

软土地基处理后综合检测技术应用及质量评价研究

张博雅

四川省环天检测有限公司 四川 眉山 620500

【摘要】：软土地基经排水固结、换填、复合地基等方式处理后，承载性能及变形控制效果存在明显空间差异，单项检测难以完整反映加固质量。采用静载试验、动力触探及沉降观测等技术形成综合检测体系，重点通过承载力与变形数据的交叉校核来识别薄弱区域，并依据承载力、压实均匀性、沉降量及变形稳定性建立质量评价指标。综合判定能够降低单一检测误差，提高异常区域识别精度，使处理效果评价由局部参数判断转向多指标协同验证，为软土地基验收及后续施工控制提供可靠依据。

【关键词】：软土地基；综合检测技术；地基处理；质量评价；承载性能

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.059

引言

软土具有含水率高、孔隙比大、压缩性强及承载能力偏低等工程特征，处理后的加固效果直接影响基础沉降控制及上部结构稳定。工程验收中，静载试验、动力触探等方法获取的指标各有侧重，检测点位不足、参数关联薄弱或评价尺度单一时，局部软弱区可能被平均数据掩盖。将不同检测结果纳入同一质量判定体系，可从承载、密实、变形及空间均匀程度多个角度核验处理效果。如何配置检测项目、校核异常数据并形成量化的评价标准，成为提高软土地基处理质量判定可靠性的关键技术环节。

1 软土地基处理质量综合检测需求解析

1.1 处理工艺形成的地基性能差异

不同软土地基处理方式改变土体结构的路径并不一致，排水固结更侧重孔隙水压力消散及压缩变形控制，换填处理直接改变浅层土体组成，复合地基则依靠桩土共同作用改善承载性能。处理后地基可能出现强度提升幅度不均、压缩模量分布离散、局部沉降控制能力差异等现象。检测方案需要对应处理机理选取承载力、压实度、贯入阻力及沉降量等参数，重点评估地基承载性能的达标情况与整体均匀性，避免仅用单一指标代替整体质量判断，使检测结果能够真实反映加固深度、空间均匀性及结构稳定程度。

1.2 单项检测结果存在的判定局限

静载试验能够直接反映承载性能，但检测点数量通常有限，对地基内部连续变化识别不足；动力触探可获得较密集的深度方向贯入参数，能够反映土层密实程度的连续变化，但其结果受土体含水状态和测试条件影响，且难以单独说明地基的长期承载与沉降控制效果^[1]。单项成果若直接用于最终验收，容易出现局部高值掩盖薄弱区域或不同参数判定结论不一致的问题。检测技术组合应形成相互校核关系，通过点、线、面不同尺度信息互补，提高异常区段识别能力及质量判定稳定性。

1.3 工程验收指标的多维检测需求

软土地基处理后的质量验收不能仅满足承载力达到设计值，还需同步关注沉降变形、加固均匀程度、土体密实状态及长期稳定能力。绿色建造、数字化施工和全过程质量控制理念逐步融入地基工程后，检测数据需要具备可追溯、可比对及可量化特征。静载试验用于判断基础承载力安全储备，动力触探参数用于识别处理深度范围内的密实均匀性及局部软弱层，沉降监测反映时间效应下的变形稳定性。多维指标联合后，可将设计要求、施工过程记录及现场检测结果纳入统一评价尺度，为质量分级和后续施工决策提供更细化的数据支撑。

2 软土地基处理后检测质量影响因素识别

2.1 检测点位布设代表性不足

软土地基处理区域常具有土层厚度变化快、含水率分布离散、加固深度不一致等特征，检测点若按等间距机械布置，容易遗漏施工接缝、荷载集中区及地质条件突变位置。点位数量偏少还会放大大局部数据的偶然性，使承载力、贯入阻力等结果难以反映整体处理水平。合理布点应结合地勘成果、施工参数、地基处理分区及设计受力特征进行动态调整，并适当提高高风险部位的检测密度，使检测数据具有更强的空间代表性。

2.2 不同测试参数匹配程度偏低

综合检测涉及承载力、贯入阻力、压缩模量、沉降量等多类参数，各指标反映的土体性质、测试尺度及受力条件并不相同，若缺少统一的关联分析，容易出现数据之间难以相互验证的问题。部分参数具有瞬时响应特征，部分指标则体现长期变形规律，直接进行横向比较会削弱评价结果的可信度^[2]。检测数据处理应统一深度基准、空间坐标及时间节点，并建立不同参数之间的相关关系，使强度、刚度、密实度和变形信息能够形成连续的数据链条。

