

文章编号: 100226819(2001)0520015204

振动压实下土壤基础密实程度在线监测研究

秦四成¹, 程悦荪¹, 李忠², 戴培清², 白笃²

(1 吉林大学; 2 内蒙古北方重工业集团有限公司)

摘要: 简要分析了传统的地基压实监测方法, 根据振动轮系统的响应特征, 形成了振动压实下土壤基础密实程度在线监测的理论基础, 并研制开发了土壤基础密实程度在线监测系统。

关键词: 土壤; 压实; 密实度; 监测

中图分类号: S237 **文献标识码:** A

随着现代土木工程施工机械化水平的不断提高, 农田水利工程和建筑工程地基的压实问题成为保证土木工程质量的—大关键, 振动压路机被认为是各种工程基础施工中必要的压实设备, 而工程压实质量的检测—直采用传统的、随机抽检的人工检测方式, 压实质量的检查和控制成为进一步发展压实技术的一个重要而又紧迫的研究课题。

1 传统的地基压实监测方法

当前, 国内外现场测定土木工程基础材料密实程度的方法主要有:

(1) 不同类型的核子仪。它属非破坏性试验用仪器, 它利用放射性元素(通常是 C 射线), 测量土木工程基础结构层材料的密度, 利用中子测量其含水量。但核子仪需检验放射性是否超标, 超标的放射性对人体有害。

(2) 破坏性试验, 是指在测量土层或基础材料层的密实度和含水量时, 需要对被测量层进行—定程度的破坏, 以采取样品, 常用的方法有: 灌砂法、水袋法、环刀法、蜡封法。

破坏性试验检测存在共同的缺点, 例如: 需要细心的手工操作, 费时、费工、费用高; 由于采样有限, 存在以点代面的缺点, 试验结果的重复性差, 由于无法在压实过程中测量或估计压实程度, 只能在碾压结束后检测, 对压实不足地段很难及时补偿, 从而引起返工、拖延工期, 而当压实次数过多时, 又白白浪费能量与工时, 甚至反而振松已压实的基础。

2 基础压实控制技术的发展

由于许多建筑工程施工现场土方工程量都明显增大, 每天的土方工程量可达 1~2 万 m³, 采用传统的压实检测控制方法往往难以满足及时指导施工的要求, 人们—直在寻找—种安装在压实机械上的能在压实过程中连续自动监测的装置, 即连续压实控制系统。

至 70 年代末期和 80 年代初, 已有一些安装在压路机上的压实计问世, 并投放市场, 西德 Bomag 公司在 80 年代初研制的 BTM 压实计和日本铺道公司在 80 年代末期研制的 CDS 压实文件记录系统; 瑞典 Geodynamik 的压实仪到目前为止主要用于土石填料和碾压混凝土的压实, 最近又设计了一种新的沥青混凝土压实记录系统, 它采用 4 个全球定位系统对摊铺机和压实机进行准确定位; Bomag 公司近期也推出了土壤压实检测系统 Terrameter 和自动化压实系统, 可以连续检测所达到的压实度, 并使压路机可以根据地面条件自动采取最佳振动方式。

现代测试技术、微机控制技术的迅速发展势必推动这一在线实时监测控制技术的飞速发展。

3 振动压路机振动轮—土壤系统动力学研究

作为振动压路机工作部件的振动轮与被压实土壤间的数学描述及其动力分析, 是有关振动压路机压实理论研究的理论基础。

3.1 振动轮—土壤系统数学模型

根据振动压路机的实际结构和工作特点, 建立

收稿日期: 2001 202 207

作者简介: 秦四成, 博士, 副教授, 长春市人民大街 142 号 吉林大学机械学院, 130025

振动轮—土壤系统数学模型,如图 1 所示,模型中:

m_1 为机架分配质量(又称上车质量); m_2 为振动轮质量(又称下车质量); m_3 为振动轮随振土体质量; F_e 为振动轮内部偏心机构激振力;

k_1^3 — 振动轮与机架间减振支承系统复刚度。必须通过对单个橡胶减振器单元的动态性能试验和对振动轮减振支承系统的动力分析计算得出,分析表明其值与振动轮的工作频率、工作振幅、减振单元的布置尺寸等因素有关。

