

铁路路基质量检测评定试验

张忠正

中铁十二局集团第四工程有限公司

摘要：路基是铁路工程质量保障的重要部分，做好铁路路基质量检测对于铁路工程建设意义重大。基于此，文章以工程实践为基础，阐述铁路路基填料粒径、含水率、压实度三个方面的质量检测试验相关工作要点，期望以此提升铁路路基质量控制效果，为相关工作提供参考。

关键词：铁路工程；路基检测；评定试验

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.060

铁路路基工程质量关系到铁路运行的稳定性与安全性，路基质量检测工作一直以来都受到业界重视，继新一轮《中国制造》战略部署以来，关于铁路路基检测的技术要求也相应提高，在传统检测技术的基础上融入信息化、智能化等相关技术，建立科学的检测与评价机制，为铁路工程建设保驾护航。

一、填料粒径检测

填料粒径关系到填料的力学性能，铁路工程建设中填料粒径检测可参考颗粒形状特征和参数对比完成，目前通过图像识别技术进行粒径检测的方法可靠性较高，具体的检测试验内容如下：

（一）基本流程

以图像自动识别为基础，对填料的级配信息自动对比和判定，算法主要包括模板库、匹配单元、计算单元、统计单元、级配库、第一和第二神经网络模型单元组成，算法流程如图1所示。

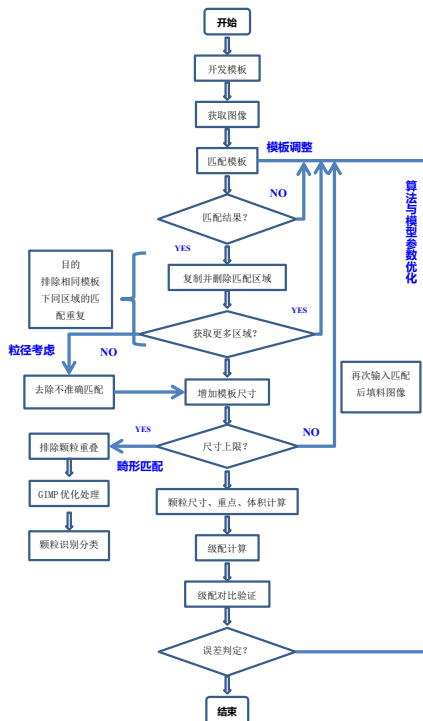


图1 铁路路基填料粒径图像识别算法流程

在流程中，通过开源GIMP多次进行验证，选用合适的对称性圆形模板，由多个模板共同组成源数据，其核心是不同粒径下的颗粒图像。由第一神经网络模型对颗粒是否为单个或完整进行判定，通过ML模型和机器学习完成前期训练后进行颗粒图像的自动判定。通过Open CV函数对填料图像与模板中的识别数据进行匹配，匹配成功的对象将在填料图像中被去除，否则将进行继续比对，对不同粒径颗粒进行多方位比对直至获得最佳匹配值的结果，在匹配成功后，对模板区域进行放大再比对，查验是否存在重叠，由GIMP对已删除区域和大颗粒被删除部分进行填充，直至填料图像与模板被放到最大，颗粒无法至最大尺寸筛孔中通过。第二神经网络模型需要人工完成颗粒标记，并根据具体的形状特征完成分类，再机器学习技术下进一步分类并进行尺寸排列，计算并筛选无法至最大尺寸筛孔中通过的颗粒。对已匹配和识别的颗粒进行二维尺寸分析，并结合形状特点估算三维尺寸，获得体积与质量参数。根据颗粒的筛余筛孔尺寸计算体积，结合不同颗粒在填料中的比重求取总体质量，最终获得图像中的粒径分布。

（二）测试过程

使用相机于铁路工程现场拍摄照片，要求单个样本需要从多个角度照相，所获取的照片数量>5，样本数量根据所测路段长度和总体宽度而定。对相片进行筛选，提出单个样本中最具代表性的图片，经模板算法进行对比识别，分析结果输出图2所示。

