

软土地基水利施工沉降风险预警及应急处置机制

胡效国

阜宁县水务局 江苏 盐城 224400

摘要: 软土地基是水利施工常见复杂地基,其高含水率、低强度等特性易引发沉降风险。本文先分析软土地基特性、沉降机理及水利施工沉降特殊性;接着构建沉降风险评估与预警指标体系,设定预警阈值;然后设计“监测-分析-预警-处置”闭环预警机制,涵盖框架、数据采集传输、处理分析、信息发布响应等;最后制定应急处置机制,明确原则目标、预案及演练培训内容,为软土地基水利施工沉降风险防控提供参考。

关键词: 软土地基;水利施工;沉降风险;预警机制;应急处置

引言:在水利施工领域,软土地基因其高含水率、低强度等特性,成为影响工程安全与进度的关键因素。其沉降过程复杂,受地质、施工、气候等多重因素交织影响,沉降风险难以精准把控。一旦发生不均匀沉降,将严重威胁水利工程结构稳定,引发一系列次生灾害。因此,构建一套科学有效的软土地基水利施工沉降风险预警及应急处置机制,成为保障水利工程建设顺利推进的迫切需求。

1 软土地基特性及沉降机理分析

1.1 软土地基的基本特性

软土地基是水利施工中常见的复杂地基类型,其核心特性表现为高含水率、高孔隙比、低强度和高压缩性。通常软土地基含水率普遍超过30%,部分淤泥质软土含水率可达到60%以上,孔隙比多在1.0至1.5之间,甚至更高。这类地基的颗粒组成以黏粒和粉粒为主,颗粒间联结力弱,抗剪强度指标较低,内摩擦角一般小于15度,黏聚力通常在10kPa以下。同时,软土地基具有显著的触变性,在外界扰动作用下,结构易被破坏,强度会急剧下降,待扰动停止后需经过较长时间才能逐渐恢复。另外,软土地基的渗透性极差,渗透系数多在 10^{-6} 至 10^{-8} cm/s之间,这导致其在荷载作用下排水固结过程缓慢,沉降持续时间长,给水利工程施工进度和结构稳定性带来诸多挑战。

1.2 软土地基沉降机理

软土地基沉降主要源于地基土在外部荷载作用下的体积压缩,其机理可分为瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降三个阶段。瞬时沉降发生在荷载施加瞬间,此时地基土中的孔隙水尚未排出,沉降由土颗粒的弹性变形和孔隙水压力的瞬时传递引起,沉降量相对较小^[1]。固结沉降是沉降的主要组成部分,随着荷载持续作用,地基土中的孔隙水逐渐排出,孔隙体积不断减小,土颗粒逐渐压实,这个过程伴随着孔隙水压力的消散和有效应力的

增加,持续时间较长,可达数月甚至数年。次固结沉降发生在固结沉降基本完成后,此时地基土在长期有效应力作用下,土颗粒间的黏结水膜逐渐调整,颗粒重新排列,产生缓慢的压缩变形,虽然沉降速率较慢,但持续时间极长,对水利工程长期稳定性影响显著。

1.3 水利施工中软土地基沉降特殊性

水利施工使软土地基沉降有别于其他工程。基坑开挖降水改变应力分布,引发卸荷回弹与再压缩沉降,降水加速固结沉降;水位升降使地基反复饱和和疏干,引发附加沉降;露天施工受气候影响,雨季加剧沉降,冬季冻胀融沉。且水利工程结构整体性要求高,沉降不均易致结构开裂,影响挡水防渗,引发渗漏等次生灾害,沉降控制要求更严。

2 软土地基沉降风险评估与预警指标体系构建

2.1 沉降风险评估方法

软土地基沉降风险评估需结合地质条件、施工工艺和结构要求,采用多种方法综合开展。层次分析法是常用的定性与定量结合方法,通过构建目标层、准则层、指标层的层次结构,确定各指标权重,结合专家打分评估风险等级。模糊综合评价法适用于处理沉降风险中的模糊性因素,通过建立模糊评判矩阵,对各风险因素进行量化评估,得出综合风险值。数值模拟法借助有限元、有限差分软件,模拟施工全过程地基应力应变变化,预测沉降量和沉降速率,分析不同施工方案下的风险水平。还可采用统计分析法,收集同类工程软土地基沉降数据,建立沉降预测模型,结合当前工程实际参数,评估风险发生概率和影响程度。实际应用中,需先通过地质勘察获取地基物理力学参数,再结合施工进度,定期更新评估数据,动态调整风险评估结果,为施工决策提供依据。

