

道路桥梁施工中软弱地基处理关键技术研究

杜景景

北京城建华晟交通建设有限公司 北京 房山 102400

【摘要】：道路桥梁施工中，软弱地基始终是影响结构稳定、工后沉降与使用耐久性的关键因素。针对软弱地基承载力低、压缩性大、受水影响明显等特点，结合道路桥梁工程施工环境复杂、荷载传递差异显著的实际情况，对软弱地基病害形成机理、常用处理技术及实施控制要点加以系统分析。研究表明，不同处理技术在适用地层、加固深度、变形控制和经济性方面各有侧重，只有依托勘察结果进行合理选型，并将施工控制、监测反馈与质量验收协同纳入处理过程，方可有效提升地基整体稳定性，降低不均匀沉降风险，保障道路桥梁工程安全、耐久与运行品质。

【关键词】：道路桥梁施工；软弱地基；地基处理技术；沉降控制；质量管理

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.054

随着交通基础设施持续向滨海、沿河、湖沼和平原填筑区延伸，地基条件的复杂化愈发明显，其中软弱地基最易成为制约道路桥梁施工质量的薄弱环节。与一般地基相比，此类土体强度形成慢、结构稳定性差，受地下水、填筑扰动及荷载变化影响更为敏感，一旦前期判断失准、处治尺度失衡，后续沉降累积、桥头不顺及局部开裂等问题往往接连出现，修复成本也随之增大。面对工程耐久性与精细化施工要求不断提高的现实背景，如何在地质差异、结构需求与施工条件之间实现技术匹配，已成为道路桥梁建设中不可回避的实践命题。

1 道路桥梁施工中软弱地基的工程特征及处理必要性

1.1 软弱地基的工程特征及其对结构受力的影响

道路桥梁施工所遇软弱地基，多表现为含水量高、孔隙比大、抗剪强度偏低，受扰动后稳定性下降更快，且压缩变形往往具有持续性与滞后性。落在路基填筑区，这类地基易引起整体沉降；落在桥台、涵洞及过渡段，则更容易放大差异变形，使上部结构与下部基础之间的受力传递出现不协调^[1]。尤其在荷载逐步叠加、地下水位波动较为明显的条件下，软弱土层内部强度增长缓慢，局部失稳、不均匀沉降与附属构造开裂便可能相继出现，由此可见，其影响并不局限于地基本体，而是会向道路桥梁整体服役性能持续传导。

1.2 软弱地基处理在工程建设中的关键价值

对软弱地基实施科学处治，意义并不只在于提高地基承载力，更在于为道路桥梁后续施工创造稳定条件，并为长期运营预留足够的安全裕度。随着工程等级提升、通行荷载增大以及

耐久性要求趋严，若仍以经验判断替代精准处理，早期可建、后期易病害的问题便难以避免。依托针对性的地基处理技术，可有效改善土体结构，控制工后沉降，增强路桥过渡段变形协调能力，同时也有助于压实施工组织、质量验收与养护管理之间的衔接关系，使道路桥梁工程由单纯追求建成转向更加重视建成后的稳定、耐久与安全。

2 道路桥梁施工中软弱地基处理的关键技术

2.1 换填垫层技术：以浅层病害消减为核心的基础处治方式

当软弱土层分布较浅、厚度有限，且下卧土层具备一定稳定条件时，换填垫层技术往往具有较高适用性。其关键不在于简单“挖掉再填上”，而在于借助材料替换重构地基上部受力路径，使表层荷载扩散更均匀、排水条件更顺畅、压实基础更可靠。道路桥梁施工中，换填深度多控制在1.0~3.0 m范围内，常用填料包括级配碎石、砂砾、石灰土等，压实度通常要求不低于93%—96%，用于桥头搭板区、涵洞接线段及局部软陷路段时，效果较为直接。

这一技术的优势在于施工组织灵活、质量控制直观，尤其适合工期相对紧凑、处理范围较集中的项目环境。不过，若软弱层连续分布较深，仅依托表层换填往往只能改善短期承载表现，难以完全解决后续沉降累积问题，因此在工程应用中，换填更适合作为浅层处治或复合处治的先行环节。以某平原区二级公路改扩建工程为例，项目在K12+480—K12+760段发现表层淤泥质粉土厚约1.8 m，施工单位未直接扩大加固范围，而是结合勘察成果实施2.2 m换填碎石垫层，并在其上铺设土工格栅增强整体性。处理完成后，弯沉检测值较原状地基明显下降，试运行阶段路表沉降控制较为稳定，说明在浅层软弱地基条件

