

软土地基上水利施工方法研究

韩 露 张立均 张先配

泗洪县水利工程有限公司 江苏 宿迁 223900

摘要：软土地基具有含水量高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低等特性，对水利工程建设的稳定性与耐久性构成显著挑战。为保障水利工程质量与安全，深入探究适配的施工方法及质量控制措施意义重大。文章系统分析软土地基特性，详细阐述换填法、排水固结法等常见施工方法的技术原理与应用要点，并从材料、工艺、监测及人员管理等维度提出质量控制策略，为软土地基水利工程施工提供科学指导与实践参考。

关键词：软土地基；水利施工；方法

引言

随着水利工程建设规模与复杂度不断提升，软土地基条件下的施工难题日益凸显。软土地基独特的物理力学性质易引发地基沉降、失稳等问题，直接威胁水利工程结构安全与运行效能。在此背景下，如何优化施工方法、强化质量管控成为行业关注焦点。本文通过深入剖析软土地基特性，系统梳理换填、排水固结等主流施工技术，结合工程实践提出质量控制关键路径，旨在为软土地基水利工程施工提供理论支撑与技术借鉴。

1 软土地基特性分析

软土地基作为工程建设中常见的不良地基类型，其特性对工程结构的稳定性与耐久性有着关键影响。软土主要由细颗粒的黏土和粉土组成，这些颗粒在长期沉积过程中形成特殊的微观结构，颗粒间存在大量孔隙且孔隙水含量高，致使软土地基呈现高含水量与高孔隙比的显著特征。通常情况下，软土的含水量可达液限的2-3倍，孔隙比常大于1.0，部分淤泥质土孔隙比甚至超过2.0，这种高孔隙结构使得软土的天然密度相对较小，压缩性大幅增加。软土地基的抗剪强度极低，由于土颗粒间的联结微弱，且孔隙水占据主导，在受力时难以形成有效的抗剪骨架。不排水抗剪强度一般在5-30kPa之间，受荷后极易产生塑性变形，难以承受较大的基础荷载。软土的渗透性较差，其渗透系数通常在 10^{-6} - 10^{-8} cm/s量级，使得地基土中的孔隙水难以快速排出。在外荷载作用下，土体固结过程漫长，地基沉降持续时间久，即便在建筑物建成多年后，仍可能因地基土的次固结产生额外沉降，影响建筑物的正常使用。软土地基还具有触变性与流变性。当土体受到扰动时，其结构强度迅速降低，呈现类似流体的特性，这种触变性在地基施工过程中，如基坑开挖、桩基施工时，易引发土体坍塌、流砂等问题。流变性则表现为土体在长期荷载作用下，会持

续产生蠕变变形，即便荷载未超过地基的极限承载力，地基也可能因变形过大而失效。软土地基的不均匀性较为普遍，由于沉积环境复杂，同一区域不同位置的软土性质差异明显，这种特性给地基处理和工程设计带来极大挑战，需要在工程实践中充分考虑其特性以确保工程安全。

2 软土地基上水利施工常见方法

2.1 换填法

换填法作为软土地基处理的常用手段，是将基础底面以下一定范围内的软弱土挖除，代之以强度高、压缩性低且无侵入性的材料。其原理是通过置换软弱土层，改变地基的承载特性，提高地基的抗变形和稳定能力。在水利施工中，当软土埋深较浅，且开挖方量在可接受范围内时，换填法尤为适用，如小型水闸、渠道基础等工程场景。施工时，先精确确定需换填的范围与深度，运用机械或人工方式小心挖除软土，注意避免对周边土体的扰动。分层回填选定材料，常见的有砂、碎石、灰土等。每层回填后，利用压实机械，如振动压路机、蛙式打夯机等，进行充分压实，确保压实度达到设计要求。需严格把控回填材料的质量，如砂石的粒径、含泥量，灰土的配合比等，这些因素直接关乎换填效果。换填法的优势显著，它能有效提高地基承载力，减少沉降量，施工工艺相对简单，且可就地取材，成本可控。该方法也存在局限性，对于软土层较厚的情况，挖除和回填工程量大，经济性欠佳，且施工过程中对环境有一定影响，如产生扬尘、噪声等^[1]。

2.2 排水固结法

排水固结法旨在解决地基的沉降与稳定问题，适用于饱和和软弱土层。其核心原理是在地基中设置竖向排水体，如砂井、袋装砂井或塑料排水带，同时结合堆载预压、真空预压等加压措施，促使土体中的孔隙水排

