

压实度环刀法与灌砂法现场检测结果差异性对比分析

石强美

重庆北纬建设工程质量检测有限公司 重庆 400000

【摘要】：把控细粒土回填路基压实检测的实际效果，改善环刀法与灌砂法检测数据存在的偏差问题，厂区桩间细粒土换填碾压施工现场被用作载体开展对照试验。文章整理两类压实检测方式的核心原理、作业操作标准与设备校准标准，布置18组现场对照测点，统一收集各分层结构压实度、土体含水率等试验基础数据，探究两类检测方式的数据偏差变化特征。碾压层土体具备上部密实、下部疏松的结构特点，环刀检测数据在土层上部偏大、土层下部偏小，灌砂法采集的检测数据能够体现整体土层土体的实际压实状态。土体含水率、现场作业操作、试样采集形式都会对检测数据产生误差影响，对应制定全流程标准化管控措施，能够为细粒土回填施工的压实检测作业与工程质量验收提供实操性工程参照。

【关键词】：压实度；环刀法；灌砂法；细粒土；检测误差

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.039

引言

地基回填压实度属于土建工程地基施工质量的核心控制指标，直接左右地基承载能力与整体工程结构的稳定性能。土建施工现场普遍依托环刀法与灌砂法完成压实度检测工作，两类检测手段的适用场景、取样模式存在显著区别，检测数据容易出现偏差，干扰施工质量的验收判定结果。厂区桩间狭窄作业区域多使用小型施工设备配合人工夯实作业，碾压土层会形成上部密实、下部疏松的非均匀结构，检测数据的误差问题会进一步凸显。厂区实际换填工程作为试验载体开展对照测试，依托标准化试验流程与数据统计手段，梳理检测数据偏差的产生规律与根本诱因，改良现场检测的管控工艺，为提升地基压实质量检测的精准程度提供工程实践依据。

1 两种压实度检测方法基础原理与现场操作规范

1.1 环刀法检测原理与标准操作流程

环刀法以标定容积环刀为体积基准，称量土样湿重并烘干测定含水率，换算土体干密度后结合室内最大干密度计算压实度。该方式适配均质细粒土，不适用于松散粒料与含碎石回填土体的检测工作^[1]。现场作业需清理测点表层浮土，通过静压工艺垂直均匀压入环刀，规避设备倾斜、土体侧向挤压等问题，规避人为操作导致的土样密度虚高。环刀入土成型后取出完整土样，刮平端部多余土体并清理表面，留存平行试样密封保存，防止风干、暴晒造成含水率数据失真。施工破除表层碾压硬化层，摒弃浅层单一取样模式，弱化表层高密实度引发的系统误差，保障取样数据的可靠程度。

1.2 灌砂法检测原理与标准操作流程

灌砂法基于标准砂体积置换原理完成检测，选用0.25~0.50mm规格的均匀洁净砂料，依据标定砂堆积密度参

数，通过试坑灌砂质量推算土体体积，结合土样湿密度与含水率数据计算压实度。方法适配细粒土、松散填料及含少量细碎石土体，应用范围相较于环刀法更为广泛。现场作业平整测点并铺设基板，抵消基底粗糙面带来的砂量损耗，开挖深度贴合20cm碾压层的圆柱形试坑，全面收集坑内土体，保证颗粒无遗漏。灌砂过程保持设备静置，砂体沉降稳定后称量剩余砂重，复用标准砂需清理附着杂质，避免砂体密度发生变化。试坑开挖深度需要严格把控，深浅偏差都会改变压实度检测数值，保障土体体积测算及检测结果的准确性。

1.3 两种方法试验设备标定要求

环刀法标定对象包含环刀与称量设备，新设备、超期使用及变形环刀均需标定容积，三次平行容积测量误差控制在0.5cm³以内，超标设备直接停用。含水率检测天平每年检定，现场作业前完成调零，烘箱季度校准，恒温工作温度稳定在105~110℃。灌砂法标定管控更为严格，称量设备保持定期检定，标准砂初次使用、五次复用或受潮后需重新标定堆积密度，取值为三次平行试验均值。圆锥滞留砂质量每半月复核，注水法测定标定罐有效容积，形变、漏砂的灌砂筒及时更换。全部设备标定资料统一归档，无有效检定记录的设备不得投入使用，保障检测数据符合工程验收规范。

1.4 现场取样与含水率同步测定规范

现场取样遵从土体代表性采集要求，环刀与灌砂测点间距控制在1m以内，规避土体局部不均导致试验对比失效^[2]。环刀法采用分层取样，点位布设于填筑层上部3~5cm及碾压层底部，分层封存试样。灌砂法取样覆盖整个碾压土层，采用混合土体试样开展检测。取出土样及时密封，高温大风天气做好遮阳防护，减缓土体水分蒸发，每组制备两份15~30g含水率试样，平行检测差值控制在0.5%以内，数据异常则重新检测。