【作者简介】姓名：杜景景；出生年份：1986年01月；性别：男；民族：汉；籍贯：河南省焦作市修武县；学历：本科；职称：中级工程师；主要研究方向：道路桥梁。

下，换填垫层仍是兼顾效率与质量的重要技术选择。

2.2 排水固结技术：以时间换空间的沉降控制路径

对于含水量高、孔隙比大、天然固结缓慢的软黏土地基，排水固结技术更能体现针对性，其核心机理在于缩短孔隙水排出路径、加快超静孔隙水压力消散，使土体在施工阶段提前完成大部分主固结沉降。常见做法包括塑料排水板配合堆载预压、砂井预压以及真空预压等，其中塑料排水板间距一般布设在0.8~1.5 m之间，预压持续时间则需结合沉降速率与孔压变化动态调整。相较于单纯等待自然沉降，这类技术能够较大幅度提升地基强度增长效率，尤其适用于大面积路基和桥头过渡段施工。

这类技术的现实价值，还体现在其对长期工后沉降的提前释放作用。若预压加载合理、监测反馈及时，路基填筑后的二次变形往往能够得到有效压缩，后期养护压力也会随之降低。以沿海软土地区某快速路工程为例，项目所在区域淤泥质土天然含水率接近50%，压缩性较强，设计阶段未盲目增加桩基处理比例，而是采用塑料排水板联合分级堆载预压。现场连续观测数据显示，预压90 d后累计沉降已完成预计总沉降的70%以上，孔隙水压力明显下降，后续路面结构施工得以在更稳定的平台上展开。由此可见，排水固结技术并非“慢技术”，在节奏组织得当、监测体系健全的前提下，它反而是一种有利于整体质量前移控制的积极技术。

2.3 桩体复合地基技术：面向深厚软土区的承载强化手段

当软弱地基厚度较大、上部结构荷载较高，或桥台、桥墩邻近区域对沉降控制要求更为严格时，桩体复合地基技术便成为更具工程保障能力的方案^[2]。CFG桩、水泥搅拌桩、碎石桩和高压旋喷桩等，均属常见类型，其共同特征在于借助桩体与桩间土共同受力，重塑地基内部应力分配格局，进而提升承载力、减小压缩变形，并改善整体稳定性。以CFG桩为例，桩径常见为0.4~0.6 m，桩间距多控制在1.2~2.0 m之间；水泥搅拌桩则更适用于高含水量软土区，通过水泥与原状土原位拌合形成固化体，施工扰动相对较小。

为了更清晰地比较几类常用技术的适用特点，现将其技术特征概括如表1所示。

表1 常见软弱地基处理技术适用性比较

技术名称	适用地基条件	主要作用	施工特点	适用部位
换填垫层	软弱层较浅、范围	提高表层承载力，	工艺简单，见效	路基浅层、桥头

	局部	改善排水	较快	局部
排水固结	含水率高、软土层较厚	促进固结，控制后期沉降	周期较长，监测要求高	大面积路基、过渡段
CFG桩复合地基	深厚软土、荷载较大	提升承载力与减小沉降	质量稳定，适用性较强	桥台、桥涵邻近区
水泥搅拌桩	饱和软黏土、地下水较高	原位加固，提高强度	扰动较小，连续性较好	深层软土、局部补强

在实际工程中，桩体复合地基的优势并不只体现在承载提升上，更体现在其对差异沉降的调节能力。某跨河桥引道工程曾面临桥台背后深厚软土问题，软土层最大厚度超过8 m，若仅采用换填与预压，后期沉降协调难度较大。项目最终采用CFG桩复合地基，并结合桩帽褥垫层调整荷载扩散方式，施工完成后静载检测结果满足设计要求，运营初期桥头顺接状态较好，未出现明显跳车现象。这表明，面对深层软弱地基，桩体加固并不是成本叠加，而是质量前置、风险前控的重要体现。

2.4 复合协同技术：从单项治理走向系统优化

现代道路桥梁施工中，软弱地基问题往往并不呈现单一类型，土层结构、地下水条件、填筑高度和结构刚度常常相互叠加，由此决定了单项技术并非在任何场景下都能取得最优效果。真正具有推广价值的关键技术，越来越体现为多技术协同下的复合治理思路，即将换填、排水、加筋、桩体加固等手段依工程部位进行组合配置，使不同层位、不同阶段的处治目标形成连续衔接。桥头段可采用“浅层换填+土工格栅+局部桩体加固”，大面积软土路基可采用“排水板预压+分层填筑+动态监测”，特殊不均匀地段则可采用“搅拌桩+过渡段加强设计”的联动方式，技术之间不再彼此替代，而是彼此补强。

