

连续压实检测指标概率分布模型研究

聂志红, 焦 倓, 王 翔

(中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘 要: 基于某路基的现场压实试验数据,以连续压实指标 CMV 为分析变量,考虑 CMV 影响因素的基础上对数据进行筛选,利用常用概率模型进行统计分析,初步得到数据所符合的概率分布模型后,引入离散概率,利用散点图来进行概率择优.结果表明 CMV 指标最符合对数正态分布,在该模型的基础上确定了最优的碾压遍数,为该路基段连续压实质量检测提供了参考依据.

关键词: 路基工程;连续压实控制;概率分布;离散概率

中图分类号: TU41 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.02.004

0 引言

传统压实检测方法不能实时连续的反映整个填筑层的压实质量^[1],对此国外首先提出连续压实控制(CCC)技术^[2],连续压实控制是基于振动轮与土体相互作用原理,在填筑碾压过程中对振动轮的动态响应信号进行分析得到填筑体压实状态的检测方法^[3],Sandstrom^[4-5]等学者定义了 CMV^[6]作为评定指标之一.这一技术近年来也逐步运用到了我国高速铁路压实质量检测中.高速铁路路基填料的压实由于受压实机械、土的种类、含水率以及压实方式等影响,得到的压实质量指标是一个波动的数值.研究压实指标的统计规律,建立合理的概率分布模型可分为路基压实可靠度^[7]评价提供依据.且压实指标概率分布模型和分布参数对工程可靠性分析结果和精度产生直接的影响^[8].笔者以沪昆高铁某工程段的连续压实指标 CMV 试验数据为样本,分析 CMV 的分布规律,找出最优模型,并应用此模型得到最佳碾压遍数,为此工程段路基连续压实质量检测提供依据.

1 连续压实质量检测简介

路基连续压实质量检测原理是将压路机与路基作为一个系统,振动轮的动力学参数变化与压实材料的压实度有密切关系,通过对振动轮上动态响应信号的变化情况来反映压实材料的压实状态^[9].连续检测改变了传统意义上的抽样控制方

式,实现了对整个碾压面的全覆盖式控制,已经成为一项成熟并普遍应用的先进压实技术,在欧洲一些国家得到了普遍应用.

CMV 是连续压实质量检测指标之一.它是在振动压路机参数、振动轮的尺寸参数已知的情況下,根据土体与振动压路机相互动态作用原理,通过对连续的两个轮竖向振动响应信号进行频谱分析,得到压实质量指标.

$$CMV = C \cdot \frac{A_1}{A_0}, \quad (1)$$

式中: C 为常数; A_1 为加速度的一次谐波振幅; A_0 为加速度基频振幅^[6].

2 概率分布模型的确定

2.1 试验工点概况

某路基连续压实质量检测试验段里程为填料为 DK107+486.02~DK107+578.60,使用 A 组填料,母岩为砂质板岩,路基填高 7.5 m,坡度 1:1.75,宽度:13.2 m,现场的施工参数如表 1.

2.2 检测数据采集及筛选

试验段连续压实质量检测设备采用美国天宝公司(Trimble)生产的 CCS900——CMV 采集系统,试验压路机型号为 8208K-5.压路机工作时,连续压实系统沿着碾压轨迹,连续采集 CMV 指标,每 20 cm 产生一个 CMV 数值.

由于压路机的行进速度、方向、振动频率以及碾压面的平整度都会影响到检测数据的准确性.

收稿日期:2013-12-18;修订日期:2014-02-05

基金项目:国家自然科学基金联合基金资助项目(U1134207);铁道部科技研究开发计划(2010G018-B-3-2)

作者简介:聂志红(1973-),男,湖南娄底人,中南大学副教授,博士,从事路基沉降与动力稳定研究,Email:niezhih@126.com.

表 1 试验工点概况

Tab.1 Experimental work site profile

压路机吨位/ T	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	振动频率/ Hz	虚铺厚度/ cm	含水率/ %	地基处理 情况	填料不均匀 系数	填料曲率 系数
25	3	30	40	4.3	CFG 桩	14.85	1.39

根据《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》^[10]中的相关规定,对数据进行筛选:剔除压路机后退时所得数据^[11-12];剔除碾压速度超出 3~5 km/h 的数据^[3,4].删除振幅为零的数据^[3].初步筛选后,根据文献^[13],剔除特异值,最终得到的试验段有效数据见表 2.

