

文章编号:1671-6833(2010)03-0092-04

黄土振动压实试验研究

张青哲¹, 杨人凤¹, 戴经梁²

(1. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要: 为研究黄土振动压实机理, 优选振动压实作业参数, 以名义振幅、振动频率和碾压速度为影响因素, 在实验室进行3因素3水平振动压实正交试验。试验结果表明: 各因素不同水平下, 压实度随碾压遍数的增加而增大, 但增长速率不同; 振幅对压实度影响最大, 其次是碾压速度, 而振动频率对压实度影响较小; 在同一振动压实过程中, 压实度增长速率也不同, 前8遍压实度增长较快, 8遍后压实度增长速率降低。最佳的振动压实作业参数为: 振幅1.6 mm, 振动频率30 Hz, 碾压速度为0.8 km/h。

关键词: 道路工程; 黄土; 振动压实; 作业参数; 优选

中图分类号: U416; TU444

文献标识码: A

0 引言

黄土是在我国北部广泛分布的一种特殊土, 常常被用作公路路基填料^[1]。黄土地区沥青路面普遍出现的问题为路基沉陷、路面开裂以及过大的工后沉降, 路基压实不足是造成该问题的原因之一^[2]。实践证明, 凡严格按照重型压实标准认真施工的路基路面工程, 其路面承载能力大幅度提高, 路基路面的稳定性也得到了充分保证, 没有产生明显的压缩变形, 降低了黄土路基的湿陷变形。所以, 加强对黄土路基的压实对于增强道路路基、路面的使用性能和延长寿命是非常重要的^[3-4]。

沙庆林院士对公路路基压实问题进行了较系统的总结^[5]。沙爱民教授利用振动压实成型机对黄土进行室内击实成型试件试验研究^[6]。还有许多学者在黄土路基压实的技术、影响因素和机理方面进行了研究^[7-9]。但是用振动压路机对黄土进行振动压实国内还未见文献报道。笔者利用振动压路机模型, 根据正交试验设计, 研究了振幅、振动频率、碾压速度等因素对黄土压实效果的影响规律, 并给出了振动压实作业的优选建议参数, 对黄土现场压实有一定的工程指导意义。

1 试验用黄土基本物理性质

试验用黄土取自西安市等驾坡地区, 土料所属地层为马兰黄土, 所处地形平坦, 属一级黄土塬区, 地层分布稳定, 土质均匀, 结构较致密, 存在少量虫孔及植物根茎孔洞。作者按照《公路土工试验规程》(JTG E40-2007)^[10], 对试验用黄土进行颗粒分析试验、界限含水率试验及击实试验, 得到其基本物理性质如表1所示。

由以上试验结果可知, 试验用黄土为低液限粉质黏土, 属不良级配土。

表1 黄土物理性质

Tab. 1 Basic physical property of loess

名称	粗砂	中砂	细砂	细粒
筛孔/mm	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.074	<0.074
通过量/%	4.11	3.34	2.85	89.70
塑限/%	液限/%	塑性指数	最佳含水率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)
21.0	36.4	15.4	14.5	1.918

注: 不均匀系数 $C_u = 3.33$, 曲率系数 $C_c = 0.73$

2 试验方案

黄土振动压实试验在长安大学“道路施工技术”教育部重点实验室的大型土槽内进行

收稿日期: 2009-12-10; 修订日期: 2010-04-07

作者简介: 张青哲(1971-), 男, 长安大学工程机械学院副教授, 博士研究生, 主要研究方向为振动压实机理和工程机械作业质量控制, E-mail: zqz1228@163.com.

行.试验装置采用自行设计的振动压路机模型^[11],其主要技术参数为:整机重 640 kg,振动轮直径 560 mm,轮宽 750 mm,振幅 0~1.6 mm、振动频率 0~50 Hz 范围内可调.试验压实段长 8 m,宽 1 m.试验时用环刀法测量被压黄土不同深度处的压实度.

影响压实效果的因素很多^[7].根据试验条件及所用振动压路机,确定影响试验的因素为振动压路机的振幅、振动频率和碾压速度.各因素及其水平如表 3 所示.其中,振幅的改变是通过调整振动轴上两个偏心块的相对夹角来实现的,振幅为 1.2、1.4 及 1.6 mm 时偏心块的夹角分别为 83°、58°和 0°.振动频率和碾压速度的改变借助于两个变频器来实现.试验工况采用 3 因素 3 水平的正交表 $L_9(3^3)$,共需 9 组试验.各因素每一水平参与试验的组数均为 3,因此,9 组试验全面反映了各因素对试验结果的影响.

表 3 试验因素及水平

Tab.3 The factors and levels in test

水平	名义振幅 /mm	振动频率 /Hz	碾压速度 /(km·h ⁻¹)
1	1.2	27	0.80
2	1.4	30	1.12
3	1.6	33	1.44

3 试验结果及分析

以压实度作为衡量压实效果的主要评价指标.9 组正交试验的压实度结果如表 4 所示.

