

数字化技术在水利水电工程建设中的应用研析

文 / 董润萌 栖霞市河长（湖长）制服务中心

摘要：水利水电工程建设对国家意义重大，其面临着复杂多样的地理环境与安全稳定运行的严格要求。以往的建设方法在地形测绘精度、施工管理效率、设备维护及时性和安全监测可靠性等方面都存在不足。伴随科技的不断进步，数字化技术因此兴起。其中数字化测绘、BIM、物联网、大数据与人工智能等技术逐渐被应用到水利水电工程建设中，有效解决了传统建设方法中的难题，为此本文重点对数字化技术在水利水电工程建设中的应用展开深入的探究，希望可以为水利水电工程建设智能化水平的不断提供相应的参考。

关键词：水利水电工程；数字化测绘技术；建筑信息模型（BIM）

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.079

引言

水利水电工程是国家基础设施中不可缺少的一部分，对能源供应、防洪灌溉及水资源调配具有重要作用。但当前其建设与运营正面临复杂地形、地质条件及安全风险等挑战。以往所使用的传统技术在数据获取精度、施工管理协同性、设备监测实时性和安全预警准确性方面存在不同程度的局限性。而数字化技术的发展为水利水电工程建设带来新的机遇，全球定位系统（GPS）、三维激光扫描、地理信息系统（GIS）、BIM、物联网、大数据与人工智能等技术的应用，可实现工程建设全过程精细化管理与高效安全保障，成为水利水电工程实现智能化、现代化不可缺少的重要技术。

一、数字化测绘技术在工程选址与设计中的应用分析

（一）案例背景

在某地区的一条重要河流上需建造大型水利水电工程，该区域地形复杂，山峦起伏，河流蜿蜒。工程主要是用来发电、防洪和改善区域水资源调配。项目规划建设一座高坝大库，装机容量达数百万千瓦。在工程前期工作中，选址和设计工作尤为重要，需要深入了解工程所在地的地形地貌、地质条件等情况，以保证工程的安全性、可行性和经济性。基于本地区实际地形情况，该地区采用传统测绘方法实施起来会存在很大的难度、精度也会很稀薄，难以满足工程对数据的精准要求，所以项目执行团队最后决定应用先进的数字化测绘技术。

（二）数字化测绘技术的应用方式

项目执行团队利用全球定位系统（GPS）进行首级控制测量，在工程区域及周边设置多个永久性GPS控制点，构建高精度的平面和高程控制网。这些控制点的作用是为之后的地形测量和数据采集创造条件。应用GPS技术进行测量，可以高效、准确地获得控制点处的三维坐标，精度等级可实现毫米级，使测绘工作更加高效、高质。

在地形地貌测量中应用三维激光扫描技术。通过在扫描仪测量设备中安装激光扫描仪对工程区域进行全方位扫描，获取详细的点云数据。这些海量的点云数据记

录了地形的起伏、地表物体的位置和形状等详细信息。之后再借助专门的点云数据处理软件，来对采集的数据信息进行去噪、拼接、分类等处理，可生成高精度的三维地形模型。该模型能够直观地呈现工程区域范围内的地形地貌现状，为工程设计人员工作提供了全面、可靠的地形信息。

地理信息系统（GIS）技术在水利水电工程建设项目中的应用所发挥的作用也是较突出的。将GPS测量数据、三维激光扫描数据以及其他相关的地理数据整合到GIS平台中，可创建工程区域的地理信息数据库。之后再利用GIS技术本身强大的空间分析功能，分析地形坡度数据、坡向数据，并完成水系提取等操作。通过坡度分析，能够准确了解各区域的地形坡度分布实际状况，为工程地址选择提供重要的数据参考依据，避免将工程建在陡坡区域，由此来降低工程建设难度和成本投入。通过水系提取，准确掌握河流走向、支流分布等信息，为后期水利设施布局和水资源调配方案制定提供数据支持。

