

测量机器人在大型工程变形监测中的应用探索

马本言

中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司 黑龙江 哈尔滨 150078

摘要：随着工程规模的扩大和结构复杂性的增加，大型工程变形监测面临诸多挑战。测量机器人技术以其高精度、高效率及自动化优势，在大型工程变形监测中展现出重要价值。本文探讨了测量机器人在布设监测网点、实施自动化监测方案以及数据处理与分析等方面的具体应用，并通过实际案例验证了其显著提升监测效率和精度的效果。测量机器人的应用为大型工程变形监测提供了可靠的技术支持，有助于确保工程安全运营和及时预警潜在风险。

关键词：测量机器人；大型工程变形监测；应用

引言：随着大型工程建设规模的不断扩大和结构复杂性的增加，工程变形监测成为确保工程安全稳定运行的关键环节。传统的人工监测方法存在效率低下、数据准确性受限等问题，难以满足现代工程变形监测的高标准要求。测量机器人的出现为这一难题提供了有效的解决途径。本文将深入探讨测量机器人在大型工程变形监测中的应用，分析其在提高监测精度、效率和自动化水平方面的优势，以期工程变形监测技术的发展提供新的思路和方法。

1 测量机器人技术基础

1.1 测量机器人的定义与分类

测量机器人，又被称为智能全自动化全站仪，是集自动目标识别、自动照准、自动测角与测距、自动目标跟踪以及自动记录于一体的先进测量平台。这一技术平台显著提升了工程测量的精度和效率，是现代测绘技术的重要组成部分。智能全自动化全站仪作为测量机器人的典型设备，结合了电子经纬仪的精准角度测量、光电测距仪的非接触式距离测量以及微处理器的智能数据处理能力，实现了高效、多功能的三维坐标测量。这些设备广泛应用于各种工程测量领域，如建筑工程、桥梁工程、隧道工程以及地质灾害监测等。

1.2 测量机器人的工作原理

测量机器人的工作原理主要依赖于激光测距传感器、摄像头和多种传感器等装置。（1）激光测距传感器通过发射激光束，利用光的传输速度和接收时间来精确测量目标物体的距离。当激光束照射到目标物体时，部分激光会被反射回来，传感器接收到反射光后，即可计算出目标物体的距离。（2）摄像头作为机器视觉系统的核心部件，通过获取目标物体的图像信息，实现对目标物体的识别、定位和测量。机器视觉系统运用图像处理算法，能够自动识别和跟踪预定目标，无需人工干预。

（3）测量机器人还配备了包括距离、角度、温度、气压等多种传感器，这些传感器能够实时获取各种观测值，为测量提供全面的数据支持。高精度测量设备的配置，如球面坐标系统、步进马达驱动的望远镜旋转机构等，确保了测量机器人在水平面360°和竖面180°范围内的高精度测量。

1.3 测量机器人的优势与特点

测量机器人以其高精度、高效率以及适应性强等优势，在工程测量领域发挥着重要作用。（1）高精度是测量机器人的显著特点之一。采用先进的激光测距技术和机器视觉系统，测量机器人能够实现微米级的测量精度，满足各种高精度测量需求。（2）高效率则是测量机器人的另一大优势。通过自动化测量流程，测量机器人能够显著减少人工干预，提高测量效率。同时，实时数据处理和分析能力使得测量结果能够即时呈现，为决策提供及时支持。（3）适应性强也是测量机器人的重要特点。无论是复杂的地形环境还是恶劣的气候条件，测量机器人都能够稳定工作，提供可靠的测量结果。此外，测量机器人还支持多种测量模式和数据处理方法，能够灵活应对各种测量需求。

2 大型工程变形监测的需求与挑战

2.1 大型工程变形监测的重要性

（1）确保工程结构的安全性和稳定性。大型工程在设计和建造过程中，都会经过严格的力学计算和测试，以确保其安全性和稳定性。然而，在实际运营过程中，由于各种内外部因素的影响，如地质条件的变化、荷载的增减、极端天气的冲击等，工程结构可能会产生变形，甚至会出现裂纹、倾斜等现象。这些变形如果不及时发现和处理，将严重威胁工程结构的安全性和稳定性。因此，通过变形监测，及时发现工程结构的变形情况，采取必要的维护和修复措施，是确保工程结构安

全、稳定运营的重要手段^[1]。(2) 预防地质灾害和工程事故。大型工程的建设和运营,往往与地质灾害的发生密切相关。如山区的高速公路和桥梁,可能会因为山体滑坡、泥石流等地质灾害而受到威胁;水利设施如大坝、水库等,也可能因为地震、洪水等自然灾害而发生变形,甚至溃坝。通过变形监测,可以提前发现这些潜在的地质灾害和工程事故风险,及时采取预警和预防措施,降低灾害损失,保障人民生命财产安全。

