

公路工程煤矸石路基单一平面空隙率探讨*

安斌¹, 惠冰², 尚勇², 郭庆辉², 崔言继¹, 宋海民¹

(1. 中建八局第一建设有限公司, 山东 济南 250100; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250104)

摘要: 空隙率是煤矸石路基的重要技术指标。文中基于计算机图像处理技术开展煤矸石路基单一平面空隙率研究, 结果表明, 现场碾压过程中粗颗粒被压路机能量振碎并补充到细颗粒中, 粗、细颗粒产生动态变化, 发生颗粒级配重新分布现象; 煤矸石路基单一平面空隙率与室内试验煤矸石路基空隙率具有一定相关性, 且数据离散性较小。

关键词: 公路; 煤矸石路基; 空隙率; 单一平面; 计算机图像处理技术

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)06-0082-03

煤矸石工业废渣长期堆放, 不仅占用耕地, 而且对周边环境造成污染。将煤矸石作为路基填筑材料加以利用, 可节约工程成本, 产生良好的经济、社会和生态效益, 实现生态保护和绿色发展。欧、美地区对煤矸石填筑路基的研究较多, 且工程应用广泛。中国也取得了一定理论和实践应用成果, 如姜振泉等研究了煤矸石的破碎压密作用机制; 刘松玉等分析了煤矸石颗粒破碎特点, 并对其工程力学特性开展了研究; 姜景山等针对粗颗粒土开展二维模型室内试验, 得出了一系列成果。但对煤矸石路基空隙率的研究甚少。煤矸石路基碾压时, 压路机能量向煤矸石颗粒传递, 强度低的煤矸石颗粒产生破碎, 粗颗粒作为一种脆性非均质材料内部存在很多空隙, 在机械强动力作用下, 空隙扩展为微裂纹, 将产生非弹性变形, 经过振压后, 能量慢慢积聚最终导致微裂纹向大裂纹贯通, 直至发生粗颗粒破碎。针对煤矸石路基颗粒重塑的问题, 该文基于计算机图像处理技术开展煤矸石路基单一平面空隙率研究。

1 工程概况

京沪(北京—上海)高速公路一标段二分部位于山东省莱芜市境内。该项目属于改扩建工程, 扩建段采用整体式路基, 宽度拓宽至 42 m; 新建段采用单幅分离式路基, 宽度 20.75 m。建设初期, 由于路基填筑过程中遇到土源紧张问题, 为保障工程进度, 采用煤矸石作为路基填筑材料。

现场煤矸石堆场具有以下特点: 1) 煤矸石已存放 40 年左右; 2) 煤矸石分布较均匀; 3) 料源丰富,

经现场探勘并粗略计算, 为 107 万 m^3 ; 4) 煤矸石已充分自燃; 5) 煤矸石与项目有效距离较短, 取料、运输方便(见图 1)。



图 1 现场煤矸石料场

2 煤矸石路基颗粒级配变化特点

煤矸石由于存放时间较长, 在暴露的空气中会发生物理、化学及生物等作用, 其物理力学特征变化显著。煤矸石作为路基填筑材料, 碾压条件下其颗粒级配也会发生变化。根据文献[6], 不均匀系数 $C_u \geq 5$ 且曲率系数 C_c 为 1~3 时, 煤矸石的级配良好; $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时, 煤矸石的级配不连续。随机选取煤矸石路基, 取 3 个点进行取样, 对碾压前后煤矸石路基开展颗粒级配分析, 结果见图 2、表 1。

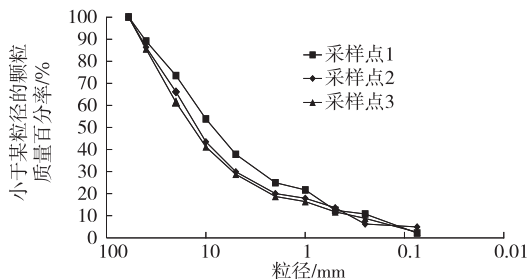


图 2 碾压后煤矸石路基颗粒分析

* 基金项目: 山东省交通运输厅科技计划项目(2019B24)

表 1 碾压前后煤矸石路基颗粒级配分析结果

取样点	不均匀系数 C_u		曲率系数 C_c	
	碾压前	碾压后	碾压前	碾压后
1	47.3	42.6	3.9	2.8
2	42.5	37.2	3.7	2.4
3	54.3	44.1	4.5	3.0

由表 1、表 2 可知:碾压前煤矸石路基颗粒级配不连续,碾压后煤矸石路基颗粒级配良好。颗粒向好的方向发展,说明在碾压过程中粗颗粒被压路机振碎并补充到细颗粒中,粗、细颗粒存在动态变化,发生颗粒级配重新分布现象。