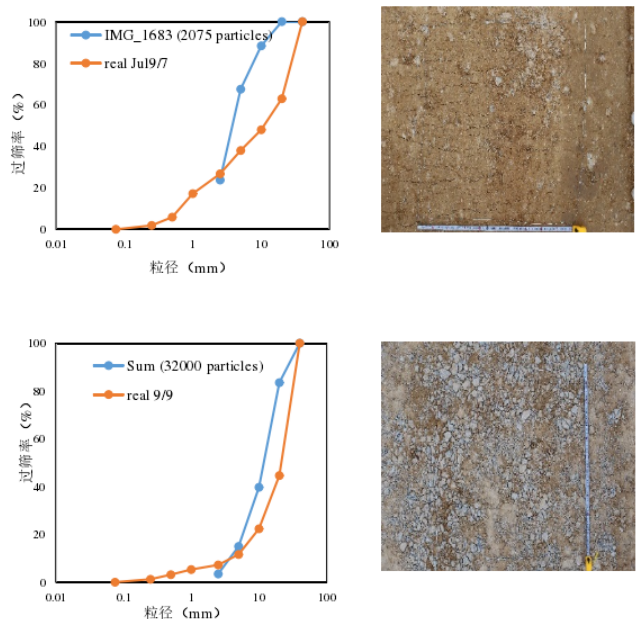


图2 填料级配对比分析结果图示

需要注意的是在填料图片识别过程中，识别效果并不受图片数量的影响，而是受图片精确度的影响；识别

误差度与压实度呈正相关模式；颗粒含量越多则覆盖率越高，识别的误差越大，因此需要采取一定措施降低误差率，采用计算公式为： $P_d = |P_i - P_s|$ ，式中 P_d 不同粒径组的过筛率差值； P_i 不同粒径组基于图像识别的过筛

率， P_s 不同粒径组经筛分后的过筛率。对单目标选择2张图片进行识别对比增强精准度，识别精度结果如表3所示。

在特殊情况下，不排除人工干预识别过程的情况，

表3 填料图片识别精度结果

粒径组/mm	图1过筛率差值/%	图2过筛率差值/%	平均过筛率差值/%
20-40	31.5	7.5	19.5
10-20	7.4	8.6	8.0
5-10	19.5	7.6	13.6
2-5	10.2	2.8	6.5
0-2	5.4	11.5	8.5

且识别和对比结果需要经过验证以确保精准度，将所测得的过筛率（粒径结果）与预设标准对比判断粒径合格性。

二、路基含水率检测

(一) 基本理论

路基含水率是铁路路基病害防治、压实度控制、边坡工程质量评定等工作的关键性参数，目前检测技术中对于路基刚度检测已经相对成熟，但在含水率的检测方面重视程度还不足。结合行业相关研究成果，路基含水率的检测主要参考以下理论：

①饱和土体含水率检测计算公式为： $\rho_o = \rho_w n^{-m}$ ，式中 ρ_o 为饱和土电阻率， ρ_w 为孔隙水的电阻率， n 为孔隙度， m 为基于土体特性下的拟合常数。

②饱和土体含水率检测计算公式为： $\rho = \rho_o S_r^b$ ，式中 ρ 为非饱和土电阻率， S_r 为饱和度， b 为饱和指数。

③基于铁路路基压实后的均匀厚度，参考v d P法，以等距探针和Wenner组态电极进行检测，获取恒定电流与电极间电压测试电阻，并依据公式 $\exp\left(\frac{-\pi R_{ab,cd}d}{\rho}\right) + \exp\left(\frac{-\pi R_{ad,bc}d}{\rho}\right) = 1$ 计算被测目标电阻率，式中 \exp 为电阻率相关指数函数， $R_{ab,cd}$ 与 $R_{ad,bc}$ 为测试电阻， d 为测试土体厚度。也称范德堡法。

