高能效，实现长期节能目标。

5.4 开展定期维护

定期维护是保证水电站设备质量与功能的关键，作业环节，常见的定期维护策略主要包括以下几种：第一，要进行设备检查，需要相关人员定期检查水轮机、发电机和变频器，确保其性能正常，减少故障风险；第二，要重视清洁与润滑，要求相关人员定期清洁设备内部和外部，保持润滑系统畅通，降低摩擦损耗；第三，应开展性能测试，管理人员应进行定期的性能测试，评估设备效率，及时调整运行参数以保持最佳状态；第四，需要对监测系统进行维护，应确保智能监控系统和传感器正常工作，实时数据准确，以便及时发现问题；第五，还需要定期对操作人员进行培训，提升节能意识和维护技能，确保设备得到妥善管理。并且建立维护记录，分析历史数据，找出潜在的节能机会，优化维护计划。通过这些定期维护措施，水电站能够延长设备使用寿命，提高整体能效。

5.5 需要重视再生能源的整合

再生能源的整合是水电站节能的关键，作业环节，要求管理人员通过以下手段进行设计，实现资源的互补：第一，需要实现多能互补，要求管理人员将水电与太阳能、风能等其他再生能源结合，优化整体能源输出，平衡发电波动。还需要引入智能调度系统，实时监控各类能源的生产和需求，优化发电组合。第二，需要结合储能技术，如电池储能系统，平衡供需，提升再生能源的利用效率。并且依托政策支持，鼓励投资整合不同再生能源，提高整体系统的灵活性和稳定性。第三，需要与周边社区合作，建设小型再生能源设施，增强地方能源自主性，减轻主站负担。并且利用大数据分析，预测不同能源的生产和需求，提高调度的准确性和响应速度。通过有效整合再生能源，水电站可以提升整体运行效率，促进可持续发展。

5.6 开展节能意识培训

相关人员的意识直接影响作业人员的行为，为了保证水电站运行管理节能作业的落实，还需要管理者通过以下手段开展员工的意识培训。首先，应定期组织培训，加深员工对节能重要性的认识，树立可持续发展的理念。教育环节，需要教授员工如何正确操作设备，避免不必要的能源浪费，确保高效运行。其次，需要重视智能系统使用，要求相关人员培训员工熟悉智能监控和数据分析工具，提升他们对实时数据的解读能力，以优化调度。并且介绍最新的节能技术和设备，鼓励员工提出改进建议，增强创新意识。最后，还需要分享成功的节能案例和经验，激励员工在实际工作中应用所学知识。并且通过考核和反馈机制，评估培训效果，持续改进培训内容。通过系统的节能培训，水电站可以提升整体运行效率，实现可持续发展目标。

5.7 需要加强内部管理

首先，水电站管理者需要完善水、电、油使用的监督、管理措施，确定各个阶段电厂力求达到的节能目标。并且将水、电等能耗指标及节能目标落实到电厂各部门，落实责任人管理制度，将节能指标与生产效益结合起来进行考核。其次，电厂内部可定期组织节能专题讨论，集思广益、深入研究节能降耗的措施。最后，还需要与节能服务公司合作。通过与节能服务公司签订节能服务合同，使水电企业在不投入资金、不承担风险的前提下由节能投资公司来规划，设计，投资，管理以达到企业节能减排，降低能耗，提高能源深度利用的效益[3]。目前，节能服务所涉及的行业包括照明、制冷、地热、水泵、余热发电、高压变频、无功补偿等。

6 结语

综上所述，针对现阶段水电站运行管理工作中普遍存在的电能消耗与水量消耗问题，相关企业及工作人员应在明确其主要形式和影响因素的基础上，通过完善管理体系、加强技术改革、关注水库调度、定期运行维护等手段，对日常运行管理手段进行优化和改革，从而有效落实节能降耗工作，全面提升水电站的经济效益，促进水电行业的健康持续发展。而且对于水电站运行环节存在的故障，也需要管理人员结合实际进行解决，保证运行环节的质量，推动水电站的发展。

参考文献

[1] 熊昌全,唐明,张宇宁,等.水电站大坝安全监测及运行管理分析[J].电子技术,2023,52(10):102-103.

[2] 王文超,刘敏琦,李佳栋,等.大型水电站远控基本要求及风险控制[J].云南水力发电,2022,38(8):292-294.

[3] 李浩权.关于水电站运行管理节能措施分析及运用效果研究[J].电子元器件与信息技术,2022,6(6):196-199.