表 2 压实指标 CMV 的统计量

Tab.2 Compaction indicators of CMV statistics

统计量	CMV
最大值	73.2
平均值	46.3
均方差	10.65
变异系数	0.23
最小值	23.8
方差	113.42
样本容量	3257

对上表 CMV 数据进行统计分析,作出图 1 所示频方分布图.

表 2 可以看出,CMV 的变异系数偏大,其主要原因是填料为砂质板岩,其自身变异性比较大,导致了 CMV 波动性.由图 1 可得,数据集中分布

在 40~60 之间,且显示一定的偏态性.

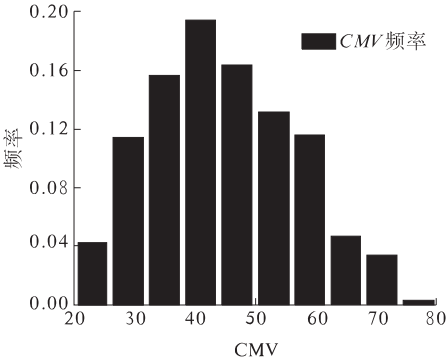


图 1 CMV 频率分布直方图

Fig.1 Frequency distribution histograms of CMV

2.3 概率模型分析

土工参数概率分布一般满足正态分布、对数正态分布、贝塔分布等常见几种概率分布模型^[11-12],再结合 CMV 数据频方分布图显示的趋势,选用正态分布、对数正态分布、贝塔分布和极值 I 型概率模型对有效 CMV 数据进行拟合,拟合曲线见图 2.

