

浅谈机载激光雷达技术在水利工程测量中的应用

张必斌

海南省水利水电勘测设计研究院有限公司 海南 海口 570100

摘要：水利工程测量贯穿于水利工程勘察、建设、运营全过程；本文全面探讨了机载激光雷达技术在水利工程测量中的应用。该技术以其高精度、高效率的特点，在流域地形测绘、河流水系调查、工程设计数据获取、土方量计算、施工进度监测、施工质量控制以及工程变形和水资源监测与管理等方面展现了显著优势。通过与传统测量方法的对比，并阐述了机载激光雷达技术如何突破地形复杂度和可达性的限制，为水利工程的全生命周期提供了强有力的技术支持，确保了工程的规划、设计、施工和运营阶段的高效、准确和安全。

关键词：机载激光雷达技术；水利工程；测量应用

引言：水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其测量工作的精确性和高效性直接关系到工程的成败。传统测量方法在地形复杂、植被茂密或难以通行的区域往往面临诸多挑战，难以满足水利工程对高精度测量数据的需求；随着科技的进步，机载激光雷达技术应运而生，以其独特的测量原理和广泛的应用前景，在水利工程测量领域逐渐崭露头角。本文旨在深入分析机载激光雷达技术的原理、水利工程测量的需求和特点，以及该技术在水利工程测量中的具体应用，以期对水利工程的规划、设计、施工和运营提供科学的技术支撑。

1 机载激光雷达技术原理

机载激光雷达（LightDetectionAndRanging,LiDAR）是一种集成了全球定位系统（GlobalPositioningSystem,GPS）、惯性导航系统（InertialNavigationSystem,INS）、激光测距系统（LaserScanningRanging）的技术，能够快速获取地表物体三维坐标信息；其工作原理基于激光的发射与接收，激光发射器向目标发射激光脉冲，激光在遇到物体表面后会发生反射。然后，接收器接收反射回来的激光信号；通过测量发射与接收激光脉冲的时间差（即飞行时间，TimeofFlight,TOF），根据光速（约每秒30万公里）就可以计算出激光雷达与目标物体之间的距离，结合GPS确定飞机的位置，INS确定飞机的姿态（如俯仰、滚动、偏转），从而能够精确得到地表物体的三维坐标信息^[1]。机载激光雷达系统还可以对反射回来的激光能量大小、反射波谱的幅度、频率和相位等信息进行分析，输出点云数据，以呈现目标物精确的三维结构信息。从测距方式来看，激光雷达还可分为ToF以及FMCW（调频连续波）两种形式，机载激光雷达在水利工程测量中常用的是ToF方式，这种测距方式直接测量发射激光与回波信号

的时间差，进而确定距离。

2 水利工程测量的需求和特点

2.1 高精度需求

水利工程测量，从始至终都贯穿着对高精度的严格要求，在项目的初步勘察阶段，高精度地形图的重要性不言而喻，它不仅为工程师们提供了详尽的地形地貌信息，更是工程设计决策的关键依据。（1）进入建设阶段，高精度的测量数据更是不可或缺，无论是精密的放线工作，还是土方量的精确计算，都离不开准确的测量数据，这些数据是工程建设的基石，确保了施工过程中的准确性和一致性；任何微小的测量误差，都可能引发连锁反应，导致工程质量的下降甚至安全隐患。（2）而在运营阶段，高精度测量同样发挥着至关重要的作用。通过对工程结构进行定期的变形监测，可以及时发现并处理潜在的微小变形，从而确保水利工程的安全稳定运行。

2.2 复杂的作业环境

水利工程往往处于复杂的地理环境中，一方面，很多水利建设工程项目地处高山峡谷地区，地形起伏大，增加了测量的难度和危险性；例如在山区的水库建设工程中，测量人员需要在陡峭的山坡上进行测量工作，传统测量方式可能难以到达某些测量点。另一方面，植被覆盖茂密地区也较为常见，通视条件差，这对测量工作的开展十分不利；例如在一些河流的上游区域，森林茂密，使用传统测量手段可能会受到植被遮挡，难以获取准确的测量数据。而且天气变幻无常，如暴雨、大雾等天气会影响测量设备的正常使用和测量结果的准确性；此外，交通不便、通讯信号差等也是水利工程测量环境面临的挑战，这使得测量设备的运输、测量数据的传输等都存在困难。