3.1 压实度与碾压遍数的关系

根据表 4 的压实度试验结果,把各因素每一水平下的 3 组试验结果进行平均,结果如表 5 所示.

根据表 5 计算结果,可得压实度与碾压遍数的关系曲线,如图 1 所示.

表 4 各工况表层压实度

Tab.4 Compactness of top layer in different working condition

%

碾压遍数	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	工况 9
2	80.13	80.06	80.58	80.98	81.79	81.07	80.62	82.12	81.48
4	81.81	82.70	81.29	82.79	84.43	84.69	84.24	84.34	84.19
6	83.00	83.25	82.67	84.25	85.70	85.15	84.67	86.24	85.72
8	86.54	84.72	84.97	85.45	87.02	85.07	85.01	86.76	87.74
12	87.78	85.87	83.79	86.06	87.20	86.82	87.23	89.37	87.93

表 5 各因素不同水平下表层压实度平均值

Tab.5 Average compactness of top layer in different factors and levels

%

碾压遍数	名义振幅/mm			振动频率/Hz			碾压速度/(km·h ⁻¹)		
	1.2	1.4	1.6	27	30	33	0.8	1.12	1.44
2	80.26	81.28	81.41	80.58	81.32	81.04	81.11	80.84	81.00
4	81.93	83.97	84.26	82.95	83.82	83.39	83.61	83.23	83.32
6	82.97	85.03	85.54	83.97	85.06	84.51	84.80	84.41	84.35
8	85.41	85.85	86.50	85.67	86.17	85.93	86.12	85.97	85.67
12	85.81	86.69	88.18	87.02	87.48	86.18	87.99	86.62	86.07

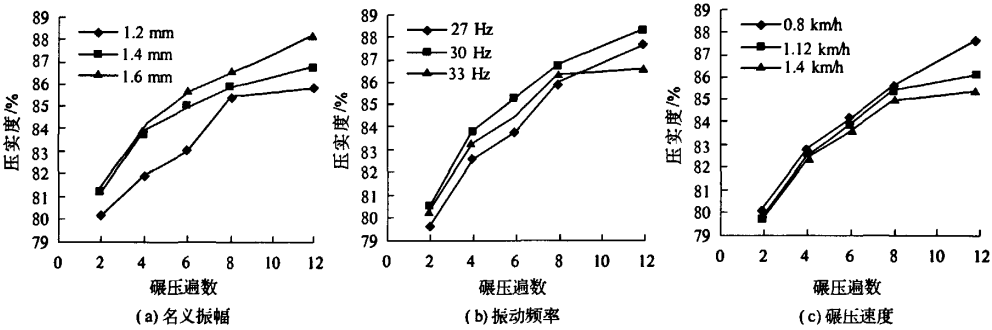


图 1 各因素不同水平表层压实度与碾压遍数的关系

Fig.1 The relationship of compactness and roller compaction times in different factors and levels

由表5和图1可以看出:

(1)各因素不同水平下,压实度随碾压遍数的增加而增大,但增长速率不同,这说明各因素的变化对压实效果的影响不同。

(2)在同一振动压实过程中,压实度增长速率不同。前8遍压实度增长较快,8遍后压实度增长速率降低。这是由于试验用振动压路机压实功较小,在同一压实功作用下压实到一定遍数后压实度难以明显提高,继续碾压压实效果不佳。

3.2 各因素对压实度的影响

为分析各因素及其水平对压实度的影响,求得每一因素不同水平下压实度最大值与最小值之差,定义为极差。极差的大小可以反映该因素对压实度的影响程度。根据表5中第12遍试验结果,可得振幅、振动频率及碾压速度3个因素的极差分别为:2.37,1.30,1.92,如图2所示。

由图2可以看出,各因素对黄土压实度影响程度不同。振幅对压实度影响最大,其次是碾压速

度,而振动频率对压实度影响较小。根据共振原理,在对黄土进行压实作业时,振动频率在其固有频率附近可取得最好的压实效果。

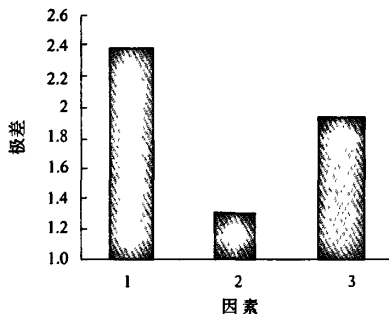


图2 各因素对表层压实度的影响

Fig.2 The influence of different factors on the compactness of top layer

3.3 振动压实作业参数优选

根据表5中第12遍压实度值,可得各因素不同水平对压实度的影响,如图3所示。可以看出:

