

文章编号:1005-0523(2017)03-0034-06

# 含红砂岩砾粒红黏土路基碾压特性及效果研究

杨园野,丁海滨,赵秀绍,方 焘,郭国君

(华东交通大学江西省岩土工程基础设施安全与控制重点实验室,江西 南昌 330013)

**摘要:**基于实际工程需要,设置试验段,对含红砂岩砾粒的赣州红黏土作为路基填料时的填筑特性进行了研究。试验采用振动碾压、冲击碾压及二者组合碾压对不同虚铺厚度的土层进行碾压试验,并结合动应力监测,分析验证了不同碾压机械,碾压效果不同的原因。同时在试验的过程中对碾压施工引起的环境振动进行监测,分析了碾压振动的安全距离。在试验检测过程中,采用EVD和K30同时检测,比对二者之间的关系,为含红砂岩砾粒的红黏土碾压检测提供参考。研究表明:对于江西赣州含红砂岩砾粒的红黏土填料,宜虚铺厚度为40~50 cm,先采用冲击碾压,压实度达到80%以上时,再采用振动碾压,效率最高,碾压施工的振动安全距离为25 m;对于含红砂岩砾粒的红黏土地基填料压实的检验,采用EVD初检时,可参考公式 $K30=1.91EVD+8$ 计算地基K30值。

**关键词:**红黏土;碾压;虚铺厚度;压实度;振动

中图分类号:TU435

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.03.006

当前,我国高铁技术突飞猛进,高铁建设日新月异,铁路路基填筑工程量巨大,充分利用临近土源填筑路基,是保证路基建设经济有效的前提。

江西赣州地貌以丘陵为主,地质以红黏土为主,部分地区富含强风化红砂岩砾粒。对于红黏土的研究,万智、谈云志、蔡彬权、邓毅及罗成江等<sup>[1-5]</sup>研究了影响红黏土路基压实度的因素,对高速公路工程中红黏土路基的压实提出处理方法。宋常军等<sup>[6]</sup>通过试验研究了湘西高液限红黏土特殊的路用特性及多种工况组合下高液限红黏土直接填筑路堤的碾压效果。成丽华、曹为和舒林等<sup>[7-9]</sup>对高液限黏土进行实验成果和经济分析,提出了将高液限红黏土作为路基填料时具体的处理方案。朱国平<sup>[10]</sup>研究了干湿循环作用下,红黏土细观结构的变化。李志勇等<sup>[11]</sup>通过动三轴试验研究了红黏土动态回弹模量。耿大新等<sup>[12]</sup>通过试验研究了重塑红黏土毛细度的变化,为路基病害的防治提供了参考。

对于含砾粒红黏土的路基填筑特性,研究较少,杨俊等<sup>[13]</sup>研究了在红黏土中掺入天然砂砾后,其力学指标会发生相应的变化。吕海波等<sup>[14]</sup>通过试验研究了粗粒含量以及含水率变化对含砾粒红黏土填筑性能的影响。富含红砂岩砾粒的红黏土作为路基填筑组料,存在水稳性差,压实困难等问题。确定含红砂岩砾粒红黏土填料的压实施工标准,对于指导类似的工程具有重要的指导意义。

## 1 工程背景

赣州港铁路专线工程位于江西省赣州市龙岭镇,地质以红黏土为主,丘陵地貌,山丘富含强风化红砂岩,遇水崩解甚至泥化。铁路干线全程3.7 km,其中并行京九线长2.2 km,路基填方126 114 m<sup>3</sup>,其中A组填料18 736 m<sup>3</sup>,剩余填料为含红砂岩砾粒的红黏土。工程采用20 t振动碾压机和25KJ-T3型冲击碾压压机处理地基,所建铁路为Ⅱ级铁路,要求压实度达到90%,K30达到150 MPa/m。

收稿日期:2017-01-08

基金项目:江西省岩土工程基础设施安全与控制重点实验室(20161BCD40010);国家自然科学基金资助项目(51668018)

作者简介:杨园野(1991—),男,硕士研究生,研究方向为岩土工程。

指导老师:赵秀绍(1978—),男,博士,副教授,研究方向为岩土工程、道路与铁道方面研究。

## 2 室内土工试验

从现场取样,通过筛分试验,得到其级配曲线(如图2所示),可得其不均匀系数为8.3,曲率系数为1.1,砾粒含量较高。试验测得其液限为30%左右,塑限为20%左右,属于低液限粉质粘土。天然含水率19%,最大干密度为 $1.82\text{ g/cm}^3$ ,通过击实试验得到其压实度与含水率的关系(如图3所示),可知其最优含水率为23%左右。