2.2 大型工程变形监测的特点与难点

(1) 监测范围广、监测点众多。大型工程往往跨越广阔的地理空间,涉及的监测范围广,需要设置的监测点数量也相应较多。例如,一个大型桥梁可能需要设置数百个甚至上千个监测点,每个监测点都需要进行定期的监测和数据采集。这就要求监测系统具有强大的数据处理和分析能力,以及高效的监测点位布设和管理能力。(2) 实时监测与数据反馈的要求高。大型工程变形监测需要实现实时监测和数据反馈,以便及时发现和处理工程结构的变形问题。这就要求监测系统具有高度的自动化和智能化水平,能够实时采集、传输和处理监测数据,及时将变形信息反馈给管理人员和决策者。同时,还需要建立有效的数据分析和预警机制,以便在数据出现异常时能够迅速作出反应。(3) 环境复杂,易受外界因素影响。大型工程所处的环境往往十分复杂,如山区的高速公路和桥梁可能受到地形、地质、气候等多种因素的影响;水利设施如大坝、水库等则可能受到水文、地质、生物等多种因素的制约。这些外界因素都会对变形监测的准确性和可靠性产生影响,给监测工作带来很大的挑战。因此,在进行变形监测时,需要充分考虑环境因素的影响,采取必要的措施进行校正和补偿,以提高监测数据的准确性和可靠性。

3 测量机器人在大型工程变形监测中的应用

3.1 测量机器人在布设监测网点中的应用

布设监测网点是变形监测的首要任务,它直接关系到后续监测数据的准确性和可靠性。测量机器人在这一过程中发挥了至关重要的作用。(1) 基准点的选取与目标点的设置。基准点是变形监测的基准,其稳定性直接关系到监测结果的准确性。测量机器人通过高精度测量,可以精确测定基准点的位置,确保其在整个监测过程中的稳定性。同时,基于工程特点和变形监测需求,测量机器人能够辅助工程师合理布设目标点,这些目标点能够全面反映工程结构的变形情况。(2) 监测桩与强制对中器的安装。为了确保监测数据的连续性和稳定性,需要安装监测桩和强制对中器。测量机器人通过其

高精度的激光测距和自动照准功能,可以辅助完成监测桩的精确定位和强制对中器的精确安装。这不仅提高了安装效率,还确保了监测点位的准确性^[2]。(3) 独立坐标系的建立与观测数据的获取。在大型工程变形监测中,为了便于数据处理和分析,通常需要建立一个独立于工程坐标系的监测坐标系。测量机器人能够基于测得的基准点数据,自动建立这一独立坐标系。随后,机器人按照预设的观测计划,自动搜索、跟踪并测量目标点,获取变形监测所需的观测数据。

3.2 测量机器人在监测方案实施中的应用

在实施监测方案时,测量机器人的自动化和智能化特性显得尤为重要。(1) 自动搜索、跟踪与识别技术的应用。测量机器人具备强大的自动搜索、跟踪与识别能力。在监测过程中,机器人能够自动识别并锁定预设的目标点,无需人工干预即可完成连续、稳定的测量。这一特性极大地提高了监测效率,降低了人力成本。(2) 数据自动记录与处理系统的构建。测量机器人内置的数据自动记录与处理系统,能够实时记录观测数据,并进行初步处理。这些数据经过筛选、校正和格式化后,可直接用于后续的变形分析。系统的自动化处理减少了人为错误,提高了数据的准确性和可靠性。(3) 实时数据处理与分析的实现方式。借助先进的算法和数据处理技术,测量机器人能够实现实时数据处理与分析。通过对观测数据的实时分析,机器人能够及时发现并预警潜在的变形问题,为工程安全运行提供有力保障。同时,这些数据还可以为工程师提供决策支持,指导他们采取必要的维护措施^[3]。

3.3 监测数据处理与成果分析

监测数据处理与成果分析是变形监测的最后一环,也是评估工程结构安全性的关键步骤。(1) 变形监测分析软件的应用。变形监测分析软件是处理和分析监测数据的重要工具。这些软件通常具备数据导入、处理、分析、可视化等功能。测量机器人采集的原始数据通过软件导入后,可以进行滤波、平滑、差分等处理,以消除噪声和误差,提高数据的准确性。同时,软件还可以进行变形趋势分析、预警预测等高级分析,为工程师提供全面的变形监测成果。(2) 数据导入、处理与分析的流程。数据导入是处理和分析的第一步。测量机器人采集的原始数据通过专用接口或文件格式导入分析软件。随后,软件对数据进行预处理,包括数据筛选、异常值剔除、数据平滑等。在此基础上,软件利用先进的算法对变形进行建模和分析,评估工程结构的变形趋势和安全性。最后,将分析结果以图表、报告等形式呈现给工程