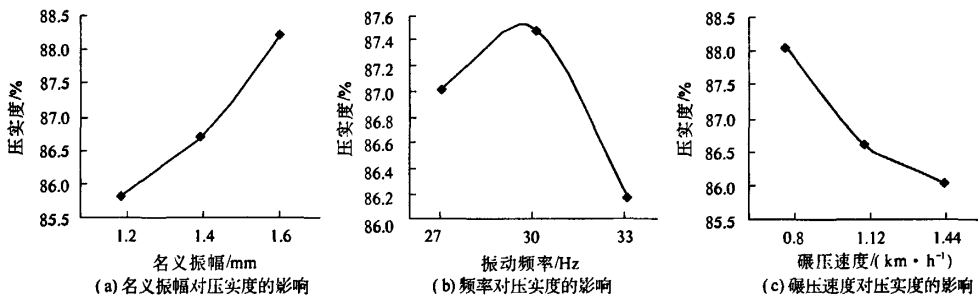


图3 各因素不同水平对表层压实度的影响

Fig.3 The influence of different factors in different levels on the compactness of top layer

(1)压实度与振幅成正比,振幅越大,压实度越高,振幅为1.6mm时表层压实度可达88.18%。因此,加大振幅可提高压实效果,增加压实影响深度,但须注意机械的减振。

(2)在频率为30Hz时压实度最高,达87.48%。根据文献[6],当振动频率与被压材料的固有频率一致时,容易产生共振,压实效果较好。因此,可认为试验用黄土的固有频率为30Hz左右。

(3)压实度与碾压速度成反比,速度较低时可获得较高的压实度。但速度低时生产率下降,因此,实际作业中,在确保压实质量的同时,可适当提高碾压速度。

根据以上分析,黄土振动压实试验参数优选

结果为:振幅1.6mm,振动频率30Hz,碾压速度0.8km/h。在9组正交试验中,工况8的各参数与优选结果一致,该工况的表层压实度为89.37%。

4 结论

(1)各因素不同水平下,压实度随碾压遍数的增加而增大,但增长速率不同。在同一压实过程中,压实度增长速率也不同。前8遍压实度增长较快,8遍后压实度增长速率降低。

(2)振幅对压实度影响最大,其次是碾压速度,而振动频率对压实度影响较小。在保证振动压路机减振效果的前提下,尽可能增大振幅;在确保压实质量的同时,可适当提高碾压速度;而振动频率则根据黄土的固有频率来确定。

(3)最佳的振动压实作业参数为:振幅1.6 mm,振动频率30 Hz,碾压速度0.8 km/h.

参考文献:

- [1] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [2] 张洪亮,王秉刚. 黄土路基压实标准研究[J]. 公路工程,2008,33(5):20-23.
- [3] 陈开圣. 冲击压实技术在处治湿陷性黄土地基中的应用[J]. 工程地质学报,2006,14(3):390-393.
- [4] 景宏君,张斌. 黄土地区公路路基冲击压实试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(1):25-29.
- [5] 沙庆林. 公路压实与压实标准[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [6] 沙爱民,陈开圣,马峰. 黄土室内振动压实特性试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2008,28(1):1-5.
- [7] 陈开圣,沙爱民. 黄土压实影响因素分析[J]. 公路交通科技,2009,26(7):54-58.
- [8] YOO T S. A theory for vibratory compaction of soils [D]. Buffalo:State university of New York at Buffalo, 1975.44-52.
- [9] DIETER P, POPPY W. Simulation of soil compaction with vibratory rollers [J]. Journal of Terramechanics, 1992,29(6):585-597.
- [10] JTG E40-2007,公路土工试验规程[S].
- [11] 刘本学,冯忠绪,董秀辉. 双频振动在振动压实中的应用及试验研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2006,27(3):50-54.

Loess Property and Vibrating Compaction Test

ZHANG Qing-zhe¹, YANG Ren-feng¹, DAI Jing-liang²

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technique and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: To study the mechanism of the vibrating compaction on the loess and then optimize the working parameter on vibrating compaction process, indoor experiments are designed and the orthogonal method of three-factors versus three levels is used to analyze the effect of the nominal amplitude, vibrating frequency and roller compaction velocity on vibrating compaction. The results show that in different levels at the different factors, the compactness is increasing with the roller compaction times. But the velocity is increasing differently. The influence of the amplitude on the compactness is most obvious. Then the roller compaction velocity takes second place. And the influence of the vibrating frequency is the smallest. Moreover, the increasing velocity of compactness is different during the same compaction process. In the first eight roller compactions, the compactness is increasing fast, whereas the increasing rate slows down in after times. The optimal working parameter of vibrating compaction is concluded that the amplitude is 1.6 millimeter, the vibrating frequency is 30 Hz and the roller compaction velocity is 0.8 kilometers per hour.

Key words: road engineering; loess; vibrating compaction; working parameter; optimization