

水利工程设计中软土地基的处理策略研究

陆小波

宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司 宁夏 银川 750004

摘要：随着水利工程建设的快速发展，软土地基（以下简称：软基）处理方案结合智能化监控与检测，不断提升水利工程设计优化、改进方案，以实现水工建筑物软基处理易施工、经济实用、结构稳定可靠、安全目标。本文分析了软基的特性和潜在危害，探讨了多种处理技术的适用性，包括换填法、桩基法等，并提出了智能化监控与检测的创新策略。通过深入研究和实际应用案例，旨在为水利工程设计提供科学、有效的软基处理方案，以保障工程持久稳定安全与可持续发展。

关键词：水利工程设计；软土地基；策略

引言：水利工程涉及防洪、供排水、发电、航运、水生态等各个领域，是我国兴利除害、利民利生的重要工程。水利工程设计、施工与软基处理密切相关，通过水工建筑物软基处理理论设计、实践经验、智能化监控与检测结合，不断探索、改进水工建筑物在不同复杂软基地质条件下策略，同时预测使用年限内地下水位变化、小幅度地震等条件变化，软基处理后不会发生变形、不均匀沉降等问题，为水利工程设计提供理论支持和实践指导。

1 水利工程设计中软基处理的重要性

水利工程设计中，软基处理直接关系到水利工程的稳定性、安全性和长期运营效益。第一，软基处理是确保水利工程稳定性的基础。软土为天然含水量大于液限的细粒土，具有天然含水量高、孔隙比大、压缩性高；固结系数小、透水性弱、土层层状分布复杂、物理力学性质相差较大；受荷载作用扰动性大、灵敏度高、易流动、抗剪强度低等特点。如果不对其进行有效处理，水工建筑物在建成后出现地基沉降、变形等问题，严重影响工程的稳定性。第二，软基处理对于保障水利工程的安全性至关重要。软基的沉降、变形等问题导致水工建筑物位移、结构破坏、渗漏等安全隐患，造成周边环境和人民生命财产灾难性后果。第三，软基处理有助于提高水利工程的长期运营效益^[1]。通过采用合理的软基处理措施，可以显著降低水利工程的造价、维护成本和运营风险，提高工程的长期运营效益。

2 水利工程设计中软基的处理策略

2.1 地质勘察与评估

地质勘察与评估作为软基处理稳定性、安全性和经济性策略基础。（1）地质勘察通过现场钻探、取样测试、地质雷达、地震勘探等多种技术手段，可以获取软

基的详细地质资料，包括土层的厚度、分布范围、物理力学性质、地下水状况等。（2）在地质勘察成果基础上，进行软基评估。评估工作主要包括对软基的承载力、稳定性、渗透性等方面进行评价。首先，需要根据地质勘察资料，结合工程要求和设计规范，确定软基的承载力要求，同时预测使用年限内地下水位变化、地震等条件变化，软基处理后不会发生变形、不均匀沉降等问题。然后，通过对比实测数据和规范要求，评估软基的承载力、稳定性是否满足要求。如果承载力不足，需要采取相应的处理措施来提高地基的承载力。（3）稳定性评估需要考虑软基的抗滑稳定性、抗倾稳定性等方面。通过稳定性分析，确定软基潜在滑动面和滑动范围，采取相应的处理措施增强地基的稳定性。

2.2 选择合适的基础处理方案

在水利工程设计中，选择合适的基础处理方案是确保工程质量和稳定性的重要步骤。一是工程选址结合地质勘察比选，分析选址区域内土层种类及厚度、分布范围、含水量、压缩性、强度等参数。依据地质勘察成果，参考相关规范，结合软基处理换填垫层法、桩基加固法、加筋处理法、排水固结法，及化学固结法特性、优缺点，造价投资比选、评判，通过单一处理法，物理加固法结合化学固结复合地基法，结合承载、抗滑计算，评估软基的承载力和稳定性，确定合理的软基处理方案。二是软基处理措施包含换填垫层法：利用块石、砂砾石等粗骨料换填软基；加筋处理法：植入土工格栅、土工织物等，增加地基抗拉强度和抗剪强度；桩基加固：结合桩基选型、布置，将上部结构荷载传递到深层受力层；化学固结法灌浆：利用电化学与气压，在软基中添加石灰石，实现软土加固；硅化加固：利用硅酸钙与氯化钠反应将软土组织粘合在一起，生成胶装凝聚