(二) 试验过程

1. 室内试验

采集土壤样本，将土壤进行烘干后分别配置17%、13%和7%的含水率土壤样本，用密闭容器装乘36h确保水分均衡，将样本土壤装于固结装置中多次捣固整平，在进行静态平板载荷试验时，样本土壤的压实度相同，且含水率应满足 $MOC-7\% \leq \rho \leq OMC+4\%$ 的条件。使用静压装置对样本土体的体积密度进行改变，施加载荷控制土体的体积密度同时布置电阻率采集装置，以30s为间隔进行电阻率采集，通过静压平板试验的电阻率值为纽带对含水量、密度和电阻率进行关联。至样本反力模量试验完毕六小时后对样本进行应力松弛处理，再进行2次平板荷载与最终压实试验后，适用烘箱干燥法对其含水量进行最终测定。

2. 现场试验

以室内试验数据为基础明确含水率、压实率和电阻率的具体关系，并输入随车检测系统中再于现场进行检测，通过增加现场检测的频率提升检测结果的可靠性，

削减误差。现场数据的采集点位从起始压实位置推移10~15m开始，排除由压路机震动产生的影响，数据采集试验段以路基中线为准，分层压实时应分层选点采样，试验路段长度取200m，要求在路基基本压实完毕后获取样本。数据采集系统由采集端、处理装置、传输设备、恒流源、GPS定位设备、含水率可视化软件等组成，通过GPS定位测点并完成对应含水率的测点数据自动搜集，同时人工采集测点样土，用烘干法进一步测试测点含水率，最终对人工和设备自动采集数据进行对比分析。

(三) 结果分析

在对电阻率、含水率与压实度的分析中，除含水率MOC-7%和OMC+4%之外，增加最佳含水率OMC一共三种样土，分别进三次相同参数的平板静载试验，三次实验中样土的密度不同，则电阻率、含水率和变形应力应分别记录和表示，输出结果如图4所示。

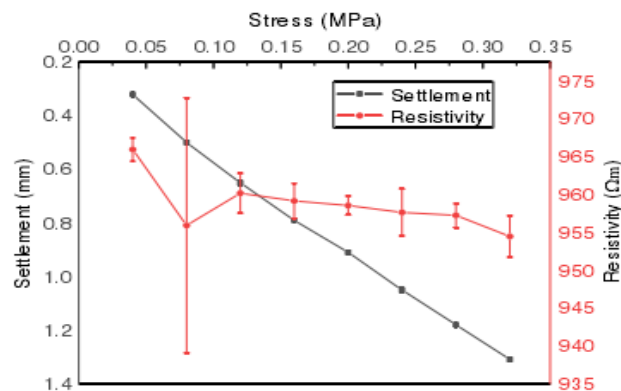


图4 基于密度下样土含水率、压实度、变形与应力、电阻率曲线示意

为了提升试验结果的科学性，同步采用 K_{30} 、 E_{v1} 、 E_{v2} 及 E_{v2}/E_{v1} 对土体刚度进行同步评估，值得注意的是压实度与含水率的变化与土体塑性变形存在高度相关性，由于样土具有弹性变形情况，应力在变形情况下出现线性增加式曲线，故在选择应变模量时优先考虑 E_{v2} ，而 E_{v1} 与压实度之间的关联度过高不作为优先考虑对象。

三、路基压实度检测

采用灌砂法对压实系数进行检测，由密度测定仪完成测量。首先在试验目标点选择一处平坦地，画出坑口轮廓大样；放置基板并于线框内挖出20cm土体置于容器

中；对挖出的土体称重并测定含水率；于容砂瓶内灌满标准砂，达到一定量后对测定仪进行称重；将测定仪倒置在所挖的空口上，并将其中的标准砂释放至坑内，待砂停止流动后及时关闭阀门并对测定仪称重。在采用分层压实的路段中，对每层进行分批检测，测试段内点位布置如图5所示。

