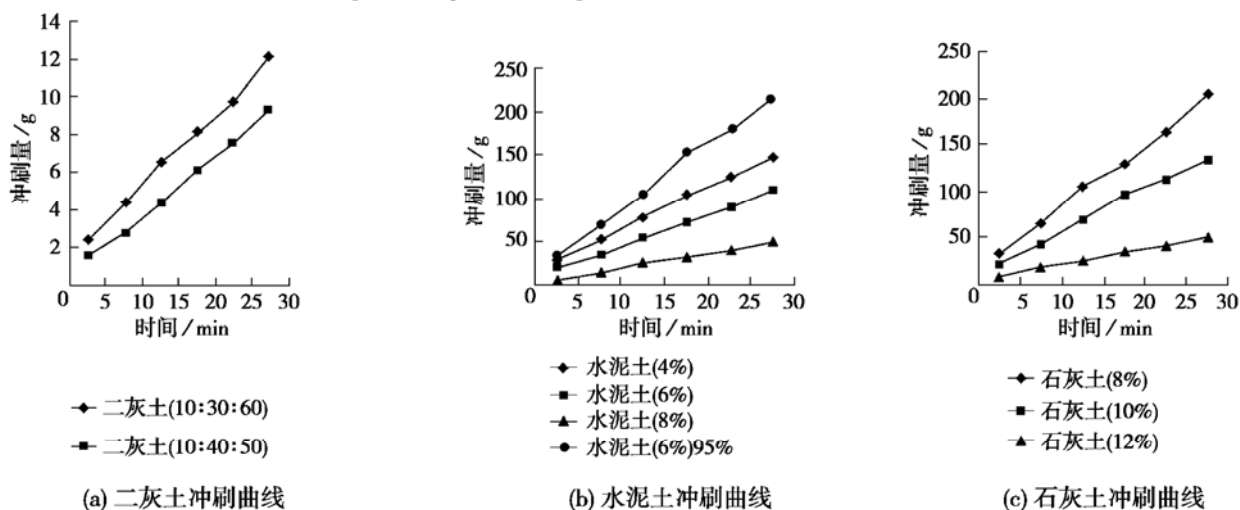


图3 稳定细粒土的冲刷试验结果 (试验条件: 0.5 MPa, 10 Hz)

Fig. 3 Erosion test result of stabilized fine-grained soil (test condition: 0.5 MPa, 10 Hz)

验结果的准确性, 无机结合料稳定细粒土每种配合比下平行成型 6 个试件, 稳定粒料土则平行成型 9 个试件。

(3) 试件养生 试件的养生龄期与抗压强度测试中采用的龄期相同。冲刷试验前, 将试件在室温下饱水 24 h。

b) 试验步骤

(1) 将饱水后的试件从水中取出, 拭干表面的水分, 称重。

(2) 把准备好的试件放入钢桶内, 通过专用夹具将试件固定于钢桶底面。为保护试件免受夹具的损伤, 在试件与钢夹之间沿着径向垫上一层胶皮垫。然后将装有试件的钢桶牢固地安置在 MTS 上。

(3) 向钢桶中注入清水, 水面高于试件顶面 5 mm。

(4) 设置 MTS 的施力状态, 其中包括作用力的大小、作用的频率。本次试验作用力的大小取 0.5 MPa, 作用频率取 10 Hz。

(5) 在设置好的状态下开始试验, 并以 5 min 作为

一个时段。当第一个时段的冲刷完成后, 将试验中冲刷下的细泥浆小心地倒入第一个金属盆中进行沉淀, 然后重新向钢桶中加入清水, 继续作第二个时段的冲刷试验; 做完后再将冲刷物倒入第二个金属盆中沉淀; 如此进行, 应做满 6 个时段, 共计 30 min 的冲刷试验。

(6) 将所有冲刷物沉淀 12 h 后将盆中上部的清水小心地倒出, 剩下的沉淀物放入烘箱中烘干, 然后称重并记录试验结果。

4.2 稳定细粒土基层材料试验结果与分析

对三种无机结合料稳定细粒土进行的抗冲刷性能试验结果(表 3, 图 3)表明:

(1) 不同配合比的石灰土、水泥土和二灰土, 随着冲刷时间延长其冲刷量线性增长。

(2) 石灰土、水泥土、二灰土在各时段内的冲刷量均随着结合料剂量的增加而减少。

(3) 一般说来, 在常用结合料剂量下, 如石灰: 粉煤灰: 土分别为 10: 30: 60、10: 40: 50 的二灰土, 水泥剂量分别为 4%、6%、8% 的水泥土, 石灰剂量分别为 8%、

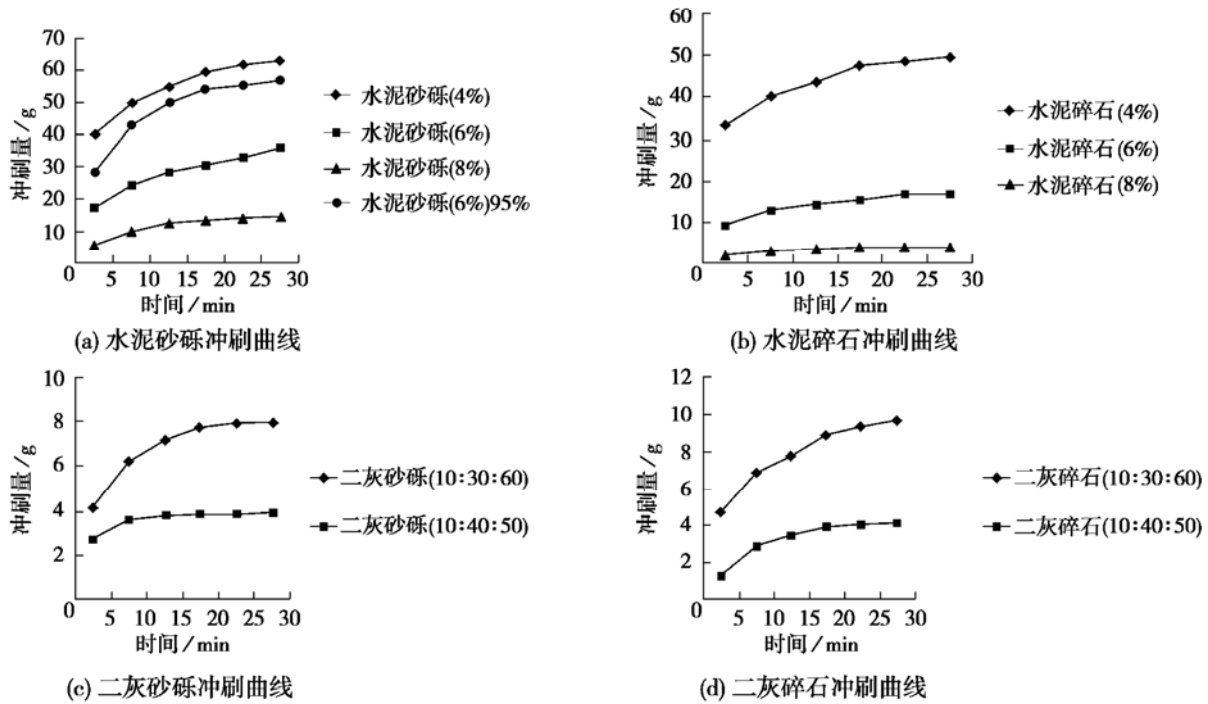


图 4 稳定粗粒土的冲刷试验结果(试验条件: 0.5 MPa; 10 Hz)

Fig. 4 Test result of stabilized coarse grained soil (test condition: 0.5 MPa, 10 Hz)

10%、12% 的石灰土等, 二灰土的抗冲刷性能最好, 水泥土次之, 石灰土最差。结合料剂量相差大的情况例外, 例如试验中 12% 石灰土的抗冲刷性能好于 4%、6% 的水泥土。

