

水利施工中软土地基施工技术探讨

周 超

扬州市勘测设计研究院有限公司 江苏 扬州 225007

摘 要：本文探讨了水利施工中软土地基的处理技术，重点分析了处理前的准备工作、常见施工技术及其质量控制措施。通过地质勘察、处理方案制定和材料设备准备，确保软土地基处理的科学性和可行性。文章详细介绍了排水固结法、换填法、强夯法和水泥搅拌桩法等常见技术的原理、施工要点及质量控制措施，强调了材料质量和施工工艺控制的重要性，为提高水利工程施工质量和稳定性提供了参考。

关键词：水利；软土地基；施工技术

引言

水利工程施工中，软土地基的处理是确保工程质量的关键环节。软土地基由于其含水量高、压缩性大、承载力低等特点，给施工带来了诸多挑战。为了提高地基的稳定性和承载能力，必须采取有效的处理技术。本文将详细探讨软土地基处理前的准备工作、常见施工技术及其质量控制措施，旨在为水利工程施工提供科学指导和技术支持。

1 软土地基处理前的准备工作

1.1 地质勘察

地质勘察作为软土地基处理的前置基础工作，核心在于精准掌握施工现场地质全貌，为后续处理方案编制提供可靠依据。勘察范畴覆盖软土空间分布范围、垂直向厚度变化，重点测定含水量、孔隙比、压缩系数、抗剪强度等物理力学参数，同步明确地下水位动态特征及周边环境约束条件。具体实施中采用三维立体勘察体系：通过机械钻探获取不同深度土层原状样，结合静力触探、标准贯入试验等原位测试技术，直接测定土体现场力学性能，避免取样扰动影响；室内试验则对钻探取样进行系统分析，测定颗粒组成、渗透系数等辅助参数。数据整合阶段运用地质统计学方法，建立软土层三维地质模型，精确标定软土与相邻土层的界面特征。基于实测数据编制专项勘察报告，重点分析软土的工程特性：通过含水量与孔隙比指标判断软土的松散程度，利用压缩系数评估其压缩特性，依据抗剪强度参数确定地基承载能力，结合地下水位变动规律预测施工期可能出现的工程问题。

1.2 处理方案制定

在水利施工中，依据地质勘察所获取的软土分布、厚度、物理力学性质等关键数据，同时紧密结合水利工程的规模大小、结构类型、使用功能需求以及现场施工

条件，开展软土地基处理方案的制定工作。方案制定严格遵循技术可行、经济合理、安全可靠三大核心原则，技术可行性要求所选处理方法能切实改善软土地基性能，满足工程对地基承载力、变形控制等要求；经济合理性需综合考量处理成本，包括材料、设备、人工费用及后期维护成本等，在保证质量前提下实现成本最优；安全可靠则要确保处理后的地基在施工及使用期间稳定，不出现滑坡、失稳等安全事故。对于常见处理方法，排水固结法适用于饱和软黏土，通过排水系统加速固结，但需较长时间；换填法直接挖除软土换填性能好的材料，操作简单，但受换填深度和材料来源限制；强夯法能显著提高地基强度，但对周边环境振动影响大；水泥搅拌桩法可形成具有一定强度的桩体，改善地基整体性，不过对土质有一定要求；碎石桩法通过振冲或挤密形成碎石桩，提高地基承载力，排水效果较好^[1]。实际制定方案时，需综合分析各方法适用性、优缺点，根据工程具体情况，选择单一方法处理，或采用多种方法联合，以发挥不同方法优势，达到最佳处理效果。

1.3 材料与设备准备

材料准备环节，严格遵循质量优先原则，确保所有投入工程建设材料均满足相关标准规范。对于水泥、石灰等加固类材料，必须查验其出厂合格证书，并按规定批次进行抽样检验，重点检测强度、安定性、凝结时间等关键指标，杜绝不合格材料进入施工现场；砂石等填筑材料，需严格把控级配参数，确保粗细颗粒合理搭配，同时将含泥量控制在规范允许范围内，避免因材料质量问题影响地基处理效果。设备配置方面，紧密围绕施工工艺需求，精准选配专业机械设备。采用排水固结法时，需配备排水板打设机，确保排水板垂直度、打设深度符合设计要求，同时配置真空泵，建立有效的负压排水系统；实施强夯法施工，应选用起重能力匹配、夯

锤落距可控的强夯机,保证夯击能量准确传递至地基土体;运用水泥搅拌桩法处理地基,则需配备性能稳定的水泥搅拌桩机,实现水泥浆与土体的充分搅拌混合,所有机械设备进场前,均需进行全面检查调试,重点测试动力系统、传动系统、控制系统等关键部件的运行状态,确保设备性能可靠、作业稳定。