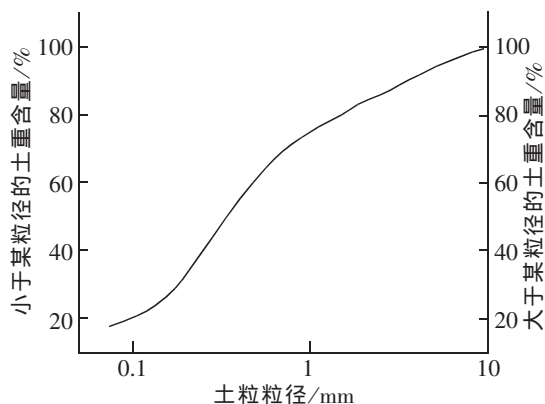


图2 颗粒级配曲线

Fig.2 Grading curve of particle



图1 现场施工

Fig.1 Field operation

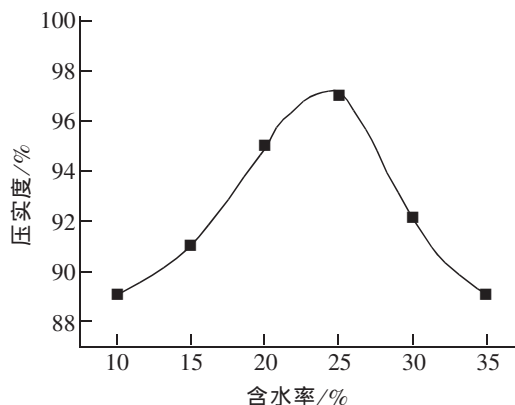


图3 压实度与含水率关系

Fig.3 Relationship between compaction degree and water content

## 3 现场试验

试验段设于赣州港铁路专线工程装卸站区域 D1K3+150~D1K3+750,长 700 m,宽 40 m。现场试验使用渣土车集中运送填料,使用装载机推移,再利用摊铺机整平。试验针对振动碾压和冲击碾压的压实效果及对周围环境的影响进行比对,并确定虚铺厚度范围及压实效果的 EVD 检测和 K30 检测的换算关系。施工平面布置图如图4所示。

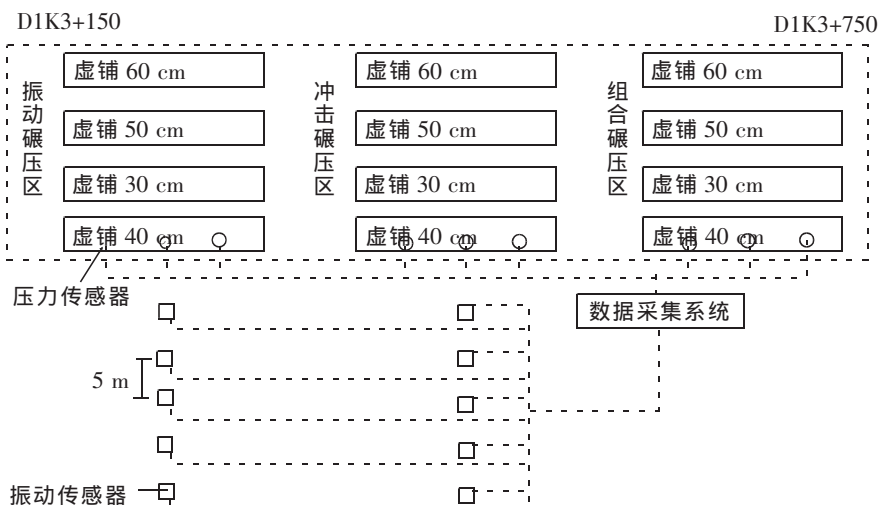


图4 现场试验平面布置图

Fig.4 Plane layout of field test

### 3.1 碾压速度

振动碾压速度慢,能保证较好的压实效果,但效率太低,影响工期;振动碾压速度快,会产生推移和裂纹,达不到压实效果。因此振动碾压速度的选取,对于工程效益有着显著的影响。已有学者通过试验研究得出振动碾压机械轮径不变时,振动碾压速度主要由振动冲击间距及振动频率所决定<sup>[15]</sup>。试验采用碾压机械轮径 160 cm,对应振动冲击间距为 36 mm,碾压机械振动频率为 3 000 r/min,计算碾压速度为 6.48 km/h。试验中发现,初始碾压速度快,局部会出现拥包现象,故试验中设定第一遍碾压速度为 5 km/h,后续碾压速度为 6.48 km/h。