出，加速地基固结，提高地基强度。在大面积的水利工程，如大型水库库底处理、围垦工程等，排水固结法应用广泛。实施时，先平整场地，清除表层植被和杂物，铺设砂垫层以构建水平排水通道。接着，按设计间距和深度，采用专用设备将竖向排水体插入软土层中。若采用堆载预压，逐步施加预压荷载，如土石堆载，加载速率需严格控制，避免地基失稳；若采用真空预压，在砂垫层上铺设密封膜，通过真空泵抽气，使地基形成负压，加速排水。施工中，要密切监测孔隙水压力、沉降量等指标，据此调整施工参数。排水固结法能大幅缩短地基沉降时间，提高地基稳定性，有效增强地基土的抗剪强度。不过，该方法施工周期较长，对施工场地周边环境要求较高，真空预压还受密封条件限制，若密封不佳，将严重影响预压效果。

2.3 深层搅拌法

深层搅拌法是利用深层搅拌机械，将水泥、石灰等固化剂与软土强制搅拌，通过固化剂与软土之间的一系列物理化学反应，使软土硬结，形成具有整体性、水稳性和一定强度的加固土桩体或复合地基，从而提高地基承载力，减少沉降。该方法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土等软土地层，在水利工程的堤防加固、水闸基础处理等方面应用较多。施工流程为，先调试深层搅拌设备，确保其运行正常。将搅拌头下沉至设计深度，同时按设计配合比喷入固化剂，边喷边搅拌提升，使固化剂与软土充分混合。为保证搅拌均匀性和加固效果，通常需进行复搅复喷。施工过程中，要严格控制固化剂的用量、搅拌速度、提升速度等参数，确保每根搅拌桩的质量。深层搅拌法可有效加固软土地基，对周围土体扰动小，施工时无振动、无噪声，对环境影响小，且加固后的地基强度可根据设计要求进行调整。该方法对施工设备和操作工艺要求较高，若施工不当，易出现搅拌不均匀、桩身强度不足等问题^[2]。

2.4 强夯法

强夯法通过将重锤提升至一定高度后自由落下，利用强大的冲击能使地基土密实，提高地基承载力，降低压缩性。其作用机理包括动力密实、动力固结和动力置换。适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基，在水利工程中，常用于大面积的场地平整和浅层地基加固，如大型水利枢纽工程的前期场地处理。施工时，先测量放线，确定夯点位置。选用合适重量的夯锤，一般为8-40t，将夯锤提升至6-30m的高度后自由落下进行夯击。夯击遍数和夯击间隔时间根据地基土性质和设计要求确定，通常

需进行多遍夯击。施工过程中，要注意控制夯锤的落距和垂直度，避免夯击偏心。对夯击过程中的地面变形、孔隙水压力等进行监测，确保施工安全和效果。强夯法施工效率高，加固效果显著，能有效提高地基的承载能力和稳定性，可处理多种类型的地基土。该方法施工时噪声和振动较大，对周边环境和建筑物有一定影响，不适用于对振动敏感的区域，且对场地的地质条件有一定要求，如地下水位过高时需先采取降水措施。

3 软土地基上水利施工质量控制

3.1 材料质量控制

(1) 软土地基水利施工中，水泥作为核心胶凝材料，其质量直接影响工程耐久性与强度。需严格把控水泥的强度等级、凝结时间及安定性，优先选用水化热较低的矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥，以减少因水化热过高引发的裂缝风险。对进场水泥进行抽样检测，确保其各项指标符合设计要求，杜绝不合格产品用于施工。(2) 砂石骨料的级配与含泥量是影响混凝土和易性及强度的关键因素。选择颗粒级配良好、质地坚硬的砂石，通过筛分试验与含泥量检测，确保细骨料含泥量不超过3%，粗骨料含泥量不超过1%。控制骨料的针片状颗粒含量，避免因骨料形状不规则导致混凝土孔隙率增加，降低结构密实度。(3) 对于地基处理所用的土工合成材料，如土工格栅、土工布等，需关注其物理力学性能。土工格栅的拉伸强度、延伸率，土工布的过滤、排水性能均需满足设计标准。在储存与运输过程中，采取防潮、防晒措施，防止材料老化、破损，施工前再次检查材料外观及性能指标，确保其在软土地基加固中发挥有效作用。

