

水利建设工程中软土地基处理技术的应用与优化研究

刘 静 杜宇翔 李 浩

内蒙古河套灌区水利发展中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：软土地基的高压缩性、低承载力特性易引发水利工程沉降、渗漏等隐患，制约工程质量与安全。软土地基处理技术的科学应用与优化是破解这一难题的关键。本文聚焦水利建设工程场景，剖析软土地基危害机理，梳理常用处理技术的应用核心要点，探索基于工程适配性、环保性与效率的技术优化路径，通过技术升级提升地基承载能力与稳定性，为水利工程长期安全运行提供支撑，助力工程建设质量提升。

【关键词】：水利建设工程；软土地基；处理技术；技术应用；技术优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.084

引言

软土地基在我国水利建设区域广泛分布，其不良工程特性给工程施工与长期运营带来诸多挑战。处理不当易导致构筑物开裂、渗漏甚至失稳，不仅增加建设与维修成本，还可能威胁周边水资源安全与生态环境。明确软土地基处理技术的应用规律，挖掘优化空间，对破解工程技术瓶颈、提升综合效益具有重要意义。立足软土地基与水利工程的适配需求，深入探究技术应用与优化要点，可有效提升地基处理效果，衔接后续技术实践与探索工作。

1 水利建设工程软土地基的工程特性及危害解析

1.1 软土地基的核心工程特性界定

软土地基是水利建设工程中典型的不良地基类型，其核心工程特性呈现多维度耦合特征。高含水量作为最显著特征，使土体水分远超上限，削弱颗粒间黏结力，导致整体结构松散。低承载力使其难以承载上部工程荷载，易引发较大沉降变形；高压缩性则延长沉降持续时间、增大沉降量，阻碍地基短期稳定。加之渗透性差导致水分排出迟缓，进一步加剧沉降滞后性。这些特性相互关联，共同决定了水利工程中软土地基处理的复杂性与难度，需精准界定以制定针对性处理方案。

1.2 软土地基对水利建设工程的潜在危害

软土地基的不良特性易对水利工程建设产生多方面潜在危害。在工程施工阶段，软土地基的不均匀沉降可能导致基坑坍塌、边坡失稳等施工安全事故，延误施工进度。对于堤坝、水闸等水利构筑物，软土地基的沉降变形会引发构筑物开裂，破坏结构完整性，降低其防渗性能，进而导致渗漏现象发生。渗漏不仅会造成水资源浪费，还可能引发管涌、流土等地质灾害，威胁工程周边区域的安全。长期来看，软土地基的持续变形会使水利工程结构受力失衡，降低工程的耐久性与使用寿命，增加后期维修加固成本，甚至影响工程的正常运行功能。

1.3 软土地基危害的诱发机理分析

软土地基对水利工程危害的诱发机理与土体结构及受力变化密切相关。软土颗粒间以黏粒和粉粒为主，颗粒细小且排

列松散，土体内存在大量孔隙水。当水利工程上部荷载施加后，土体颗粒间的有效应力减小，孔隙水压力增大，在孔隙水排出过程中，土体颗粒逐渐压实，引发沉降变形。若荷载施加速度过快，孔隙水无法及时排出，会导致土体抗剪强度急剧降低，进而引发剪切破坏，出现基坑坍塌、边坡失稳等问题^[1]。对于水利防渗构筑物，软土地基的不均匀沉降会使构筑物产生拉伸应力，当应力超过结构承载极限时，便会出现裂缝，形成渗漏通道。渗漏水会进一步带走土体内细小颗粒，加剧地基破坏，形成恶性循环。

2 水利建设工程常用软土地基处理技术的应用要点

2.1 换填垫层技术在软土地基处理中的应用

换填垫层技术通过开挖去除基础底面以下的软土，换填强度高、稳定性好的材料并压实，以提升地基承载力，减少沉降变形。应用过程中，需精确定换填范围与厚度，换填范围应覆盖基础荷载影响的全部软土区域，厚度需根据软土厚度、承载力要求及换填材料性能综合确定。换填材料的选择需兼顾强度与经济性，常用材料包括碎石、卵石、灰土、素混凝土等，不同材料适配不同的工程场景。压实质量控制是技术应用的关键环节，需根据换填材料特性选择合适的压实机械与压实参数，确保垫层压实度达到设计要求，避免因压实不足导致后期沉降。换填过程中需做好排水措施，防止基坑积水影响换填材料性能与压实效果。

