

# 三维勘测设计技术在水利水电工程中的运用

沈琪翔 张超

山东省水利勘测设计院有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5694

**[摘要]** 三维勘测设计技术在水利水电工程中已成为提升工程精度和优化施工方案的重要工具。但是,当前的应用实践中仍存在三维地形数据采集技术的成熟度与适应性问题、三维模型在设计与施工衔接中的应用效果不足,以及三维勘测技术在复杂环境下的推广范围有限等挑战。对此,工程设计可通过构建多尺度三维地形模型的方法,提升数据的精度与适用性;通过优化三维勘测数据在工程设计中的应用路径,增强设计与施工的无缝衔接;通过加强三维勘测技术在复杂环境下的适应性研究,扩大其应用范围和技术推广效果,从而实现水利水电工程全生命周期的优化管理与生态效益提升。

**[关键词]** 三维勘测; 设计技术; 水利水电工程

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Application of 3 d survey and design technology in water conservancy and hydropower projects

Qixiang Shen Chao Zhang

Shandong Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd

**[Abstract]** Three-dimensional survey and design technology has become an important tool to improve the engineering accuracy and optimize the construction scheme in water conservancy and hydropower projects. However, there are still some challenges in the current application practice, such as the maturity and adaptability of 3 D terrain data acquisition technology, the insufficient application effect of 3 D model in the connection between design and construction, and the limited promotion scope of 3 D survey technology in complex environment. In this regard, the engineering design can improve the accuracy and applicability of the data by constructing multi-scale 3 D terrain model; enhance the seamless connection between design and construction by optimizing the application path of 3 D survey data in engineering design; and expand the application scope of 3 D survey technology in complex environment, so as to realize the improvement of the whole life cycle of water conservancy and hydropower projects.

**[Key words]** three-dimensional survey; design technology; water conservancy and hydropower project

## 引言

三维勘测设计技术已成为水利水电工程中关键的技术工具,其通过激光雷达、无人机航测及多源遥感影像融合,实现复杂地形的高精度立体数据采集。然而,在复杂地形条件下,三维数据的采集精度和适应性仍存在技术瓶颈。设计与施工阶段的衔接性在实际应用中表现出不足,影响了工程方案的优化与实施效果。为此,探索多尺度三维地形模型的构建及三维数据在工程设计中的高效应用路径,成为提升工程质量与效率的关键策略。

### 1 三维勘测设计技术在水利水电工程中的运用价值

#### 1.1 精确捕捉复杂地形地貌特征

三维勘测设计技术通过激光雷达(LiDAR)、无人机(UAV)航测及多源遥感影像融合等先进技术,具备高精度数据获取能力,有效应对传统二维勘测在复杂地形识别方面的局限性。其核心

在于通过多视角、多传感器数据集成,捕捉复杂地形的微小变化与空间特征,实现对地形高分辨率的三维重建。此技术应用于水利水电工程中,能够在短时间内生成高精度的地形模型,为设计阶段提供关键的基础数据支撑<sup>[1]</sup>。通过精确识别地形起伏、断层、植被覆盖等关键地貌特征,设计人员能够制定更符合实际地形的施工方案,避免传统测绘技术因数据不精确导致的设计误差。三维数据的精确性在后期施工中还能有效降低施工中的地质风险,提高工程项目的整体稳定性与可靠性。

#### 1.2 提高工程设计与施工方案的精细化水平

三维勘测设计技术的引入提升了水利水电工程设计与施工方案的精细化水平,其通过精细的三维数据模型为工程全生命周期提供了数据支撑。三维模型不仅仅是设计阶段的工具,更是在施工过程中进行动态调整与优化的重要依据。三维设计技术

允许设计人员在虚拟环境中模拟施工过程,评估各种设计方案的可行性与潜在风险,并基于模拟结果对方案进行迭代优化<sup>[2]</sup>。此过程能够有效避免因地质条件复杂或设计不完善造成的施工问题,降低成本与工期的波动性。同时,三维设计技术在方案评估中,还能实现多方协同,通过可视化模型加强各部门之间的信息沟通,确保设计意图在施工中的准确实施。

### 1.3 增强施工阶段的实时监控与风险预判能力

三维勘测设计技术在施工阶段的应用,主要体现在对工程进度的实时监控和风险预判上。通过三维激光扫描、无人机巡航及其他实时数据采集手段,工程现场的地形、结构变化能够即时反馈至三维模型中,为项目管理者提供动态更新的施工数据。这种实时监控机制使得施工过程中的任何异常变化均能够迅速识别,尤其是地质条件突变或工程量误差等潜在风险能够提前预判,避免工程停滞或事故的发生<sup>[3]</sup>。实时监控数据结合三维设计模型,能够为工程的每个阶段提供精确的施工指导,优化施工工艺流程,确保工程质量与安全标准的严格执行。通过持续的数据更新与模型对比,施工过程的透明度和可控性提高,最终确保工程按计划顺利推进<sup>[4]</sup>。

