

高速公路路基压实度检测误差成因及控制对策研究

朱俊丞

黔南交通试验检测有限公司 贵州 都匀 558000

【摘要】：高速公路路基压实度直接反映填筑层施工质量，但现场检测容易受最大干密度取值偏差、含水率波动、仪器状态、测点选择及操作规范程度影响，造成检测数据失真。针对不同误差来源，建立试验参数复核、检测设备校准、测区合理布点、操作过程标准化及异常数据复测机制，并加强现场条件与试验结果关联核验，可有效压缩系统误差和随机误差，提高检测数据重复稳定程度，使压实质量判定更加准确，为路基施工质量控制提供可靠依据。

【关键词】：高速公路；路基压实度；检测误差；试验检测；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.029

引言

路基压实度检测中的一个百分点偏差，看似只是试验数据的小幅变化，却可能直接改变施工层是否合格的判定结果。高速公路填筑材料来源、颗粒组成和含水状态存在差异，加之现场检测环境复杂，最大干密度引用不当、测点代表性不足、仪器校准偏差以及操作细节不规范，都会使检测值偏离实际压实状态。若误差来源未被准确识别，重复检测仍可能得到具有迷惑性的结果。因此，需要从参数、设备、测点、操作和数据判读多个环节拆解误差形成过程，再配置相应控制措施，使检测结果真正对应路基实体质量。

1 高速公路路基压实度检测关键条件及质量判定基础

1.1 路基填料物理特性及压实状态变化规律

路基填料的颗粒组成、塑性指数、天然含水率及级配连续性直接决定压实过程中颗粒重排和孔隙压缩程度。粗颗粒含量较高时，骨架嵌挤特征明显，压实能量主要用于克服颗粒间摩擦；细粒比例增加后，含水率对压实效果的控制更加突出，水分不足会增大颗粒摩擦，含水量过高又易形成孔隙水压力，使干密度增长受限。现场检测还需关注填料批次变化、松铺厚度及碾压遍数造成的空间差异，将压实状态与材料参数同步核对，避免用单一压实度数值替代对填筑层真实密实状态的判断，为分层检测和质量追踪提供稳定基础。

1.2 最大干密度标准值确定及现场检测依据

最大干密度是计算路基压实度的核心基准，其取值偏差会被直接传递到最终判定结果。标准击实试验应根据填料类别、颗粒粒径及工程采用的压实标准选择相应试验方法，并对代表性样品的含水率梯度、湿密度变化及击实曲线峰值进行复核^[1]。填料来源发生变化、土质夹层明显或颗粒组成波动较大时，不宜长期沿用既有参数，应重新取样验证最大干密度和最佳含水率。现场检测依据还应与施工层次、压实机械类型、检测频率相匹配，使试验室基准参数能够对应实际填筑材料，减少因参数失配造成的系统性误判。

1.3 压实度检测数据形成及质量判定关系

压实度检测数据并非单一仪器读数，而是现场湿密度、含水率、干密度换算及最大干密度基准共同作用形成的结果。任一环节产生偏差，都可能使最终压实度出现放大或缩小。检测时应保持取样深度与填筑层厚度相适应，避免测点靠近松散边部、轮迹异常区或局部补料位置，同时核对含水率测定时间，防止样品失水影响干密度计算。质量判定不能只看单点是否达到规定值，还应结合测区合格率、数据离散程度和异常点分布分析压实均匀性，使检测结果既反映局部密实程度，也能够支撑整段路基施工质量的可靠判定。

2 高速公路路基压实度检测误差主要来源识别

2.1 试验参数选取偏差造成检测基准失真

试验参数一旦与实际填料特征脱节，压实度计算基准便会产生持续性偏移。最大干密度、最佳含水率及修正系数若沿用早期试验结果，而后续填料来源、颗粒级配、细料含量已经发生变化，现场实测干密度即使准确，也可能得到失真的压实度结果。部分粗粒土还受超粒径处理方式影响，替代法、校正法选择不合理会进一步放大参数偏差。参数失真具有隐蔽性，数据表面可能保持稳定，却不能真实对应路基压实状态，容易造成合格误判或不必要返工。

2.2 检测设备状态异常引起实测数据漂移

检测设备的校准状态、密封性能、传感元件灵敏度及长期使用磨损都会改变实测数据稳定性。灌砂设备若锥体密封不严、量砂密度发生变化，孔洞体积计算容易出现系统误差；核子密度仪若标定参数失效、探测部件状态异常，测值可能产生连续漂移^[2]。现场温度、振动、运输碰撞也会影响部分仪器的工作状态。设备异常往往并非造成突变数据，而是使同一区域检测结果缓慢偏离真实值，若缺少校准记录、期间核查和使用前自检，误差便可能贯穿整批检测数据。