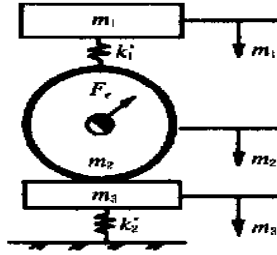


图 1 振动轮—土壤系统模型

Fig 1 The drum—soil system model

k_2^3 — 被压实土壤的复刚度。本次研究参阅相关的文献资料,采用土壤材料在振动轮动态载荷作用下压实试验的方法,并根据振动轮触地尺寸等确定 k_2^3 值^[1]。

对于某型号振动压路机振动轮—土壤系统数学模型中的各参数值如表 1,而建筑工程中几种典型的被压实土壤参数值如表 2 所示。

表 1 振动轮—土壤系统各参数值

Table 1 The parameters of the drum—soil model

	m_1 ökg	m_2 ökg	m_3 ökg	F_e ökN	$k_{11} (1 + G_1 i)$ ökN m ⁻¹
高振幅	1 600	3 450	500	198	4 146 80i (1 + 0.635i)
低振幅	1 600	3 450	500	93	2 424.00i (1 + 0.368i)

表 2 不同工况下土壤的复刚度 $k_2^3 = k_2(1 + G_1 i)$

Table 2 The values of the soil complex rigid in the operating modes

		原生亚沙土	石灰膨胀土	水 泥 土
低 振 幅	第一阶段	107 500 × (1 + 0.750i)	134 500 × (1 + 0.76i)	182 400 × (1 + 0.82i)
	第二阶段	157 000 × (1 + 0.0053i)	165 000 × (1 + 0.042i)	213 000 × (1 + 0.038i)
	第三阶段			
高 振 幅	第一阶段	215 500 × (1 + 0.80i)	245 000 × (1 + 0.81i)	293 400 × (1 + 0.78i)
	第二阶段	235 500 × (1 + 0.053i)	273 000 × (1 + 0.032i)	321 200 × (1 + 0.028i)
	第三阶段			

3.2 振动压路机振动压实现理论基础

对于图 1 的振动轮—土壤系统,其运动方程为

$$[m] \ddot{\{x\}} + [k^3] \{x\} = \{f\} \quad (1)$$

式中 $[m]$ 、 $\{x\}$ 、 $[k^3]$ 、 $\{x\}$ 、 $\{f\}$ 分别系统质量矩阵,复刚度矩阵,加速度列阵,位移列阵,激振力列阵,即

$$[m] = \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 + m_3 \end{pmatrix} \quad [k^3] = \begin{pmatrix} k_1^3 & -k_1^3 \\ -k_1^3 & k_1^3 + k_2^3 \end{pmatrix}$$

$$\ddot{\{x\}} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{pmatrix} \quad \{x\} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad \{f\} = \begin{pmatrix} 0 \\ F_e \end{pmatrix}$$

表 3 振动轮—土壤系统的响应 x_1, x_2

Table 3 The response values x_1, x_2 of the drum soil model

		原生亚沙土		石灰膨胀土		水 泥 土	
		机架位移 x_1	振动轮位移 x_2	机架位移 x_1	振动轮位移 x_2	机架位移 x_1	振动轮位移 x_2
低 振 幅	第一阶段	0.21 × 10 ⁻⁵	4.0 × 10 ⁻⁴	0.24 × 10 ⁻⁵	4.38 × 10 ⁻⁴	0.68 × 10 ⁻⁴	0.38 × 10 ⁻³
	第二阶段	20.9 × 10 ⁻⁵	39.0 × 10 ⁻⁴	21.24 × 10 ⁻⁵	42.1 × 10 ⁻⁴	2.89 × 10 ⁻⁴	2.99 × 10 ⁻³
	第三阶段	3.14 × 10 ⁻⁵	7.75 × 10 ⁻⁴	3.44 × 10 ⁻⁵	6.82 × 10 ⁻⁴	1.47 × 10 ⁻⁴	1.29 × 10 ⁻³
高 振 幅	第一阶段	0.83 × 10 ⁻⁵	0.42 × 10 ⁻⁴	0.86 × 10 ⁻⁵	0.44 × 10 ⁻⁴	0.72 × 10 ⁻⁴	0.45 × 10 ⁻³
	第二阶段	1.68 × 10 ⁻⁵	1.90 × 10 ⁻⁴	1.87 × 10 ⁻⁵	2.11 × 10 ⁻⁴	3.39 × 10 ⁻⁴	2.37 × 10 ⁻³
	第三阶段	1.25 × 10 ⁻⁵	1.70 × 10 ⁻⁴	1.49 × 10 ⁻⁵	1.78 × 10 ⁻⁴	2.28 × 10 ⁻⁴	1.88 × 10 ⁻³