2.2 排水固结技术在软土地基处理中的应用

排水固结技术利用排水系统加速软土地基内孔隙水排出，使土体逐渐固结，提升抗剪强度与承载力。该技术的应用核心在于排水系统与加压系统的合理布设。排水系统通常采用塑料排水板、砂井等竖向排水体，配合砂垫层等水平排水体，形成完整的排水通道，缩短孔隙水排出路径^[2]。加压系统可通过堆载预压、真空预压或联合预压等方式实现，堆载预压需控制堆载速率，避免因荷载增加过快导致地基失稳；真空预压则通过抽真空形成负压，加速孔隙水排出，适用于对沉降控制要求较高的工程。应用过程中，需实时监测地基沉降、孔隙水压力变

化,根据监测数据调整加压速率与时间,确保固结效果达到设计标准。

2.3 复合地基技术在软土地基处理中的应用

复合地基技术通过在软土地基中设置增强体,使增强体与周围软土共同承担荷载,提升地基整体承载能力。常用的复合地基技术包括碎石桩、水泥土搅拌桩、CFG桩等,不同技术的应用要点存在差异。碎石桩适用于处理松散砂土、粉土及软土,通过振动沉管或冲击成孔方式成桩,成桩过程中需控制桩径、桩长及桩间距,确保桩体密实度与均匀性。水泥土搅拌桩通过将水泥与软土强制搅拌形成固结体,应用时需控制水泥掺量、搅拌均匀性及养护时间,避免出现搅拌不充分、桩身强度不足等问题。CFG桩兼具承载与排水功能,适用于处理深厚软土地基,成桩后需进行截桩与垫层施工,保障桩与基础的有效连接,充分发挥复合地基的承载作用。

3 水利建设工程软土地基处理技术的优化方向探索

3.1 基于工程需求的处理技术适配性优化

基于工程需求的处理技术适配性优化,需结合水利工程的类型、规模、结构形式及地质条件,针对性选择与优化处理技术。不同水利工程对地基承载力、沉降控制的要求存在差异,如堤坝工程需重点控制不均匀沉降,水闸工程则对地基承载力与稳定性要求更高。针对不同地质条件,需优化技术参数,例如在深厚软土地基中,可优化排水固结技术的排水体布置密度与深度,提升固结效率;在软土与砂土交互层地基中,可采用复合地基技术与排水固结技术组合方式,兼顾承载能力与沉降控制。通过技术与工程需求的精准适配,实现处理效果与经济性的平衡。

3.2 结合环保理念的處理技术升级路径

结合环保理念的處理技术升级路径,聚焦减少施工过程中的生态破坏与环境污染。传统软土地基处理技术可能产生大量弃土、扬尘及噪音污染,升级过程中需推广环保型材料与施工工艺^[3]。采用工业废料制成的再生骨料替代传统换填材料,实现资源循环利用;优化水泥土搅拌桩施工工艺,减少水泥用量,降低碳排放;采用低噪音、低振动的施工机械,减少对周边生态环境的干扰。需加强施工过程中的环保管控,对弃土进行规范处理,防止水土流失,确保处理技术在提升工程质量的兼顾生态环境保护需求。

3.3 依托施工效率的處理技术流程优化

依托施工效率的處理技术流程优化,旨在通过简化施工工序、提升施工自动化水平,缩短工期,降低施工成本。针对传统处理技术工序繁琐、施工周期长的问题,可优化施工流程,实现各工序的高效衔接。在排水固结技术施工中,优化排水板铺设与砂垫层铺设的工序顺序,采用一体化施工设备提升施工效率;在复合地基技术施工中,推广智能化成桩设备,实现桩

位定位、成桩深度与质量的自动化控制,减少人为误差。建立施工质量动态监测体系,实时反馈施工数据,及时调整施工参数,避免因施工失误导致返工,进一步提升施工效率与工程质量。

4 软土地基处理技术应用与优化的质量管控措施

4.1 施工前软土地基勘察质量管控

施工前软土地基勘察质量管控是保障处理技术有效应用的基础,需确保勘察数据的准确性与全面性。勘察过程中,需根据水利工程的规模与地质复杂程度,合理布设勘察点位,确保勘察范围覆盖整个工程区域及周边影响区域。采用多种勘察手段相结合的方式,如钻探、静力触探、十字板剪切试验等,全面获取软土的物理力学指标,包括含水量、孔隙比、压缩系数、抗剪强度等。对勘察数据进行系统分析,精准划分软土分层,明确软土分布范围、厚度及不良地质现象的分布情况。加强勘察成果的审核与验收,确保勘察报告能够为处理技术选择与参数设计提供可靠依据。