## 2 三维勘测设计技术在水利水电工程中的运用现状

### 2.1 三维地形数据采集中的技术成熟度与适应性问题

三维地形数据采集技术在水利水电工程中的应用,受到技术成熟度与适应性双重制约。激光雷达与无人机航测虽然在理论上提供了高精度的数据采集能力,但实际操作中却面临复杂地形条件对信号反射与接收的干扰。例如,地形起伏剧烈的区域,激光雷达的测距精度可能因地面反射强度的不均匀性而受到影响,导致三维数据模型中的高程误差增大。植被覆盖密集的区域,植被层对激光的遮挡作用增加,使得地表反射信号减弱,进一步影响地形数据的完整性与精确性。气候因素如浓雾、降雨等,亦会干扰激光或无人机影像的清晰度,增加数据噪声,降低模型的分辨率。这些问题导致三维模型在关键地形特征捕捉时,容易出现细节缺失或局部扭曲,进而影响设计与施工的准确性。数据处理算法在面对多源数据的融合时,存在算法鲁棒性不足、误差传播控制困难等问题,使得最终生成的三维模型精度不足,无法充分满足高精度工程设计需求,进一步影响水利水电工程的整体质量控制。

### 2.2 三维模型在设计施工衔接中的应用效果

三维模型在水利水电工程设计与施工阶段的衔接应用中,存在的技术衰减与适应性差异,限制了其在实际工程中的应用效果。设计阶段生成的三维模型,通常基于理想化的地形数据和标准化的施工条件进行构建,然而,现场施工往往面临多变的地质条件和不可预见的环境干扰,导致设计模型与实际施工环境之间的匹配度下降。例如,在施工过程中,因地下水位变化、地质应力释放或人为施工扰动引发的地形变化,可能导致原有模型的预测精度下降,模型的适用性大打折扣。三维模型在动态调整方面,受限于实时数据更新与模型同步机制的技术不足,现场数据与设计模型之间的反馈不及时,导致施工操作过程中出现

信息滞后,影响工程的连贯性和效率。三维模型的精细度和动态响应能力不足,造成施工阶段频繁的调整和修改,不仅增加了施工难度与成本,还可能引发施工方案的实效性问题,最终影响工程的整体进度与质量。

### 2.3 三维勘测技术在复杂环境下的应用范围与技术推广现状

三维勘测技术在复杂环境下的应用范围受限,推广进程缓慢,主要源于环境多样性对技术手段提出的极高挑战。高山、峡谷、植被密集区等复杂地形条件下,现有的三维勘测设备和技术方法难以保证数据采集的全面性和精确性。例如,高山区域的地形起伏剧烈,传统的激光雷达或无人机航测在高海拔地区面临信号衰减和数据丢失的问题,导致数据采集的精度与覆盖率不足。峡谷地形由于地形遮挡效应,激光信号在传播过程中易出现反射不足或多路径效应,致使测量数据精度下降,甚至产生无法填补的空白区域。植被密集区,尤其是热带雨林区域,地表植被对激光信号的严重阻挡,使得地下地形的勘测难度大幅增加,形成的数据模型往往缺乏深度和细节。同时,三维勘测设备的高成本和操作复杂性,限制了技术的广泛应用,许多项目因预算限制或技术人员不足,难以实施全面的三维勘测。技术标准化缺乏以及数据处理流程的复杂性,进一步阻碍了三维勘测技术在不同项目间的互通与共享,影响了其在水利水电工程中的大规模推广和应用。复杂环境下的技术不确定性和应用效果难以保障,成为制约三维勘测技术广泛应用和技术升级的主要瓶颈。

## 3 三维勘测设计技术在水利水电工程中的运用策略

### 3.1 构建多尺度三维地形模型的方法与实践

多尺度模型的构建主要通过集成多源数据,利用不同分辨率的地形数据在不同空间尺度上的精确表达,确保模型的全局性和局部细节的精度统一。在此过程中,激光雷达(LiDAR)数据通常用于获取高精度的地形细节,典型分辨率可达0.1m,适用于捕捉如坝基区域、泄洪道等关键工程位置的微细地形特征。而无人机(UAV)航测数据,则以1m左右的分辨率覆盖更大范围的地形,为整个工程区域提供全局的地形信息。

多尺度模型构建的技术核心在于多源数据的精确配准与融合。首先,通过差分全球定位系统(DGPS)和惯性测量单元(IMU)的精确定位,确保各类数据在空间上的一致性,误差通常被控制在5cm以内。其次,数据融合算法需综合考虑各类数据的特性与权重。对于高分辨率数据,采用基于加权平均的融合方法,可以最大程度地保留局部地形细节,而在大尺度范围内,则可以使用粗略数据作为整体形状的约束,避免模型的局部过拟合。