物,增强地基硬度、抗压强度,减弱压缩性。三是软基处理方案依据处理范围、厚度和工程要求确定,针对软基处理范围小,厚度薄,建设地粗骨料丰富等条件,易采用换填垫层法;软基处理范围大,软土较厚,建设地粗骨料欠缺等条件,易采用注浆加固、加筋处理法、化学固结法结合局部换填垫层复合地基法处理。四是在选择基础处理方案时,要考虑软基处理方案合理性、施工难易程度,结构持久稳定、可靠的技术可行性。还需考虑软基处理成本(含临时施工)是否合理的经济性。

2.3 软基处理经验

结合宁夏地区水利工程软基处理设计、施工、运行监测经验分析,探讨应对调蓄水池、泵站、管线、渠沟系、人工湿地等水工建筑物软基处理方案,实现软基处理结构稳定可靠、安全性。同时,结合水工建筑物地质条件,建设地建筑材料储量,探索不同软基处理方法组合,实现经济实用、易施工效果。宁夏地区小型水工建筑物软基处理以软土换填、块石挤密换填垫层夯压压实为主;重要水工建筑物软基处理,采用桩基加固、换填垫层法;化学固结法处理软基施工质量、持久稳定性不可预测,存在一定风险,应用范围小。

宁夏清水河海原段二级阶地已建固海、固扩扬水工程,旱地逐步改变为水浇地,成为旱涝保收的基本农田,自2020年以来,县农业农村局逐年推进高标准农田建设,以滴灌取缔传统畦灌,节约水资源,其建设瓶颈为田间调蓄水池、泵站、管线、阀井工程地质为软基。以《海原县扬黄灌区高效节灌工程七营镇试点项目》为例,工程建设规模1.29万亩,新建蓄水池2座,泵站2座,田间滴灌管网1.29万亩,并配套引水、调蓄、加压滴灌配套自动化信息化联动调控、监测。区域地层岩性:表层为灌淤土,厚0.2-0.5m,其以下为粉质黏土呈现红褐色,厚度1.0-9.0m。粉质黏土为流塑-软塑-可塑,中-高压缩性土,弱、微透水层,地下水埋深1.0-2.5m,地下水水化学类型为 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 浓度大。项目区新建7万 m^3 蓄水池1座,9.86万 m^3 蓄水池1座,池深6.0m,池顶宽度为5m,内边坡坡比为1:4,外边坡坡比为1:2。蓄水池边坡粉质黏土允许承载力 $[R]=60\text{kPa}$,池底以下2-4m处粉质黏土允许承载力 $[R]=100\text{kPa}$,地下水埋深1.5-2.5m,为增大池底、内边坡地基承载力,稳固边坡,设计采用砂砾石换填处理。通过地基承载力、坝坡抗滑稳定等计算,池底、内边坡聚乙烯复合土工膜(200 g/m^2 *0.5 mm *200 g/m^2)膜下均采用:100 mm 中粗砂、1200-2000 mm 砂砾石换填处理。泵站软基处理结合《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012)等规范,基础底标高

为-1.8,基础下采用垫层法整片处理。为提高垫层土的承载力及增强水稳性,标高-0.5 m 以上采用3:7灰土进行换填,标高-1.8~-3.8之间采用砂砾石层换填。阀井采用50 cm 块石挤密、50 cm 砂砾石垫层处理。工程运行近4年,蓄水池、泵站、阀井等整体结构稳定,未发生不均匀沉降。

2.4 监控与检测

在软基处理过程中,受地基土质特性和施工环境的影响,地基的变形和沉降难以完全预测和控制,通过实施有效的监控与检测措施,可以实时了解地基的变化情况,及时发现异常情况并采取相应的处理措施,避免地基失稳或破坏等严重后果的发生。同时为工程设计和施工提供重要参考,优化处理方案,提高工程质量和安全性,为工程的安全运行提供有力保障。通过设置沉降观测点,对地基的沉降进行实时监测。观测点应均匀分布在地基上,并根据工程实际情况设置合适的观测频率;通过观测数据,可以了解地基的沉降规律和趋势,及时发现异常情况。位移监测是软基处理中常用的监控手段之一^[2],通过在地基中设置位移计或位移传感器,可以实时监测地基的位移情况。应力监测是通过在地基中设置应力计或应力传感器,实时监测地基的应力变化情况。位移监测、应力监测对监控与检测数据进行实时分析和处理,可以及时发现地基的异常情况,并通过预警系统向相关人员发出警报。同时为工程设计和施工提供重要参考,优化处理方案,提高工程质量和安全性。实施有效的监控与检测措施,可以及时发现地基的异常情况并采取相应的处理措施,确保工程的安全稳定运行。