2.3 现场测点操作偏差削弱结果代表程度

现场测点位置、取样深度及操作细节直接决定检测结果能否代表填筑层整体压实状态。测点过度集中于碾压充分区域，

会使检测值偏高；靠近边缘、接缝、局部补料区又可能放大非典型低值。灌砂孔尺寸控制不一致、挖出材料散失、孔壁扰动以及含水率样品封存不及时，均会造成湿密度和干密度计算偏差。检测层位若与实际施工分层不对应，还会混入上下层密实差异。测点操作的不规范具有较强随机性，容易增加数据离散程度，削弱检测结果对整段路基质量的代表能力。

3 高速公路路基压实度检测误差形成机理分析

3.1 填料含水状态变化引发干密度计算偏移

填料含水状态并非静态参数，摊铺、整平、碾压到检测之间会受到日照、风速、降水、材料翻动及施工间隔影响，局部水分迁移可能使同一填筑层形成明显含水梯度。压实度计算需要由湿密度和实测含水率换算干密度，一旦含水率样品与密度检测位置、取样深度或检测时间不能严格对应，换算结果便会偏离真实值。接近最佳含水率时，较小水分波动也可能改变颗粒润滑程度和孔隙压缩状态；高含水区域还可能出现表层偏湿、内部水分滞留，使单点样品难以代表检测孔整体状态。水分蒸发后再进行称量、样品密封不严或烘干过程控制不准，也会把现场状态变化进一步传递至干密度计算环节，形成连续性数值偏移。

3.2 取样位置空间差异放大局部检测离散程度

路基填筑层具有明显空间非均质特征，碾压机械行走轨迹、搭接宽度、边部约束、填料摊铺均匀程度及下承层刚度差异，都会使密实状态在横向和纵向出现变化^[3]。若取样点集中于同一轮迹带、平整度较好的中部区域或容易操作的位置，检测结果可能偏向局部高值，无法覆盖薄弱区域；测点过于接近接缝、边坡连接区或局部材料离析位置，又会使低值出现频率异常增大。空间差异还会随填筑层厚度向竖向延伸，上部颗粒重排充分并不代表下部压实能量传递同样有效。测点布设缺乏分层、分区和随机原则时，局部差异便会被误认为整体质量波动，导致数据离散系数增大，影响压实度合格率及路段质量等级判定的准确性。

3.3 检测程序执行偏差形成系统性数据失真

检测程序中的连续操作具有误差传递特征，某一固定步骤执行不规范，容易使整批检测结果沿同一方向发生偏移。灌砂法检测时，量砂标定、试坑开挖、试洞体积测定、挖出料称量、含水率测定及干密度计算相互衔接，任一环节采用错误常数或不统一操作尺度，后续计算都会继承前端误差。记录环节若存在检测桩号、层位、填料类型或最大干密度参数对应错误，还可能造成不同试验批次之间的数据错配。数字化检测条件下，数据自动采集虽降低手工录入差错，但传感器零点漂移、参数模板调用错误及数据接口设置不一致，同样可能形成批量偏差。程序执行缺少节点核验和异常阈值识别时，系统性失真不易被单次复测发现，质量判定结果便可能偏离真实施工状态。

4 高速公路路基压实度检测误差控制对策

4.1 强化标准试验复核提高基准参数准确程度

标准试验参数应依据填料来源、颗粒组成和施工阶段实行动态复核，避免最大干密度、最佳含水率长期固定使用。填料进场后可按料源、土质类别和代表性批次建立参数档案，对筛分结果、液塑限、击实曲线及超粒径含量进行关联核验；材料组成出现明显变化时，应重新开展击实试验，防止旧参数继续参与压实度计算。粗粒土检测还需统一超粒径处理方法和修正原则，使试验室基准与现场实际材料保持一致。数据管理可引入数字化台账，将最大干密度、最佳含水率、试验日期、适用区段及填料批次绑定，现场录入压实度数据时自动调用对应参数，并设置跨批次调用预警。对于接近合格临界值的检测结果，还应核查基准参数是否存在偏差来源，必要时进行平行试验和复核试验，减少基准失准对质量判定形成的放大效应。

4.2 落实仪器校准维护稳定现场检测数据精度

检测仪器应形成“使用前核查、过程巡检、周期校准、故障追溯”的闭环管理方式，使设备状态始终处于可控范围。灌砂筒、电子天平、含水率检测设备及相关量具需建立唯一编号，校准日期、允许误差、维修记录和使用区段同步归档；量砂密度发生变化时，应重新标定，不能直接沿用既有常数。现场检测前应检查密封部位、称量稳定性、零点状态和关键连接部件，发现异常漂移、重复测量差值偏大或设备受撞击后，应暂停使用并开展比对验证^[4]。数字化设备还应控制软件版本、参数模板和数据传输接口，避免硬件正常而计算模型调用错误。设备管理可结合二维码或电子标签记录全生命周期信息，使校准、维修、停用状态能够快速识别，并将超期校准设备自动列入限制使用清单，降低设备性能衰减造成的连续性误差。

