

土木工程地基加固处理施工技术研究

王 聪

中国葛洲坝集团市政工程有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要：在土木工程领域，地基作为建筑物的根基，其稳定性与安全性直接关乎整个工程的质量与寿命。本文围绕土木工程地基加固处理施工技术展开研究，阐述了地基加固在提高地基承载力、增强稳定性及减少沉降方面的重要性。分析了换填垫层法、强夯法、排水固结法、深层搅拌法、高压喷射注浆法等常见技术的应用特点，提出施工前需做好地质勘察、合理设计方案及强化过程质量控制的要点。同时，探讨了该领域未来绿色环保技术、智能化技术应用及多种技术综合融合的发展趋势，为土木工程地基加固施工提供理论与实践参考。

关键词：土木工程；地基加固；处理施工；技术研究

引言：地基作为土木工程的基础结构，其稳定性直接影响建筑整体安全与使用寿命。在复杂地质条件下，天然地基常存在承载力不足、沉降量大等问题，需通过加固处理改善其力学性能。本文聚焦土木工程地基加固施工技术，结合当前行业需求，系统梳理地基加固的重要意义、主流施工技术及应用要点，旨在为工程实践提供技术指导。同时，针对行业可持续发展要求，展望未来技术发展方向，助力推动地基加固技术向绿色化、智能化、综合化升级，以适应现代土木工程建设的高标准需求。

1 土木工程地基加固处理的重要性

1.1 提高地基承载力

地基承载力是衡量地基承受上部结构荷载能力的核心指标。天然地基常因土壤密实度低、孔隙率大等问题，无法满足建筑荷载要求，易引发结构变形甚至坍塌。地基加固处理通过压实、置换、胶结等技术手段，减少土壤孔隙、增强颗粒间连接，显著提升地基土的抗剪强度与承载能力。例如，强夯法通过冲击能量压缩土体，换填垫层法以高强度材料替代软弱土层，均能使地基承载力提升30%-50%，为建筑安全提供基础力学保障。

1.2 增强地基稳定性

地基稳定性不足易导致建筑倾斜、开裂等严重事故，尤其在软土、湿陷性黄土等特殊地质区域更为突出。加固处理通过改良地基土体结构，增强其抗滑移、抗倾覆能力，避免因外部荷载或自然因素引发的地基失稳。如深层搅拌法形成的水泥土桩体，可与周围土体共同作用形成复合地基，提升整体抗剪性能；排水固结法则通过排出孔隙水，减少土体流变效应，从根本上增强地基长期稳定性。

1.3 减少地基沉降

地基沉降是建筑使用过程中的常见隐患，过量沉降会导致结构开裂、管线断裂等问题。地基加固通过控制土体压缩性、加速固结过程，有效减少沉降量及沉降差。例如，排水固结法通过设置排水体缩短孔隙水排出路径，使地基提前完成大部分沉降；高压喷射注浆法则通过形成刚性桩体限制周围土体变形，确保建筑沉降控制在设计允许范围内^[1]。

2 常见的土木工程地基加固处理施工技术

2.1 换填垫层法

换填垫层法是通过置换地基表层软弱土层，采用强度较高、稳定性好的材料（如砂石、灰土、粉煤灰等）分层铺设并压实，形成具有一定厚度和承载能力的垫层，从而改善地基受力性能的加固技术。该方法适用于处理浅层软弱土地基（通常厚度小于3m），包括淤泥、淤泥质土、杂填土、素填土等，尤其在工期较紧、对加固深度要求不高的中小型工程中应用广泛。施工时需遵循“分层开挖、分层回填、分层压实”的原则：首先清除表层软弱土层至设计深度，若底部存在积水需先设置排水盲沟排出；随后按设计厚度铺设垫层材料，砂石类垫层虚铺厚度控制在20-30cm，灰土垫层需严格控制灰土比例（通常为3:7或2:8）并拌匀；最后采用振动碾、平板夯等设备压实，确保压实度达到90%以上，对于重要工程需通过环刀法、灌砂法检测压实质量。换填垫层法的核心优势在于施工工艺简单、成本较低且见效快，通过垫层扩散上部荷载，减少地基附加应力，同时利用垫层的透水性加速下部土层排水固结。但该方法受限于处理深度，对深层软弱地基效果有限，且材料选择需匹配工程需求——例如灰土垫层适用于干燥环境，避免在地下水位以下使用以防灰土遇水软化，影响加固效果。