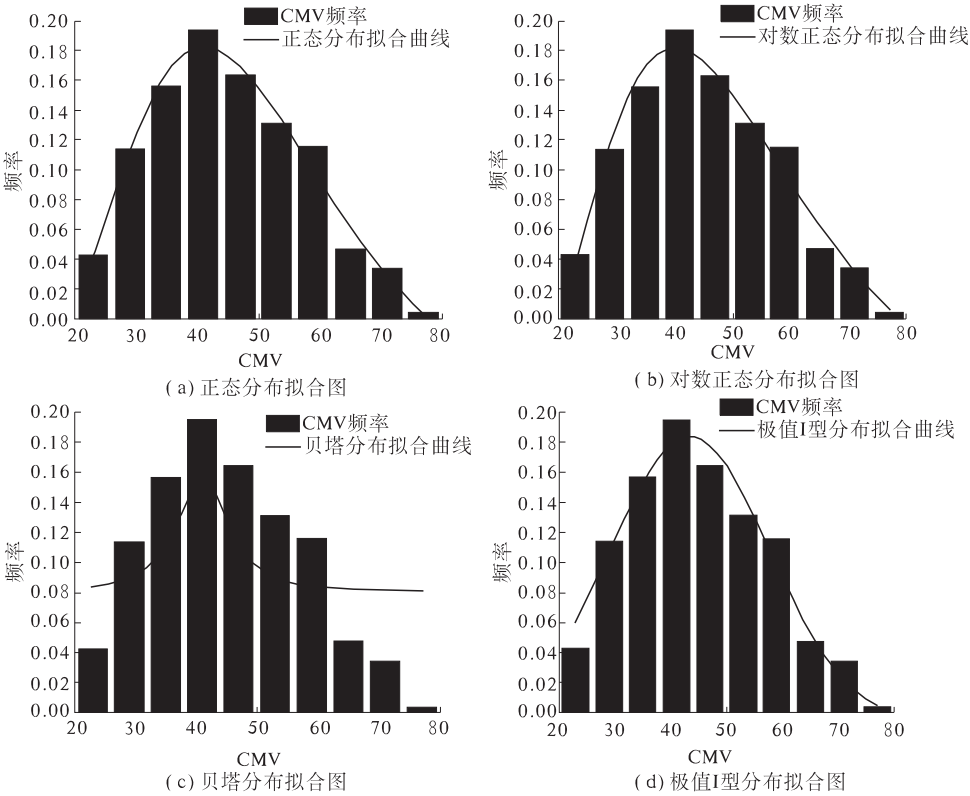


图 2 概率分布拟合图形

Fig.2 Fitting graphics of probability distribution

图 2 曲线的拟合参数见表 3,由于贝塔分布拟合度很低,结果无实际意义,故表中未列出。

表 3 中 μ 为位置参数,决定曲线在横轴的位置, σ 为形状参数,决定曲线高低宽窄的程度。

由图 2,表 3 初步发现正态分布、对数正态分布具有较高的拟合精度且拟合参数符合表 2 的 CMV 统计量,而贝塔、极值 I 型分布拟合精度低,不宜采用。

表 3 参数拟合结果			
Tab.3 Parameter fitting results			
分布类型	拟合参数		拟合度
	μ	σ	
正态分布	44.40	15.93	0.92
对数正态分布	45.61	0.56	0.98
极值 I 型分布	42.02	19.55	0.81

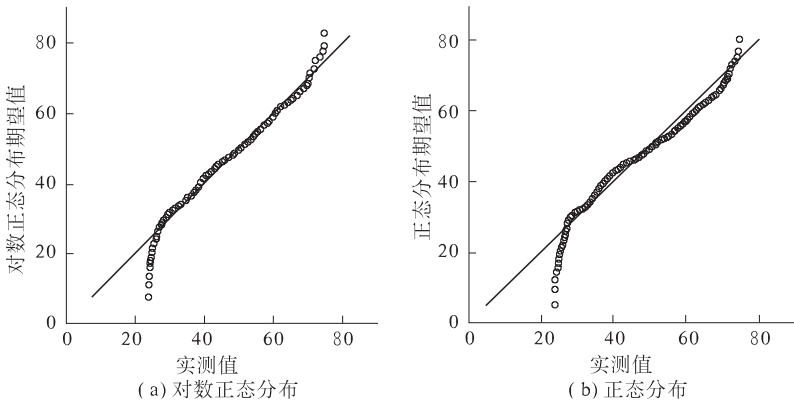


图 3 对数正态分布、正态分布概率图

Fig.3 Lognormal distribution, normal probability plots

2.4 概率模型择优

从拟合结果来看,CMV 数据符合正态分布和对数正态分布,两者拟合度相近,为确定最优模型,将实测值与两种分布的预测值作对比。作正态和对数正态分布概率图如图 3。经计算,对数正态分布散点图的拟合度为 0.97,而正正态分布的拟合度为 0.91,从而可得,对数正态分布回归线更加接近于标准线,即对数正态分布实测值与预期值线性对应关系优于正态分布,CMV 数据更加符合对数正态分布。

2.5 试验段最优碾压遍数确定

由于上述工程段 CMV 数据符合对数正态分布模型,故取对数正态分布拟合参数值 μ 作为每遍连续代表值 CMV_i ,作各层 CMV_i 的变化图,见图 4。

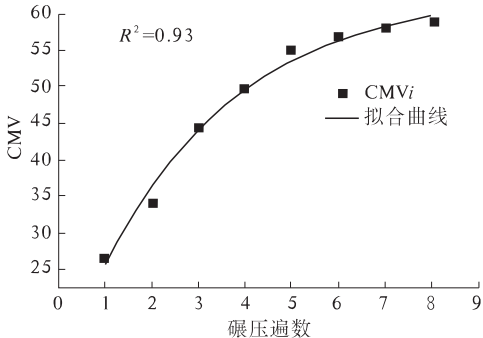


图 4 CMV_i 变化趋势

Fig.4 Changing trends of CMV_i

图 4 可以看出,随着碾压变数的增加 CMV_i 逐渐趋于稳定,且前后两遍的 CMV_i 变化率开始减小,为此定义变量 δ_i

$$\delta_i = \frac{CMV_i - CMV_{i-1}}{CMV_{i-1}}, \tag{2}$$

式中: δ_i 相邻两次的压实值变化率; CMV_i 表示第 i 遍碾压的 CMV 代表值。根据相关规程^[13],当 $\delta_i \leq 5\%$ 时,认为满足压实稳定性要求。本工程段的 δ_i 结果见表 4。