这一趋势意味着软弱地基处理已由传统经验型施工，转向更强调系统性和适配性的工程治理。以某城市快速路互通匝道工程为例，项目受限于工期、场地和邻近既有道路运营条件，软土处理不能大范围长时间占道。施工单位结合不同区段条件，将主线路基采用排水板联合堆载预压，桥台邻近区域采用水泥搅拌桩补强，匝道接线部位则增加加筋垫层控制变形。不同技术分区使用后，不仅施工节奏更为顺畅，沉降监测结果也显示各关键部位变形速率保持在可控范围内。由此可以看到，软弱地基处理的“关键”，并不只是某一项技术本身先进与否，

更在于能否依托工程实际形成有层次、有重点、有协同的技术组合。

3 道路桥梁施工中软弱地基处理技术的优化实施与质量保障路径

3.1 依托勘察设计提升软弱地基处理方案的精准性

软弱地基处理成效,决定因素并不只在施工环节,更早已埋设于勘察与设计阶段。地层识别是否准确、土体分层是否清晰、地下水条件是否掌握充分,往往直接影响后续技术选型的针对性与处理深度的合理性^[3]。对道路桥梁工程而言,软弱地基并非静态、均质的承载介质,其厚度变化、含水状态、压缩特征以及空间分布常带有明显差异,若前期资料获取粗略,设计参数便容易失真,技术应用看似完整,实际却难以真正契合工程需要。由此可见,软弱地基处理不宜停留于经验判断层面,而应建立在精细勘察、分类识别与定量分析的基础之上,使方案形成从“地质特征—结构需求—处理目标”逐层对应的技术逻辑。

3.2 依托施工过程控制提高关键技术落地效果

软弱地基处理技术能否真正发挥作用,关键并不在名称的先进与否,而在实施过程是否严谨、工艺参数是否受控、现场衔接是否顺畅。道路桥梁工程中的地基处理,往往具有隐蔽性强、连续性高、对工序依赖明显等特点,一旦现场控制出现偏差,即便前期方案合理,也可能在处理深度、压实效果、桩体质量或排水效率等方面留下隐患。正因如此,施工过程控制应被视作连接设计目标与工程实效的核心环节,不是简单的程序执行,而是对关键工序、关键参数和关键节点实施动态校正与持续约束的系统管理过程。

不同技术类型,对过程控制的重点各有侧重。换填处理强调基底清理质量、填料级配稳定性及分层压实均匀性,若局部扰动未清、压实厚度控制失衡,表层承载虽短期改善,深层变

形却可能继续累积;排水固结类技术对排水通道布设、预压加载节奏以及持续观测要求更高,稍有疏忽,便可能造成固结不充分、沉降释放不均衡;桩体加固类技术则更加依赖成桩连续性、桩长控制、搅拌均匀度以及桩土共同作用状态,任何一个参数偏离设计区间,都可能削弱复合地基整体性能。由此可见,施工控制并不是对单一工序的孤立把关,而是围绕“材料—设备—工艺—检测—修正”形成闭合管理链条,使各类处理技术在现场条件变化中依然能够稳定实现预期目标。

3.3 依托监测验收与协同管理构建长效保障机制

软弱地基处理完成后,工程风险并不会立即消失,部分变形与应力调整具有时间滞后性,沉降的发展、孔压的消散以及结构响应的稳定,往往仍需经历一定周期^[4]。对道路桥梁工程而言,若仅以施工结束作为处理效果的判断节点,容易忽视地基性能随时间演化的真实状态,也难以及时识别局部不均匀沉降、变形偏移和承载不足等潜在问题。基于这一特点,建立覆盖施工期与初始运营期的监测验收体系,便显得格外重要。沉降观测、位移监测、孔隙水压力检测及承载性能检验,构成了判断软弱地基处理质量的核心手段,其意义不仅在于结果核实验,更在于借助连续数据把握地基状态变化趋势,使质量评价从静态判断走向动态认知。

4 结语

道路桥梁建设越向复杂环境延伸,软弱地基处理越不能停留于经验层面,真正需要强化的,是技术判断的精准、施工落实的稳定以及质量保障的连续。处理得当,则沉降可控、结构协调、运营风险前移化解;把握失准,再小的地基缺陷也可能在后期被不断放大。面向今后的工程实践,更应将软弱地基处治置于耐久化、精细化与协同化建造视野之中,借助更科学的技术组合与更严密的过程管理,夯实道路桥梁安全运行的基础。

参考文献:

- [1] 马振国.软弱地基处理中道路桥梁施工处理技术[J].四川水泥,2021,(07):292-293.
- [2] 栾佳亮.软弱地基处理中道路桥梁施工技术探讨[J].居业,2020,(10):66-67.
- [3] 相远行,刘思博.道路桥梁施工中的软土地基处理技术要点研究[J].运输经理世界,2025,(04):115-117.
- [4] 张增廷.道路桥梁施工中软弱地基处理措施[J].中国科技信息,2024,(06):57-59.