2.2 强夯法

强夯法是利用重锤从高处自由落下产生的巨大冲击能量，对地基土体进行强力夯实，以减小土体孔隙、增强颗粒间密实度，从而提高地基承载能力的加固技术。该方法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、杂填土等多种地基类型，尤其在大面积地基处理工程中表现出显著优势。施工过程需按照“试夯确定参数、分区分层夯实”的思路进行：首先根据地基土性质和工程要求确定重锤重量、落距、夯点布置形式及夯击次数；随后清理场地杂物，平整地表，必要时铺设砂石垫层以扩散夯击能量并方便机械通行；正式夯击时按预定顺序逐点施工，每遍夯击完成后推平夯坑，待孔隙水压力消散到一定程度后进行下一遍夯击，最后以低能量满夯消除表层松散土层。强夯法的突出特点是加固效果显著、施工周期较短且设备通用性强，通过冲击振动使土体产生塑性变形，促进颗粒重新排列并释放孔隙水，形成密实的地基结构。但该方法在施工过程中会产生较大振动和噪音，需控制施工范围与夯击能量，避免对周边建筑物和环境造成不利影响。同时，对于高饱和度黏性土地基，需结合排水措施使用，以防出现“橡皮土”现象影响加固质量。

2.3 排水固结法

排水固结法是通过设置排水系统排出地基土中的孔隙水，利用上部荷载或外加压力加速土体固结，从而提高地基强度和稳定性的加固技术。该方法主要适用于处理饱和软黏土地基，包括淤泥、淤泥质土等，在港口、机场、道路等大面积软基处理工程中应用广泛。其施工核心在于“排水”与“加压”的协同作用：首先根据地基条件铺设排水体，常见的有砂井、塑料排水板等，这些排水体可缩短孔隙水的排出路径，为水分迁移提供通道；随后通过堆载预压、真空预压或两者结合的方式施加压力，促使土体中的孔隙水沿排水体排出，随着水分减少，土颗粒逐渐紧密排列，土体强度随之提高。排水固结法的优势在于能从根本上改善软土的工程性质，加固后地基变形均匀且沉降稳定时间短。不过，该方法对施工环境有一定要求，排水系统的铺设质量直接影响加固效果，若排水体出现堵塞或断裂，会大幅降低排水效率。同时，加压过程需循序渐进，避免因荷载增长过快导致地基失稳，施工中需密切关注土体沉降速率和孔隙水压力变化，确保加固过程安全可控。

2.4 深层搅拌法

深层搅拌法是通过特制机械将水泥、石灰等固化剂送入地基深部，与软土强制搅拌混合，使固化剂与土发生化学反应，形成具有一定强度的水泥土桩体或复合地

基，从而提升地基承载能力的加固技术。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉质黏土等软土地基，在房屋建筑、市政工程的地基加固中应用较多。施工时，搅拌机械沿预定桩位下沉至设计深度，同时喷射固化剂浆液，在提升机械的过程中持续搅拌，使固化剂与土体充分混合。桩体形成后，与周围未加固土体共同构成复合地基，通过桩体承担部分上部荷载，减少地基沉降。该方法的优势是施工过程无振动、无噪音，对周边环境影响小，且能直接在原地基中形成加固体，节省土方开挖与外运成本。但施工质量受搅拌均匀性影响较大，若固化剂掺量不足或搅拌不充分，易出现桩体强度不足的问题。此外，对于含有大块石或有机质含量高的土层，可能导致搅拌困难，需提前评估地质条件以确定适用性。

2.5 高压喷射注浆法

高压喷射注浆法是利用高压泵将水泥浆液通过特制喷嘴以高速射流喷出，冲击切割地基土体，使浆液与破碎后的土颗粒强制混合，并经凝固硬化形成固结体，从而改善地基性能的加固技术。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、砂土、粉土等多种地基，在既有建筑地基加固、基坑防渗等工程中应用广泛。施工时，先将注浆管钻孔置入预定深度，随后启动高压设备，使浆液以20~40MPa的压力从喷嘴射出，破坏土体结构。根据喷射方式不同，可形成柱状、壁状或块状固结体，通过调整喷射参数控制固结体的直径和强度。其优势在于施工灵活，可根据需求形成不同形状的加固体，且能穿透既有建筑物基础进行深部加固。但该技术对浆液配比和喷射压力控制要求严格，若参数设置不当，易出现固结体强度不均或与周围土体结合不良的问题^[2]。

3 土木工程地基加固处理施工技术应用要点

3.1 施工前的地质勘察

地质勘察是地基加固施工的前提，其精度直接影响技术选择与参数设定。勘察需采用钻探、原位测试、室内试验等综合手段，全面掌握土层分布、承载力特征、地下水埋深等关键信息，尤其对软土、断层、岩溶等特殊地质，需加密勘察点以明确隐患范围。例如，在湿陷性黄土地基勘察中，需测定湿陷系数与自重湿陷量，为强夯法或灰土挤压桩法的参数设计提供依据。同时，勘察报告应包含地基变形预测、环境影响评估等内容，避免因勘察疏漏导致加固方案与实际地质不匹配，引发后期沉降或结构失稳问题。