表 4 δ_i 计算结果		
Tab.4 Calculating results of δ_i		
碾压遍数/次	CMV_i	$\delta_i/\%$
1	26.7	—
2	34.1	27.8
3	44.5	27.6
4	49.8	14.5
5	54.9	10.24
6	56.8	3.5
7	58.1	2.3
8	58.9	1.2

由表 4 数据可知,进行第六次碾压后, δ_i 符合要求。所以在上述假设的前提下可得到结论:当碾压六遍后压实稳定性符合规范要求。此工程段可以参考此结论进行施工。

3 结论

(1) 针对沪昆高铁湖南段连续压实质量检测

数据,考虑 CMV 的影响因素,对筛选后的 CMV 试验数据进行了分析.通过概率模型分布分析,发现正态分布、极值 I 型分布和对数正态分布都具有较高的拟合精度,引入离散概率的概念,进一步分析出 CMV 最符合对数正态分布.

(2)将得到的模型应用到此工程段,进行压实检测后得出压路机施工中六遍后 CMV 将会满足压实规定,为此工程段路基施工效率判断提供了参考.

参考文献:

- [1] 和民锁. 高速铁路路基填筑质量检测方法控制指标及评价体系研究[D]. 长沙:中南大学土木工程学院,2010.
- [2] VENNAPUSA P, WHITE D, MORRIS M. Geostatistical analysis for spatially referenced roller-integrated compaction measurements[J]. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2010, 136(6), 813-822.
- [3] THURNER H, SANDSTROM. Continuous Compaction Control, CCC[C]. European Workshop Compaction of Soils and Granular Materials, Presses Ponts et Chaussées, Paris, France, 2000, 237-246.
- [4] FACAS N W, RINEHARI R V, MOONEY M A. Development and evaluation of relative compaction specifications using roller-based measurements [J]. Geotechnical Testing Journal, 2011, 34(6): 129-135.
- [5] SANDSTRÖM A, PETTERSSON C. Intelligent systems for QA/QC in soil compaction. Proc[C]. Annual Transportation Research Board Meeting (CD-ROM), Transportation Research Board, Washington, D. C., 2004.
- [6] VENNAPUSA P K R, WHITE D J, MORRIS M D. Geostatistical analysis for spatially referenced roller-integrated compaction measurements [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2009, 136(6): 813-822.
- [7] 赵国藩,金伟良,贡金鑫. 结构可靠度理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:26-35.
- [8] 李小勇,白晓红,谢康和. 岩土参数概率分布统计意义上的优化分析[J]. 岩土工程技术,2000(3):130-133.
- [9] 闫国栋. 高速铁路路基连续压实质量控制研究[D]. 长沙:中南大学土木工程学院,2010.
- [10] 2011TB. 铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程[S].
- [11] 李小勇,谢康和与白晓红. 土性指标概率分布模型的研究[J]. 岩土工程技术,1999,(4):23-26.
- [12] 张晓波,徐伯青. 压实均匀性的影响因素及其评价[J]. 施工机械与施工机械化,2011,28(7):60-63.
- [13] 王龙,解晓光,姜立东. 基于 PFWD 碎石土路基压实快速检测与均匀性评价方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(2):66-71.
- [14] 和民锁,李亮,聂志红. 客运专线路基压实检测指标的试验研究[J]. 铁道科学与工程学报,2009,6(6):27-32.

Study on Probability Distribution Models of Continuous Compaction Indicators

NIE Zhi-hong, JIAO Tan, WANG Xiang

(School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: CMV is an indicator of continuous compaction control (CCC). The major purpose of the paper is to investigate the probability models of CMV and find the optimal rolled times based on the data of a subgrade site. Several methods were used to filter the CMV data and the discrete probability was used to find the most accurate probability model. After analyzing the final CMV data, the results shows that the lognormal distribution is the most accurate distribution. Based on the model, the result of optimal rolled times was found as six times. The result of the paper provide a reference for the subgrade continuous compaction.

Key words: subgrade construction, continuous compaction control (CCC), probability distribution, discrete probability