冲击碾压是利用冲击轮自身的重量和前进时的冲击力对路基填料进行破碎和压实,故采用设计碾压速度即可。试验采用工程常用的 25KJ-T3 三边形冲击碾压机械,双轮各宽 0.9 m,两轮内边距相距 1.17 m,来回碾压算一遍,每遍压实中的第二次振动碾压轮由第一次两轮内边距中央通过,碾压速度选用设计平均值 10.5 km/h。

### 3.2 压实效果

试验设置虚铺厚度分四级:30、40、50 和 60 cm,并在 40 cm 虚铺填料底面埋置压力传感器。再分别采用振动碾压和冲击碾压两种碾压方式进行碾压,每次碾压过后,用环刀在虚铺填料底面取样,计算压实度。待虚铺填料底层达到 Ⅱ级铁路压实标准,用 K30 验算其承载力。

图 5 与图 6 为不同虚铺厚度填料在振动碾压作用下压实度随碾压遍数的变化及第 6 遍碾压时的动应力监测。可以看出,在振动碾压作用下,填料底层压实度逐步稳定提高,在碾压遍数达到 7 遍时,趋于稳定;填料底层压实度随着虚铺厚度的增大而减小,当虚铺厚度超过 50 cm 时,碾压 6 遍不能达到 Ⅱ级铁路压实标准。在振动碾压机械经过动应力测量点的过程中,动应力先是稳定的增大,后稳定的减小,持续的振动作用能有效的降低土壤的内摩擦力,故随着碾压的遍数的增加,压实度逐渐稳定的提高。

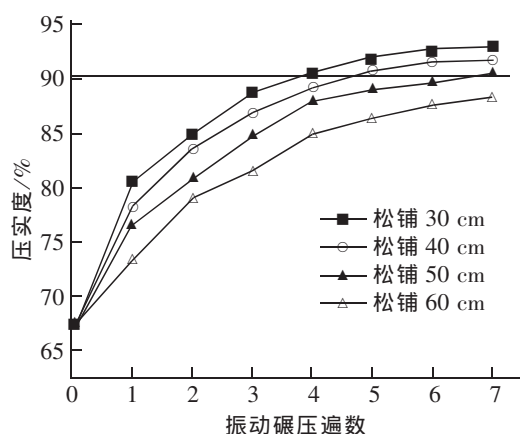


图 5 振动碾压下压实度与碾压遍数关系

Fig.5 Relationship between compaction degree and rolling time under vibration rolling

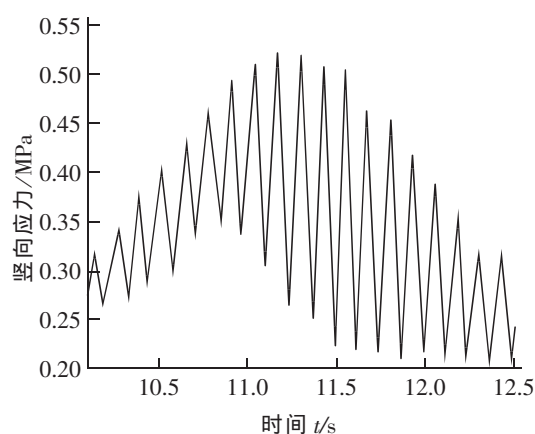


图 6 振动碾压下动应力时程曲线

Fig.6 Time-history curve of dynamic stress under vibration and rolling

图 7 与图 8 为不同虚铺厚度填料在冲击碾压作用下压实度随碾压遍数的变化及第 6 遍碾压时的动应力监测。可以看出,冲击碾压 1~3 遍能较快的提高填料压实度,但一味采用冲击碾压并不能取得最好的压实效果。其原因在于,冲击碾压机的凸形轮使得其在碾压过程中,产生较大的集中应力,能够有效的破碎块状强风化红砂岩,使其形成较小的砾粒,但间断性的冲击压实面,致使碾压的位置不连续,土壤中的动应力也不连续,土壤的内摩擦力不能因为振动的作用持续保持在较低的水平,其抗剪强度较振动碾压要高,故最终压实效果较相同吨位的振动碾压机械压实效果要弱。

