

水利施工中软土地基施工技术探讨

张 毅

陕西秦海检测科技有限公司 陕西 咸阳 265200

摘 要：水利施工中，软土地基处理至关重要。本文介绍软土地基施工技术概念、特征与作用，阐述排水固结、置换处理、加筋增强、胶结加固等核心施工技术，分析其在不同水利工程结构、软土特性及特殊环境的应用场景，并展望技术集成化、材料工艺革新、智能化管控等发展方向，为水利施工提供参考。

关键词：水利施工；软土地基；施工技术；应用场景；发展方向

引言：在水利工程建设里，软土地基因高含水量、低强度等特性，给施工带来诸多挑战。若地基处理不当，易引发堤坝裂缝、渠道渗漏等问题，影响工程安全与稳定。深入研究软土地基施工技术，根据不同工程需求和软土特性合理选用，对保障水利施工质量、提升工程效益具有重要意义。

1 软土地基施工技术基础认知

1.1 软土地基施工技术概念界定

软土地基施工技术是指在水利工程施工中，针对软土地基的特性，采用一系列技术手段改善地基承载力、减少沉降变形的施工方法总和。这些技术通过改变软土结构、置换软弱土层或增强土体整体性，为水利工程结构提供稳定基础^[1]。其覆盖从前期勘察到后期监测的完整流程，勘察环节需探明软土的分布范围、埋藏深度及物理力学特性，为技术方案选择提供基础信息；施工环节依据方案采用具体工艺处理地基，比如通过机械移除软弱土层、设置排水体系促进土体固结等；监测环节持续跟踪地基的变形情况与强度变化，验证技术实施的实际效果。技术应用需结合水利工程的特点，考虑水位涨落、水流冲刷等因素对地基的影响，通过专门措施抵御水动力侵蚀，保障堤坝、渠道等水利构筑物的基础安全。

1.2 软土地基施工技术的主要特征

以解决软土高含水量、低强度问题为核心目标，技术实施需结合软土性质针对性选择。对于淤泥类软土，着重采用排水技术降低含水量；对于泥炭质软土，侧重通过置换或加固提升整体强度。施工过程注重分步推进，如先通过排水措施降低土体含水率，再进行加固处理，借助多道工序的协同配合实现地基改良。各工序之间存在紧密的逻辑关联，前道工序为后道工序创造条件，避免因工序混乱影响处理效果。技术应用需兼顾时效性与长效性，既要通过临时加固措施快速满足施工阶段的承载需求，保障后续施工机械顺利进场作业；又要

依靠长效处理技术确保工程在长期使用中保持稳定，抵御水体长期浸泡、荷载反复作用等带来的不利影响，实现短期功能与长期安全的统一。

1.3 软土地基施工技术的应用

能有效提升软土地基的承载能力，通过技术处理让原本难以承受水利构筑物自重与水压的软土地基，具备足够的强度和刚度，确保堤坝、水闸等结构在施工及使用过程中不发生剪切破坏、过量沉降等安全问题。减少地基沉降量及沉降差，通过预先压缩土体或增强土体抗变形能力，控制地基在荷载作用下的沉降幅度，缩小不同部位的沉降差值，避免结构因不均匀沉降出现开裂、失稳等情况，保障水利工程的结构完整性和水密性。为水利工程后续施工创造有利条件，通过高效的地基处理技术缩短地基固结时间，使地基提前达到后续施工所需的强度要求，避免因地基问题导致工期延误，保障工程整体施工进度。经处理后的地基能为模板安装、混凝土浇筑等工序提供稳定的作业面，有助于提升后续施工的质量控制水平。

2 水利施工中软土地基核心施工技术

2.1 排水固结施工技术

通过布设砂井、塑料排水板等排水系统，形成土体内部排水通道，加速水分排出。砂井选用级配适宜的砂石填充，其直径需根据软土厚度调整，塑料排水板则借助专用设备插入土层，板体宽度需适配排水需求，二者共同构建排水网络。结合堆载预压或真空预压技术，增加土体孔隙水压力消散动力。堆载预压利用砂石或袋装土分层加载，每层加载后需静置一段时间观察沉降，真空预压通过密封膜形成气压差，膜体边缘需埋入地下确保密封严密，两种方式均能推动土体密实。施工中需控制排水体间距以保证排水均匀，合理设定预压荷载避免地基失稳，把控加载速率待沉降稳定后再继续加载，确保固结效果均匀。

