

回填土地基压实质量现场快速检测方法探究

谢强,王端舛,严沁茹,陶寅琪,张斌

(国网江苏省电力有限公司常州供电分公司,江苏省常州市,213000)

摘要 近年来,随着变电站建设工程的大量启动,回填土地基的压实作业量也随之大幅增加。为保证施工工期,快速检验土地基的压实质量显得尤为重要。利用振动压路机的振动加速度估计土壤压实率不失为一种便捷的方法。本文构建了一种三阶多项式模型用于实现上述目的,同时,为了避免激振力幅值和频率等因素对模型精度造成影响,还引入了神经网络,后者根据上述因素的变化不断地对模型系数进行调整。现场实验证明了其效果。

关键词 回填土;压实率;神经网络;振动加速度

中图分类号:TU753 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)10-0037-02

伴随着国家的全面发展,需要新建越来越多的变电站工程以满足日益增长的用电需求。回填土地基作为目前新建变电站的主要地基形式,其压实质量对新建变电站的结构服役性能至关重要。因此,地基处理后的压实效果需要通过必要的检测方法来进行评价。

近年来,相关学者和工程师相继提出了一些压实质量检测方法^[1-5]。其中,结合多种土工试验的方法对压实土的压实质量进行综合评价虽最为有效,但是效率很低。利用瑞利波速度等可快速测量的数据快速估计压实度等参数不失为一种便捷的选择。然而由于一些因素的影响,由前者估算后者比较困难。

振动压实方法具有过程时间少、加载频率高、影响深度大的优点。有鉴于此,本文将尝试采用压路机振动加速度去估计压实度。为了考虑回填物来源、工程环境、压路机工况等因素对估计造成的影响,本文提出了一种基于神经网络的模型参数实时估计方法,以便可以准确地利用振动加速度与压

实度关系模型对压实度进行快速估计。

1 方法描述

方法实施的首要步骤是,需要利用加速度传感器测量振动轮在激振力和振动轮自身重力,以及抗力作用下的瞬时加速度。为此需要先将加速度传感器安装于振动轮上。考虑到垂直安装的加速度传感器最能有效反映压路机振动加速度的变化,这是由于振动轮产生的冲击波以振动轮与地面的接触面为中心按扇形逐次向回填土深层扩散,所以垂直方向上的冲击波最先达到回填土底层并反馈回振动轮。因此选择将一个单轴加速度计安装于振动轮旋转轴正上方位置。单轴加速度传感器选择为上海延坤公司的型号为YK-YD-50的加速度传感器。由于加速度传感器的输出存在噪声,因此笔者在获得加速度传感器的输出之后,进一步地运用快速傅立叶技术对振动加速度信号进行频谱分析,以得到不同受力状态下各个频率成分的幅值,然后去除一次以上的谐波信号,以保留基频信号和一次谐波信号(基频信号可以认为是激振力信号,一次谐波成分为主要影响因素,可以认为是抗力信号),最后进行傅立叶逆变换,以得到滤波后的加速度信号。最终得到的加速度信号会通过蓝牙上传至上位机处理。

目前的研究表明,压实度与振动加速度之间成正比关系。有学者^[6]将该关系拟合为线性关系,其中关系模型的系数为常数。为了进一步提高精度,将压实度与振动加速度之间的关系模型考虑为