3.2 施工工艺控制

(1) 软土地基排水固结处理工艺是提升地基承载力的重要手段。采用塑料排水板结合堆载预压施工时，严格控制排水板的打设深度、间距及垂直度。排水板打设深度需穿透软土层进入下卧透水层，间距根据设计要求精确布置，确保排水通道均匀分布。在堆载过程中，控制加载速率，避免因加载过快导致地基失稳，通过分层加载、定期监测沉降速率，使地基逐步达到设计承载力。(2) 深层搅拌桩施工工艺在软土地基加固中应用广泛，其施工质量取决于搅拌均匀性与水泥掺量。施工前进行工艺性试桩，确定最佳搅拌速度、提升速度及水泥浆水灰比。施工过程中，确保搅拌机叶片旋转搅拌充分，使水泥浆与软土均匀混合，形成强度较高的桩体。控制桩体的搭接长度，保证加固后的地基形成连续的承载结构，提高整体稳定性。(3) 在水利建筑物基础施

工中，模板工程与混凝土浇筑工艺直接影响结构尺寸与外观质量。模板需具有足够的强度、刚度与稳定性，接缝严密，防止漏浆。混凝土浇筑时，控制浇筑速度与高度，避免产生离析现象，采用分层浇筑、振捣密实的方法，确保混凝土内部无空洞、蜂窝等缺陷。对于大体积混凝土，采取温控措施，如预埋冷却水管、覆盖保温材料，减少温度裂缝的产生^[3]。

3.3 施工过程监测

(1) 沉降监测是软土地基水利施工过程中的关键环节。通过在地基表面及建筑物基础设置沉降观测点，采用精密水准仪定期测量沉降数据。在地基处理初期与加载阶段，加密观测频率，及时掌握地基沉降趋势。当沉降速率出现异常变化时，分析原因并采取相应措施，如调整加载速率或优化地基处理方案，确保地基稳定。

(2) 水平位移监测可有效反映地基土体的侧向变形情况。在实际监测中，需依据现场地形、工程特性等，科学规划监测范围，在关键部位如地基边缘、建筑物周边等合理布设监测断面与测点间距，用全站仪或位移监测桩精准观测。监测数据可直观呈现土体变形方向与速率，当水平位移超过预警值时，及时采取加固措施，防止地基整体滑动或建筑物倾斜。(3) 孔隙水压力监测有助于了解软土地基中孔隙水压力的消散情况。在地基内部埋设孔隙水压力计，实时监测孔隙水压力变化。根据监测数据，判断地基的固结程度，为堆载预压等施工工艺的进度控制提供依据。当孔隙水压力消散到设计要求时，方可进行下一步施工，确保地基承载力满足工程需求。

3.4 人员管理与培训

(1) 软土地基水利施工技术要求高，施工人员的专业技能直接影响工程质量。要为参与施工的操作人员开展全面且细致的专项技能培训，不仅要让他们透彻了解塑料排水板打设机、深层搅拌机等软土地基处理设备的

操作流程，还要掌握注意事项。通过实际操作演练与理论讲解深度融合，提高其技术水平，确保施工工艺准确实施。(2) 施工管理人员需具备丰富的软土地基施工经验与管理能力。要求管理人员熟悉施工流程与质量控制要点，能够合理安排施工进度，协调各工序之间的衔接。在施工过程中，管理人员加强现场巡查，及时发现并解决施工中出现的质量问题，对关键工序进行旁站监督，确保施工过程符合设计与规范要求。(3) 建立有效的考核机制，对施工人员与管理人员进行定期考核。通过理论考试与实际操作考核，检验人员对施工技术与质量控制知识的掌握程度。对考核优秀的人员给予奖励，对不达标人员进行再培训或调整岗位，形成良好的竞争氛围，激励全体人员不断提升自身素质，为软土地基水利施工质量提供可靠保障^[4]。

结语

综上所述，软土地基水利施工需以地基特性为基础，合理选择施工方法，强化全流程质量控制。研究表明，换填法、排水固结法等技术的科学应用，配合严格的材料管理、工艺把控及过程监测，能够有效提升地基承载能力与工程稳定性。未来，随着工程技术的发展，软土地基水利施工技术仍需持续创新，以适应更复杂的工程需求，为水利事业高质量发展筑牢基础。

参考文献

- [1] 史策.软土地基上水利施工方法研究[J].百科论坛电子杂志,2020(7):1796-1797.
- [2] 朱凯.软土地基基础上水利施工处理方法[J].建筑与装饰,2022(6):22-24.
- [3] 张森.软土地基基础上水利施工处理方法研究[J].商品与质量,2022(27):148-150.
- [4] 徐芹.软土地基基础上水利施工处理方法分析[J].中国房地产业,2021(29):196-197.