

水利工程施工中地基处理技术

李 刚¹ 汪 琛² 李宗军²

1. 江苏河工水利建设有限公司 江苏 连云港 222000

2. 连云港市新禹水务工程有限公司 江苏 连云港 222000

摘 要：水利工程地基处理是确保工程安全与长期稳定运行的关键环节。本文系统阐述了水利工程地基处理的核心要求，包括承载力、稳定性及抗渗性三大准则，并详细介绍了换填垫层法、夯实法、挤密法及排水固结法四种常用处理技术的原理、适用范围及施工要点。在此基础上，从地基勘察、技术选型、施工质量控制及施工排水四个方面提出了地基处理技术的应用要点。全面精准的地质勘察是合理选择处理技术的前提，科学的技术组合与严格的施工管控是保障处理效果的核心，而施工过程中的排水控制则是确保各项处理技术顺利实施的重要保障。本文为水利工程地基处理的方案设计与施工管理提供了系统性技术参考。

关键词：水利工程；地基处理；施工技术

引言：水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其地基稳定性直接关系到工程安全与服役寿命。由于水利工程多建于复杂地质条件之上，地基常存在软弱土层、高含水量、大孔隙比及抗液化能力不足等问题，若处理不当，极易引发不均匀沉降、渗透破坏甚至整体失稳等严重后果。随着水利工程建设规模不断扩大，地基处理技术的科学选型与规范施工日益受到关注。换填垫层法、夯实法、挤密法及排水固结法等技术在不同地质条件下各具优势，但其应用效果受勘察精度、方案合理性及施工质量等多重因素制约。本文围绕水利工程地基处理的核心要求，系统梳理常用处理技术原理，并从勘察、选型、质控及排水等方面提出应用要点，旨在为工程实践提供技术指导。

1 水利工程地基处理的核心要求

水利工程地基处理的核心目标在于改善地基土体的物理力学性能，消除天然地质缺陷，确保地基满足工程设计对承载力、稳定性、抗渗性及沉降量的综合要求。水利工程涉及坝体、闸室、渠道及泵站等多种结构形式，不同类型工程对地基的具体要求存在差异，但整体须遵循三大核心准则。（1）承载力要求是地基处理的首要准则。地基需能够承受上部结构的自重荷载、水压力、土压力及地震等附加荷载的共同作用，避免因地基承载力不足引发整体失稳或局部剪切破坏。对于坝基而言，承载力不足将导致坝体沿基底滑动或深层滑动，危及整个水利枢纽的安全运行。（2）稳定性要求强调地基在长期服役过程中的变形控制。需防止地基出现不均匀沉降、差异变形及滑动等现象，确保上部结构的整体性与安全性。水利工程对不均匀沉降极为敏感，即使沉降量在允许范

围内，过大的差异沉降也会导致坝体开裂、闸室倾斜及渠道错位，严重影响工程功能与使用寿命。（3）抗渗性要求是水利工程地基处理区别于一般建筑工程的关键特征。水利工程长期与水体接触，地基需具备良好的抗渗能力，有效控制渗流量，避免因渗流导致地基土体软化、管涌、流土及渗透破坏等问题。渗透变形不仅会削弱地基强度，还可能引发坝基渗透失稳，威胁工程整体安全^[1]。

2 水利工程施工中常用地基处理技术

2.1 换填垫层法

换填垫层法是水利工程地基处理中应用最为广泛且技术成熟的基础方法，其核心原理是通过挖除地基表层软弱土体，替换为力学性能优良的散体或胶结材料，经分层回填压实后形成结构稳定的人工垫层，从而达到提高地基承载力、减小沉降量及改善排水条件的目的。该技术适用于淤泥、淤泥质土、素填土及杂填土等软弱土层厚度较浅的地基处理，尤其在浅层地基缺陷治理中具有显著优势。施工阶段需严格把控三个关键环节。（1）依据设计图纸精确放样，确定换填边界与开挖深度，采用机械开挖配合人工修整的方式清除软弱土层，确保基底平整且无扰动。（2）合理选用换填材料，常用级配砂石、灰土、粉煤灰及素混凝土等，材料进场前须进行粒径分析、含水量及压实性能试验，确保其满足强度、级配及水稳定性要求。（3）采用分层回填压实工艺，每层虚铺厚度严格控制在规定范围内，选用振动压路机或重型夯实机械逐层碾压，检测压实系数直至达标，确保垫层密实均匀、无夹层或松散现象，从根本上保障地基处理效果^[2]。