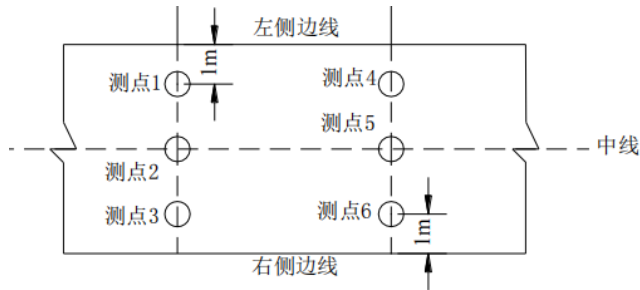


图5 测试段点位布置示意
压实参数标准设定如表6所示。

铁路路基填筑层较多，逐层测量获取数据，并依据表7所示进行记录。

以压实系数为核心制作实测值与标准值对比图，如图8所示。

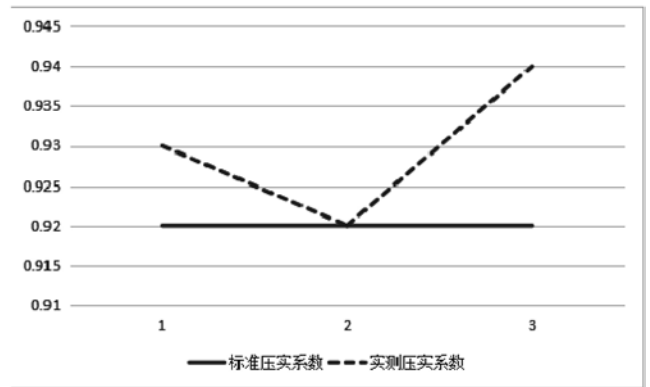


图8 压实系数实测值与标准值对比示意
如图所示，实测压实度值均 \geq 标准值0.92，所检测

表6 路基压实参数标准

区域	项目	填料				
		细粒土、粉砂	砂类土	砾石	碎石	块石
浸水区域	压实系数	—	—	—	—	—
	地基系数 (MPa/m)	—	$K_{30} \geq 80$	$K_{30} \geq 110$	$K_{30} \geq 120$	$K_{30} \geq 130$
	相对密度 (%)	—	$Dr \geq 0.7$	—	—	—
	孔隙率	—	—	$n < 32\%$	$n < 32\%$	—
非浸水区域	压实系数	$K \geq 0.9$	—	—	—	—
	地基系数 (MPa/m)	$K_{30} \geq 80$	$K_{30} \geq 80$	$K_{30} \geq 110$	$K_{30} \geq 120$	$K_{30} \geq 130$
	相对密度 (%)	—	$Dr \geq 0.7$	—	—	—
	孔隙率	—	—	$n < 32\%$	$n < 32\%$	—

表7 路基填筑层实测数据记录示意

填筑层数	标高 (m)	层厚 (mm)	干密度 (g/cm^3)	湿密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	压实系数
1	66.79	300	1.85	2.12	13.4	0.93
2	67.09	295	1.88	2.15	13.2	0.92
3	67.39	298	1.91	2.18	13.2	0.94
...

的路段压实度质量达标。但在检测中需注意：填料的含水量是影响路堤压实质量的主要因素，含水量的控制直接影响路堤本体强度，在最优含水量情况下压实是最理想的，但受气候环境、工期条件制约，一味严格要求含水量，在施工过程中往往是很难实现的，最好根据路填料性质、基压实标准、压实机械设备、气候条件等情况通过现场填筑试验确定压实含水量。

四、总结

铁路路基质量检测在压实作业之后进行，通过对路基关键性参数的提取和分析，可有效判断路基质量。在检测过程中，不仅要保障所用检测与评价的技术与方法科学性，还应当充分考虑人员素质、管理措施对质量检测结果的影响，从多方面采取措施优化检测工作，确

保检测与评价的客观性和有效性。

参考文献

[1] 铁路路基施工质量管理体系 [Z]. 石家庄铁道学院. 2004.
 [2] 富志根, 张贵珍, 王安升, 等. 路基压实质量密度检测气囊法试验研究 [C]. // 工程质量/2002年增刊 (下). 北京: 《工程质量》编辑部, 2002: 53-55.
 [3] 张忠正. 探析铁路路基质量检测K60平板荷载试验 [J]. 山东工业技术, 2016 (16): 220-221.
 [4] 朱哲. 铁路工程桩基检测中锚桩反力法静载试验的应用 [J]. 建筑技术开发, 2022, 49 (18): 151-153.
 [5] 韩锋刚. 铁路路基工程施工现场K30检测与实验方法 [J]. 交通世界, 2021 (33): 81-82.