二、建筑信息模型（BIM）技术在工程施工管理中的应用

（一）案例项目概况

某大型水利枢纽工程位于长江上游的重要支流上，工程建设目的是实现防洪、发电、航运以及水资源综合利用等目标。该工程规模大，主要建筑物有混凝土重力坝、水电站厂房、船闸等。大坝的坝顶长度约为1200米，最大坝高约180米，坝体混凝土浇筑量大于1000万立方米。水电站厂房安装了8台单机容量为60万千瓦的水轮发电机组，总装机容量为480万千瓦。采用了双线五级船闸，能够满足3000吨级船舶的通航需求。

工程建造地的地形比较复杂，地质条件多变，需要进行大量的土石方开挖、混凝土浇筑、金属结构安装等施工操作，不管是施工组织还是施工管理都存在较大的困难。再加上，工程工期长，参建单位多，其中主要包括设计、施工、监理、设备供应商等单位，所以，各参与方的信息沟通和协同作业都将面临各种各样的挑战和困难。

（二）BIM 技术的应用过程

项目团队首先应组建专业的 BIM 技术团队，重点工作是完成 BIM 模型的创建与应用^[1]。应用 BIM 软件，结合工程设计图文件，详细构建了大坝、厂房、船闸、引水系统等三维模型。在建模过程中，对每个构件的尺寸、材质、位置等信息进行准确录入，保证最终所构建的模型能够与实际工程信息一致。通过三维模型，各参与方可以直观地了解工程的整体建造结构和设计布局，有效防止由于对二维图理解不透彻而造成的施工误差或漏洞。

在工程施工前，借助 BIM 模型实施全方位各个层面的碰撞检查。通过将建筑、结构、机电等各专业的模型进行科学的整合，系统会自动检测各个专业之间的冲突点，例如管道和结构梁的碰撞点、设备和墙体的碰撞点等。如通过检测后发现存在碰撞问题，邀请设计方、施工方、相关专家针对碰撞问题展开讨论和研究，并及时调整设计方案、施工流程，防止在施工中因碰撞问题而出现延误工期和返工的情况。在管道安装中，利用 BIM 技术实施碰撞检测能够发现管道和结构梁碰撞点，基于此可通过对管道走向的调整与安装顺序的优化有效地避免施工中管道拆除或是重新安装的情况出现，如此有效节约施工成本和缩短施工周期。

BIM 技术的应用还可模拟工程的施工进度。将施工进度和 BIM 模型相结合，并将施工工序、施工时间节点等参数录入到模型系统，可对施工过程进行动态、可视化模拟。在模型模拟中，能够清楚地观看到不同施工阶段的完成情况，预先识别施工过程中可能对施工进度造成影响的关键环节和风险因素。通过模拟和分析工程施工进度，可优化施工进度计划方案，基于合理安排各项施工资源，保证工程按照规划时间顺利完成。在大坝工程的混凝土浇筑施工环节，利用 BIM 技术模拟施工进度可清晰地发现某施工时段混凝土浇筑强度状况，如果强度过高可能会造成施工资源不足、进度推进缓慢的情况。在模型模拟过程中一旦发现这一问题，可通过改进施工计划，增加混凝土浇筑设备和施工人员，优化浇筑顺序，来有效应对这一问题，确保大坝混凝土浇筑施工能够顺利进行。

三、物联网技术在工程设备监测与维护中的应用

（一）应用场景介绍

某大型水利水电工程拥有众多复杂的设备设施，其中主要有多台大功率水轮发电机组、大型泵站、各类闸门以及配套的电气设备等。这些设备安装在不同区域，运行环境比较复杂，对工程的正常运行具有非常重要的作用。但是传统陈旧的设备管理方式通常都是靠人工巡查和定期养护来实现的，这样很难实时性了解到设备实际运行状况，由此也就不能及时发现故障风险。一旦设备出现故障，一般都需用很长的时间来完成相应的排查工作和维修工作，对工程正常运行及运行效率产生不利

