

文章编号: 1005-0523(2007)05-0028-03

路堤填石材料的振动压实特性研究

黄宗远¹, 彭良涛¹, 孙原超¹, 李高磊¹, 袁红庆¹, 彭刚²

(1. 湖北省路桥有限责任公司, 湖北 武汉 430056; 2. 中铁十一局集团第五工程公司, 重庆 400037)

摘要: 填石材料组成差异决定填石路堤物理力学性质差别较大, 其压实受到材料自身和振动压路机参数等多种因素的影响, 而振动碾压又使颗粒发生破碎, 使得填石路堤的碾压变得更加复杂. 因此, 必须研究路堤填石材料的振动压实特性, 以充分利用填石材料和振动压路机的性能, 提高填石路堤的压实质量. 将填石材料看成散体介质, 通过分析其强度形成原理和建立 2 自由度振动压路机-填石系统模型, 研究了压路机和填石材料之间力的相互作用关系, 及其对填石材料压实的影响, 并根据振动理论从不同角度给予解释. 结果认为振动压路机的振动强度、颗粒惯性力是影响填石材料压实的主要因素, 选择低频高幅振动压路机有利于填石材料的压实.

关键词: 填石路堤; 散体介质; 数学模型; 振动碾压; 压实特性

中图分类号: TU45

文献标识码: A

0 引言

湖北沪蓉西高速公路是国家公路主骨架“五纵七横”的重要组成部分, 沿线崇山峻岭, 地形地质条件十分复杂, 路基工程中有大量的填石路堤. 按照业主质量管理规定, 填石路堤必须采用低频高幅振动压路机进行碾压. 而我国针对填石材料的压实机理研究较少. 为此, 本文将对此进行研究, 以充分利用振动压路机和填石材料的振动压实特性指导施工, 提高工程质量.

1 填石材料物理状态

填石路堤是指利用爆破开采石料、隧道弃渣等石料填筑的路基, 具有粒径较粗、压缩性低、强度高、孔隙率大、透水性强、力学性质稳定等特点, 是一种特殊结构型式的新颖路基. 填石材料是由 2~3 个数量级几何尺寸的单粒结构的颗粒所

理状态对路堤的密度、强度和稳定性产生重要影响.

2 填石材料的强度

填石材料属于单粒结构松散介质, 粘聚力很小, 抗剪强度主要来源于颗粒间的摩阻力. 摩擦力是由颗粒的滑动摩擦、咬合摩擦、颗粒破碎效应和重新排列效应所组成, 可由内摩擦角 φ 来体现. 滑动摩擦是由于颗粒表面粗糙不平、在细微处形成咬合而产生的, 基本沿接触面的平面产生, 剪切作用时不产生体积胀缩, 相应摩擦角可用 φ_u 表示. 当填石材料颗粒较大时, 颗粒之间存在相互嵌挤咬合. 受剪破坏过程中, 这种咬合作用阻碍了颗粒之间的相对移动, 移动时会产生体积胀缩即剪胀现象, 相应摩擦角可用 φ_l 表示. 因此, 填石材料的内摩擦角可表示为^[2]:

$$\varphi = \varphi_u + \varphi_l \quad (1)$$

填石材料强度规律用摩尔-库仑定律表示为:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (2)$$

式中: τ_f 为抗剪强度; c 为颗粒间粘聚力; σ 为剪切面上法向应力.

抗剪强度 τ_f 除受材料颗粒大小、形态、级配、密度等因素影响外, 还和围压水平等有关.

3 振动压路机-填石路堤系统

3.1 模型的建立

从理论上讲, 振动压路机-填石路堤是一个具有无限自



图 1 填石材料物理状态

构成的散体介质. 大颗粒形成骨架, 小颗粒填充于大颗粒之间的空隙. 填石材料颗粒组成不同决定路堤填石材料可能处于^[1]骨架、骨架密实和悬浮三种物理状态, 如图 1. 不同物

收稿日期: 2007-06-18

基金项目: 华东交通大学和湖北路桥公司、中铁十一局五公司合作项目资助. (赣技合同: 0700000000012, 0636001000475).

作者简介: 黄宗远 (1966—), 男, 湖北荆州人, 学士, 高级工程师, 主要从事公路施工技术研究.

由度的分布参数系统。然而,在一定的频率范围内,它的阻抗特性与一个多自由度系统的阻抗特性完全相似。这样,就可以建立一个简单的数学模型来描述复杂的振动压路机一路堤系统的动力学特性^[3]。采用质量—刚度—阻尼来描述填石材料参数,采用刚度和阻尼来描述减振器特性,并假定^[4]:

- 1) 系统简化成平面振动模型;
- 2) 填石材料是具有一定刚度的弹性体;
- 3) 忽略发动机工作所引起的振动;
- 4) 振动压路机在工作过程中分成不起跳和起跳两个阶段。