2.2 置换处理施工技术

采用开挖置换或深层搅拌置换等方式,将软土替换为砂石、灰土等硬质材料。开挖置换适用于浅层软土,按确定范围分层开挖软弱土层,每层开挖深度不宜过大以防边坡坍塌,开挖后及时回填砂石或灰土,选用振动碾或压路机分层压实,压实过程需从边缘向中心推进,形成连续垫层,直接承载上部荷载^[2]。深层搅拌置换利用专用机械将固化剂送入地下,固化剂用量需根据软土含水量调整,机械搅拌时需确保叶片到达设计深度,搅拌轴旋转速度需适配土壤粘度,与软土强制搅拌混合,形成柱状加固体。这些加固体与周边软土协同作用,共同承担荷载,提升地基整体承载能力。

2.3 加筋增强施工技术

在软土地基中铺设土工格栅、土工布等加筋材料,通过材料拉伸变形约束土体侧向位移。土工格栅的网格尺寸需与土颗粒匹配,土工布的渗透系数需满足排水要求。铺设前需清理地基表面杂物,移除尖锐石块以防刺破材料,确保加筋材料与上下土层紧密贴合。施工时保证材料铺设平整,拉紧材料避免褶皱,搭接处需采用专用连接件固定,连接强度需不低于材料本身强度,防止受力时分离影响传递。可结合垫层施工,在加筋材料上下铺设砂石垫层,垫层厚度需根据荷载确定,垫层颗粒需级配合理以保证压实度,形成加筋垫层复合结构,通过材料与垫层的协同作用,提升地基整体抗变形能力。

2.4 胶结加固施工技术

向软土中注入水泥、石灰等胶结材料,通过化学反应使软土颗粒胶结,提高土体强度。注浆技术需根据软土性质控制注浆压力和注浆量,压力过大易导致土体扰动,过小则浆液扩散不足,调整浆液配比以适应不同土层条件,砂性土中可增加水泥用量,粘性土中可添加适量粉煤灰,确保胶结体在土体中均匀分布。高压喷射注浆则通过特制喷嘴将浆液以高压射流形式喷出,射流压力需根据土层硬度调节,喷嘴提升速度需与喷射范围匹配,切割扰动软土并与之充分混合,形成具有一定强度的连续防渗加固帷幕。施工中需控制喷射压力和提升速度,速度过快会导致固结体不连续,过慢则易造成材料浪费,保证形成的固结体形态完整,既能提高地基强度,又能增强地基的防渗性能。

3 软土地基施工技术的应用场景

3.1 不同水利工程结构施工

堤坝基础施工中,采用排水固结结合加筋增强技术,通过砂井或塑料排水板加速地基排水,配合堆载预压促进土体密实,堆载材料选用级配砂石以均匀传递荷

载,铺设土工格栅增强地基整体性,格栅铺设时需与地基土紧密贴合,控制坝体沉降及坝坡稳定性,避免堤坝因地基变形出现裂缝或滑坡^[3]。渠道边坡施工中,应用置换处理与胶结加固技术,对边坡浅层软土进行开挖置换,开挖深度根据边坡高度确定,回填砂石形成稳定坡体,砂石分层碾压至规定密实度,再向深层软土注入水泥浆液形成胶结体,浆液需渗透至边坡深部,防止边坡滑塌及渠道渗漏,保障渠道输水效率。闸站基础施工中,选用深层置换技术,利用深层搅拌机械将固化剂与软土混合形成高强度加固体,加固体布置成网格状以均匀分散荷载,均匀分布的加固体能够分散闸站传递的荷载,保障闸站结构承受较大竖向及水平荷载,确保闸门启闭时的结构稳定。

3.2 不同软土特性条件施工

对于淤泥质软土,其含水量高、透水性差,土颗粒间联结力弱,优先采用排水固结技术,设置密集的排水体缩短排水路径,排水体间距根据软土厚度调整,配合真空预压创造排水动力,真空度需保持稳定,重点解决水分排出问题,使土体在排水过程中逐渐密实,土颗粒紧密排列,提升地基强度。对于泥炭质软土,因含有较多有机质导致强度极低,有机质易分解使地基产生不均匀沉降,结合置换处理与胶结加固技术,先置换表层泥炭土,置换材料选用灰土以中和有机质,再向深层注入水泥或石灰浆液,通过化学反应中和有机质的不良影响,减少有机质对地基强度的干扰,形成稳定的复合地基。对于夹砂层软土,砂土与软土交替分布易引发渗透变形,砂土在振动荷载下可能发生液化,利用排水固结技术加速排水,降低孔隙水压力,采用加筋增强技术在砂层中铺设土工格栅,格栅网格尺寸适配砂粒级配,增强土体抗剪能力,抑制砂土液化风险,保证地基在荷载作用下的稳定性。