2.3 多阶段的测量任务

水利工程测量作为贯穿工程全生命周期的核心环节,其任务随着工程的不同阶段而呈现出多样性和复杂性。(1)在勘察阶段,测量工作的重心在于对工程区域的地形地貌和地质结构进行全面而精确的勘测。借助先进的测量技术和设备,工程师们能够绘制出详尽的地形图,深入分析地质构造,从而为工程的设计提供坚实可靠的数据支撑。(2)进入建设阶段,测量任务变得更加繁重和复杂。除了基础放线、土方测量等基础工作外,还需对建筑物的定位和高程控制进行精确测量,以确保建筑物的位置准确无误、高度一致。这一阶段的测量工作要求高精度且与施工进度紧密配合,任何疏忽都可能影响工程的整体质量和进度。通过定期监测,及时发现并处理微小的变形,从而确保工程的长期稳定运行,有效防范安全事故的发生。

3 机载激光雷达技术在水利工程测量中的应用

3.1 规划阶段的应用

3.1.1 流域地形测绘

流域地形测绘是水利工程规划的首要任务,它要求获取详尽、准确的地形信息,以支撑后续的水文分析、水利枢纽选址等工作。传统测量方法受限于地形复杂度和可达性,往往难以全面覆盖,尤其是山区、森林等难以通行的区域,而机载激光雷达技术则突破了这一限制,它能够快速获取大面积流域的地形数据,生成高精度的数字高程模型(DEM)。机载激光雷达通过向地面发射激光脉冲并接收反射信号,记录每个脉冲的往返时间和强度,结合飞机的位置、姿态信息,即可计算出地面点的三维坐标^[2]。这一过程高度自动化,能够在短时间内覆盖广阔区域,且不受地形复杂度和植被覆盖的影响,生成的DEM数据具有极高的精度和分辨率,能够真实反映流域的地形特征。

3.1.2 河流水系调查

河流水系是水利工程规划中的另一关键要素,机载激光雷达技术能够精确测量河流的宽度、深度、河道弯曲度等信息,为河流治理和防洪规划提供详实数据。对于河流水面的提取,机载激光雷达技术通过点云数据的滤波算法,将水面点与其他地物点(如树木、建筑物等)有效分离。这一过程中,算法会根据点云的高度、强度等特征进行判别,确保水面点的准确提取,提取出的水面数据可以用于绘制河流的精确边界,计算河流的宽度和面积。此外,机载激光雷达技术还能获取河流两岸的地形和植被覆盖情况,这些信息对于评估河流的行洪能力和生态环境至关重要。通过地形分析,我们可以了解河流两岸的坡度、高程变化,进而判断河流的冲刷能力和泥沙淤积情况;植

被覆盖情况则反映了河流的生态状况,对于制定生态保护措施和恢复计划具有重要意义。

3.2 设计阶段的应用

3.2.1 工程设计数据获取

水利工程建筑物的设计需要详尽的地形和周边环境数据作为支撑,机载激光雷达技术通过高空扫描,能够迅速获取大坝、水闸、泵站等工程建筑物所需的各种地形信息。在大坝设计中,精确的地形数据是确定大坝尺寸和形状的基础,机载激光雷达提供的高精度点云数据,可以清晰地描绘出坝址的地形特征,包括高程、坡度等。这些数据对于确定大坝的高度、长度和坡度至关重要,它们直接影响到大坝的蓄水量、稳定性和施工难度;通过点云数据的深入分析,还可以揭示坝址周围的地质构造和岩石分布情况,这些信息对于大坝的基础设计至关重要,能够帮助工程师选择最合适的基础处理方式,确保大坝的安全稳定^[3]。对于水闸和泵站的设计,机载激光雷达同样能够提供关键数据支持;通过测量上下游的水位差、水流速度等水文参数,工程师可以更加准确地了解水闸和泵站的工作环境,从而优化工程结构设计,这不仅提高了工程的安全性和运行效率,还降低了后期的维护成本。

3.2.2 土方量计算

在水利工程建设项目中,土方量的精确计算是成本控制与施工进度的核心要素,传统断面法虽简便易行,却常因精度不足而导致预算超支与资源浪费。机载激光雷达技术的横空出世,为土方量计算带来了颠覆性变革,该技术通过获取施工前与施工后的高精度地形点云数据,为土方量计算奠定了坚实基础;工程师借助专业土方量计算软件,能够轻松对比两时期地形数据,迅速且精确地得出挖方量与填方量。这一革命性进步不仅极大提升了土方量计算的准确性,助力工程师精准评估工程成本,科学制定预算计划,更在施工过程中为土方调配提供了有力依据,确保了施工流程的高效与有序。机载激光雷达技术的引入,不仅优化了土方量计算流程,更在成本控制与施工效率间架起了一座桥梁,助力水利工程项目在保障质量的同时,实现成本节约与效率提升的完美融合。