2.2 夯实法

夯实法是利用重锤自由下落产生的冲击能或振动作用,迫使地基土体颗粒发生重新排列与密实,从而压缩孔隙体积、提高土体干密度及抗剪强度,达到增强地基承载力与减小工后沉降的目的。该技术依据施工能量与适用深度的差异,主要分为重锤夯实法与强夯法两种工艺形式。(1)重锤夯实法利用起重机械将重锤提升至预定高度后自由下落,以较低能量对浅层土体进行反复冲击压实,适用于地下水位埋藏较深、含水量适中的素填土、杂填土及湿陷性黄土等浅层地基处理,有效加固深度一般控制在数米以内。强夯法则采用更大吨位锤体与更高落距,施加显著更高的冲击动能,可有效消除深层土体孔隙,加固深度大幅增加,适用于碎石土、砂土、低饱和度粉土及高饱和度软土地基的深层处理,能显著改善深层土体的压缩模量与渗透性能。(2)施工前须依据地质勘察资料与设计指标,通过现场试夯确定锤重、落距、夯击能、夯点间距及夯击遍数等关键参数。施工前需整平场地,若土体含水量偏高,须采取翻晒或掺灰等降水措施,防止因孔隙水压力过大导致弹簧土现象。夯后须采用标准贯入试验或载荷试验验证地基承载力与压实度,确保处理效果满足工程要求。

2.3 挤密法

挤密法是通过沉管、冲击或振动等方式在地基中成孔,随后回填砂石、灰土或水泥土等材料形成挤密桩,利用桩体施工过程中对周围土体产生的侧向挤压与振动作用,迫使土颗粒重新排列、孔隙体积减小,从而显著提高地基土体的密实度与内摩擦角,增强地基承载力与抗液化性能,同时桩体本身亦可承担部分上部荷载,与桩间土共同组成复合地基。该技术主要适用于砂土、粉土、素填土及杂填土等松散或中密地基,尤其在地震区砂土地基抗液化处理及湿陷性黄土地基处理中效果显著。常用挤密桩类型包括砂石桩、灰土桩及水泥土搅拌桩等,其中砂石桩以振动沉管法施工为主,适用于地下水位以上的砂性土地基;灰土桩采用锤击或振动沉管法,适用于地下水位以上的黏性土与粉土地基;水泥土桩则通过深层搅拌法成桩,适用于含水量较高的软土地基。施工时须依据设计参数确定桩位布置、桩径、桩长及填料配比,成桩后采用动力触探或载荷试验检测桩体质量与复合地基承载力,确保桩身连续密实、桩间土挤密均匀,满足设计指标要求。该法施工效率高、造价适中、环境扰动小,在水利工程地基加固中具有广泛适用性^[1]。

2.4 排水固结法

排水固结法是针对高含水量、大孔隙比及高压缩性软弱地基的有效处理技术,广泛应用于淤泥、淤泥质土、

泥炭土及冲填土等饱和软黏土的加固处理。其核心原理是依据太沙基固结理论,通过在地基中构建竖向与水平向排水通道,缩短孔隙水排出路径,促使土体中超静孔隙水压力快速消散,加速主固结与次固结过程,从而显著减小工后沉降量并逐步提高土体抗剪强度与地基承载力。该技术主要分为堆载预压法与真空预压法。堆载预压法通过在地表分级施加堆载材料,利用附加应力驱动土体排水固结,需配合塑料排水板或砂井等竖向排水体使用,以加速深层土体固结。真空预压法则利用密封膜覆盖地表,通过真空泵抽气形成负压,使土体在大气压与膜内负压差作用下排出孔隙水,适用于堆载材料缺乏或工期紧张的工程。施工中须合理布设排水板或砂井间距,严格控制堆载速率或真空度,防止因加载过快引发地基剪切破坏。施工完成后,须通过十字板剪切试验或静力触探检测地基固结度与承载能力,确保处理效果满足设计标准。

3 水利工程地基处理技术的应用要点

3.1 做好地基勘察工作

地基勘察是水利工程地基处理方案设计与施工实施的前提性基础工作,其成果质量直接决定处理技术选型的科学性与处理效果的可靠性。勘察工作须综合运用钻探取芯、标准贯入试验、静力触探、室内土工试验及地球物理探测等多种技术手段,系统查明场地地层结构、各土层的空间分布规律与厚度变化特征,精准获取地基土体的天然含水量、孔隙比、压缩系数、抗剪强度指标及渗透系数等核心物理力学参数。同时,须重点识别地基中软弱夹层、透镜体、古河道、暗浜、溶洞及塌陷等不良地质体的展布范围与发育程度,查明地下水类型、埋深、补给排泄条件及其季节性动态变化规律,评估潜在渗漏通道与渗透破坏风险。勘察成果经综合分析后,须形成完整的工程地质评价报告,明确地基缺陷类型与处理难点,为地基处理方案的针对性设计提供可靠依据。勘察过程中须严格控制钻孔间距、取样数量与测试精度,确保数据真实可靠,避免因勘察点位不足、取样代表性差或参数偏差导致处理方案偏离实际地质条件,进而引发工程质量隐患或安全事故^[4]。