2.2 预警指标体系构建

预警指标体系的构建是软土地基水利施工沉降风险

预警的关键环节,必须严格遵循科学性、系统性、可操作性的原则。该体系需全面涵盖地质、施工、变形、结构四个维度。地质指标方面,地基承载力、含水率、孔隙比、渗透系数等是重要内容,它们直接反映了软土地基的固有特性,是沉降风险产生的基础因素^[2]。施工指标涉及基坑开挖深度、降水速率、荷载施加速率、回填压实度等,这些指标能够实时反映施工过程中对地基的扰动程度,施工操作的不同会直接影响地基的稳定性。变形指标是核心预警指标,包含沉降量、沉降速率、不均匀沉降差、水平位移量及位移速率等,它们直接体现了地基的沉降状态,是判断沉降风险大小的关键依据。结构指标包括结构裂缝宽度、应力监测值、渗流量等,能反映沉降对水利工程结构功能的影响。对于各指标,要明确其监测频率和数据精度要求,通过深入分析指标间的关联性,构建一个多层次、全方位的预警指标体系,从而确保能够全面、准确地捕捉沉降风险信号,为后续的预警工作提供坚实的数据支撑。

2.3 预警阈值设定

预警阈值的设定是保障软土地基水利施工沉降风险预警准确性和及时性的重要步骤。它需要综合考虑工程等级、结构类型和地质条件等多种因素,采用理论计算、规范参考和经验类比相结合的方法来确定。沉降速率阈值需要区分施工期和运营期,施工期由于荷载持续施加,沉降速率允许值相对较高,一般设定为3至5mm/d;而运营期沉降速率应严格控制,通常设定为0.1至0.3mm/d。不均匀沉降差阈值则根据结构抗裂要求来确定,像混凝土结构允许不均匀沉降差通常不超过1/250至1/500。同时,要充分考虑地质条件的差异,对于高压缩性软土地基,应适当降低阈值;对于低压缩性软土地基,可适当放宽阈值。还需根据监测数据对阈值进行动态校准,以保证预警的准确性和及时性,有效防控沉降风险。

3 软土地基水利施工沉降风险预警机制设计

3.1 预警机制框架设计

软土地基水利施工沉降风险预警机制框架采用“监测-分析-预警-处置”的闭环结构,明确各环节职责和流程。框架顶层为决策层,由建设、设计、施工、监理单位组成,负责制定预警策略、审批预警方案和协调应急处置。中间层为执行层,包括监测小组、分析小组和预警小组,监测小组负责数据采集,分析小组负责数据处理和风险评估,预警小组负责预警信息发布。底层为支撑层,涵盖监测设备、数据平台和管理制度,为预警机制运行提供技术和制度保障。框架设置四级预警等级,分别为蓝色(一般风险)、黄色(较大风险)、橙色(重

大风险)、红色(特别重大风险),不同等级对应不同的响应流程和处置措施,确保预警机制高效有序运行,及时防控沉降风险。

3.2 数据采集与传输系统

数据采集与传输系统采用“自动化监测为主、人工监测为辅”的模式,确保数据采集的实时性和准确性。自动化监测设备包括沉降观测仪、水位计、孔隙水压力计、应变计等,布置在地基关键区域和结构关键部位,如基坑周边、挡墙基础、涵洞进出口等,监测频率根据施工阶段调整,施工关键阶段每1小时监测1次,常规阶段每4小时监测1次。人工监测采用精密水准仪、全站仪等仪器,每周开展1次全面监测,对自动化监测数据进行校验^[3]。传输系统采用无线通信和有线传输相结合的方式,自动化监测数据通过5G或物联网技术实时传输至数据平台,人工监测数据经整理后录入平台,传输过程采用加密处理,防止数据丢失或篡改,确保数据传输的安全性和可靠性。

3.3 数据处理与分析系统

数据处理与分析系统是软土地基水利施工沉降监测与预警的核心支撑,由数据预处理、数据分析和风险评估三个紧密关联的模块构成。数据预处理模块承担着保障数据质量的重要使命。它会对采集到的原始数据进行细致筛选,精准剔除那些因设备故障、外界干扰等因素产生的异常数据。运用先进的去噪算法,去除数据中的噪声干扰。对于缺失的数据,采用科学合理的插值法进行补充,确保数据的完整性和准确性,为后续分析奠定坚实基础。数据分析模块则运用多元方法深度挖掘数据价值。它将统计分析、数值模拟和机器学习有机结合,针对沉降量、沉降速率等关键指标展开趋势分析和精准预测。通过建立科学有效的沉降预测模型,能够清晰呈现未来一段时间内的沉降发展趋势,为提前采取应对措施提供有力依据。风险评估模块依据预警指标体系和预警阈值,对当前沉降风险等级进行精准判定。深入分析风险产生的原因,如荷载施加过快、降水不当或地质条件变化等,并生成详细的风险评估报告。系统还具备强大的可视化功能,以直观的图表形式展示监测数据和风险评估结果,让管理人员能够迅速、全面地掌握沉降动态,为科学预警决策提供坚实的数据支持。