3.3 施工阶段的应用

3.3.1 施工进度监测

水利工程施工因其周期长、涉及环节众多,对施工进度的精确把控成为确保整个工程项目按时竣工的关键要素。为了实现施工进度有效监测,采用机载激光雷达技术进行定期扫描成为了一种高效且精准的方法,

这项技术能够捕捉到施工现场在不同时间节点的三维点云数据,这些数据仿佛一个个“时间胶囊”,详尽记录了施工现场从初期到后期的每一处细微变化。通过对比不同时间段获取的三维点云数据,工程师们能够直观且清晰地观察到工程的实际进展状况;例如,他们可以准确地判断大坝填筑的高度是否按照既定的施工计划逐步提升,护坡工程的施工进度是否顺畅无阻,以及渠道开挖的深度是否已经达到了设计要求。这种基于数据的对比分析,极大地提高了施工进度监测的准确性和效率,一旦发现施工进度存在滞后的区域,工程师们能够迅速识别出问题的所在,并据此调整施工计划。

3.3.2 施工质量控制

施工质量是水利工程的生命线,它直接关系到工程的安全性、稳定性和使用寿命,在施工过程中,工程师们可以利用激光雷达技术对工程结构的尺寸和位置进行精确的检查和测量。例如,他们可以检测大坝的坝轴线是否存在偏差,以及这种偏差是否在允许的范围内;还可以检查水闸闸室的平整度是否满足设计要求,确保水闸能够正常、稳定地运行。通过将施工过程中的实际点云数据与设计模型进行细致的对比分析,工程师们能够及时发现施工中存在的质量问题。这些问题可能包括尺寸偏差、位置偏移、形状不符合设计要求等,一旦发现这些问题,工程师们可以立即采取针对性的整改措施,如调整施工参数、修正施工误差、更换不合格材料等,以确保水利工程的施工质量完全符合设计要求。

3.4 运行管理阶段的应用

3.4.1 工程变形监测

水利工程在运行过程中,由于长期受到水流冲刷、地质变化、环境因素等多重影响,其结构可能会发生微小的变形,如沉降、位移等。这些变形虽然初期可能不易察觉,但长期累积却可能引发严重的安全隐患,甚至导致工程失事,机载激光雷达技术为工程变形监测提供了有力的解决方案。通过定期对水利工程进行激光扫描,可以获取高精度的点云数据,形成工程的三维模型,将这些数据与工程初始状态的数据进行对比分析,工程师可以精确地捕捉到工程的变形情况,如大坝的沉降量、位移量等;一旦发现变形异常,工程师可以立即

采取措施进行进一步的监测和分析,确定变形的原因和趋势,为工程的维护和加固提供科学依据。

3.4.2 水资源监测与管理

水资源作为水利工程的核心,其有效监测与管理是确保工程稳定运行与资源可持续利用的关键。机载激光雷达技术以其独特优势,在水资源监测领域大放异彩,该技术通过对水库、湖泊等水域实施定期激光扫描,精准捕捉水位波动、面积变化等核心数据,为深入剖析水资源动态规律、预判未来趋势提供了坚实基础^[4]。长期的数据累积与深度分析,使工程师能够依据科学数据,制定出更为合理的水资源调度策略,从而确保资源的优化配置与高效运用;并且,激光雷达技术的实时监测功能,犹如一双锐眼,时刻盯紧水域面积与水位变化,及时发现并预警水资源管理中的诸多问题,如非法侵占、资源浪费等,为水资源的严格保护与管理提供了强有力的技术支撑。

结束语

综上所述,机载激光雷达技术以其高精度、高效率、全天候和全覆盖的特点,在水利工程测量中发挥了不可替代的作用。从规划阶段的流域地形测绘和河流水系调查,到设计阶段的工程设计数据获取和土方量计算,再到施工阶段的施工进度监测和施工质量控制,以及运行管理阶段的工程变形监测和水资源监测与管理,机载激光雷达技术都展现出了显著的优势。随着技术的不断进步和应用领域的拓展,相信机载激光雷达技术将在水利工程领域发挥更加重要的作用,为水利工程的可持续发展和国家的经济建设作出更大的贡献。

参考文献

- [1]付伟锋.垂起固定翼搭载激光雷达在河道堤防测量中的应用[J].广东水利水电,2022(01):109-115.
- [2]李慧.浅谈机载激光雷达技术在水利工程中的应用[J].水利技术监督,2021,(11):50-52+82.
- [3]胡志权.水利工程中机载激光雷达技术的应用探讨[J].低碳世界,2021,11(05):105-106.
- [4]李不强.机载激光雷达点云数据处理研究[J].华北自然资源,2021(3):86-87.