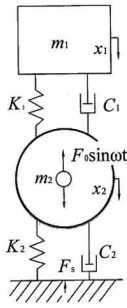


图 2 数学模型

采用 2 自由度模型^[4]来描述振动压路机—填石路堤系统的数学模型如图 2。m₁、m₂ 分别为上车、下车振动质量, K₁、K₂ 分别为减振器、填石材料的刚度, C₁、C₂ 分别为减振器、填石材料的阻尼, x₁、x₂ 分别为上车、下车的瞬时振幅, F₀ 为激振力, ω 为工作频率。

不起跳阶段是振动压路主要工作状态^[3]。当填石材料经过几遍碾压后,其刚度增大。当作用在振动轮上的垂直激振力足够大或填石材料刚度较大时,振动轮会发生起跳现象。

3.2 填石路堤的振动碾压

振动压路机在作业过程中,振动轴带动偏心块以角速度 ω 旋转产生的激振力为 F₀:

$$F_0 = M_e \omega^2 \quad (3)$$

式中: ω 为振动角频率; M_e 为偏心块的静偏心力矩, M_e = m_fr; m_f 为偏心力; r 为偏心块的偏心矩。

振动压路机在进行碾压时,对填石材料施加的是一个动态作用力,其大小不仅与振动轮的振幅、频率、静重、激振力等机械参数有关,而且与填石材料的刚度、阻尼等物理特性有关。振动轮对填石材料作用力用 F_s 表示^[5]:

$$F_s = [(K_2 x_2)^2 + C_2 \dot{x}_2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中:符号意义同前。

有些振动压路机的激振力很大,但并没有完全作用在填石材料层上。只有对填石材料作用力较大的振动压路机,才能获得较好的压实效果。用 R_T 表示激振力对填石材料作用力的有效率,则:

$$R_T = \frac{F_s}{F_0} \quad (5)$$

从式(5)看出,压路机机的压实效果不仅与机械本身参数有关,还与被压土的物理特性有关。另一方面,振动碾压过程中,振动轮下面填石材料颗粒也随着振动,其振动惯性力 I^[2]:

$$I = -m_k e \cos(\omega t + \beta) \quad (6)$$

式中: ω 为激振频率; m_k 为颗粒质量; t 为振动时间; β

为相位角; α 为振幅; e 为振动强度。并且振动强度:

$$e = a\omega^2 \quad (7)$$

当振动强度 e 较小,或颗粒质量 m_k 较小时,颗粒的惯性力 I 也较小,颗粒将在自己原来的位置振动。

当振动强度较大,或颗粒质量 m_k 较大时,颗粒的惯性力 I 足够大,可以克服周围其它颗粒摩擦阻力的作用,使颗粒偏离自己原来的位置。对于相邻颗粒粒径不同,质量 m_k 也就不同,当振动强度 e 相同时,惯性力 I 却不同。这种差别会使颗粒质点间的距离发生微小的变化,对颗粒间的微细咬合作用产生很大的衰减,即内摩擦力 σ_{an}φ 减小。

只有当填石体中产生的剪切力 τ 大于填石材料的抗剪强度 τ_f 时,才能使填石颗粒重新排列,压实变密,即:

$$\tau > \tau_f \quad (8)$$

3.3 振动压实理论^[4]

内摩擦学说认为机械装置振动时,在被压材料层中有内力和外力作用。内力包括颗粒间粘结力、摩擦力以及材料自身重力。外力包括由于振动作用使材料颗粒产生的惯性力、上层材料重力。材料受强迫振动后,由于各颗粒的质量及所处的位置不同,因而所产生的惯性力也截然不同。此时,颗粒之间的粘结膜发生张紧的现象。若惯性力不大,不足以克服颗粒间的粘聚力和摩擦力,则各颗粒仍然处于原始位置;如果惯性力很大,足以克服上述个阻力,则颗粒在自重和其上层料重的作用下相互离间发生少位移,并尽量占据最低稳定位置,排除气相和液相,互相吃紧或挤紧达到密实。

共振学说认为当激振频率与被压材料的固有频率一致时,振动压实最有效。然而,材料的固有频率是变化的,要求激振器的频率做相应的变化是困难的。

反复荷载学说认为振动所产生的周期性压缩运动作用可达到振动压实的效果。在低频范围内,它具有一定的现实性,而在高频范围内,并无充分理论依据。但在高频范围内振动作用的效果远远超过反复荷载效果。

无论是从那一种学说来研究,都能从物理学原理上说明一定的问题,但又都远未达到无懈可击的程度。这就导致了許多振动压实技术上的关键问题,不得不以实验为基础去寻求答案,同时也说明振动压实理论的研究还有很大的发展空间。

3.4 现场测试

填石路堤的压实过程实际上是填石材料颗粒在压实功能的作用下,克服颗粒间的阻力,大小颗粒重新排列,相互靠近,使空隙体积减小,密度增加的过程。在碾压过程中伴有颗粒破碎、级配不断变化。压实的根本目的在于使碎石填料之间由松散状态变为接触状态再变为坚实咬合状态,从而形成稳定的结构状态。