4.2 施工过程中技术应用质量把控

施工过程中技术应用质量把控需贯穿各施工环节,确保处理技术按照设计要求规范实施。针对不同处理技术的特点,制定针对性的质量控制要点。在换填垫层施工中,严格控制换填材料的质量与级配,对进场材料进行抽样检测,不合格材料严禁使用;控制开挖深度与范围,避免超挖或欠挖;加强压实过程的质量监测,采用环刀法、灌砂法等检测手段,确保压实度符合设计要求^[4]。在排水固结与复合地基施工中,控制施工设备的运行参数,确保排水体插设深度、成桩质量符合要求;加强施工过程中的旁站监理,及时发现并纠正施工偏差,防止出现桩身断裂、排水通道堵塞等质量问题。

4.3 施工后工程质量检测与评估

施工后工程质量检测与评估是验证处理技术应用效果的关键环节,需通过科学的检测手段全面评估地基处理质量。检测内容包括地基承载力、沉降量、孔隙水压力消散情况等核心指标,检测方法需根据检测指标与工程特点选择,如静载试验、动力触探试验、沉降观测等。对检测数据进行系统整理与分析,与设计指标进行对比,判断地基处理效果是否满足工程要求。若检测结果未达到设计标准,需及时分析原因,采取补桩、二次处理等补救措施。建立长期沉降观测体系,对工程运行期间的地基沉降情况进行持续监测,评估地基的长期稳定性,为工程后期维护提供数据支撑。

5 软土地基处理技术应用与优化的实践适配策略

5.1 不同水利工程类型的技术适配选择

不同水利工程类型的功能需求与结构特点存在差异,软土地基处理技术的适配选择需针对性开展。堤坝工程以防渗与抗滑稳定为核心需求,且工程规模大、覆盖范围广,可优先选择

排水固结技术结合复合地基技术,提升地基承载力的有效控制不均匀沉降,增强堤坝抗滑稳定性;水闸工程作为挡水与泄水构筑物,对地基承载力与变形控制要求严苛,可采用 CFG 桩复合地基技术,配合换填垫层处理,确保地基刚度均匀,减少结构变形;灌溉渠道工程对沉降控制要求相对较低,可采用换填垫层或碎石桩复合地基技术,在保障工程质量的兼顾经济性。通过结合工程类型的核心需求选择适配技术,实现处理效果的精准匹配。

5.2 复杂地质条件下的技术组合应用

复杂地质条件下单一处理技术难以满足工程要求,技术组合应用成为提升处理效果的关键。当软土地基中存在透镜体、夹层等复杂地质构造时,可采用“排水固结技术+复合地基技术”的组合方式,通过排水固结加速软土固结,利用复合地基增强体提升地基承载能力,兼顾沉降控制与承载力提升需求^[5]。若软土地基上部存在硬壳层,可利用硬壳层的承载作用,采用换填垫层技术处理表层软土,配合深层排水固结技术处理下部深厚软土,实现深浅层地基的协同加固。在软土与岩溶、裂隙等不良地质并存的区域,需先采用注浆技术封堵不良地质通道,再结合复合地基技术处理软土地基,确保地基整体稳定性。

参考文献:

- [1] 简学兴.水利工程中软土地基处理技术与要点管理[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(32):190-192.
- [2] 王红东.水利工程施工中软土地基处理技术应用分析[J].地下水,2025,47(05):266-267+289.
- [3] 李雨才.水利工程施工中软土地基处理技术的研究与应用[J].中国设备工程,2025,(S2):266-269.
- [4] 王浩,耿玉芝,李福.水利工程施工中软土地基处理技术研究[J].水上安全,2025,(09):185-187.
- [5] 张旭林.水利水电工程施工中软土地基处理技术分析[J].科技资讯,2025,23(08):163-165.

5.3 技术应用与优化的效益提升保障

技术应用与优化的效益提升保障需从技术、经济、管理多维度协同推进。在技术层面,通过优化技术参数与施工流程,提升处理效果,减少后期维修成本;推广新型环保、高效的处理技术,降低施工能耗与环境污染治理成本。在经济层面,建立技术经济性评估体系,对不同处理技术及优化方案进行成本核算与效益分析,选择性价比最优的方案;通过提升施工效率缩短工期,减少施工机械租赁、人工等费用支出。在管理层面,加强施工全过程的质量与进度管控,避免因质量问题导致返工损失;建立技术创新激励机制,鼓励施工企业与科研单位合作,研发适配水利工程需求的新型处理技术,持续提升技术应用与优化的综合效益。

6 结语

本文围绕水利建设工程软土地基处理技术的应用与优化展开研究,明确了软土地基的工程特性与危害机理,梳理了常用处理技术的应用要点,探索了技术优化方向与质量管控措施,提出了实践适配策略。软土地基处理技术的合理应用与持续优化,是保障水利工程安全稳定运行的核心支撑。未来需结合工程实践不断完善技术体系,推动处理技术向环保化、高效化、智能化方向发展,为水利建设工程高质量推进提供更可靠的技术保障,助力水利事业持续健康发展。