2 常见软土地基施工技术

2.1 排水固结法

排水固结法原理是在于通过构建排水通道加速地基固结,该方法通过设置竖向排水体与水平排水垫层形成立体排水网络,使软土地基在荷载作用下,孔隙水沿排水体向上及水平方向排出,孔隙水压力逐步消散,有效应力相应增加,促使土体发生压缩固结,最终实现地基强度提升与沉降稳定。施工环节还要严格把控关键点,竖向排水体施工时,需确保打设深度、间距及垂直度精准符合设计参数。砂井施工可采用振动沉管法或射水法,通过机械振动或高压水流将套管沉入预定深度后灌砂形成排水通道;塑料排水板则利用专用插板机按设计间距垂直打设,打设过程中需实时监测垂直度,避免偏斜影响排水效果。水平排水垫层铺设选用中粗砂或碎石材料,厚度不低于0.5m,铺设后需碾压密实,确保排水通畅,预压加载阶段,根据工程需求选择堆载预压或真空预压方式,堆载预压需分层堆筑荷载材料,真空预压则通过密封膜与真空泵形成负压环境^[2]。加载过程中须建立沉降与孔隙水压力监测系统,按设计要求控制加载速率,当观测到沉降速率突增或孔隙水压力异常时,立即暂停加载并分析原因,防止因加载过快导致地基失稳,保障施工安全与处理效果。

2.2 换填法

换填法将基础底面下特定深度与范围内的软弱土层彻底清除,转而分层填筑强度更高、压缩性更低的砂石、灰土或素土等材料,经分层压实后形成人工复合地基,这种双层地基结构通过上部硬壳层与下部持力层的协同作用,可显著提升地基整体承载能力,同时有效控制工后沉降量,满足水利工程对地基稳定性的严格要求。在施工环节,首先依据设计文件精确确定换填边界与深度,采用机械开挖配合人工清底的作业方式,确保软土层完全清除且基底平整。换填材料进场前须核验质量证明文件,并按规范进行颗粒级配、含水量等指标检测,杜绝不合格材料使用。分层铺填时严格控制每层虚铺厚度不超过300mm,采用振动压路机、平板振动器等设备进行压实作业,压实过程中实时监测压实度,确保压实系数达到设计标准。施工过程中需建立完善的排水

系统,在基底周边设置排水沟,及时排除地表水与地下水,防止基底浸泡导致换填材料强度降低。换填完成后采用静载试验、标准贯入试验等方法进行承载力检测,重点监测换填层与原状土交界处的承载特性,当检测值低于设计要求时,需补充压实或局部换填处理,直至地基承载力、变形模量等指标全面满足水利工程设计规范要求。

2.3 强夯法

强夯法是通过重锤自由落体产生的巨大冲击能,对地基土实施强力夯实,在冲击作用下,土体内部产生剧烈振动与应力波,促使孔隙水受压排出,土颗粒发生重新排列和密实,有效降低土体压缩性并提升抗剪强度,进而实现地基加固效果。施工阶段首先依据设计参数开展试夯作业,通过不同夯击能、夯击次数及夯点间距的组合试验,测定地基沉降量、孔隙水压力消散规律等指标,据此优化确定正式施工参数。场地处理时采用平地机进行整平,清除表层杂物与植被,利用全站仪精确测放夯点位置并做明显标记。夯击作业遵循“由内向外、隔行跳打”原则,先完成中心区域夯击再向周边扩展,避免夯击能叠加导致地基破坏。每遍夯击间隔时间根据土质特性确定,饱和软土需静置2~3周待孔隙水压力消散,非饱和土可缩短至3~5天。施工过程中实时监测地面隆起与侧向位移,当出现土体软化、弹簧状等橡皮土迹象时,立即停止夯击并采取翻晒、换填等处理措施。强夯完成后采用平板载荷试验检测地基承载力特征值,同步进行标贯或动力触探试验验证加固深度,确保处理后地基承载力、压缩模量等指标满足水利工程设计要求,最后进行场地二次整平为后续施工创造条件。