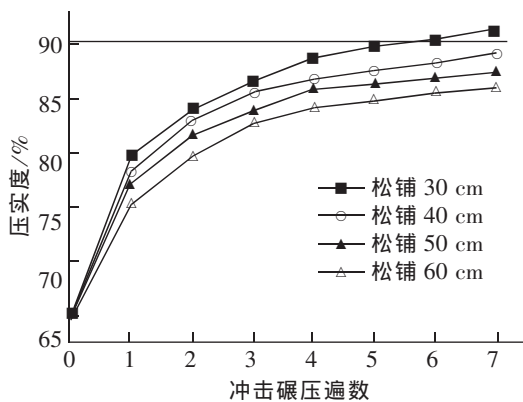


图7 冲击碾压下压实度与碾压遍数关系

Fig.7 Relationship between compaction degree and rolling time under impact rolling

通过比对振动碾压与冲击碾压的压实效果,提出组合碾压的方式,先采用冲击碾压2~3遍,压实度达到设计标准的80%,再采用高频振动碾压达到规范要求的密实度。

图9与图10为不同虚铺厚度填料在组合碾压作用下压实度随碾压遍数的变化及压实完成后的K30检测结果。虚铺30cm和40cm在碾压5遍时即达到92%,测得K30值为171 MPa/m和160 MPa/m;虚铺50cm在碾压6到7遍时基本达到90%,测得K30值为151 MPa/m。可以看出对于含红砂岩砾粒的红黏土填料,虚铺40~50cm,采用先冲击碾压再振动碾压的组合碾压方式,5~6遍就能达到规范要求的压实度。

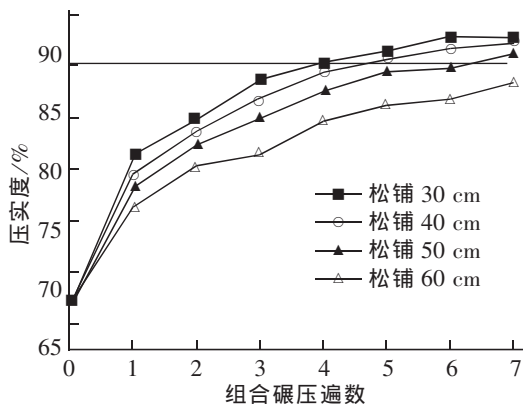


图9 组合碾压下压实度与碾压遍数关系

Fig.9 Relationship between compaction degree and rolling time under composite rolling

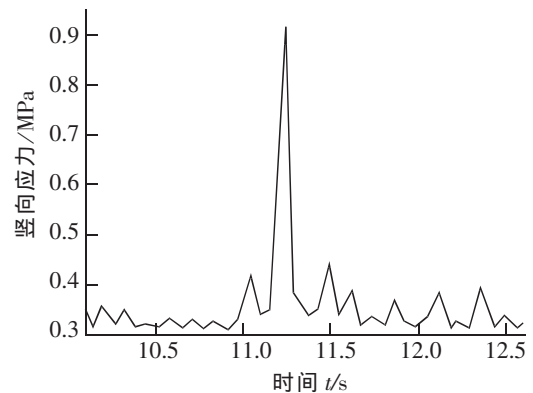


图8 冲击碾压下动应力时程曲线

Fig.8 Dynamic stress time-history curve under impact and rolling

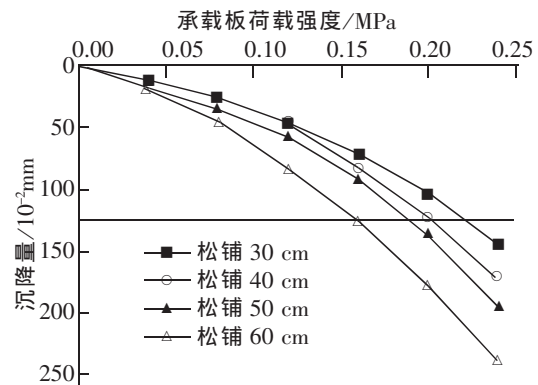


图10 不同虚铺厚度下沉与承载强度的关系

Fig.10 Relationship between settlement and bearing strength under different paving thickness

通过试验段试验分析,对于含红砂岩砾粒的红黏土填料,宜采用的虚铺厚度为40~50cm,应采用先冲击碾压2~3遍,后振动碾压,压实效率高,压实效果最好。

### 3.3 振动监测

施工引起的振动,不但威胁周围建筑物的安全,而且影响人们的正常生活。国内外大多采用振动速度值或振动加速度值来衡量振动效应,普遍采用振动速度幅值不超过0.050 8 m/s且加速度幅值不超过0.1g作为建筑物安全振动控制标准。