3.4 预警信息发布与响应系统

预警信息发布与响应系统根据风险评估结果,按照预警等级及时发布预警信息并启动响应流程。信息发布采用多级发布机制,蓝色预警通过平台通知和短信告知相关管理人员;黄色预警增加电话通知和现场通报;橙

色预警召开紧急会议,通报各单位并上报上级主管部门;红色预警启动应急广播,立即通知施工现场所有人员,并上报当地政府部门。响应系统明确各单位职责,施工单位负责立即采取临时处置措施,如减缓荷载施加、调整降水速率或增设支撑;监理单位负责监督处置措施落实;设计单位负责提供技术方案支持;建设单位负责协调资源保障。响应过程中实时监测沉降变化,根据监测数据调整处置措施,直至风险解除,预警信息解除需经各单位联合审核确认。

4 软土地基水利施工沉降应急处置机制制定

4.1 应急处置原则与目标

软土地基水利施工沉降应急处置遵循“安全第一、预防为主、快速响应、科学处置”的原则。安全第一原则要求将人员安全放在首位,发生沉降风险时优先组织人员撤离危险区域,确保无人员伤亡。预防为主原则强调日常应急准备,通过定期监测、风险评估和应急演练,提前排查隐患,减少风险发生概率。快速响应原则要求建立高效的应急响应机制,接到预警信息后,各单位立即启动响应流程,在规定时间内到达现场开展处置工作。科学处置原则要求根据沉降原因和风险等级,采用专业技术和合理措施,避免盲目处置加剧风险。应急处置目标是在最短时间内控制沉降发展,消除安全隐患,恢复施工秩序,确保水利工程结构安全和施工进度不受严重影响。

4.2 应急处置预案制定

应急处置预案需结合工程实际制定,明确应急组织机构、处置流程、措施和资源保障。组织机构成立应急指挥部,由建设单位负责人任总指挥,各参建单位负责人任副总指挥,下设技术组、救援组、后勤组和监测组,明确各组职责。处置流程分为预警启动、现场勘查、方案制定、措施实施、效果评估和预案终止六个环节。针对不同风险等级制定差异化措施,蓝色预警采取调整施工参数、加强监测等措施;黄色预警增设临时支撑、减缓施工进度;橙色预警停止相关区域施工,组织人员撤离,采用注浆加固地基;红色预警启动全面应急响应,疏散周边人员,启用备用防洪或挡水设施,采用深层搅

拌桩等方式加固地基^[4]。资源保障明确储备应急物资,如注浆设备、支撑材料、监测仪器等,配备应急车辆和通信设备,明确应急队伍人员构成和联系方式。

4.3 应急演练与培训

应急演练与培训是确保应急处置预案有效实施的关键,需制定常态化的演练和培训计划。演练分为桌面演练和实战演练,桌面演练每季度开展1次,组织各单位负责人和技术人员召开会议,模拟沉降风险场景,讨论处置流程和措施,检验预案的合理性。实战演练每半年开展1次,选取施工关键区域模拟不同等级沉降风险,组织应急队伍按照预案开展处置工作,包括人员撤离、设备操作、措施实施和监测评估等,检验队伍应急响应能力和物资保障水平。培训工作每月开展1次,内容包括软土地基沉降机理、预警指标识别、应急处置流程、设备操作方法和安全防护知识等,采用专家授课、案例分析和现场实操相结合的方式,提高相关人员的应急处置能力和安全意识。演练和培训后及时总结经验,针对存在的问题优化预案和完善措施。

结束语

软土地基水利施工沉降风险预警及应急处置机制研究意义重大。通过对其特性、沉降机理的剖析,构建科学的风险评估与预警体系,设计合理的预警机制,制定完善的应急处置预案并开展常态化演练培训,可有效捕捉沉降风险信号,及时采取措施,将沉降风险控制在合理范围,保障水利工程结构安全与施工进度,推动水利事业稳定发展,未来还需不断优化完善相关机制。

参考文献

- [1]张靛,翟卫萍,瞿丘.水利工程闸站施工风险管理策略研究[J].水上安全,2025,(04):175-177.
- [2]朱俊杰.黄河水利工程施工风险评估与管理策略研究[J].水利技术监督,2024,(12):100-102.
- [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]王浩,耿玉芝,李福.水利工程施工中软土地基处理技术研究[J].水上安全,2025(9):185-187.