2.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是以水泥为固化剂,借助特制深层搅拌机械的旋转钻头,将水泥浆液与地基软土在原地强制混合搅拌。通过水泥的水化反应及离子交换作用,使软土颗粒胶结形成具有整体性、水稳定性和较高强度的水泥土桩体,该桩体与周围土体协同构成复合地基,有效提升地基承载能力并控制工后沉降。施工前完成场地平整并清除地下障碍物,利用全站仪精确测放桩位点并设置保护桩。搅拌机械就位后,通过双向经纬仪校正钻杆垂直度,确保桩身垂直偏差控制在1%以内。水泥浆液配制采用自动计量系统,根据设计水灰比精确控制水泥用量与加水量,搅拌时间不少于3分钟以保证浆液均匀性。搅拌作业遵循“两喷四搅”工艺,钻头空转下沉至设计深度后启动喷浆泵,以0.5~0.8m/min的匀速边喷浆边提升,提升至桩顶标高后关闭喷浆系统;随后重复搅拌下

沉至桩端,再次边喷浆边提升至地面,全程保持钻头转速 $60\text{r}/\text{min}^{[3]}$ 。施工参数通过电子监测系统实时记录,当提升速度超过 $0.8\text{m}/\text{min}$ 或喷浆量不足时自动报警,成桩后7天内采用轻型动力触探检测桩身均匀性,28天后进行单桩载荷试验及复合地基平板载荷试验,检测点数分别不少于总桩数的1%且不少于3根,确保桩体无侧限抗压强度及复合地基承载力特征值满足设计要求。

3 软土地基施工质量控制

3.1 材料质量控制

软土地基施工材料质量控制是保障地基处理效果的基础环节,所有用于软土地基处理的材料,包括砂、碎石、水泥、化学浆液等,均须严格满足设计文件明确的技术指标及现行相关标准规范要求。材料进场前必须建立全流程质量管控体系:砂石材料需核查颗粒级配、含泥量、有机质含量等指标,确保级配连续且含泥量不超过规范限值;水泥应检验强度等级、初终凝时间、安定性等核心参数,严禁使用过期或受潮结块水泥;化学浆液需验证黏度、固化时间、抗压强度等性能数据,保证其与地基土体具有良好的适配性。所有材料进场时须随附质量证明文件,包括出厂合格证、检测报告及质量保证书等,并按规定批次进行见证取样送检,由具备资质的第三方检测机构出具复验报告。对于经检验判定为不合格的材料,必须立即标识隔离并清退出场,严禁降级使用或混入合格材料堆放区。同时建立材料使用追溯台账,详细记录材料批次、进场时间、检验状态及使用部位等信息,确保质量问题可追溯、可溯源,为软土地基施工质量提供可靠的材料保障。

3.2 施工工艺控制

在排水固结法施工中,要重点控制排水板打设垂直度偏差不得超过1.5%,采用垂直度监测仪实时校准,搭接长度严格按设计要求执行,确保排水通道连续性;水平排水垫层铺设时,中粗砂或碎石的粒径级配、含泥量须

符合标准,分层摊铺厚度控制在 $200\sim 300\text{mm}$ 范围内,采用平板振动器或压路机碾压密实,压实度不低于设计值的95%。强夯法施工中,夯锤提升高度与落距偏差应控制在 $\pm 0.3\text{m}$ 以内,通过激光测距仪动态监测,夯击能误差不得超过设计值的5%;夯点布置采用全站仪定位,偏差不得大于0.1倍夯锤直径,每遍夯击间隔时间根据孔隙水压力消散曲线确定,确保土体有效固结。水泥搅拌桩施工时,钻杆垂直度偏差不得超过1%,采用双向经纬仪联合校正,水泥浆液水灰比通过自动计量系统精确控制,搅拌提升速度严格控制在 $0.5\sim 0.8\text{m}/\text{min}$,喷浆压力保持在 $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ 范围^[4]。所有工序施工期间须建立完整的原始记录台账,实时记录工艺参数、设备运行状态及环境条件等数据,记录文件须经现场技术负责人签字确认,确保施工过程可追溯、质量责任可界定。

结语

综上所述,水利施工中软土地基处理至关重要,涉及多方面技术与管理工作。从前期准备到施工实施,再到质量控制,每个环节紧密相连、缺一不可。通过精准的地质勘察、合理的方案制定、严格的材料与工艺控制,可有效提升软土地基处理效果。未来,随着技术发展,需不断优化施工技术与质量控制方法,以应对更复杂的地质条件,为水利工程建设提供坚实的地基保障。

参考文献

- [1]范晓斌.关于水利施工中软土地基施工技术探讨[J].水利电力技术与应用,2022,4(8).
- [2]朱子鹏.水利施工中软土地基处理技术探讨分析[J].价值工程,2021,40(18):126-127.
- [3]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.
- [4]徐兵.水利工程施工中软土地基处理技术[J].建筑与装饰,2025(7):139-141.