

工程建筑变形监测及数据处理方法分析

史文博

广东省建设工程质量安全检测总站有限公司

摘要：为解决工程建筑变形监测与处理难度高的问题，本文将三维激光扫描技术为研究对象，详细总结了该技术在建筑物变形监测中的实施策略，包括采集外业数据、模型变形评估等。同时提出了激光扫描后的数据处理方法，包括数据精度处理、数据点云误差处理等，最后根据实例案例总结了该系统的应用效果，以期类似工程项目变形处置提供支持。

关键词：建筑工程；变形监测；数据处理；围护结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.032

前言：当前深基坑在建筑工程项目中越来越常见，但是根据现有建筑工程项目的施工经验来看，深基坑施工会直接改变土层稳定性，增加周边建筑结构失稳风险，并造成工程建筑结构变形等严重问题，可见实施工程建筑变形监测与数据处理具有必要性^[1]。本文所采用的三维激光扫描是一种精度高、技术成熟的变形监测技术，具有快速性、动态性以及高密度性特征，在变形监测中可快速识别建筑物的光学特征信息，并综合评估建筑物的三维空间状态。因此为最大限度保证建筑物安全，则需要主动探索三维激光扫描技术应用方案，这也是本文研究的主要目的。

一、工程建筑变形监测方案

(一) 采集外业数据

1. 布设控制点

监测工程建筑变形期间应根据建筑物周围环境，选择视野条件良好的区域，尽可能扩大扫描面积。目前较为常见的布点方式为6点观测，不仅可获得理想的建筑视野，也可以获得更多的建筑特征点，其具体布设方案如图1所示。并且实践结果也证明，此类布点方式可减少监测站位置，降低后期点云拼接难度。

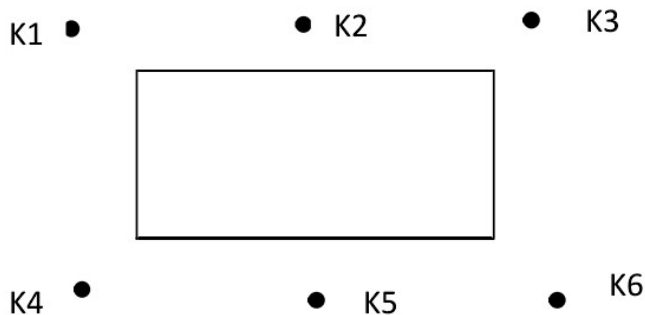


图1 监测点的布设思路

2. 变形数据采集方案

为精准反映建筑物的形态变化情况，可对建筑物采用粗扫+精扫方法，其中粗扫的数据精度为1cm，其功

能是判断建筑物整体框架结构；而精扫的数据处理精度为1mm，功能是识别建筑物重点结构的信息。数据采集方案为：

(1) 布站。按照图1所介绍的监测点设计思路布站，但为保证数据处理精度，在布站期间还应注意以下几方面操作：①应保证每个监测点位的数据提取要求，保障扫描数据可真实评价建筑物有无变形情况，并构建完整的建筑物模型。②相邻检测点位之间应至少有一个公共点提供坐标转换，以满足后期云拼接要求^[2]。

(2) 定向。在正确架设监测设备后，连接扫描仪与笔记本建立通信。系统显示通讯成功后，操作员启动Riscan Pro软件设定本次检测的关键参数，其设定步骤为：

步骤①，在软件中新建扫描任务，选择对话框中的“new”。

步骤②，在对话框中设定本次变形监测建筑物的名称，如“工程建筑变形监测任务1”。

步骤③，在该建筑物数据模块下建立模型，由软件自动打开此项工程，操作者右键点击后，选择“Attributes”，设定建筑物的IP以及相关参数。

步骤④，按照上述方法即可形成建筑物模型。

(3) 粗扫。在实现建筑物定向后即可通过点云扫描的方式完成粗扫，整个粗扫操作步骤为：

步骤①，利用扫描仪内置相机拍摄建筑物，或者建筑物的基本外貌图形。

步骤②，选择图像处理精度为1cm，完成粗扫。

步骤③，在一站扫描结束后，即可做下一站扫描。

(4) 精扫。对建筑物的关键部位采取精扫，设定扫描仪的数据精度为1mm，按照精选框架设定监测点，此时在保证扫描数据精度的同时也要尽可能消除数据中的冗余量。扫描结束后，操作者点击“OK”按键，完成整个结构扫描。

(5) 重复上述操作过程，直至整个建筑物扫描结束后即可判断点云情况，若发现建筑物点云中有明显的漏洞，则可安排相关人员补拍。在获得整个建筑物的三维点云后，即可利用多个测站点云完成现场检测。

(二) 形成工程建筑变形模型

根据上文粗扫与精扫记录的建筑物信息，可采用Gemagic studio+Riscan Pro的模式建立变形建筑物模型，在建模期间可先通过点云数据转换的方式过滤所有孤点信息并获得精准建模。

(三) 模型变形评估

按照建筑变形模型的评估结果，则可从以下三个方

面评定建筑物变形情况：

(1) 建筑物的倾斜变形状态。在模型中设定变形评估的监测面中设定三个回归参数，该回归参数分别对应X、Y、Z三个空间轴，通过记录三个空间轴的空间变化则可综合评价结构的局部倾斜情况。此时可能存在两种情况，一方面假设目标建筑物处于刚性状态下，在建筑物变形评估中可忽略其中的观测误差，则X、Y、Z三个空间轴的变化值是相同的。另一方面，假设目标建筑物处于弹性状态，则可在模型存在客观观测误差的情况分别设定X、Y、Z三个空间轴的变化趋势，此时若X、Y、Z三个空间轴的变化量较大，则可以认为建筑物局部存在倾斜变形状态。