由上述计算结果,可以看出,在振动轮—土壤系统中,振动轮位移响应和机架位移响应,随着被压实土壤动态性能的变化呈现规律性的变化:在振动压实初期,土壤在振动轮载荷作用下,产生压缩变形,土壤密实度增加,土壤具有一定的塑性性能,土壤动力刚度 k^3 增加,振动轮及机架产生一定的位移响应。随着振动轮压实过程继续进行,土壤被进一步压实,土壤动力刚度 k^3 增加,而土壤塑性性能有所减小,振动轮及机架位移响应增加至一定的值。此后,土壤压实进一步进行,土壤动力性能主要表现为相对刚度性能,土壤压缩变形不再增大,振动轮有可能跳离地面,此时,振动轮及机架位移响应有所降低。振动轮位移与压实遍数的关系如图 2 所示。振动轮—土壤系统位移响应这种规律性变化,是由系统的动力性能决定的。由简谐振动理论可知,振动轮—土壤系统中的振动轮及机架加速度响应也具有这种变化规律。

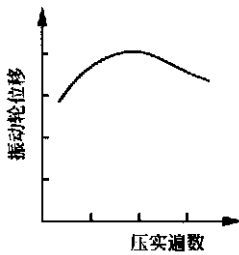


图 2 振动轮位移与压实遍数的关系

Fig 2 The relationship between the drum displacement and drum compaction times

振动压路机振动轮—土壤系统动力响应在一定作用参数下的规律性变化具有普遍性,不因被压实材料的不同而不同,这种规律性的直接应用就是识别土壤压实过程中的不同压实阶段,这是土壤压实程度连续测量的理论基础。

4 土壤密实度在线监测系统

4.1 在线监测系统的基本组成

土壤密实度在线监测系统主要由计算机系统、传感器系统及面板显示系统 3 个部分组成,见图 3。

控制计算机采用高速 16 位 80C196 型单片机,其突破了片上仅集成常规计算机资源的界限,增加了模拟量采集系统等功能,大大简化了系统的外部硬件电路,从而使系统的结构更加紧凑,并且性能稳定,速度快,性能价格比高。计算机系统安装在密封的金属盒中,安放在驾驶室里,通过电缆连接器与

传感器系统相连接,通过转接端子与面板显示系统相连接。

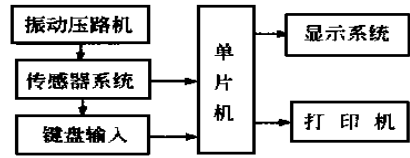


图 3 系统组成框图

Fig 3 The system component frame

计算机系统的软件系统包括:数据采集模块、状态监测模块、显示输出模块。

面板显示系统由数码显示屏、蜂鸣器等组成,能够对振动压路机的作业状态进行监测。

4.2 系统的输入信号

根据前述的振动轮—土壤系统的理论分析,振动轮的结构特点及监测系统的功能要求,确定系统的输入信号为:发动机转速信号;振动轮偏心轴转速信号;振动轮振幅状态信号;振动轮轮体垂直振动加速度信号。