作业人员清理测点积水、整平作业区域，点位存在大块石块或杂质时另行布设点位，削弱外界环境对检测数据的干扰。

2 现场对比试验方案与数据采集设计

2.1 试验工程概况与填料物理指标

本次对比试验开展于厂区内桩间细粒土换填碾压工程，桩基结构限制施工空间，现场采用小型夯碾分层填筑，狭小区域配合人工夯实，填筑层厚度固定为20cm，设计压实系数不低于0.94。试验填料选用均质细粒土，筛分结果显示0.075~0.5mm颗粒占比95.9%，土体粗颗粒含量少、级配均匀，适配两类压实检测作业需求。试验场地分为锅炉区、主厂房区、集控楼区，各区域填料、碾压工艺与施工设备基本一致，仅人工夯实比例略有出入。统一施工条件可规避外界变量干扰，直观体现两类检测方式的数据差异特性（见图1）。

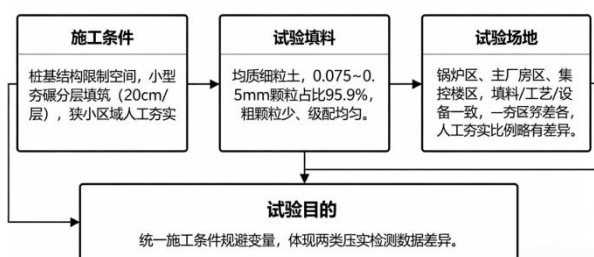


图1 试验工程概况与填料物理指标

2.2 室内标准击实试验参数确定

施工与监理单位提前采集现场填料试样，开展室内重型击实试验，试样级配、组分贴合现场回填土体，消除试样不符产生的基准偏差。多梯度含水率测试得出填料核心参数，最大干密度1.75g/cm³、最佳含水率12.5%，作为全程压实度计算基准。试验全程保存击实曲线与试样数据，记录现场土体含水率变化，统计含水率超出标准区间的试样，为研究含水率对两类检测数据偏差的作用提供依据，异常数据可借助留存试样复核校正。

2.3 现场测点布设与分层取样方案

试验于三个施工分区分别布置6组检测点位，累计设置18组对照测点，测点间距保持5m以上，远离施工接缝与桩边夯实薄弱区域，保障检测数据具备代表性。各组测点同步采用两种工艺完成检测，灌砂法开挖20cm标准试坑采集整层混合土体，环刀法在测点周边分别取上层3~8cm、下层12~18cm土体试样，不同土层试样单独封装标注。同一测点两类取样工序控制在30分钟以内，弱化土体含水率波动带来的干扰，所有试样标注分区、点位及土层信息并统一编号留存，为两类检测方式的分层数据统计与偏差特征分析提供规范样本支撑。

2.4 数据记录、封存与室内烘干测试流程

现场检测同步记录湿密度、含水率、设备编号、测点位置等原始数据，双人核验数据无误后统一归档存储^[3]。土样采用铝盒搭配防水袋双层密封防护，当日转运至试验室，置于105℃恒温烘箱烘干12小时至恒重状态，土体冷却后快速称重，核算含水率、干密度与压实度指标。试验过程管控烘箱开合频次，削弱设备温度波动，稳定检测作业质量。含水率平行试样差值超出标准范围时直接作废，并标记对应测点以备复测。现场留存全部原始检测数据，不做人工修改，完整保留灌砂、上层环刀、下层环刀的各组试验结果，为后续数据差异统计分析提供真实完备的数据基础。

3 现场检测数据差异性统计与规律分析

3.1 不同区域两种方法压实度数值对比

18组灌砂法检测压实度区间落在91.4%~94.2%，锅炉区、主厂房区、集控楼区检测均值依次为93.1%、92.7%、92.6%，分区数据波动幅度微弱。环刀法上层试样压实度处于95.4%~98.3%区间，三区均值稳定接近97%，下层试样压实度区间为89.1%~92.6%，整体均值贴近91%。各分区同点位检测数据呈现一致变化特征，灌砂法压实度数值始终处于上下层环刀法检测数值中间。分区施工工况的细微差别只影响数据波动幅度，不会改变两类检测方式固有的数值偏差特征，偏差表现出稳定且统一的变化特点。

3.2 土层上下分层环刀检测结果偏差特征

小型压实设备作业方式，使20cm碾压层形成上密下疏的土体结构。上层土体反复碾压后密实度较高，环刀检测压实度多超96%，超出94%的设计合格标准。下层土体压实能量传递不足，孔隙偏大、密实度较差，多数测点压实度低于92%，部分测点不足90%，达不到施工质控要求。同测点上下层环刀检测最大差值达8.3%，数据偏差十分显著。该问题凸显环刀法的检测局限，薄层取样无法覆盖完整碾压层，表层与底层取样结果存在高低偏差，难以体现填筑层整体压实情况。

3.3 灌砂法整体均值与环刀法分层数据差值分析

灌砂法试坑穿透全部碾压层结构，混合上下层土体完成检测作业，测得的压实度数值为整层土体的加权平均结果，贴合施工现场真实压实状态，可作为检测基准参考^[4]。数据统计结果表明，上层环刀压实度相较灌砂法均值高出4.2%，整体差值区间处于3.8~4.9%；下层环刀压实度相较灌砂法均值低1.7%，差值区间为1.2~2.1%。土体检测数据呈现上层正向偏差、下层负向偏差的稳定线性特征，上层数据偏差幅度相对更大。两类检测方式的核心区别体现在取样尺度层面，灌砂法可