的影响。为了提升设备管理效率，确保工程安全高效运行，可在工程中应用物联网技术创建一套健全的设备监测和维护系统。

（二）物联网技术的部署与实现

在水利水电工程中，物联网技术涉及了设备感知、数据传输和数据处理等环节^[2]。在设备感知层，根据设备类型在所有设备上安装与之相匹配的传感器。在水轮发电机组设备上安装振动传感器、温度传感器、压力传感器等，主要是用来实时监测机组运行振动情况、运行过程中的轴承温度、油压等一些重要数值。在闸门上，安装位移传感器、开度传感器，对闸门的位置和开度变化进行实时监测。在泵站的电机设备上，安装电流传感器、电压传感器，用来监测电机运行过程中的电流和电压变化情况。通过安装这些传感器可以精准采集设备的运行数据，并安全地将这些数据信息转化成电信号或数字信号。

在数据传输环节，应用有线和无线相结合的传输方式。针对距离控制中心比较近的设备来说，可借助以太网电缆将传感器采集到的数据传送到数据汇聚节点。对于分布于偏远区域或没有布线条件的设备，则可选择应用无线传输技术，常用的无线技术有 ZigBee、LoRa 等低功耗的广域网技术，将数据信息传送到就近的数据采集终端。之后再由数据采集终端利用 4G 或 5G 网络将数据信息传送至工程项目的总监控中心^[3]。在总监控中心中设置专门的服务器，以便于用来接收、存储和处理来自各设备的数据信息。

在数据处理环节中，通过应用大数据分析和云计算数字化技术，分析和处理采集到的大量设备数据信息。利用构造的设备运行模型来对设备运行状况进行实时评估和预测。一旦发现设备数据有异常情况时，系统会自动发出报警信息，提醒运维人员及时做出处理。

四、大数据与人工智能技术在工程安全监测与预警中的应用

（一）工程安全监测需求

水利水电工程规模宏大，结构复杂，而且所处环境也较恶劣，面临着各种各样的安全风险挑战。大坝工程是水利水电工程中核心性建筑结构，此结构常会因基础沉降、渗流、地震等因素而出现损坏，一旦大坝出现破损，会对下游人民的生命及财产安全形成严重威胁。在地震经常发生的地区，大坝极有可能遭受地震作用的破坏，如果结构的抗震设计存在漏洞或结构有缺陷，都可能引发大坝垮塌等严重的安全事故。水库水位频繁波动、强降雨等恶劣天气条件同样也会对水利工程安全产生不利影响^[4]。如强降雨持续时间较长就会使水库的水位不断上涨，超过大坝的设计防洪标准水位线，增加大坝漫顶的风险。

为了保证水利水电工程始终能够安全稳定运行，需对工程设施进行全面、实时监测。监测大坝是否出现变形、

渗流、应力应变等情况,另外还要注意水库的水位、流量、水质等环境因素,通过监测可以及时发现设施异常,并及时采取维护或加固措施来保障水利水电工程运行安全。准确的监测数据还能为工程的科学调度和管理提供依据,促进水资源实现合理利用和工程效益的最大化。

(二) 大数据与人工智能技术的融合应用

在水利水电工程安全监测与预警中,大数据与人工智能技术的融合应用发挥了重大的作用。通过在工程设施上安装如位移传感器、渗压计、应力应变传感器,以及在周边环境放置气象站、水位站等监测设备,能够

实时采集详细全面的工程数据和环境数据。主要包含工程结构的运行状态数据、水文气象条件数据等,为之后的分析和决策提供信息参考。

利用大数据技术对采集到的数据进行存储、管理和分析(如图1所示)。通过建立分布式数据库,可以高效存储庞大数量的监测数据,并且数据的安全性和可靠性也可以得到保障。运用数据挖掘算法,可对历史数据进行详细的分析,从中找出数据间内在联系和规律。通过对大坝变形数据的分析,可以构建变形预测模型,以预测大坝在未来某一时间段内的变形动态^[5]。