为监测碾压施工对周围环境的振动影响,在松铺厚度40cm的试验段一侧,每隔5m布置一个振动传感器,监测该点加速度和速度变化。

图11和图12所示为碾压完成时,速度与加速度的衰减曲线,由图可得,冲击碾压比振动碾压会引起更高的环境振动,二者的衰减都很快,安全距离在25m以内,对附近的建筑物和居民生活基本无影响。

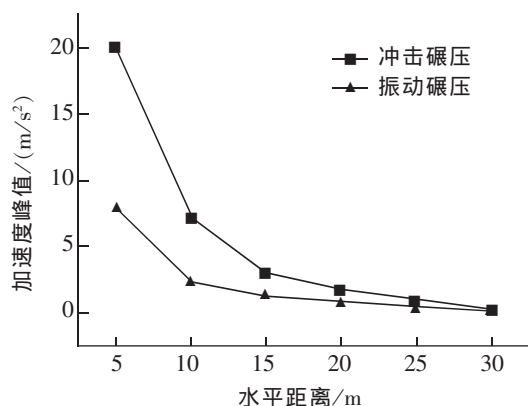


图 11 速度峰值衰减曲线

Fig.11 Curve of peak particle velocity at ground surface

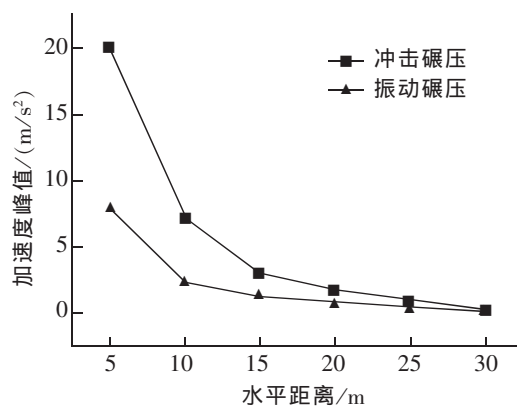


图 12 加速度峰值衰减曲线

Fig.12 Curve of peak particle acceleration at ground surface

### 3.4 EVD 与 K30 检测

现场检测试验中,若每次都采用 K30 检测承载力,如果存在检验不合格的情形,就需要再次碾压后进行二次检验,而 K30 的操作很耗费时间。EVD 的操作很便捷,故考虑采用 EVD 对压实过的路基进行初检,检测合格后,再用 K30 进行检验确认。EVD 运用冲击锤冲击承载盘,通过传感器得出路基的动态弹性模量,但由于其使用瞬态冲击荷载,只能对路基表层的弹性模量作以反应,一定深度以下的土体动力响应不能及时反应到 EVD 传感器上。故 EVD 和 K30 的值不能严格对应起来,只能用作参照,满足 EVD 值的, K30 检测合格的几率要增大很多,对于节省工期有重要意义。

通过多次试验数据可以得出, EVD 值与 K30 的值存在一定对应关系(如图 13 所示),但也存在一定发散性,并不是严格线性相关的。上边界有  $K30=2.14EVD+38$  的对应关系, 下边界有  $K30=1.91EVD+8$  的对应关系,为保证施工质量,故选取下限值  $K30=1.91EVD+8$  作为含红砂岩块砾红黏土的压实检验中 EVD 与 K30 的换算关系式,用于指导施工。

## 4 结论

- 1) 对于含红砂岩砾粒的红黏土地基填料,冲击碾压能以较少的碾压遍数有效的提高压实度,但多次碾压能达到的最大压实度较振动碾压小。在施工中,应先采用冲击碾压 2~3 遍,再采用振动碾压 2~3 遍,能较快的达到较高的压实度。
- 2) 对于含红砂岩砾粒的红黏土地基填料,虚铺厚度设为 40~50 cm 左右,组合碾压 6 遍,压实度和承载力值能够达到 Ⅱ级铁路设计标准。
- 3) 对于含红砂岩砾粒的红黏土地基填料,冲击碾压比振动碾压引起更高的环境振动,但衰减较快,二者的振动安全距离基本一致。
- 4) 对于含红砂岩砾粒的红黏土地基填料压实的检验,采用 EVD 初检时,可参考公式  $K30=1.91EVD+8$  计算地基 K30 值。