(4) 从不同压实度的 6% 水泥土冲刷量可以看出, 随着压实度的降低(由 100% 降至 95%)冲刷量急剧增大(图 3b)。

表 3 石灰土 水泥土 二灰土冲刷量

Table 3 The quantity of eroded soil stabilized with lime, cement or lime-fly ash

材料号	冲刷量/g					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	32.78	63.42	106.00	128.50	163.66	203.00
2	20.65	43.78	69.50	97.13	113.43	134.40
3	9.00	17.70	25.35	34.65	41.40	50.19
4	30.32	52.11	78.05	106.07	126.00	148.00
5	19.10	36.30	54.10	73.90	91.50	109.74
5(95%)	35.04	69.50	105.58	154.03	180.13	218.11
6	6.80	15.40	26.03	31.00	42.00	48.20
7	2.43	4.36	6.50	8.18	9.70	12.09
8	1.65	2.85	4.38	6.17	7.60	9.28

对于无机结合料稳定细粒土而言, 由于材料内部物理、力学性质较一致, 所以在恒定的冲刷条件下冲刷量随时间的变化趋势基本呈线性增长。只要冲刷时间一直延续, 冲刷作用就会不断进行, 冲刷量也随之增大。室内试验表现出无机结合料稳定细粒土试件经过冲刷后试件的高度均有所降低。这也正是无机结合料稳定细粒土与稳定粗粒土相比抗冲刷能力不好的原因之一。

无机结合料稳定细粒土抗冲刷能力的大小一方面取决于混合料中颗粒与颗粒之间黏聚力的大小, 就这一点而言, 冲刷性与强度相关联^[3]; 同时, 还取决于结合料在细粒土中空间上的分布均匀程度。土中结合料在空间上分布点多的稳定土的抗冲刷性能可能更好。这也是结合料剂量增加时以及应用二灰土时, 抗冲刷性能较好的原因。

4.3 稳定粗粒土基层材料试验结果与分析

根据对五种无机结合料稳定粗粒土进行的抗冲刷性能试验结果(表 4, 图 4)可以得出:

(1) 水泥砂砾、二灰砂砾、水泥碎石、二灰碎石等无机结合料稳定粗粒土的冲刷量均随时间的延长而增长; 冲刷试验的开始阶段, 其冲刷量随时间的延长增长较快, 随着时间的继续延长, 冲刷量的增长减缓, 并趋于稳定。

(2) 在相同的水泥剂量及集料配合比条件下, 水泥碎石在各时间段的冲刷量均小于水泥砂砾; 二灰碎石与二灰砂砾之间也有类似的规律, 只是不如水泥砂砾和水泥碎石之间的关系明显。

(3) 本试验所采用配合比条件下, 二灰稳定粗粒土材料的抗冲刷能力好于水泥稳定粗粒土材料。

(4) 6% 水泥砂砾在 95% 的压实度下成型的试件抗冲刷能力小于在 100% 压实度条件下成型的试件抗冲刷能力, 这与稳定细粒土的试验结果相同。

(5) 两种透水性基层材料在冲刷试验过程中均无冲刷物, 但在试验后期有粗颗粒剥落的现象, 且细料含

量越少这种现象越明显。该试验结果表明,一方面,透水性基层正如设计初衷所要求的那样,具有良好的抗冲刷能力。另一方面,由于大孔隙的存在,导致了材料结构强度和整体性的降低,从而容易剥落损坏,这一点不可忽略。

表 4 水泥砂砾 二灰砂砾 水泥碎石 二灰碎石冲刷量

Table 4 The quantity of erosion of gravel stabilized with cement or lime-fly ash crushed stone stabilized with cement or lime-fly ash

材料号	冲刷量/g					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
9	40.20	49.39	54.81	59.50	61.63	62.78
10	17.20	24.50	28.32	30.40	32.34	35.52
11	6.00	10.02	12.40	13.31	13.92	14.32
10(95%)	28.50	43.03	49.71	53.92	55.21	56.41
12	4.12	6.23	7.19	7.69	7.90	7.93
13	2.75	3.62	3.74	3.78	3.80	3.83
14	33.46	40.21	43.47	47.65	48.70	49.41
15	9.57	12.80	14.46	15.39	16.90	16.81
16	2.02	2.98	3.59	3.79	3.85	3.92
17	4.70	6.80	7.74	8.90	9.29	9.68
18	1.33	2.91	3.50	3.91	4.01	4.20
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0