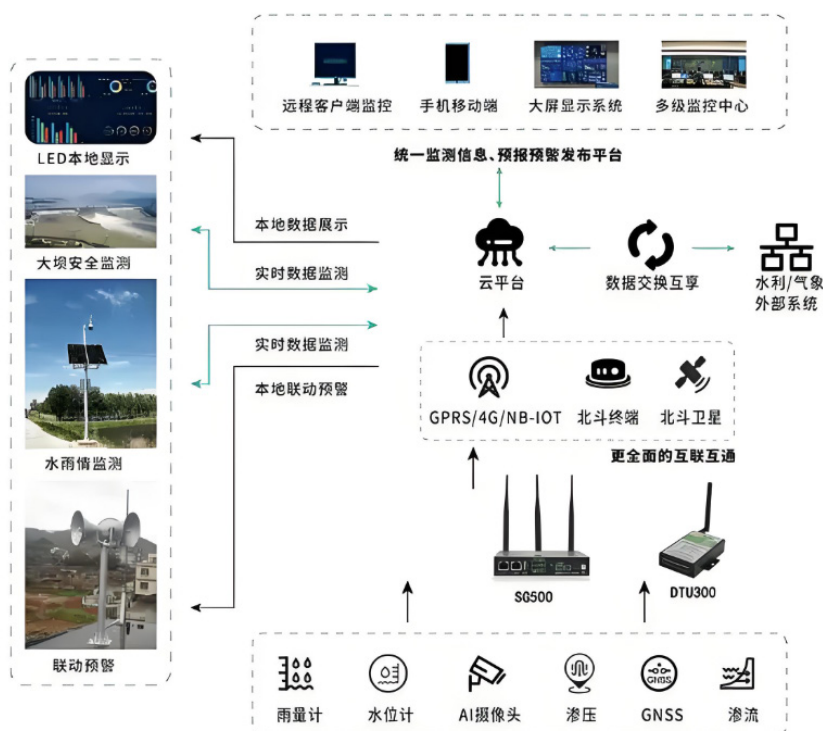


图1 水利水电工程监测数据流程示意图

将人工智能技术应用于安全监测和预警系统,利用机器学习算法来对监测数据进行实时分析和处理。借助训练神经网络模型,能够自动识别数据中的异常,便于及时发现工程设施中存在的安全隐患。在大坝渗流的监测中,当监测数据出现异常时,人工智能系统可以快速判断是否有渗流异常情况出现,同时发出预警信号^[6]。

结语

总体来说,数字化技术在水利水电工程建设中的应用效果非常优秀。在工程建设各个环节,其所展现的优势都非常突出,如数字化测绘技术的应用让设计更加精准,BIM技术的应用使施工管理更加优化,物联网技术的应用更好地保障设备稳定安全运行,大数据与人工智能技术可以让安全防线更加牢固。这些技术的良好应用,极大程度地提升了工程综合效益,成为行业现代化发展的重要力量。未来,应持续加大数字化技术研发力度,促进技术及时创新升级,使水利水电工程在数字化技术的支持下可以更加高效地运行。

参考文献

- [1] 范发亮. 水利水电工程建设中的BIM技术应用分析——评《水利水电工程BIM数字化应用》[J]. 人民黄河, 2023, 45(05): 163.
- [2] 王锋德. 数字化测绘技术在水利水电工程实际施工中的应用[J]. 住宅与房地产, 2021, (05): 228-229.
- [3] 张晓娟. 数字化技术在水利水电工程建设中的应用研究[J]. 数字通信世界, 2024, (07): 124-126.
- [4] 彭小明, 陈瑛, 管帝. 数字化智能技术在水利工程建设管理中的应用——以湖北新集水电站智慧工程建设为例[J]. 水利水电快报, 2023, (10): 1-7.
- [5] 于秉印, 王正宏. 数字化测绘技术在水利水电工程实际施工中的应用[J]. 江西建材, 2021, (03): 72+74.
- [6] 白爱华. 数字化测绘技术在水利水电工程实际施工中的应用[C]// 河海大学, 山东省水利科学研究院, 山东水利学会. 2021(第九届)中国水利信息化技术论坛论文集. 聊城黄河河务局信息中心, 2021: 24-27.