2.3 局部异常区域识别精度受限

软土地基处理后的薄弱区往往呈现范围小、埋深变化大和边界不规则等特征，常规抽样检测容易因覆盖不足而降低异常识别能力。单次测试结果还可能受到地下水位波动、设备精度、

土层扰动及施工间歇影响，导致异常值与真实缺陷难以区分。检测质量控制需要加强多源数据叠加分析，将触探曲线突变、静载沉降差异及承载指标同步定位，通过数字化建模形成空间分布图，提高异常区边界、深度及影响范围的识别精度，为后续补强处理提供准确依据。

3 多类型综合检测技术协同应用

3.1 静载试验判定地基承载性能

静载试验是直接判定地基承载力的核心方法，通过逐级施加模拟荷载并记录荷载—沉降关系，检验处理后地基的承载响应是否满足设计要求。加载等级应依据设计承载力特征值、基础受力条件及处理类型确定，逐级加载过程中同步记录沉降量、沉降速率和卸载回弹值，避免仅以最终破坏荷载作为判断依据。试验点宜优先覆盖处理分区交界、施工参数变化区及荷载敏感部位，并结合前期地勘资料调整检测位置。数据判读时除核对极限承载力是否达到设计要求外，还应重点关注比例界限压力、沉降突变点及残余变形程度，这些指标能够有效识别地基可能存在的局部塑性发展区。对于复合地基，应同步分析桩土共同受力特征，避免单纯将单桩承载结果替代整体地基性能评价。数字采集系统可连续记录加载全过程，减少人工读数误差，并将试验曲线与施工质量记录进行关联，使静载结果能够服务于后续综合评价，而不是形成孤立的验收数据。

3.2 触探检测识别土体密实程度

触探检测具有连续获取深度方向参数的特点，是评价处理后地基密实程度与均匀性的重要手段。静力触探可依据锥尖阻力、侧壁摩阻及摩阻比变化判断不同深度土体强度差异，动力触探则通过贯入击数变化反映土层密实程度的连续分布。检测布置应兼顾纵向分层和横向分区，重点加密施工接缝、边缘区及处理能量衰减位置，使贯入曲线能够反映处理范围内的连续变化^[3]。数据处理不能仅比较单个测点峰值，应结合深度曲线形态、参数突变位置及相邻孔差异进行分析，并与原状地基数据建立对照，从而判别加固深度是否达到设计要求。数字化触探设备可实时形成深度—阻力曲线，配合空间坐标实现三维分布表达，快速锁定密实度偏低区段。对于含水率较高或土层变化频繁的区域，还需结合土层界面修正参数解释，避免将天然土层差异误判为施工质量缺陷。

3.3 动力触探与静载试验联合核验加固效果

动力触探与静载试验的联合应用能够形成强度与变形参数的互补验证。静载试验直接测定地基承载力特征值，但其测试点位有限，难以全面覆盖处理区域的空间变化；动力触探则可提供连续深度范围内的贯入阻力数据，通过沿处理分区布置多条测线，获取密实度的空间分布信息。两类数据结合时，可将触探贯入击数较低的区域作为静载试验的重点加密布点位置，使有限的静载测试资源集中于潜在薄弱区，提高异常识别

的针对性。同时，依据触探与静载结果的相关关系，可将承载力评价从离散点扩展为连续剖面，弥补静载试验空间覆盖不足。对于触探异常与静载响应不一致的区域，应结合施工记录和土层界面综合研判，区分异常成因系加固缺陷还是地质条件变化，避免误判。

4 综合检测结果质量评价体系构建

4.1 多源检测数据统一校核

多源检测数据进入质量评价前，需要消除检测尺度、采样频率、空间位置和量纲差异造成的信息偏差。静载试验以荷载—沉降曲线反映承载性能，触探参数体现土层连续强度变化，沉降监测则记录时间效应，各类结果应统一到相同坐标、高程、处理分区和检测深度框架中。数据校核可按照原始值审查、异常值识别、标准化转换、空间匹配四个层级展开，对设备漂移、重复测试偏差、测点错位和突变数据分别设置判别阈值。对于不同量纲指标，可采用极差标准化或无量纲转换，将承载力、贯入阻力、累计沉降等参数转化为可比较的评价值。数字化平台可进一步关联施工记录、地质剖面及检测时间，形成同一测区的多源数据矩阵。若某项指标出现明显异常，应结合邻近测点、同深度参数及施工过程数据进行复核，避免单个异常值直接改变评价结果，使后续质量分级建立在可靠、统一、可追溯的数据基础上。