3 煤矸石路基单一平面空隙率探讨

为研究煤矸石碾压后颗粒分布特征,揭露煤矸石颗粒重塑后的颗粒特点,借助现代拍照和计算机技术,对煤矸石振压后颗粒分布的典型区域进行定位拍照,再运用计算机技术对照片进行处理,以图片为函数对象导入计算模型中,模型宽度为 3 951 px,高度为 2 577 px,其中 x 、 y 坐标范围均为 0~1 m;颜色标定采用自动缩放比例,线性内插及常数外推处理。图 3 为粗、细颗粒基本均匀分布状态,图 4 为以细颗粒为主的分布状态,图 5 为以粗颗粒为主的分布状态。

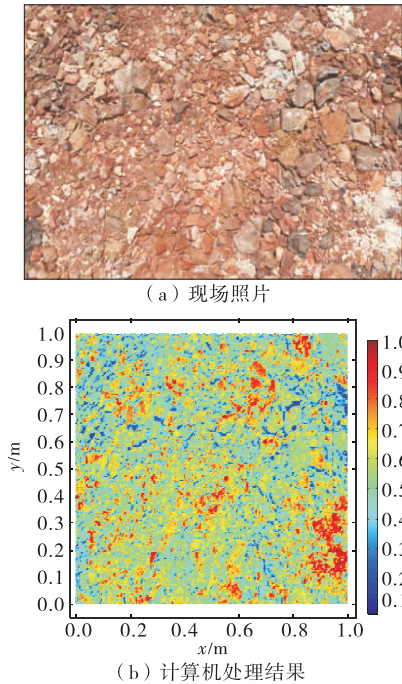


图 3 粗、细颗粒均匀分布

图 3~5 中,颜色比色图中的 1.0 代表粗颗粒的映像函数,0.1 及以下代表空隙的映像函数,其他颗粒

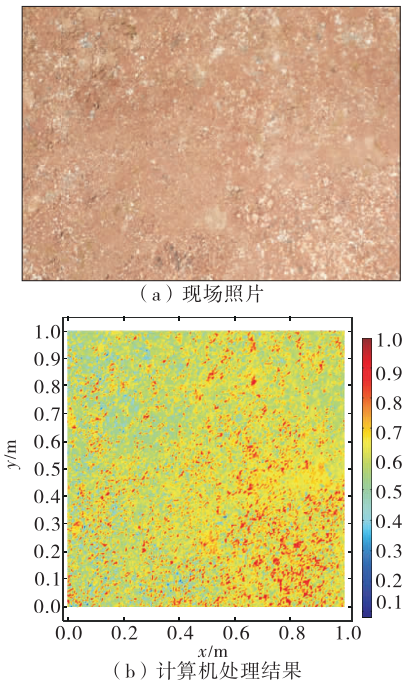


图 4 细颗粒为主分布

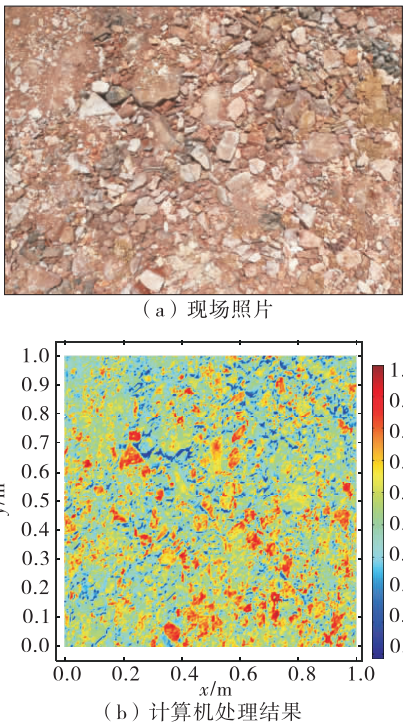
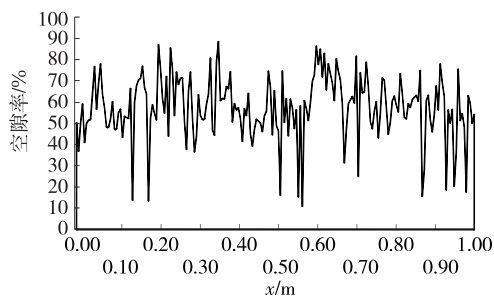
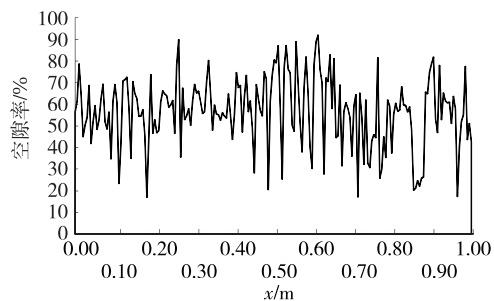
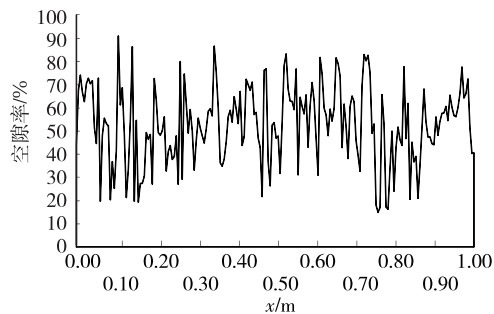