4.3 系统监控程序

土壤密实度在线监测系统的全部功能都是在硬件的支持下,由监控程序实现的。

监测系统监控程序结构,如图 4。

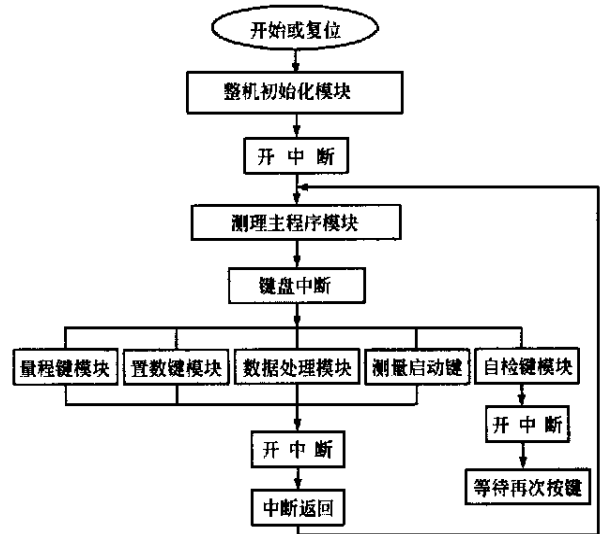


图 4 监控程度框图

Fig 4 The monitoring routine frame

由上述研究可知,在振动压路机作业过程中,后一遍压实测取的振动加速度幅值比前一遍压实测取的相应的振动加速度幅值增量不大,或两者近似相等,则表明这种振动压路机在所指定的压实工程中,压实效果已充分发挥出来了,压实已结束。实测的振

动轮振动加速度信号还应与微处理器存储的数据(由相关施工技术规范所确定的被压实材料的密实程度)进行比较,如果两者的数值相近或者相等,意味着达到了预定的压实效果。

4.4 系统工程应用

应用所开发的土壤密实度在线监测系统,安装于某型单钢轮振动压路机上,在长春~白城高等级公路的施工现场,进行了工程现场实测,测试结果如表4所示。在传统的公路施工中,施工部门根据相关的施工技术规范,在确定一定的填层厚度后,为保证规范要求的基础密实度,均给出不同型号的振动压路机、不同工作状态下的压实遍数,采用土壤密实度在线监测系统后,在保证施工质量要求的前提下,施工效率大大提高,从而节约了机时,节省了能源消耗,缩短了施工周期。

表4 现场实测结果

Table 4 The field test values

发动机转速 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	振动轮 工作状态	原生 亚沙土	石灰 膨胀土	水泥土
2 200	低幅高频	压实6遍 (规定8遍)	压实6遍 (规定8遍)	压实5遍 (规定6遍)
2 200	高幅低频	压实5遍 (规定8遍)	压实4遍 (规定8遍)	压实3遍 (规定6遍)

5 结论

1) 振动轮—土壤系统动力响应随土壤压实性能的变化而表现为由小到大,再由大到小的变化过程,这是系统的动力性能决定的,并被试验所证实。

2) 振动轮—土壤系统动力响应的规律性变化具有普遍性,不因被压实材料的不同而不同,其直接应用就是识别土壤压实过程中的不同压实阶段。

3) 振动压路机采用土壤密实度在线监测系统后,在保证施工质量要求的前提下,施工效率大大提高,从而节约了机时,节省了能源消耗,缩短了施工周期。

[参考文献]

- [1] 秦四成 振动压路机振动压实及其系统动力学研究[D] 长春:吉林工业大学,1998
- [2] L. 福斯布拉德(瑞典). 土石填方的振动压实[M] 甘杰贤等译 北京:人民交通出版社,1986
- [3] 美国国家半导体公司 数据采集系统应用手册[M] 刘仁普译 北京:北京航空航天大学出版社,1997. 9
- [4] Michael Tettke and Wolfgang Poppy. Leistungssteigerung bei der Bodenverdichtung mit Vibrationswalzen[J] Strassen Tiefbau, 1993, 47(768): 13~ 15

Observation Study on Line of the Soil Compaction in Vibratory Roller

Qin Sicheng¹, Chen Yuesun¹, Li Zhong², Dai Peiqing², Bai Du²

(1. Nanling Campus, Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Inner Mongolia North Heavy Industries Group Corp. Ltd 130025, China)

Abstract: This article briefly discusses the traditional methods in the base compact observation. According to the responses of vibratory roller, the base theory of the online observation of the soil compaction is found. The system of the base compacting observation online is developed.

Key words: soil; vibration compaction; compactness; observation