

基于 AR 技术的工程测量可视化应用研究

袁建雄 522130198611231232

摘要：工程测量是工程项目前期规划、中期施工与后期运维全周期的核心基础工作，传统测量成果以二维图纸、数据表格与静态点云模型呈现，存在信息密度低、空间关系表达不直观、现场作业对接成本高等问题。增强现实（AR）技术具备虚实融合、三维交互与空间定位的核心优势，为工程测量成果的可视化呈现与现场应用提供了全新技术路径。本文梳理了 AR 技术应用于工程测量可视化的技术框架，分析了 AR 在不同工程场景下的具体应用方向，探讨了当前技术落地存在的主要瓶颈，提出了未来优化发展的方向，为工程测量领域的数字化转型提供参考。

关键词：增强现实；工程测量；可视化；数字化施工

一、引言

工程测量贯穿工程项目全生命周期，从前期地形测绘、规划放线，到中期施工控制监测，再到后期运维变形检测，测量成果的直观呈现与高效应用直接影响工程建设的质量与效率。传统工程测量成果输出形式以二维 CAD 图纸、坐标数据文件、三维静态模型为主，现场作业人员需要将抽象数据与实体空间进行匹配解读，不仅对作业人员专业经验要求较高，还容易因解读偏差引发施工误差，据国内大型建筑施工企业统计，因测量成果信息传递偏差导致的施工返工占总返工比例的 18% 以上，造成了大量的成本与工期损耗。

近年来，随着建筑信息模型（BIM）技术、北斗定位技术与移动硬件设备的快速发展，工程领域对测量成果可视化的需求不断提升。增强现实（AR）技术通过将计算机生成的虚拟信息叠加到真实物理空间中，实现虚实融合的交互体验，刚好匹配工程测量现场作业对可视化的需求。将 AR 技术与工程测量数据结合，能够把坐标、高程、设计参数等抽象测量信息直接转化为现场可见的三维可视化内容，帮助作业人员快速完成空间比对与决策，大幅降低信息解读成本。本文正是基于这一行业需求，对 AR 技术在工程测量可视化领域的应用展开研究。

二、AR 技术应用于工程测量可视化的技术框架

2.1 数据采集层

数据采集层是 AR 工程测量可视化的基础，主要负责获取真实场景空间信息

与工程设计测量数据。一方面，通过地面三维激光扫描仪、无人机航测、RTK 测量设备获取目标区域的实景地形、现有构筑物的空间坐标测量数据，生成初始三维点云与网格模型；另一方面，对接工程设计阶段的 BIM 模型与测量放线数据，提取设计构件的位置、尺寸、标高等核心参数，完成两类数据的坐标统一，通常采用大地坐标系作为统一基准，消除不同数据源的坐标偏差。

2.2 空间注册层

空间注册是 AR 技术实现虚实精准叠加的核心环节，直接决定可视化成果的精度。工程测量领域对空间定位精度要求通常达到厘米级，目前主流的 AR 注册方案分为两种：一是基于计算机视觉的注册，通过移动设备摄像头提取真实场景的特征点，与预先重建的场景点云匹配，实现实时位姿计算，该方案无需额外硬件设备，成本较低，但在无明显特征的开阔施工场景中容易出现跟踪丢失；二是基于卫星定位与惯性导航的注册，通过 RTK 设备获取移动设备的实时地理位置坐标，结合惯性传感器测算姿态，实现空间注册，该方案精度能够达到厘米级，适配开阔户外工程场景，是当前户外工程测量 AR 应用的主流方案。

2.3 可视化呈现与交互层

可视化呈现层负责将处理后的测量信息渲染叠加到真实场景中，根据不同的使用场景可以选择不同的呈现设备：对于现场作业人员，通常采用 AR 眼镜或者智能手机、平板等移动设备，便于携带操作；对于室内方案研讨场景，可以采用大屏 AR 融合显示方案，方便团队协同决策。交互层则支持作业人员通过手势、语音等方式对叠加的测量模型进行操作，比如放大查看局部测量参数、调整模型透明度比对设计与实景偏差、添加现场测量标记等，实现测量信息的交互式查询与分析。