3.2 合理选择地基处理技术

水利工程地基处理技术的选择是一项系统性决策工作,须综合考虑地基工程地质条件、上部结构荷载特征、工程功能要求、施工环境及经济成本等多维因素。技术选型前,须依据勘察成果明确地基缺陷类型与分布特征,如软弱夹层厚度与埋深、松散砂土液化风险、软黏土固结潜力等,结合设计对承载力提升幅度、沉降控制标准

及抗渗性能的具体指标,初步筛选出技术上可行的处理方案。对于浅层软弱土,换填垫层法因工艺简单、效果直接而优先选用;对于深层松散砂土或碎石土,强夯法或挤密法可有效提升深层密实度与抗液化性能;对于高含水量饱和软黏土,排水固结法则能显著加速固结并降低工后沉降。此外,还须评估施工场地条件、材料供应能力、工期限制及环境保护要求,在多方案比选中确定技术经济最优组合,避免因盲目套用单一技术导致处理效果不达标或资源浪费,确保地基处理方案与工程实际需求高度匹配。

3.3 严格控制施工质量

施工质量控制是保障水利工程地基处理效果的核心环节,须严格依据施工方案与技术规范实施全过程管控。施工前,须组织全体作业人员进行系统的技术交底,明确各工序的操作要点、质量控制标准及验收要求,确保作业人员充分理解施工工艺与质量底线。施工过程中,须对原材料进场检验、施工工序衔接及关键参数执行实施动态监控,重点把控换填材料的级配与含水量、夯实施工的落距与夯击遍数、挤密桩的桩位偏差与桩体密实度、排水固结的堆载速率与真空度等核心指标,每道工序完成后须经自检与监理验收合格方可进入下一工序。施工完成后,须采用载荷试验、标准贯入试验、十字板剪切试验及沉降观测等检测手段,对地基承载力、密实度、抗渗性能及工后沉降量进行全面检测评估,检测数据须满足设计要求。对于检测不合格部位,须及时分析原因并采取返工或补强措施,严禁带隐患转入后续施工,确保地基处理质量全程可控、结果可靠。

3.4 注重施工过程中的排水

施工过程中的排水控制是水利工程地基处理的重要保障环节。地基土体含水量过高将直接导致土体抗剪强度显著下降,孔隙水压力增大,不仅增加压实与夯实作业的施工难度,还极易在夯击或碾压过程中引发橡皮土现象,严重制约换填垫层法、夯实法及挤密法等处理技术的实施效果。因此,施工全过程须根据地基土层渗透系数、地下水位埋深、土体天然含水量及气象条件,制

定科学合理的排水方案。地表排水方面,须在场地四周及施工区域布设截水沟与排水沟,合理设置集水井并配备抽水设备,及时排除地表径流与施工废水,防止地表水渗入地基。地下排水方面,对于渗透性较差的饱和软黏土地基,须预先布设塑料排水板或袋装砂井等竖向排水体,缩短孔隙水排出路径,加速土体排水固结。施工期间须安排专人对地下水位进行动态监测,根据监测数据及时调整排水措施,确保土体含水量始终控制在最优含水率范围内,为压实、夯实等关键工序提供良好的施工条件,从而保障地基处理效果满足设计要求^[5]。

结束语

水利工程地基处理是一项涉及地质勘察、方案设计、施工管控及效果检测的系统性工程。承载力、稳定性与抗渗性三大核心要求贯穿于处理全过程,换填垫层法、夯实法、挤密法及排水固结法等技术各有适用条件,须依据地质特征科学选用。实践中,精准的地基勘察是技术选型的根本依据,严格的施工质量控制是处理效果的核心保障,而施工排水则是各项技术顺利实施的基础性条件。未来水利工程地基处理应进一步加强智能化监测手段的应用,推动处理技术与信息化管理深度融合,注重绿色环保材料的研发与推广,在确保工程安全的前提下降低环境影响与工程造价,促进水利工程地基处理技术向精细化、智能化方向持续发展。

参考文献

- [1]张全荣.复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[J].科技资讯,2024,22(13):138-140.
- [2]贾立欣.防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用[J].前卫,2024(7):0207-0209.
- [3]邹国,胡成波.水利工程施工中软土地基处理技术的应用[J].中国科技期刊数据库 工业A,2024(8):040-043.
- [4]郭涛.防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用[J].科技与创新,2024(14):182-184.
- [5]郑芝鑫.灌浆施工技术在水利工程防渗处理中的应用分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(5):022-025.