3.3 特殊施工环境技术应用

在临水区域施工中,地下水丰富且与外部水体连通,水位变化易影响地基稳定性,采用止水帷幕配合排水固结技术,通过高压喷射注浆形成连续的止水帷幕,帷幕深度需穿透透水层,阻断外部水源补给,使地基内部水分能够通过排水系统顺利排出,排水系统与止水帷幕协同作用,保证地基脱水效果,避免因外部水渗入影响固结进程。在狭窄场地施工中,大型机械难以展开作业,作业空间受限易导致材料堆放困难,选用小型化机械进行置换或注浆施工,如小型搅拌桩机、便携式注浆设备等,设备选型需适应场地宽度,适应空间限制^[4]。优化材料运输路径,采用人工搬运或小型运输工具,运输

路线避开施工核心区域,减少材料堆放对施工空间的占用,降低对周边环境的干扰,确保施工有序进行。

4 软土地基施工技术的发展方向

4.1 技术集成化发展

将多种单一技术组合形成复合处理体系,如排水+加筋+胶结协同应用。排水技术通过砂井或排水板构建排水通道,为加筋材料铺设创造稳定基面;加筋材料通过网格结构约束土体侧向变形,为胶结加固提供受力支撑;胶结材料填充土体孔隙,增强整体强度。三种技术相互配合,发挥各技术优势,针对多层复杂软土地基,可分层选择主导技术,上层侧重排水加筋,下层强化胶结加固,提升复杂软土地基处理效果。开发一体化施工设备,整合排水体植入、加筋材料铺设、胶结材料注入等功能,设备搭载自动定位系统,配备可更换作业模块,适应不同土层条件。完成一道工序后无需重新调试即可转入下道工序,实现多道工序连续作业,减少设备转移和场地整理时间,同时降低工序衔接中的质量波动,提高施工效率。

4.2 材料与工艺革新

研发新型环保固化剂、高性能加筋材料。新型环保固化剂以工业废渣为主要原料,经活化处理后具备良好胶结性能,可与软土中的水分发生反应生成稳定晶体,减少水泥用量降低碳排放;高性能加筋材料采用复合纤维制成,纤维表面经特殊处理增强与土体的摩擦力,兼具抗腐蚀、耐老化特性,在潮湿环境中仍能保持稳定力学性能,提升技术的环保性与耐久性。改进施工工艺,自动化注浆系统配备流量传感装置和压力反馈模块,根据土层阻力自动调节注浆压力和浆液浓度,确保浆液在土体中均匀扩散;智能化排水监测系统连接孔隙水压力传感器和位移计,实时采集排水数据和地基沉降量,自动调整预压荷载大小和加载节奏,避免因排水速率与加载不匹配导致的地基失稳,减少人为操作误差。

4.3 智能化施工管控

利用传感器实时监测地基变形、孔隙水压力等参数,传感器嵌入地基不同深度和位置,采用防水封装技术适应潮湿环境,持续捕捉土体细微变化。数据通过无线传输模块发送至中央控制系统,系统内置分析模型,将监测值与理论值对比,生成动态变化曲线,实现施工过程中动态调控^[5]。当变形速率异常时,系统自动提示调整施工参数,如减缓加载速度或增加排水措施。结合BIM技术构建三维地基模型,模型纳入软土物理参数、施工工序和环境因素,模拟施工全过程的土体应力变化和沉降趋势,可直观呈现不同施工阶段的地基状态。预判技术实施中可能出现的加固盲区、排水不畅等问题,提前优化施工方案,如调整排水体间距或增加加筋材料层数,实现精准化施工管控。

结束语

水利工程软土地基施工技术体系通过多种方法协同应用,有效解决软土承载力不足和变形过大问题。技术创新推动排水、置换、加筋和胶结等技术不断优化,材料研发和智能监测为技术实施提供更好支撑。持续完善技术体系和施工工艺,将进一步提升水利工程软基处理水平,为工程建设质量提供坚实保障。未来需加强技术集成创新和智能化发展,适应更复杂的工程需求。

参考文献

- [1]张腾,王大伟.浅谈水利工程施工中软土地基处理技术[J].治淮,2025(3):49-50,67.
- [2]崔金刚,陈又贵.水利工程施工中软土地基处理技术[J].黑龙江水利科技,2023,51(10):86-88,100.
- [3]孟凡忠,陈韬.水利施工中软土地基施工技术探讨[J].大众科学,2025,46(10):158-160.
- [4]凤牧羊.探讨水利施工中软土地基施工技术[J].城镇建设,2024(14):217-219.
- [5]罗仕胜.基于水利施工中软土地基处理技术的分析[J].建材与装饰,2024,20(26):157-159.