与无机结合料稳定细粒土相比,无机结合料稳定粗粒土的抗冲刷性质的影响因素较多。混合料中集料的级配、空隙率的大小、混合料中石料的压碎值、细颗粒与细颗粒之间的黏聚力、细颗粒在粗颗粒上的黏附力、混合料中细料的含量及细料的细度等对无机结合料稳定粗粒土的抗冲刷性质都有影响。

无机结合料稳定粗粒土的冲刷量随冲刷时间的变化规律与稳定细粒土有很大的差异,在冲刷开始的阶段冲刷量较大,随着冲刷时间的延长冲刷量增长缓慢,并趋于稳定。无机结合料稳定粗粒土的室内抗冲刷试验表现出:试件经过冲刷后其表面凹凸不平,细料被冲走后暴露出骨料,其冲刷总量与混合料中细粒部分的含量有很大关系。

无机结合料稳定粗粒土的强度构成中,颗粒之间的内摩阻力要占有较大比例^[4],所以与无机结合料稳定细粒土相比,其抗冲刷性能与抗压强度之间的相关性也不同。参照实际应用状况,在试验过程中,施加在基层材料上的力在 0.1~0.6 MPa 之间,这样的力远小于无机结合料稳定粗粒土的破坏荷载。在这个荷载水平内与抗冲刷能力密切相关的是细料之间的“黏聚力”及其在粗颗粒上的“黏附力”。对于混合料中集料级配相近的同种无机结合料稳定粗粒土来说,因而在其他条件不变的情况下,抗冲刷能力会随着结合料的增加而

增强。一种无机结合料稳定粗粒土基层材料,其细颗粒之间黏聚力较小,而粗颗粒的骨架作用好。因而虽然它可能有很高的抗压强度,但其抗冲刷能力不一定好。相反,有的基层材料虽然由于级配不好,导致整体抗压强度不高,但因结合料用量稍大,细料之间的黏聚力较大,其抗冲刷能力却会较好。总之,无机结合料稳定粗粒土的抗冲刷性能与其整体的抗压强度相关性不大。

此外,从试验中还可看出,稳定细粒土相比,在一般情况下,无机结合料稳定粗粒土的抗冲刷能力优于稳定细粒土,但在冲刷时间较短的情况下,也有例外。例如:在试验中,二灰土 5~10 min 的抗冲刷能力比二灰砂砾的好。这又说明了短时间的冲刷试验不及长时间(30 min)的冲刷试验更能稳定地反映出一种材料的抗冲刷性能。

5 结 论

(1) 无机结合料(石灰、水泥、二灰)稳定细粒土的冲刷量随冲刷时间的延长而线性增长;稳定粗粒土的冲刷量随冲刷时间的延长呈曲线增长,早期增长速率大,后期增长速率减缓。

(2) 无机结合料稳定细粒土在相同时段内的冲刷量均随着结合料剂量的增大而减小。常用结合料剂量下,二灰土的抗冲刷性能最好,水泥土次之,石灰土最差。相同水泥剂量与集料级配条件下,水泥或二灰碎石的抗冲刷性能优于水泥或二灰砂砾。其中,该规律对水泥稳定类材料更为明显。

(3) 随着压实度降低,半刚性基层材料的抗冲刷能力显著下降。

(4) 透水性基层材料一方面具有良好的抗冲刷能力,另一方面因大孔隙的影响,材料结构强度和整体性降低。

(5) 无机结合料稳定粗粒土的抗冲刷性能与其抗压强度大小的相关性不及稳定细粒土。

(6) 较长时间(30 min)的冲刷试验结果比短时间的冲刷试验结果更能反映基层材料的抗冲刷性能。

参考文献:

- [1] 沙庆林.高等级公路半刚性路面[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [2] 沙爱民,胡力群.半刚性基层抗冲刷性能试验方法研究[J].中国公路学报,2002,(2).
- [3] 沙爱民.半刚性路面材料结构与性能[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [4] 张登良.加固土原理[M].北京:人民交通出版社,1990.