 DOI: https://doi.org/10.12345/slkxyjs.v7i10.21468

Optimization Strategy of Soft Land Foundation Treatment in Water Conservancy Embankment Project

Zhenwei Liu

Liaoning Haide Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125000, China

Abstract

In recent years, the expansion trend of the construction scale of water conservancy levees is remarkable, and ensuring the lasting and stable operation of levee projects has become a key issue to be solved urgently. Among them, the accurate implementation of foundation treatment, as the core step to ensure the stability of the project, has immeasurable value for preventing the foundation instability and maintaining the overall structure safety of the dike. In view of the unique nature of soft soil foundation, it is necessary to pay great attention to its treatment technology during the implementation of hydraulic dike projects, and strive to make the foundation performance reach the established standards through high standard treatment operations, thus improving the overall efficiency of the project and extending its service life.

Keywords

water conservancy embankment; dike works; soft soil foundation; processing technology

水利堤防工程软土地基处理环节的优化策略

刘振伟

辽宁省海德水利建筑工程有限公司，中国·辽宁 葫芦岛 125000

摘　要

近年来，水利堤防建设规模的扩张趋势显著，确保堤防工程的持久稳定运行已成为亟待解决的关键议题。其中，地基处理的精准执行作为保障工程稳固性的核心步骤，对于预防地基失稳、维护堤防整体结构安全具有不可估量的价值。鉴于软土地基的独特性质，水利堤防项目的实施过程中，必须对其处理工艺给予高度关注，力求通过高标准的处理作业，使地基性能达到既定标准，进而提升工程整体效能，延长其服务寿命。

关键词

水利堤防；堤防工程；软土地基；处理技术

1 引言

鉴于社会经济发展对水利设施支撑作用的迫切需求，水利堤防工程的建设步伐不断加快。在此情境下，软土地基的处理技术成为了施工环节中不可或缺的关键要素，其处理成效直接关系到工程项目的质量优劣与长期安全性能。回顾历史项目经验，不难发现软土地基处理过程中面临的技术难题复杂多样，因此，采用科学合理的处理策略并进行持续优化，成为了确保工程顺利推进与高质量完成的重要路径 [1]。

2 软土及其基本特性分析

2.1 软土

软土作为一种独特的自然地质构成，主要经由海洋、河流、湖泊等水域环境的长期沉积作用而形成，其类型广泛，包括但不限于高压缩性土、杂填土、充填土以及典型的软粘土。此外，那些易于发生液化且结构松散的粉细砂层，也被视为软土的一部分。在软粘土的细分中，淤泥与淤泥质土尤为显著，它们因不利的工程地质特性而在工程实践中备受关注。界定上，以天然孔隙比不小于 1.5 作为淤泥的划分标准，而孔隙比位于 1.0~1.5 之间的粘土则被归类为淤泥质粘土。

2.2 软土的基本特性

第一，高水分含量与多孔性：软土的一个显著标志是其高水分含量，这一特征使得其天然含水量普遍超过 40%，部分极端情况下甚至可达 200%，远超土壤的液限阈值。同时，软土的自然孔隙比普遍大于 1.0，极端条件下更可超过 2.0，这种高孔隙比特性直接关联到其压缩性能和结构稳定性。

第二，显著的压缩特性：软土展现出强烈的压缩性，其压缩系数多超过 $0.5MPa^{-1}$，并且随着液限的增加而呈现增大趋势。这一特性在水利堤防工程中尤为关键，因为过度的压缩可能导致地基沉降，影响工程的安全与稳定。

【作者简介】刘振伟（1976–），男，中国辽宁葫芦岛人，本科，副高级工程师，从事水利水电研究。

第三，低抗剪切性：软粘土的抗剪切强度相对较低，其快剪凝聚力通常小于 20kPa，多数情况下趋近于 10kPa；同时，内摩擦角普遍较小，一般不超过 5°，而固结擦角则介于 15°~20° 之间。值得注意的是，软粘土的抗剪切强度受排水条件影响显著，良好的排水环境有助于随时间推移逐步提升地基的抗剪切能力。

第四，弱渗透性：软粘土的渗透系数极低，通常位于 10^{-8}~10^{-6}cm/s 的范围内，这一特性导致地基固结过程缓慢，沉降稳定所需时间延长。特别是在加载初期，由于超静孔隙水压力的消散速度缓慢，有效应力的增长也相对滞后，从而可能引发地基强度不足及稳定性问题。

第五，高灵敏度特性：特别是针对海相沉积的软粘土而言，其原始结构未受破坏时往往具备一定的抗剪切强度。然而，一旦受到外界扰动，其抗剪切强度会急剧下降。灵敏度作为衡量软土强度降低特性的关键指标，在水利堤防工程中，对于高灵敏度软土地基的处理需特别谨慎，以避免扰动对地基稳定性的不利影响 [2]。