3 水利工程设计中软基处理策略的优化与改进

3.1 采用先进的勘察技术与方法

在水利工程设计中,软基的处理策略对于确保工程的稳定性、安全性和持久性至关重要。先进的勘察技术与方法全面地揭示软基的性质和特征,进一步提高软基处理的效果,优化与改进处理策略成为重要研究方向。这些技术包括三维地震勘探、高分辨率电阻率成像、电磁法勘探等。在水利工程设计中,采用先进的勘察技术与方法可以帮助工程师更准确地了解软基的性质和特征,为制定科学的处理策略提供有力支持。三维地震勘探通过地震波在地层中的传播特性,揭示地层的三维结构和性质,为桩基加固、注浆加固等处理方案的选择提供依据;高分辨率电阻率成像则能够通过测量地层的电阻率变化,反映地层的含水率、孔隙率等参数,为排水固结等处理方案的设计提供参考;电磁法勘探则能够探测到地下金属物体和非金属物体的分布,为软基的勘察

提供重要信息。

3.2 创新软基处理技术

在水利工程设计中,软基处理是一个复杂且关键的环节。针对软基的特性和工程需求,创新软基处理技术对于提高工程质量、保障工程安全以及优化工程造价具有重要意义。随着科技的发展和工程需求的提升,创新软基处理技术成为了必然趋势。创新技术不仅能够更好地适应复杂多变的软土地质条件,还能够提高施工效率、降低工程成本、减少对环境和生态的影响。通过引入新材料、新工艺和新设备,可以实现软基处理技术的突破和创新。新型加固材料的应用:研发和应用具有高强度、高耐久性和低环境影响的新型加固材料,如高性能混凝土、纤维增强复合材料等,可以提高软基的承载力和稳定性。通过在地基中设置多种材料构成的复合结构,如桩基-筏板复合地基、桩-土共同作用地基等,可以实现地基承载力的有效提升和沉降的有效控制。利用微生物在土壤中的代谢活动,通过注入微生物菌液和营养物质,促进土壤中胶结物质的生成,从而提高软基的强度和稳定性。利用物联网、大数据和人工智能等技术手段,实现对软基处理过程的实时监控和数据分析,为处理方案的优化和调整提供科学依据。

3.3 实施智能化监控与检测

在水利工程设计中,实施智能化监控与检测成为了优化与改进软基处理策略的关键措施。传统的监控与检测方法往往依赖于人工操作和定期巡检,这种方式不仅效率低下,而且难以实时准确地反映软基的变化情况。智能化监控与检测则能够通过先进的传感器、数据采集系统和智能分析软件,实现对软基的实时、连续、全方位的监控和检测,不仅可以及时发现地基的异常情况,还能为工程师提供准确的数据支持,更全面地了解地基的性质和变化规律,制定出更为科学合理的处理策略。另外,在软基的关键部位和潜在风险点布置传感器,如位

移传感器、应力传感器、渗压传感器等,以实时监测地基的变形、应力和渗流等参数。通过数据采集系统,将传感器采集到的数据实时传输到数据中心,确保数据的准确性和实时性。利用智能分析软件对采集到的数据进行处理和分析,包括数据清洗、滤波、趋势预测等,以提取出有价值的信息和规律。根据分析结果,智能系统能够自动判断地基是否出现异常情况,通过预警系统向工程师发出警报,为工程师提供决策支持,制定出更为科学合理的处理方案^[1]。最后,智能化监控与检测能够实时反映软基的变化情况,确保工程师能够及时发现和处理地基的异常情况。通过先进的传感器和数据分析技术,智能化监控与检测提供准确可靠的数据支持,为工程师制定处理策略提供有力依据,自动完成数据采集、处理和分析等任务,提高监控与检测的效率,降低人力成本。

结语

综上所述,经过对水利工程设计中软基处理策略的深入研究,我们认识到其重要性及复杂性,对于提出的策略旨在通过创新技术、材料和方法,提高软基的承载力和稳定性,确保水利工程的安全与持久。随着科技不断进步和工程实践不断深入,我们相信会有更多高效、稳定持久、环保的软基处理策略被发掘和应用。我们将持续关注这一领域的发展,为水利工程设计的优化和进步贡献力量。

参考文献

- [1]李薇.水利工程施工中软基处理技术研究[J],建材与装饰,2019(16):293-294.
- [2]张彩哲.水利工程施工中软基处理技术研究[J],绿色环保建材,2019(05):179-180.
- [3]张陆明.水利工程项目施工中软基及强透水层处理措施[J],工程建设与设计,2019(1):58-60.