平衡土层上下的密实差异,环刀法薄层定点取样仅能反馈局部土体特征,这也是检测数据产生偏差的核心原因。

3.4 含水率、湿密度对检测差值的关联规律

检测数据表明,土体湿密度与压实度呈显著正相关,湿密度越大,压实度数值越高。含水率直接影响两类检测方法的偏差幅度,土样含水率趋近最优值 12.5%时,检测差值最小;含水率偏离最优区间超 2%,即低于 10.5%或高于 13.5%时,检测差值将扩大 1.5~2 个百分点。低含水率土体颗粒摩擦阻力较大,环刀贯入易挤压土体造成密度虚高,加剧上层检测偏差;偏高含水率可改善下层土体压实状态,小幅缩减下层数值偏差。现场可依托该变化规律预判压实质量,及时对薄弱点位开展补压与复测作业。

4 检测结果差异成因及误差控制优化措施

4.1 取样代表性差异引发的数据偏差

两类检测方法的数据偏差,根本源于取样体量与覆盖范围差异。环刀取样体积小、厚度薄,无法覆盖完整碾压层,受土体上密下疏结构影响,取样数据偏差大、代表性不足^[5]。灌砂法可采集整层土体,平衡层间密实差异,真实反映整体压实情况。桩间狭小区域人工夯实不均、局部密实度离散性大,环刀法单点取样易受局部土体干扰,灌砂法整体混合取样可抵消局部误差,形成稳定的数据偏差规律。

4.2 现场操作人为因素造成系统误差

现场人为操作偏差会放大两种检测方法的数值差异,形成系统误差。环刀法施压不均、器具倾斜等不规范操作,会挤压土体使压实度虚高,产生 1~2%正向偏差。灌砂法因砂料标定滞后、试坑开挖不规整,易造成体积测算偏差,压实度误差可达±1~3%。土样封存不及时会失水减重,降低含水率测算值、抬高压实度结果。环刀试样表面积大、失水更快,进一步扩大检测差值,仪器校准、称量操作不规范也会叠加增大整体检测误差。

参考文献:

- [1] 党司雯,王正君,尹博鑫.无核密度仪在土方填筑压实度快速检测中应用研究现状[J].广东建材,2025,41(2):63-66.
- [2] 蓝兰.堤坝现场压实度检测方法及注意事项[J].广西水利水电,2024,(6):11-13+29.
- [3] 赵浩然.灌砂法在公路路基压实度检测中的应用[J].交通世界,2024,(31):72-74.
- [4] 王亚晓,王来硕.核子密度仪法与灌砂法检测路基压实度的相关性分析[J].公路与汽运,2022,(6):68-70+74.
- [5] 谷立强,刘朋,张开伟,等.灌砂法与环刀法在检测地基压实度中的对比研究[J].土工基础,2022,36(1):70-73.

4.3 填料、碾压层结构对检测结果的影响

填料性质与碾压层构造,是两类检测方法数值偏差恒定存在的核心诱因。试验所用细粒土适配检测要求,但小型压实设备压实功随深度衰减明显,碾压层普遍形成上密下疏结构。桩间施工空间受限,仅能采用小型及人工夯实,进一步加大层间密实差异。含水率偏离最优值会改变土体可塑性,干土易被环刀挤压致密、底层湿土易松散,持续增大分层检测偏差。填料含粗颗粒或填筑厚度超标时,层间密实度差异进一步扩大,凸显环刀法薄层取样短板,与灌砂法整层均值的检测差值随之增大。

4.4 减小检测差值的标准化管控对策

为减小检测偏差、提升压实质量评价精度,需建立全流程标准化管控体系。检测方面,规范设备标定周期,定期复核标准砂密度与环刀容积,作业前校准称量设备;统一取样操作,环刀匀速静压入土,灌砂试坑匹配碾压厚度,及时密封防护土样。施工方面,严控填料含水率稳定在最优值±2%区间,增加小型设备碾压遍数,加密桩间人工夯实点位,缩减土层分层密实差异。验收方面,以灌砂法均值作为填筑压实验收基准,环刀分层数据仅作参考;分层差值超 5%时增设复测点位、建立偏差台账,持续优化施工及检测工艺,确保地基质量评价真实可靠。

5 结语

本文通过现场对比试验,系统探究了环刀法与灌砂法在细粒土回填压实检测中的应用差异及误差成因。试验表明,取样尺度差异、碾压层分层结构、含水率波动及现场不规范操作,是造成两类检测数据偏差的主要原因。环刀法薄层取样存在明显局限,无法反映碾压层整体压实质量,灌砂法检测结果更贴合工程实际。针对上述问题,本文从设备标定、现场取样、施工管控、质量验收多方面提出优化措施。研究结论可有效改善细粒土压实检测数据失真问题,规范现场作业流程,对提升厂区地基回填质量、完善压实检测管控体系具备工程实用价值。后续可结合长期监测校验方法适用性,为同类场地回填检测提供参照,助力长效质量管控。