图 5 粗颗粒为主的分布

粒的映像函数为由细颗粒向粗颗粒逐渐递增的连续分布。

为进一步研究煤矸石填筑路基颗粒分布特性,在图像解析函数表达后,分别取 $y=0$ 、 $y=0.5$ 、 $y=1.03$ 个线上颗粒空隙分布(见图 6~8),沿 x 向对空隙进行积分计算。

图6 $y=0$ 条件下颗粒空隙分布图7 $y=0.5$ 条件下颗粒空隙分布图8 $y=1.0$ 条件下颗粒空隙分布

以图7为例,空隙率 n 为:

$$n = \int_0^1 f(x) dx$$

式中: $f(x)$ 为空隙率分布函数。

$f(x)=1$ 时,有:

$$n = \int_0^1 1 dx = x \Big|_0^1 = 1.0$$

$f(x)=0$ 时,有:

$$n = \int_0^1 0 dx = 0 \Big|_0^1 = 0$$

以上两个公式满足煤矸石填筑路基空隙率函数分布特征, $f(x)=0$ 时,颗粒之间胶结密实,不存在空隙率, $n=0$; $f(x)=1$ 时,不存在颗粒,全部为空隙, $n=1$ 。

依据以上公式,将微积分和有限差分相结合,计算煤矸石路基单一平面空隙率,结果如下: $y=0$ 时, $n=32.8\%$; $y=0.5$ 时, $n=34.4\%$; $y=1.0$ 时, $n=$

41.9%。

表2为室内试验所得煤矸石路基的空隙率。将煤矸石路基单一平面空隙率与室内试验煤矸石路基空隙率进行对比(见图9),两者具有一定相关性,且数据离散性较小。可为现场碾压后煤矸石路基空隙率提供参考。

表2 室内试验煤矸石路基空隙率

试验点号	表观密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	振实状态下堆积 密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	空隙率/%
1	1.65	2.501	34.03
2	1.62	2.480	34.68
3	1.55	2.620	40.84

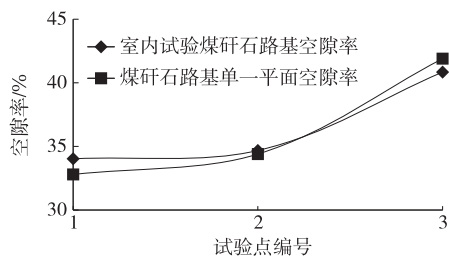


图9 煤矸石路基单一平面空隙率与室内试验煤矸石路基空隙率对比

4 结论

(1) 碾压前煤矸石路基颗粒级配不连续,碾压后煤矸石路基颗粒级配良好。颗粒向好的方向发展,说明碾压过程中粗颗粒被压路机振碎并补充到细颗粒中,粗、细颗粒产生动态变化,发生颗粒级配重新分布现象。

(2) 煤矸石路基单一平面空隙率与室内试验煤矸石路基空隙率具有一定相关性,且数据离散性较小。可为现场碾压后煤矸石路基空隙率提供参考。

参考文献:

- [1] 安斌,宋海民,陶甄,等.已燃煤矸石路基填筑颗粒重塑特性与变形控制关键技术应用研究[J].建筑施工,2019,41(21):2203-2209.
- [2] 邱钰.煤矸石在道路建设中的应用研究现状及实例[J].公路交通科技,2002,19(2):1-5.
- [3] 姜振泉.煤矸石的破碎压密作用机制研究[J].中国矿业大学学报,2001,30(2):139-142.
- [4] 刘松玉,童立元,邱钰,等.煤矸石颗粒破碎及其对工程力学特性影响研究[J].岩土工程学报,2005,27(5):505-510.