3 水利堤防工程软土地基处理环节的优化策略

3.1 表层处理法

3.1.1 砂垫层强化技术

在水利堤防工程处理软土地基时，采用顶面铺设砂垫层的技术策略，提高浅层土体的排水效率，促进软土在路堤自重压迫下的水分快速排出，进而缩短地基的固结周期。此方法虽不直接改变基底应力的分布模式或沉降量的变化趋势，但其优势在于灵活应对多种施工场景，包括路堤高度未达极限高度两倍限制的区域，以及在地基含天然软土且基底加固受限的情况下，通过加速施工策略保障路堤填筑达到最大设计高度。此外，该技术还适用于软土层浅薄、表面覆盖低渗透性硬壳，或软土层稍厚但自然排水条件良好的地质环境。施工上，砂垫层铺设简便，无需复杂设备，占地面积小，但需精确调控加载速率，确保地基排水固结过程充分进行，因此更适宜于工期宽裕、砂源充足且运输成本低的施工条件。

3.1.2 反压护道构建技术

为增强路堤的稳定性，需采用在路堤两侧构建特定规格的反压护道的策略，其核心在于通过提高路堤的整体质量分布，提升抗滑稳定性，诱导路堤下软基沿两侧适度隆起，以达到力学平衡状态。此技术尤其适用于路堤高度介于极限高度 1.5~2 倍的施工区域，在非耕作区及土源丰富的地带得到广泛应用。反压护道的构建过程简单，无需特殊施工机械，占地面积相对较小，但需注意其土方用量较大，可能对后期地基沉降产生影响，需增加相应的维护措施。

3.1.3 土工聚合物应用技术

在路堤底部构造中，引入土工聚合物（特别是土工布）铺设技术，是一种有效提升路基稳定性的方法。土工布凭借其多重功能，如促进排水、分散应力、隔离不同土层及加筋补强，显著增强了路基结构的整体性能。在连接土工布时，可采用搭接法或直接缝接法，缝接法进一步细化为一般缝法、丁缝法及蝶形法等，以适应不同的施工环境和要求。土工格栅的应用则侧重于通过其与土体的相互作用，特别是增强格栅与土界面间的摩擦力，利用格栅结构特性稳定土层，限制土壤颗粒的侧向移动，从而大幅度提升土体的稳定性。相较于其他土工材料，土工格栅在加固土层方面的效果更为突出，不仅能够提高地基承载能力，保障施工进度的顺利推进，还能有效减缓软土地基的沉降速率，缩短工程周期，确保水利堤防工程的高效完成 [3]。

3.2 换填法

3.2.1 开挖与回填

在水利堤防工程中，针对软土地基的处理，开挖换填法以其直接而有效的特点成为重要手段。该方法的核心在于精确界定并移除软弱土层，随后采用高透水性材料（诸如砂砾、钢渣等）进行填充，以优化地基性能。此策略不仅操作直观，技术掌握难度低，尤其适宜于浅层泥沼等软基环境的治理。然而，面对深层软基或是对沉降控制要求严苛的路基、桥涵、引道结构，需细致评估其适用性，必要时应采取更为精细化的加固措施，以确保工程安全与质量。

3.2.2 抛石挤淤技术

抛石挤淤技术作为一种经济高效的软基处理策略，通过向地基底部精准投掷适宜尺寸的片石，借助其自重与挤压力迫使基底淤泥排出，从而提升地基的承载性能。该方法在积水难排、泥炭层流动性强且表层无硬壳的软土区域，以及机械作业受限的软弱地面，展现出独特的优势。此外，在石料供应充足且运输成本可控的条件下，抛石挤淤法不仅施工便捷，且经济成本较低，为水利堤防工程提供了切实可行的解决方案。

3.2.3 爆破排淤与回填技术

爆破排淤法，凭借其强大的能量释放特性，能够迅速分离软土或泥沼，随后通过回填高强度、高渗水性的土壤（如砂砾与碎石的混合土）来实现地基的加固。这一技术特别适用于换填深度大、工期紧张且对施工效率有较高要求的场景，如深厚软土、泥沼等地基条件。在淤泥层稠密、厚度大，且路堤设计高程较高、工期紧迫，同时路段内无关键构造物，允许适度整体沉降而不影响整体功能的情境下，爆破排淤法成为优选方案。根据具体地质条件与施工需求，该方法可灵活采用先填后爆或先爆后填的实施模式，前者更适用于软土稠度大的情况，后者则对回淤速度较慢、稠度较小的地质环境更为有效，从而实现换填技术的精细化应用与优化 [4]。

3.3 预压法

在水利堤防工程领域，预压法作为处理软土地基的核心技术之一（图 1），其精髓在于通过精密设计的加压与排水系统协同作业，有效促进地基土中孔隙水的排出，进而提