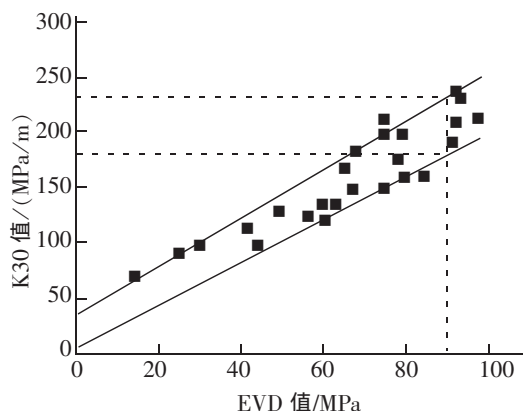


图 13 EVD 与 K30 关系图

Fig.13 Relationship between EVD and K30



## 参考文献:

- [1] 蔡彬权,毛天鹏. 影响红黏土路基压实度的因素[C]//贵州省岩石力学与工程学会 2014 年学术年会论文集,贵州省岩石力学与工程学会,2014.
- [2] 邓毅. 公路工程中红黏土路基填筑施工研究[J]. 交通世界,2016(14):32-33+37.
- [3] 罗成江. 浅析高速公路建设中红黏土路基压实施工技术[J]. 企业科技与发展,2016(4):85-87.
- [4] 谈云志,孔令伟,郭爱国,等. 红黏土路基填筑压实度控制指标探讨[J]. 岩土力学,2010(3):851-855.
- [5] 万智,郭爱国,谈云志,等. 湘西南红黏土路堤填筑技术研究[J]. 岩土力学,2011(8):2281-2286.
- [6] 宋常军,吴立坚,王健,等. 湘西高液限红黏土的路用性能[J]. 大连交通大学学报,2014(5):56-61.
- [7] 成丽华. 高液限黏土在路基施工中的应用[J]. 低碳世界,2016(8):184-185.
- [8] 曹为,张锐,刘龙武. 海南高液限红黏土直接填筑路堤试验研究[J]. 公路与汽运,2012(4):145-149.
- [9] 舒林. 高液限红黏土路堤填筑质量控制[J]. 黑龙江交通科技,2015(6):73.
- [10] 朱国平,陈正汉,韦昌富,等. 浅层红黏土的细观结构演化规律研究[J]. 水利与建筑工程学报,2016(4):42-49.
- [11] 李志勇,董城,邹静蓉,等. 湘南地区红黏土动态回弹模量试验与预估模型研究[J]. 岩土力学,2015(7):1840-1846.
- [12] 耿大新,王迎迎,李宇晗. 重塑黏土毛细上升高度研究[J]. 华东交通大学学报,2016(2):100-105.
- [13] 杨俊,邹林,狄先均,等. 天然砂砾改良红黏土的力学指标试验及数学模型预估[J]. 公路交通科技,2015(9):41-48.
- [14] 吕海波,蒋文宇,柏章朋,等. 含砾武鸣红黏土的击实性能与承载强度[J]. 工程勘察,2015(9):8-12+27.
- [15] 冯建亮,赵真,冯忠绪. 振动压路机碾压速度的选择[J]. 建筑机械,2012(5):76-78.

## Study of Compaction Characteristics and Effect of Red Clay Roadbed Containing Red Sandstone Gravel

Yang Yuanye, Ding Haibing, Zhao Xiushao, Fang Tao, Guo Guojun

(Jiangxi Key Laboratory of Geotechnical Engineering Infrastructure Safety & Control,  
East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Based on the actual demand for engineering projects, this study explored the characteristics of red clay containing red sandstone gravel grains in Ganzhou filling as roadbed filling. In the test, the roller compaction test was carried out by using vibratory rolling, impact rolling and combined rolling. The causes of different compaction effects were analyzed with combination of dynamic stress monitoring. At the same time, the environmental vibration caused by roller compaction was monitored during the test, and the safe distance of the rolling vibration was analyzed. In the test, EVD and K30 were adopted to detect the effect of rolling simultaneously in order to obtain the relationship between them, which may provide reference for the detection of red clay roadbed containing red sandstone gravel. The results showed that the suitable depth for the red clay containing red sandstone gravel in Jiangxi province is 40 ~ 50 cm. It is better to use impact rolling until the compactness of roadbed reaches 80%, and then the vibration rolling is adopted. The vibration safety distance of rolling compaction construction is 25m. For the compaction test of red clay containing red sandstone gravel, the value of K30 can be calculated by formula  $K30 = 2.03EVD + 23$  during the initial inspection of EVD.

**Key words:** red clay; compaction; virtual paving thickness; degree of compaction; compaction vibration

(责任编辑 王建华)