从式(4)、(5)、(6)、(7)看出,填石材料的压实受到填石材料本身和振动作用两个方面因素的影响。填石材料本身包括填石规格与质量、母岩性质、集料的级配、含水量、密度等,振动作用包括激振力、振幅、频率等。为了研究振动压路机对填石材料的压实特性,在沪蓉西高速公路宜(昌)恩(施)段第 5 合同段 ZK51+650~ZK51+780(YK51+660~YK51+775)路段和恩(施)利(川)段 X1 合同段 K218+320~K218+520 路段进行了振动压实试验,两路段填料分别为隧道弃渣和坡体开挖石料,材料物理力学性质试验满足路基填筑材料的有关规定,对于尺寸大于规范规定的填石料采用剔除或二次解小的办法处理。试验中均采用单机型试验方案,其中在 X1 标在振动碾压的基础上还采用了静压辅助收光压实工

艺.为了评定碾压效果,两试验段均采用灌水法测定密实度,同时测定弯沉、CBR、沉降差、沉降率指标,在X1标增加PFWD测试路堤弯沉和动弹性模量.图3、图4为两路段填石料松铺厚度为50cm时实际所用压路机在特定的工艺条件下不同频率和振幅时的沉降量检测结果.从图3、图4反映出:

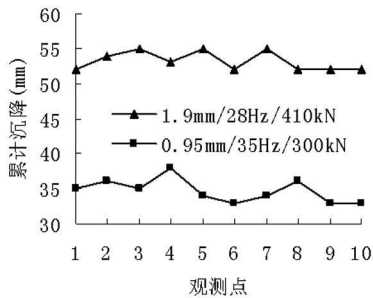


图3 LT322S 试验结果

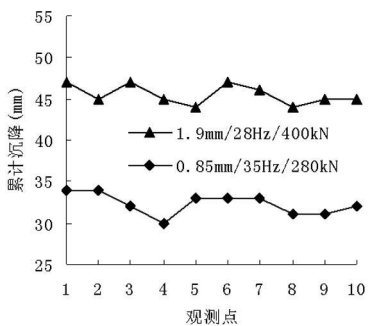


图4 YZK18 试验结果

(1) 在 F_0 、 α 、 ω 机械参数一定的条件下,受填石材料颗粒组成等性质的影响,各观测点的沉降在一定的范围内波

动,即材料组成对压实效果产生影响;

(2) 同一种压实材料在不同 F_0 、 α 、 ω 机械参数条件下,其沉降不仅取决于 F_0 ,而且和 α 、 ω 有关.观测沉降随频率的提高而降低、随振幅的增大而增大,即选择低频高幅有利于填石材料的压实;

(3) 对于不同压实材料(LT322S 为纯填石材料、YZK18 为含有少量粘土填石材料),机械参数采用低频高幅时对纯填石材料压实影响更明显,即采用低频高幅压路机进行填石路堤压实更合适.

4 结论

(1) 填石材料属于松散介质,其压实受多种因素的影响,但振动强度和颗粒的振动惯性力是最主要的;

(2) 采用激振力的有效率评价振动压路机的碾压效果更加科学合理,选定合适的工作频率和振幅可以提高激振力的效率.对于填石材料选用低频高幅的机械参数压实更加有效.

参考文献:

- [1] 兰超. 粗粒土路基压实度的评定[J]. 重庆交通大学学报, 2001, 20(3): 65~68.
- [2] 张泓, 闻邦椿. 振动压路机压实机理的研究[J]. 建筑机械, 2000, 3: 25~27.
- [3] 张润利, 金萍. 振动压路机加载阶段机械阻抗分析[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(4): 102~104.
- [4] 闫从军. 填石路基压实试验与作业质量控制研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [5] 张世英, 陈元基. 筑路机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

Study on the Vibration Compaction Properties of Rocky Material filled in Embankment

HUANG Zong-yuan¹, PENG Liang-tao¹, SUN Yuan-chao¹, LI Gao-lei¹, YUAN Hong-qin², PENG Gang²

(1. Hubei Provincial Road & Bridge Co. Ltd., Wuhan 430056 Hubei;

2. The No.5 Engineering Corp., Ltd., the No.11 Bureau Group, C.R.E.C., Chongqing 400037 China)

Abstract: Differences of rocky material in graduation and size made much differences in physical-mechanical property of embankment rock-filled, its compaction properties are influenced by many facts such as material itself and vibratory-roller's parameter, and vibrating compaction crushes the kernels less, thus the compaction of embankment rock-filled becomes more complex. Therefore, to make full use of the properties of rocky material and vibratory-roller and improve the rolling quality of embankment rock-filled, vibratory compaction properties of embankment rock-filled must be studied. Seeing rocky material as dispersoid media, by analyzing the principle forming strength of rocky material and setting up the 2 freedom degree model of vibratory-roller and rocky material, the reciprocity between roller and rocky material and the influence on compaction properties of rocky materials are studied. All these are explained with vibratory theory. Results prove vibratory strength of vibratory-roller and inertia force of kernels are main factors influencing on the compaction. Choosing low frequency and high amplitude vibratory-roller is favorable for compaction.

Key words: embankment rock-filled; dispersoid media; mathematic model; vibrating compaction; compaction properties