

水利水电工程中三维勘测设计技术运用分析

李刚

513426*****0513

摘要: 随着信息技术的迅猛发展,三维勘测设计技术已逐步成为推动水利水电工程行业技术革新的核心力量。该技术通过构建数字化、可视化的工程信息模型,实现了勘测、规划、设计、分析与管理等环节的深度集成与协同。本文系统探讨了三维勘测设计技术在水利水电工程中的应用优势,阐述了基于该技术的工程设计总体框架与分解逻辑,并深入分析了以专业软件、关联驱动、协同设计与知识库为支柱的具体应用路径。文章结合具体工程实例,从模型构建、模型应用两个层面详细展示了三维技术的实践流程,并对其应用效果进行了综合评价。研究表明,三维勘测设计技术能够显著提升设计质量与效率,优化工程方案,强化过程管控,为水利水电工程的精细化、智能化建设与管理提供坚实的技术支撑。

关键词: 水利水电工程;三维勘测设计;BIM;协同设计;数字化模型;设计优化

DOI: 10.69979/3060-8767.26.03.034

引言

水利水电工程作为关乎国计民生的重大基础设施,具有工程规模庞大、地质条件复杂、专业交叉紧密、建设周期漫长等特点。传统的二维设计模式虽已发展成熟,但在面对复杂空间结构表达、多专业协同、工程量精确计算、施工过程模拟以及全生命周期信息传递等方面,逐渐暴露出信息割裂、易出错、协同效率低、可视化程度不高等固有局限性。近年来,以建筑信息模型(BIM)技术为代表的三维勘测设计技术正引领工程设计领域的深刻变革。该技术以三维数字模型为载体,整合了工程的几何信息、物理属性及功能要求,实现了从概念到运维的全过程信息集成与共享。在水利水电工程领域,推广和应用三维勘测设计技术,不仅是技术发展的必然趋势,更是提升工程品质、保障施工安全、控制建设成本、实现智慧运维的战略需求。

1 三维勘测设计技术应用优势

相较于传统二维设计,三维勘测设计技术在水利水电工程中的应用,带来了多维度的显著优势。其一,实现了设计的立体化与可视化。三维模型能够直观、真实地展现大坝、厂房、隧洞、泄洪建筑物等复杂结构的形态、相对位置及内部构造,使设计人员、业主及施工方能提前“看见”最终成果,便于早期发现设计冲突与不合理之处,极大减少了“错、漏、碰、缺”等设计瑕疵。其二,提升了设计的精确性与协同性。基于统一的三维

数字环境,地质、水工、机电、金属结构、施工等各专业可在同一平台并行设计,模型信息实时关联更新,避免了传统模式下因专业间信息孤岛导致的版本混乱与协调困难,大幅提升了设计效率和协作水平。其三,强化了工程分析与优化能力。三维模型可与各类分析软件(如结构计算、水力计算、渗流分析、边坡稳定分析等)无缝集成,实现基于真实模型的仿真分析,为方案比选和设计优化提供科学依据。其四,促进了设计与施工、运维的衔接。三维模型可衍生出施工图纸、工程量清单、施工进度模拟(4D)与成本信息(5D),支持预制加工和数字化施工,并为后续的工程运维管理提供完整的数字化资产,是实现工程全生命周期管理的基础。

2 水利水电工程设计框架与分解

成功应用三维勘测设计技术,需建立清晰的工程设计框架与科学的模型分解结构。水利水电工程三维设计的总体框架通常遵循“自上而下,逐级细化”的原则。顶层为项目级整体协同环境,确立统一的项目坐标系统、数据标准、工作流程与权限管理。中层为专业级设计层面,涵盖地质、水工、施工导流、机电、金结、监测等专业模块,各专业在统一规则下开展并行设计。底层为构件级详细设计,对具体的结构、设备、管道等进行精细化建模。

模型分解是构建大型复杂工程三维模型的关键。对于水利水电工程,通常采用“项目-功能区-单体工程-子结构-构件”的多层级分解结构。例如,将一个抽水蓄能

电站项目分解为上水库、下水库、输水系统、地下厂房系统、开关站等主要功能区；地下厂房系统又可进一步分解为主厂房、副厂房、主变洞、母线洞等单体工程；主厂房再细分为发电机层、水轮机层、蜗壳层等子结构；最终落实到梁、板、柱、墙、门、窗、设备基础等具体构件。这种结构化的分解方式，不仅使模型组织清晰有序，便于多人协同建模，也使得模型的更新、修改、查询和重用在逻辑上变得可行和高效，为后续的关联驱动与信息管理奠定了基础^[1]。