3.2 施工方案的合理设计

施工方案需基于地质勘察结果，结合工程荷载、工期要求等因素进行针对性设计。方案应明确技术选型逻

辑，例如软土地基优先选用排水固结法与复合地基结合的方式，而杂填土地基则侧重置换与压实技术的组合。同时，需细化施工参数，如强夯法的夯击能、夯点间距，高压喷射注浆法的注浆压力、提升速度等，均需通过理论计算与试桩试验验证。此外，方案还应包含应急措施，针对施工中可能出现的地基隆起、浆液泄漏等问题制定预案，并考虑周边建筑保护，设置监测点控制振动、沉降等影响，确保方案的可行性和安全性。

3.3 施工过程中的质量控制

施工过程的质量控制需实现“动态监测+工序管控”的双重保障。在工序层面，需严格执行技术规范，例如换填垫层法中分层碾压厚度不得超过30cm，压实度需达到93%以上；深层搅拌法需控制钻头提升速度与注浆量，确保水泥土搅拌均匀。同时，引入实时监测技术，通过全站仪监测地基位移，压力传感器反馈土体应力变化，对超出预警值的参数及时调整施工工艺。对于隐蔽工程，如注浆体充盈度、桩体完整性等，需采用钻芯取样、低应变检测等手段验收，合格后方可进入下道工序。此外，需强化材料质量管控，如水泥、砂石等原材料需抽检强度与含水率，禁止使用不合格材料，从源头杜绝质量隐患^[3]。

4 土木工程地基加固处理施工技术的未来发展趋势

4.1 绿色环保技术的应用

绿色环保是未来土木工程发展的核心要求，地基加固技术正逐步向低能耗、低污染、可循环方向转型。传统加固技术中，水泥、钢材等材料的大量使用不仅消耗资源，还会产生粉尘、噪音等污染。未来，新型环保材料将成为主流，例如采用工业废料（如粉煤灰、矿渣）制备的固化剂，既能减少固废排放，又能提升加固效果；生物加固技术通过微生物代谢产生的碳酸钙胶结土体颗粒，实现无化学污染的地基改良。同时，绿色施工工艺将得到推广，如静压注浆技术减少机械噪音，模块化施工降低场地扰动，使地基加固过程与生态环境保护形成协同发展。

4.2 智能化技术的发展

智能化技术的深度应用将重构地基加固施工模式，大幅提升工程精度与效率。一方面，物联网技术可实现施工全过程的实时监测，通过埋设在地基中的传感器收

集土体压力、位移等数据，结合大数据分析预警潜在风险；另一方面，自动化设备将逐步替代人工操作，如智能强夯机可根据地质参数自动调整夯击能量与频率，高压喷射注浆机器人能通过三维定位系统确保注浆孔位误差控制在毫米级。此外，BIM（建筑信息模型）与数值模拟技术的结合，可在施工前构建虚拟加固场景，优化技术参数，减少试错成本，推动地基加固从经验驱动向数据驱动转变。

4.3 多种技术的综合应用

单一加固技术难以适应复杂地质条件的多元化需求，未来多种技术的协同应用将成为主流趋势。例如，在软土地基处理中，可将排水固结法与深层搅拌法结合，先通过排水体加速土体固结，再采用水泥土桩增强地基强度，兼顾处理效率与加固效果；对于杂填土地基，可先用冲击碾压技术破碎大块体，再结合高压喷射注浆形成防渗帷幕，解决地基不均匀性问题。技术综合应用并非简单叠加，而是通过建立技术适配模型，根据地质特征、荷载要求等参数优化组合方案，实现 $1+1 > 2$ 的加固效果。这种模式既能降低工程成本，又能提高地基处理的适用性，满足现代土木工程对复杂环境的适应能力^[4]。

结束语

综上所述，土木工程地基加固处理施工技术是保障建筑安全与耐久性的核心环节，其重要性贯穿于工程全生命周期。从换填垫层法、强夯法等传统技术到绿色化、智能化的创新方向，技术应用需以地质勘察为基础、以方案设计为引领、以质量控制为保障。随着行业发展，地基加固技术正朝着更环保、高效、精准的方向升级，未来需进一步推动多技术融合与前沿科技赋能。

参考文献

- [1]齐双双,周芳.建筑工程软土地基的施工处理技术研究[J].住宅与房地产,2022(30):165.
- [2]安晓兰.高层建筑软土地基的施工技术要点建议[J].住宅与房地产,2021(30):154.
- [3]罗凯.建筑工程中的深基坑支护设计问题和对策[J].住宅与房地产,2022(33):75.
- [4]王伟雄.建筑工程中的深基坑支护设计问题及措施分析[J].河南建材,2022(03):225-226.