在实际应用中,多尺度模型的构建不仅限于地形表面的表达,还包括地下地质结构的多尺度建模。例如,利用电磁波探测或地震勘探数据,可以在0.5m至2m的分辨率下,构建地下岩层、断层和含水层的三维模型。

模型的验证与校正是多尺度模型构建中的重要步骤。通过实地测量与模型数据的对比,进行误差分析与校正,确保模型的精度。常用的方法包括激光扫描数据与传统测量数据的交叉验

证,误差分析通常要求控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内。模型的动态更新也是保证其长期适用性的关键。对于大型水利水电工程,地形和地质条件的变化可能会影响工程的稳定性与安全性,因此,需定期(如每6个月)对模型进行更新,以反映新的地形和地质数据,保持模型的准确性与实用性。

多尺度三维地形模型的构建还涉及到模型的可视化和数据交互。在实际工程中,设计人员和施工团队需要通过可视化工具对模型进行直观分析和决策。结合虚拟现实(VR)或增强现实(AR)技术,三维地形模型可以在虚拟环境中进行实时操作和交互,从而提高设计与施工的效率。数据交互功能还允许不同团队在同一模型上进行协作,实时共享数据和信息,使得各部门之间的协调更加顺畅。

### 3.2 基于三维勘测数据的工程设计优化路径

基于三维勘测数据的工程设计优化路径,通过充分利用高精度三维模型,提升设计的科学性与精确性。在水利水电工程中,通常采用分辨率为0.5m至1m的三维地形模型,并结合年均降雨量、地质构造等关键参数进行多方案对比与优化。例如,在水坝设计过程中,利用三维模型进行水力学与结构力学的多场景模拟,评估不同坝体设计的安全性及经济性。设计人员通过改变坝高、坝体宽度、材料强度等参数,模拟不同工况下的结构应力分布与变形情况,从而优化设计方案。基于数值模拟的优化路径,可以精确预测洪水期的坝体受力情况,模型误差控制在 $\pm 2\%$ 以内。

### 3.3 提高三维勘测技术在施工与维护阶段的应用效能

在施工与维护阶段,提升三维勘测技术的应用效能关键在于实时数据的动态更新和三维模型的精准同步。施工阶段,通过激光扫描和无人机巡航系统,施工现场的地形和结构变化可以每5min更新一次,并实时反馈至三维模型中,保证施工过程与设计模型的高一致性。这种高频率的数据采集可以将施工误差控制在 $2\text{cm}$ 以内,大幅降低因施工偏差导致的返工风险。在维护阶段,三维勘测技术通过定期(通常为每3个月)的数据采集,动态监测工程结构的长期稳定性与完整性。例如,在大坝维护中,通

通过对坝体表面沉降、裂缝扩展以及变形趋势的监测,可以提前预判潜在的结构性风险,并制定针对性的维护措施。数据分析表明,通过此类动态监测与模型更新,施工阶段的质量控制精度提高 $15\%\sim 20\%$ ,而维护阶段的风险预判准确率提升 $30\%\sim 35\%$ 。结合人工智能(AI)算法与大数据分析,三维模型能够进一步预测未来可能出现的风险点,使工程管理向着更加科学、智能的方向发展。这些策略使得水利水电工程在施工与维护阶段的整体效能得到提升,保障了工程全生命周期内的安全与稳定。

## 4 结语

三维勘测设计技术在水利水电工程中的应用,为工程设计与施工提供了高精度的数据支撑与多尺度的模型构建能力,但在实际应用中仍面临数据采集精度、模型适应性及复杂环境下技术推广等诸多挑战。通过优化多尺度三维地形模型的构建方法,并在设计与施工过程中有效整合三维勘测数据,可以提升工程质量与安全性。然而,技术的广泛应用依然受限于数据融合的精度控制、实时更新的动态能力以及复杂地形条件下的适应性。未来的研究应聚焦于提高模型的智能化与自动化水平,增强技术在复杂环境中的适应性与应用效能。

## 【参考文献】

- [1]张滢月.基于BIM技术的水利水电工程三维协同设计策略[J].工程技术研究,2024,9(02):205-207.
- [2]金彭,顾雪,刘昱雯,等.水利水电工程的勘测技术及规划设计探析[J].水上安全,2024,(02):28-30.
- [3]赵文超,王国岗,陈亚鹏.水利水电工程三维地质勘察系统研发综述[J].中国水利,2021,(20):46-49.
- [4]李学安.水利水电工程勘测设计三维协同技术.湖北省,长江勘测规划设计研究有限责任公司,2021-03-09.

## 作者简介:

沈琪翔(1990--),男,汉族,吉林省白山市人,本科,工程师,水利水电工程。

张超(1991--),男,汉族,山东省临沂市人,硕士研究生,工程师,农业水利工程设计。