3 三维勘测设计技术应用路径

3.1 基于软件的三维勘测设计技术应用

三维技术的应用离不开功能强大且适用于水利水电行业的专业软件体系。当前应用主要包括几个层面：一是核心建模软件，如 Autodesk Revit、Bentley MicroStation 及其行业模块(如 OpenBuildings Designer)、达索系统的 CATIA 及基于其开发的专用于土木工程的解决方案。这些软件具备强大的参数化建模能力。二是针对特定工程分析的专用软件，如用于岩土工程分析的 GeoStudio、FLAC3D，用于水力计算的 Flow-3D、ANSYS CFX，与三维模型通过接口进行数据交换。三是协同管理平台，如 Bentley ProjectWise、Autodesk BIM 360 等，用于实现跨地域、多专业的设计文件与数据管理、版本控制和流程协同。在实际应用中，往往需要根据工程特点，构建以某一核心建模软件为主，多种分析软件与协同平台为辅的集成化软件生态系统。

3.2 基于骨架的勘测设计关联驱动

为应对水利水电工程设计中频繁的设计变更，保持模型的一致性与联动性，基于“骨架模型”的关联驱动技术至关重要。骨架模型是一种承载工程核心定位与控制参数(如轴线、控制高程、关键剖面、基准面)的轻量化三维框架。各专业、各子系统的模型均参照此骨架进行创建，其几何形状和空间位置通过参数与骨架相关联。当骨架中的关键参数(如坝轴线位置、厂房顶拱高程)发生变更时，所有依赖该参数的模型构件将自动更新其位置和形态。这种“牵一发而动全身”的关联驱动机制，极大地提高了设计修改的效率，保证了设计成果的整体一致性，是从传统静态设计向动态参数化设计演进的关键。

3.3 基于数据信息的协同设计

三维勘测设计的核心价值在于信息集成与协同。基于数据信息的协同设计贯穿于设计全过程。在纵向协同上，实现从勘测(三维地质模型)到设计(三维结构模型)再到分析计算的无缝数据传递。例如，将三维地质模型直接导入设计环境，作为水工建筑物设计的地质基础，确保设计与实际地质条件紧密结合。在横向协同上，各专业设计人员在同一共享模型或通过链接模型的方式，实时或定期查看其他专业的设计进展，利用软件的碰撞检测功能自动发现空间上的冲突(如管道穿梁、设备安装空间不足等)，并在设计阶段早期予以解决，替代传统施工阶段的现场协调，有效避免返工^[2]。

3.4 基于知识模板库的设计优化

为积累设计经验、提高设计标准化水平和复用效率，构建基于三维模型的知识模板库是重要路径。知识模板库是将经过工程验证的、优秀的、典型的设计片段(如某种型式的闸门槽、标准化的廊道交叉口、典型机组段布置等)进行参数化封装，形成可复用的智能构件或模板。当在新项目中遇到类似设计需求时，设计师无需从零开始，只需从库中调用相应模板，通过调整关键参数即可快速生成符合要求的设计模型。这不仅大幅提升了设计效率，也将企业的设计经验、技术标准和最佳实践固化和传承下来，是实现智能化辅助设计和设计质量持续优化的重要支撑。

4 三维勘测设计技术应用实例

4.1 工程概况

以某大型水电站工程为例。该工程以防洪、发电为主，兼有灌溉等综合效益。枢纽建筑物主要包括混凝土重力坝、坝后式厂房、泄洪表孔与底孔、引水发电系统等。工程地处复杂山区，地质条件多变，建筑物布置紧凑，专业接口繁多，传统二维设计面临巨大挑战。为提升工程整体设计与管理水平，项目决定全面推行三维勘测设计技术。

4.2 三维勘测设计技术实际应用

4.2.1 模型构建

首先，借助先进的无人机倾斜摄影技术以及激光扫描技术，我们能够精准地获取高精度的实景三维地形数据。这些数据具有极高的准确性与精细度，为后续工作奠定了坚实的基础。在获取到这些宝贵的地形数据之后，我们会进一步结合详尽的地质勘察数据，这些地质勘察