三、AR 技术在工程测量可视化中的具体应用场景

3.1 测量放线可视化

传统工程测量放线作业中，作业人员需要根据设计坐标在现场打桩、拉灰线标注，流程繁琐，对于复杂异形构筑物，放线精度难以保障，出错概率较高。基于 AR 技术的可视化放线，作业人员只需要携带 AR 移动设备进入现场，设备就可以将设计好的轴线、边线、控制点位直接叠加显示在真实地面上，作业人员不需要反复比对图纸，只需要按照 AR 显示的位置进行标记即可，不仅大幅缩短放线作业时间，还能将放线误差控制在 2 厘米以内。在复杂的管线工程测量放线中，

AR 技术还可以将地下管线的设计走向、埋深等参数直观呈现，避免作业时破坏现有地下管线，提升了施工安全性。

3.2 施工变形监测可视化

对于大型边坡、大坝、高层建筑等工程，需要在施工过程中持续开展变形监测，传统监测成果以时间序列的位移数据表格呈现，难以直观感知变形的空间分布与发展趋势。基于 AR 技术的变形监测可视化，能够将不同周期的测量变形数据转化为可视化的云图，直接叠加到真实构筑物上，作业人员在现场就可以直观看到不同部位的变形量大小，红色区域代表变形超过预警值，蓝色区域代表变形稳定，能够快速识别风险区域。相比于传统的室内数据分析，AR 可视化将监测成果直接带到现场，提升了风险排查的效率。

3.3 竣工测量成果可视化交付

传统竣工测量成果以二维竣工图和数据文件交付，运维阶段管理人员难以快速对应空间位置，尤其是对于复杂的机电安装工程，管线排布密集，纸质图纸查找对应位置难度很大。基于 AR 技术的竣工测量可视化交付，将竣工测量获取的实际构筑物三维模型整合到 AR 系统中，运维人员只需要用 AR 设备扫描实体建筑，就可以看到内部管线、设备的竣工测量信息，包括管径、材质、安装高程、坐标等参数，大幅提升了运维阶段抢修、改造的工作效率。

四、当前应用存在的瓶颈

虽然 AR 技术在工程测量可视化领域展现出了显著的优势，但是当前大规模落地仍然存在一定瓶颈：一是精度与成本的平衡问题，达到厘米级注册精度的 AR 设备成本较高，专业 AR 眼镜价格普遍过万元，难以在施工企业大规模配备，而低成本的消费级移动设备定位精度难以满足工程测量的要求；二是复杂场景的稳定性问题，在遮挡严重、光照条件差的施工场景中，AR 的空间注册容易出现漂移，跟踪稳定性不足，影响使用体验；三是数据对接标准不统一，不同厂商的测量设备、BIM 软件输出的数据格式不统一，AR 系统进行数据整合需要进行大量的格式转换工作，增加了应用成本。

五、结论与展望

AR 技术为工程测量可视化提供了全新的技术路径，能够有效解决传统测量成果信息抽象、解读难度大、应用效率低的问题，在测量放线、变形监测、竣工交付等多个场景都具备显著的应用价值。随着移动硬件设备性能的提升、定位成

本的下降以及工程数据标准的逐步统一，AR 技术将在工程测量领域得到更广泛的应用，推动工程测量从传统的数据输出向可视化交互服务转型，进一步提升工程建设全周期的效率与质量。

参考文献

[1] 王解先, 魏子卿. 增强现实技术在测绘工程中的应用进展[J]. 测绘学报, 2021, 50(8): 1015-1026.

[2] 张建平, 李丁, 范俊玮. BIM 与 AR 融合的工程施工应用研究[J]. 土木工程学报, 2019, 52(4): 112-120.

[3] 刘春, 陈能成. 移动增强现实空间注册技术研究进展[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1857-1866.