(下转第89页)

表 4 不同埋深及反倾倾角下安全系数计算结果

反倾倾角/ °	不同埋深(m)下安全系数			
	10	20	30	40
5	1.259	1.563	1.742	1.321
10	1.352	1.732	1.924	1.523
15	1.479	1.923	2.143	1.743
20	1.583	2.032	2.437	1.924

动面与 30° 的反倾倾角垂直,该角度能有效增大边坡的稳定性。2) 同一埋深下,边坡安全系数随着反倾倾角的增大而增大;30 m 埋深下安全系数最大,为 2.437。3) 软弱夹层为反倾倾角的边坡,安全系数均大于 1.2,边坡处于稳定状态。

4 结论

(1) 不含软弱夹层边坡的安全系数为 1.275,含软弱夹层边坡的安全系数为 1.252,软弱夹层的存在略微降低了边坡的安全系数;不含软弱夹层边坡仅有一处贯穿坡顶与坡脚的潜在滑动面,含软弱夹层边坡存在贯穿坡顶与坡脚、贯穿坡顶与软弱夹层两处潜在滑动面。

(2) 软弱夹层顺倾时,同一埋深下,边坡安全系数随倾角的增大而减小;同一岩层倾角下,安全系数随软弱夹层埋深的增加先减小后增大。软弱夹层反倾时,同一埋深下,边坡安全系数随着倾角的增大而增大;同一岩层倾角下,安全系数随软弱夹层埋深的增加先增大后减小。

参考文献:

- [1] 张家明.含软弱夹层岩质边坡稳定性研究现状及发展趋势[J].工程地质学报,2020,28(3):626—638.
- [2] GRIGGS D. Creep of rocks [J]. Journal of Geology, 1939,47:225—251.
- [3] 王来贵,张永利,章梦涛,等.含有结构面的岩石试件力学系统滑动稳定性[J].阜新矿业学院学报(自然科学版),1997,16(4):389—392.

- [4] 米海珍,牛军贤,李如梦.红层软岩破碎软弱夹层边坡稳定性影响因素探讨[J].兰州理工大学学报,2006,32(3):112—114.
- [5] 王建国,王振伟,王来贵,等.受控于软弱结构面的矿山软岩边坡稳定性[J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(5):686—688.
- [6] 解联库,杨小聪,杨天鸿,等.顺层岩质边坡变形破坏规律的分析[J].有色金属,2007,59(2):75—78+104.
- [7] 王振伟.软弱结构面控制的矿山软岩边坡稳定性研究[C]//中国煤炭学会.煤矿重大灾害防治技术与实践:2008 年全国煤矿安全学术年会论文集.北京:中国煤炭学会,2008:5.
- [8] 赵凯,曾亚武,曾超.基于颗粒流法含软弱结构面岩质边坡稳定性分析[J].科学技术与工程,2018,18(1):97—102.
- [9] 周子龙,卢双全,唐雯钰.不同剪切速率下软弱结构面抗剪特性分析[J].有色金属工程,2019,9(4):79—85.
- [10] 王斐笠.工程扰动下岩体结构面强度劣化及其边坡失稳分析[D].沈阳:东北大学,2017.
- [11] 沈亚麒.四川茂县—北川公路土门段层状岩质斜坡稳定性研究[D].北京:中国地质科学院,2019.
- [12] 杨小奇.含软弱层边坡地震动力响应分析优化算法研究[D].成都:成都理工大学,2016.
- [13] 朱雷.金沙江观音岩水电站坝基软弱结构面工程地质特性及抗滑稳定性研究[D].成都:成都理工大学,2013.
- [14] 楼晓昱,曾铃,何忠明.公路边坡降雨入渗对孔隙水压力影响的有限元分析[J].中外公路,2012,32(1):57—61.
- [15] 雷军伟,蔡树生,王月春,等.安犹公路膨胀土路堑边坡浅层滑坡原因与对策[J].公路与汽运,2020(2):95—98+102.
- [16] 崔涛.壶大公路边坡滑坡稳定性评价与防治研究[J].公路与汽运,2019(4):77—80.

收稿日期:2020—07—28

(上接第 84 页)

- [5] 姜景山,程展林,左永振,等.粗颗粒土二维模型试验研究[J].长江科学院学报,2014,31(9):59—64.
- [6] 陈希哲.土力学地基基础[M].4 版.北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 周涛,刘良玉,宋心斌.钢渣稳定土强度增长微观分析及路用性能研究[J].公路与汽运,2019(3):72—75.

- [8] 罗俊义.煤矸石在高速公路路基填筑中的应用[J].交通世界(工程技术),2015(5):32—33.
- [9] 张名成,徐希娟.水泥改良建筑垃圾再生填料填筑高速公路路床施工技术研究[J].公路与汽运,2017(4):115—119.

收稿日期:2020—02—16