数据包含了诸多关键的地质信息。然后,我们会在专业的地质建模软件中进行操作,构建出一个精细化的三维地质模型。这个模型涵盖的内容非常全面,包括地层结构、断层分布、风化带范围以及地下水位情况等多个方面,从而能够全方位地反映地质状况。构建完成之后,我们会将这个精细化的三维地质模型导入到统一的设计协同平台之中,以便于后续各环节的工作能够在同一平台上高效开展^[3]。

其次,各个专业团队会基于统一的项目骨架来开展协同建模工作。这个项目骨架有着明确的控制要素,例如大坝轴线、坝顶高程、厂房机组中心线等关键要素,它们为整个建模工作提供了精准的定位和框架指导。其中,水工专业负责构建多个重要模型,像大坝的非溢流坝段模型、溢流坝段模型以及厂房整体结构模型等。这些模型对于大坝的功能实现和结构安全至关重要。而机电专业则依据设备资料,建立一系列与设备相关的模型,包括水轮机模型、发电机模型、主变压器模型,还有各类管道与电气桥架模型等。所有的这些模型都会在协同平台中进行关联集成,通过这种集成方式,最终形成一个完整的枢纽整体信息模型,这个模型整合了各个专业的成果,能够全面反映整个枢纽工程的各个方面信息。

4.2.2 模型应用

在设计阶段,利用集成模型进行了多专业碰撞检查,提前发现并解决了厂房内风管与结构梁、电缆桥架与管道之间的数十处空间冲突。将坝体模型与地质模型结合,进行了坝基抗滑稳定分析范围的精准提取和可视化展示。通过模型自动统计混凝土、钢筋等工程量,其精度和效率远高于手工计算。

在施工配合的整个阶段当中,借助模型这一有效工具,针对关键施工工序开展了深入的4D模拟工作^[4]。这里所说的关键施工工序,像大坝混凝土浇筑分区这样复杂的操作流程,还有厂房基坑开挖这种对整体工程有着基础性影响的重要环节。通过这种4D模拟,能够从时间与空间的多维角度全面审视施工过程,进而实现对施工方案的深度优化,使得方案更加科学合理、切实可行。

此外,还生成了复杂部位的钢筋下料详图和大样图。这里所说的复杂部位,例如蜗壳周边混凝土区域,由于其结构特殊、受力复杂,在钢筋布置上需要极为精细的考量;再如泄洪洞渐变段,其形状和结构的变化对钢筋

的规格、尺寸以及布置方式都有着极高的要求。这些详尽且精确的图纸为工厂化预制提供了可靠的依据,确保在工厂中生产的钢筋部件能够完全符合设计要求。

4.3 应用效果

通过三维勘测设计技术的应用,该项目取得了显著成效:设计差错率降低约70%,各专业协调会议减少近50%,设计修改响应速度提高数倍。工程量计算准确性大幅提升,为投资控制提供了可靠依据。施工前的虚拟建造有效预见了施工难点,减少了现场变更与签证,提高了施工效率与安全性。最终,交付的完整工程信息模型为电站未来的智能化运维管理奠定了坚实的数字底座。

5 结语

三维勘测设计技术正在深刻改变水利水电工程的传统作业模式,其价值已从初期的三维可视化展示,深入到设计过程的协同化、分析仿真的精准化、信息传递的贯通化。本文通过对其应用优势、框架、路径及实例的分析表明,该技术是解决当前水利水电工程设计复杂性问题、提升工程全链条效能的有效手段。然而,其全面推广仍面临标准体系尚待完善、软件本土化与专业化程度不足、跨阶段数据传递壁垒、复合型人才短缺等挑战。未来,随着BIM技术与云计算、大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术的深度融合,水利水电工程的三维勘测设计将向更加智能化、云端协同化、全生命周期化的方向发展。行业各方需共同努力,加快标准建设,推动软件研发,变革管理模式,培养人才队伍,以充分释放三维数字化技术的巨大潜能,赋能水利水电事业的高质量、可持续发展。

参考文献

- [1] 兰阳. 水利水电工程中三维勘测设计技术运用分析[J]. 低碳世界, 2025, 15(12): 48-50.
- [2] 高玉生, 王国岗, 赵文超, 等. 水利工程勘测全过程数字孪生技术研究[J]. 中国水利, 2025, (19): 3-13.
- [3] 谈政, 邸国辉, 万年锋, 等. 倾斜摄影技术在水利勘测设计中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(07): 232-234+238.
- [4] 刘玉玺, 刘战生. BIM技术在海外水利水电工程中的应用[J]. 中国水利, 2021, (20): 126-129.