项目资助:“国网常州供电公司,2024年回填土地基压实质量快速智能测试技术研究服务”,编号:SGJSCZ00KJJS2401933。

作者简介:谢强(1992~),男,江苏高邮人,工学硕士,工程师,研究方向:电网建设。

表1 样本数据

| 来源(级配良好) | 堆填厚度(cm) | 工程环境 | 遍数 | 行驶速度(m/s) | 振动幅值(mm) | 振动频率(Hz) | 振动加速度(m/s ²) | 压实率(%) |
|----------|----------|---------|----|-----------|----------|----------|--------------------------|--------|
| 细砾土 | 35 | 23°/40% | 1 | 1 | 1.9 | 43 | 23.1 | 76.2 |
| 细砾土 | 32 | 23°/40% | 2 | 1 | 1.9 | 43 | 30.3 | 85.3 |
| 细砾土 | 29 | 23°/40% | 3 | 1 | 1.9 | 43 | 30.7 | 88.1 |
| 细砾土 | 26 | 23°/40% | 4 | 1 | 1.9 | 43 | 32.5 | 92.9 |
| 砾沙土 | 35 | 26°/43% | 1 | 0.8 | 1.5 | 46 | 30.6 | 67.8 |
| 砾沙土 | 33 | 26°/43% | 2 | 0.8 | 1.5 | 46 | 33.4 | 78.4 |
| 砾沙土 | 31 | 26°/43% | 3 | 0.8 | 1.5 | 46 | 37.5 | 81.9 |
| 砾沙土 | 30 | 26°/43% | 4 | 0.8 | 1.5 | 46 | 42.2 | 90.6 |

如下形式:

$$\rho = A\alpha^3 + B\alpha^2 + C\alpha + D \quad (1)$$

其中, ρ 为压实度, α 为振动加速度, A、B、C和 D 为模型系数。待得到加速度信号之后,可最终利用式(1)估计出压实土的压实度。由于回填物来源、工程环境、压路机工况等因素的影响,上述四个模型系数并不恒定,并且变化范围较大。为此,笔者尝试利用BP神经网络对上述模型系数进行估计,以便进一步提高基于式(1)的压实度检测方法的实用化程度。

土壤级配、堆填厚度、遍数、行驶速度、振动幅值、振动频率是影响压实度的直接因素,因此这些因素必然会改变式(1)所示的模型系数。工程环境(温湿度)会影响土壤的含水率,从而影响压实效果,因此也必然会改变式(1)所示的模型系数。有鉴于此,确定神经网络的输入为量化后的回填物来源、堆填厚度、工程环境(温度和湿度)、遍数、行驶速度、振动幅值、振动频率,输出为模型系数。其中回填物来源和堆填厚度为人工预输入量,其余输入量分别由温湿度传感器、里程计(遍数)、编码器(速度)、振动传感器(振动幅值、振动频率)实现测量。万能近似定理(Universal Approximation Theorem)表明,具有一个隐藏层并包含足够多神经元的神经网络可以逼近任何闭区间内的连续函数。因此,神经网络选取为单隐层的BP网,隐层神经元个数为23(多次试验后的基于精度和计算效率的最优选择),选取“Fletcher-Reeves共轭梯度”算法为模型训练算法。

2 实验结果

实验在常州某110kV配电线架空塔地基压实工

程现场进行。所用的振动压路机的型号为厦工XG6204M。

表1所示为现场采集的部分样本数据。表中的压实度数据由灌砂法获得,为工程现场多点测量结果的平均值。

将现场采集的121组数据按7:1.5:1.5的比例分成训练集、验证集和测试集。训练集用于训练神经网络的权值和偏置,验证集用于调整训练过程中的一些超参数,比如学习率、迭代次数等,而测试集则用于测试模型的估计精度。

训练完成后的神经网络的误差直方图如图1所示。可以看出,三种数据集的拟合误差基本符合零均值低方差的正态分布,其均方根误差(MSE)分别为0.0095(R=0.9991)、0.0084(R=0.9992)和0.0104(R=0.9990)。

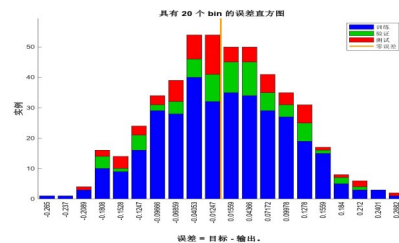


图1 训练完成后的神经网络模型的精度测试结果(误差直方图)

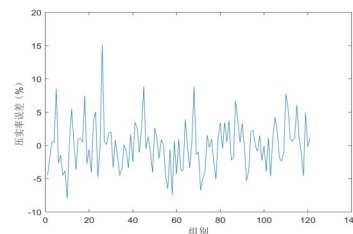


图2 压实率估计误差

图2展示了121组数据的压实率(下转第21页)