师,便于他们进行决策^[4]。(3)根据三维坐标值判断建筑物变形状况的方法。在变形监测中,建筑物的三维坐标值是反映其变形状况的重要指标。通过分析建筑物关键部位的三维坐标值随时间的变化情况,可以判断其是否发生变形以及变形的程度和趋势。例如,通过比较不同时间点的坐标值,可以计算出建筑物的沉降量、倾斜角度等变形参数。同时,结合地质勘察资料、施工记录等信息,可以对变形原因进行初步分析,为后续的维护和处理提供依据。

4 测量机器人在大型工程变形监测中的案例分析

4.1 典型应用案例介绍

4.1.1 大坝自动化变形监测项目案例

以某大型水利枢纽工程为例,该大坝为混凝土重力坝,坝高185米,库容超过100亿立方米。由于长期受水压、温度变化及地质活动影响,坝体可能发生位移、沉降等变形。传统人工监测效率低、风险高,因此引入测量机器人(如LeicaTM60)实现全天候自动化监测。项目周期为3年,覆盖施工后期至运营初期关键阶段。

4.1.2 监测设备、系统组成与监测点布设

(1)设备选型:采用高精度测量机器人(测角精度0.5",测距精度1mm+1ppm),搭配360°棱镜组 and 气象传感器(温湿度、气压补偿)。(2)系统组成:包括数据采集端(测量机器人)、传输模块(4G/光纤)、控制中心(变形分析软件如GeoMoS)及预警平台。(3)监测点布设:坝顶与坝肩。沿坝轴线每20米布设一个监测点,共12个,监测水平位移与垂直沉降;廊道内部。在坝体廊道内布设8个点,用于监测内部变形与接缝变化;基础岩体。在坝基关键断层带附近布设5个点,评估地质稳定性。

4.2 案例分析

4.2.1 监测数据的获取与处理结果

(1)数据采集:测量机器人每小时自动扫描监测点,每日生成240组数据,通过卡尔曼滤波剔除异常值。(2)处理结果:运营首年数据显示,坝顶最大水平位移为8.2mm(指向下游),沉降量为3.5mm,均在设计允许范围内(<10mm)。数据表明变形主要集中于夏季高温

时段(7-9月),与混凝土热胀冷缩相关。

4.2.2 变形趋势与速率的预测与分析

(1)趋势分析:通过时间序列模型(ARIMA)预测,坝体变形速率呈递减趋势,年均位移从首年的8.2mm降至第三年的5.1mm,说明坝体逐渐稳定。(2)关键发现:水位骤升(如汛期)会导致瞬时位移增加0.5-1mm,但48小时内恢复;坝肩局部区域(监测点P4、P7)位移速率略高,需重点关注地质构造影响。

4.2.3 监测效果与精度的评估

(1)精度验证:与全站仪人工测量对比,测量机器人数据差异<0.3mm,满足《工程测量规范》(GB50026)一级变形监测要求。(2)效果评价:效率提升。自动化监测将单次作业时间从4小时缩短至10分钟,人力成本降低70%;预警能力。系统成功识别2次异常位移(超阈值5%),触发加固措施,避免潜在风险;局限性。极端天气(如暴雨)可能导致数据缺失,需辅以GNSS监测互补。

结束语

综上所述,测量机器人在大型工程变形监测中发挥着不可或缺的作用。其高精度、高效率以及自动化特性,不仅显著提升了变形监测的准确性和时效性,还为工程结构的安全性和稳定性提供了有力保障。随着技术的不断进步和应用场景的拓展,测量机器人将在更多领域展现其独特优势。未来,我们期待测量机器人技术能够持续创新,为大型工程变形监测带来更加智能化、精准化的解决方案,推动工程监测领域的持续发展。

参考文献

- [1]雷波.测量机器人在地铁隧道自动化变形监测中的应用研究[J].建筑设计及理论,2024,(04):45-46.
- [2]赵鹏,金成龙,郭晓红.自动测量机器人在建筑工程中的应用[J].施工技术,2021,(10):118-119.
- [3]姜信东.测量机器人在地铁隧道自动化监测中的应用[J].西部探矿工程,2022,(12):167-168.
- [4]李阳,翟辉龙.测量机器人在城市建筑基坑变形监测中的应用[J].市政工程,2022,(09):102-103.