4.2 关键质量指标权重分配

质量评价指标的权重不能采用平均分配方式处理，应依据指标对地基安全性、稳定性和变形控制的影响程度进行差异化设置。承载力直接关系基础受力安全，可作为高权重指标；累计沉降及沉降速率反映处理后变形控制能力，应保持较高评价比重；触探阻力、压缩模量等参数主要用于识别密实程度和刚度变化，可作为结构状态指标参与综合判定。权重确定可将层次分析法、熵权法和工程控制标准结合使用，主观权重体现设计要求及工程经验，客观权重根据样本离散程度调整指标贡献，二者融合能够减弱单一赋权方法带来的偏差^[4]。计算过程中还需考虑不同处理工艺的控制重点，排水固结类地基应提高沉降稳定指标比重，复合地基可适当强化承载力和刚度指标。权重不是固定常数，可根据检测数据完整性、施工分区和风险等级进行动态修正，使评价模型更符合软土地基处理后的实际受力状态。

4.3 处理质量等级量化判定

处理质量等级应建立在指标得分、权重系数和控制阈值共同作用下，避免仅凭单项合格与否形成简单结论。完成标准化处理后，可将各检测指标按照设计值、规范限值及实测分布划分为若干评分区间，再依据权重计算综合评价指数。承载力低于控制值、沉降超过允许范围等涉及安全控制的指标，应设置否决条件，即使综合得分较高，也不能判定为高等级质量。对

于处于临界区间的数据,可增加邻近测点复核系数和异常区修正系数,降低局部波动对整体等级判断的干扰。质量等级可划分为优良、合格、限值可接受和需处理等层次,并分别对应正常使用、持续监测、局部复检和补强处置要求。评价结果还应通过二维或三维分区图表达不同区域的质量等级,使承载性能、变形状态和加固均匀性转化为空间化质量信息,为验收判定、缺陷定位及后续施工控制提供更精细的量化依据。

5 综合检测技术应用成效评价

5.1 异常区域识别准确度检验

异常区域识别应重点核对综合检测结果同复测数据、施工记录及地质分区之间的吻合程度,避免仅凭单项参数突变确定缺陷范围。可将触探阻力低值区、静载沉降异常点进行空间叠加,对异常位置、埋深、边界连续性进行交叉校验。若不同检测结果在同一区段具有较高一致性,说明异常识别可信度较强;若参数差异明显,则需结合检测误差、土层变化及施工工序重新修正判定边界,使局部薄弱区识别由单点判断转向多信息联合定位。

5.2 处理质量判定可靠度核查

处理质量判定可靠度需要从重复性、一致性和稳定性三个层面进行核查。相邻测点及复测结果的离散程度可反映检测重复性,不同技术所得评价结论是否趋同可检验结果一致性,沉

降等时序数据的变化规律则用于判断地基的长期稳定状态^[5]。

对于处于评价等级临界区间的检测结果,应提高复核频次,并结合承载力控制值、沉降限值和加固均匀程度重新计算综合得分。通过设置允许偏差、置信区间和异常修正系数,可减少偶然误差对最终等级造成的放大效应,使质量判定更贴近处理后地基真实状态。

5.3 检测评价结果工程适用性验证

检测评价结果是否具备工程适用性,需要检验其能否直接支撑验收、补强及后续施工控制。综合评价结果应与设计控制指标、施工分区和基础受力要求保持对应,使不同质量等级能够明确匹配继续施工、局部复检、持续监测或补强处理等处置方式。数字化表达可将评价结果转换为分区图和风险等级图,便于快速识别处理质量差异。若评价结论能够准确反映承载力、变形控制和空间均匀性,并对异常区域给出明确处置依据,则说明综合检测体系具有较高工程转化能力和实际应用价值。

6 结语

软土地基处理质量评价需要兼顾承载性能、密实状态、变形规律及空间均匀性。静载试验、动力触探和沉降监测形成互补检测链,可增强局部异常识别能力。多源数据校核、指标赋权及等级判定进一步提高评价结果的稳定性,使检测成果能够直接服务工程验收、质量复核和后续施工控制。

参考文献:

- [1] 陈剑敏.综合管廊工程中软土地基处理的施工技术[J].城市道桥与防洪,2025,(6):285-287+296.
- [2] 闫希东,陈钢.微动勘探技术在软土地基处理检测中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(7):95-97.
- [3] 陈伟威.软土海堤工程堤身地基土综合处理技术研究[J].地下水,2022,44(4):308-309+312.
- [4] 王擎忠,张林波,廖建忠,等.软土地基中偏斜挠曲空心桩综合处理技术创新与实践[J].建筑结构,2022,52(S1):2688-2698.
- [5] 王德亮,曹军波,郭军,等.深厚软土地基综合处理技术试验研究[J].钻探工程,2021,48(11):117-121.