4.3 规范布点取样操作完善异常数据复核机制

测点布设应兼顾随机性、代表性和施工分区差异，避免检测位置长期集中于便于操作或压实充分区域。可依据路基宽度、碾压轨迹、边部区域、接缝位置和填筑层次设置分区抽检范围，再结合随机布点方式确定具体检测位置，使检测结果能够覆盖横向、纵向和竖向的压实差异。取样时应统一试坑尺寸、开挖深度、样品收集和密封要求，湿密度检测位置与含水率样品必须保持对应，减少取样错位造成的换算偏差。检测结果出现突变、连续低值或明显偏离同区段数据分布时，不宜直接判定施工质量，应核查测点环境、设备状态、基准参数和原始记录，再安排邻近点复测或平行检测。数字化质量管理平台可设置异常阈值、离散系数和趋势识别规则，对异常数据自动标记，保留原始值、复测值及处理依据，形成可追溯的复核链条，降低人为筛选数据造成的判定偏差。

5 误差控制实施后的路基压实度检测成效评价

5.1 检测数据准确程度及重复稳定性评价

误差控制措施实施后,检测成效可从数据偏差范围、重复检测差值及同区段离散程度进行核验。标准试验参数完成动态复核后,最大干密度与现场填料匹配程度提高,压实度计算基准更加稳定;仪器校准、量砂标定和含水率同步检测能够压缩测量链条中的累积误差。对同一测区开展平行检测时,若多次结果之间的差值逐步缩小,变异系数保持在合理范围,且复测值与初测值不存在持续性偏移,说明检测重复性得到改善。结合数字化台账追踪不同填筑层、不同检测批次的数据变化,还可识别异常波动是否来自材料变化或检测环节,为评价数据准确程度提供更完整的依据。

5.2 异常检测结果识别纠正效率评价

异常数据处理效率主要体现在发现速度、原因定位和复核闭环三个环节。设置压实度异常阈值、连续低值预警及离散度识别规则后,可快速筛出偏离正常分布的检测结果,再同步核查设备状态、填料批次、含水率记录、测点位置及参数调用情况,减少依赖人工经验反复排查造成的时间损耗。对于接近质量判定临界值的数据,可按照原始记录核验、邻近点复测、平行方法比对的顺序进行确认,并保留异常值、复测值和纠正原

因^[5]。若异常结果能够在同一检测周期内完成定位和复核,且重复出现的同类误差数量下降,说明纠错机制已由事后处理转向过程识别。

5.3 路基压实质量判定可靠程度检验

路基压实质量判定的可靠程度需要结合单点结果、测区合格率、数据离散性及空间分布共同检验。误差控制后,检测基准、设备状态和取样程序得到统一,同一路段不同测点之间的差异更能反映真实施工质量,而非检测过程产生的随机波动。质量判定时可将压实度结果与碾压遍数、含水状态、填筑厚度及施工分区数据关联分析,对连续低值区域和局部异常区进行空间定位,避免仅凭平均值掩盖薄弱部位。若返工复检前后数据变化与现场压实状态一致,且误判、漏判频次明显降低,可说明检测结果对施工质量具有较高辨识能力,质量验收依据也更加稳定。

6 结语

高速公路路基压实度检测误差贯穿参数确定、设备使用、现场取样及数据判定多个环节。强化标准试验复核、仪器校准、规范布点及异常数据复测,可有效降低系统偏差和随机波动,提高检测数据稳定性,使压实质量判定更加准确,为路基施工质量精细化管控提供可靠支撑。

参考文献:

- [1] 刘晓斌.公路路基压实度灌砂法检测技术应用[J].中国水运,2025,(24):136-137+157.
- [2] 郑召敏.公路路基压实度检测方法对比及适用性分析[J].运输经理世界,2025,(29):29-31.
- [3] 赵亚斌,韦国栋,吴刚,等.细粒土路基压实度快速检测技术的研究与应用[J].建筑机械化,2025,46(10):156-160.
- [4] 张大梦.瑞雷面波法在湖北段高速公路路基压实度检测中的应用[J].交通科技与管理,2025,6(16):92-94.
- [5] 朱鹏.高速公路路基压实度快速检测方法研究[J].工程技术研究,2025,10(10):46-48.