(2) 沉降变形评估。通过该模型监测建筑物的中心坐标，根据模型的Z值变化获得建筑物沉降变形变化规律。通过该模型则可利用监测面的Z坐标变化规律综合评估目标建筑物整体沉降情况，其中多个监测点位显示Z坐标变化区别较大，则说明了目标建筑物局部的伸缩变化。

(3) 评估建筑物的水平位移情况。在该模型中可通过监测面的中心坐标变化情况判断结构位移。在模型数据分析中可通过不同时间段识别建筑物的变形，如单位时间内的监测面中心坐标等。除此之外，在建筑位移评价中也可以通过任意一次监测面重心坐标与首次监测面重心坐标（也可是首期外另一期监测面的重心坐标）做比较，求得变化量，得出其绝对水平位移和相对水平位移^[3]。

二、工程建筑变形的数据处理

(一) 数据精度处理

在建筑变形监测数据精度处理中，可通过扫描仪记录建筑物空间轴偏差评估数据精度，在将不同监测点位上的扫描数据上传至全站仪坐标系之后，即可按照公式(1)计算不同距离处的误差值。

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v]}{n-1}} \quad \text{公式 (1)}$$

在公式(1)中，m表示测角或者测距内的数据误差值； $[v] = \sum v_i^2$ ，其中 v_i 表示不同距离处角度或距离的算术平均值与各测量值之差。

在数据计算中也可按照表1的数据评估精度。

表1 扫描仪精度检核结果

距离(m)	水平角内符合误差(″)	水平角外符合误差(″)	测距内的符合误差(mm)	测距外的符合误差(mm)
< 25	6.502	13.021	1.302	2.509
25 ~ 50	13.251	28.796	2.458	4.893
> 50	28.635	44.015	6.012	12.002

(二) 数据点云误差

1. 点云数据去噪方案

点云数据去噪的目的是清除模型中错误的点，其中较为常见的方式是消除其中的明显错误点，但该方法存在明显弊端，即去噪过程难以保证关键数据精度。因此为降低去噪过程对最终数据处理精度的影响，则可采用以下处理方法：

(1) 针对有明确排列顺序的点云数据，在数据处理过程中则可采用平滑滤波的方式完成去噪，该方法主要分为三种：①高速滤波则可清晰表达数据原貌，通过该技术则可以快速清除其中杂乱无章或者随机分布的噪声。②中值滤波技术可在更短的时间内清除点云中的毛刺数据；③平均滤波技术能清除现有数据库中的随机干扰问题。按照上述技术特征，工作人员根据点云数据实际情况作出选择。

(2) 而对于无序排列的点云数据，由于此时点云数据之间无明确的拓扑关系，数据处理难度高，因此可先构建相邻两点之间的逻辑关系，再在该逻辑关系基础上去噪即可。

2. 点云数据拼接方案

通过点云数据拼接的方法可以将三维空间中的任意两个坐标系扭转至相同坐标系中，此时两幅点云结构会优先拼接其中的重合结构，此时重叠区域应占总区域的30%左右，而重叠区控制范围较大，则会影响数据处理效率；而低于该标准，则无法保证拼接精度^[4]。因此假设在点云数据拼接中存在任意两个点，即 p_i 点与 q_i ，两点满足变换矩阵R，则满足公式(2)：

$$\forall p_i \in P \exists q_i \in Q \|Rp_i - q_i = 0\| \quad \text{公式 (2)}$$

在公式(2)中，P与Q分别表示两组扫描点位的集合。

此时变换矩阵R可以分别展示x、y、z三个轴的空间位置变化情况，其旋转矩阵表达方式如公式(3)所示。

$$R = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \quad \text{公式 (3)}$$

在公式(3)中， x_n 、 y_n 、 z_n 分别表示云拼接点位在x、y、z轴上的不同工况。

最后可通过考虑计算同名点匹配误差的大小的方法从而来衡量拼接的好与坏，整个数据处理中则可按照公式(4)展开运算。

$$E = \sum_{i=1}^n \|R_{p_i} - q_i\|^2 \quad \text{公式 (4)}$$

在公式(4)中, E表示点云数据拼接中的误差。在模型数据处理中, 当E的点云数据误差 $\leq 2.0\text{mm}$ 即可认为其数据误差处于可控范围内。

三、工程建筑变形监测的应用实例分析

(一) 工程项目简介

为判断上文介绍方法合理性, 本文将根据某建筑工程项目的基坑工程为例, 该基坑的长宽约为 $80\text{m} \times 40\text{m}$, 开挖深度 15m , 采用了单排支护桩结构, 内部为环形支撑。由于基坑大门外是一条繁忙的公路, 所以控制点安置在了基坑大门侧面的稳定建筑物的角部, 用于拼接的标靶球安置在相邻两站都能通视的地方。根据施工周边现场的勘察结果显示, 在距离基坑约 63m 位置有3栋高层建筑, 因此该深基坑项目对建筑物变形的影响成为相关方关注的重点内容。

(二) 外业数据采集与数据处理

本次项目在采集外业数据中采用了Riegl VZ-400, 该设备可对建筑物实施周期性扫描而形成点云数据。同时该设备也可以利用Riscan Rro软件处理点云数据。本次项目中为保证数据处理精度, 选择连续采集三期点云数据。在数据布点期间, 按照上述公式(1)计算现场布点的误差值情况, 最终测试结果显示水平角内符合误差为 $25.321''$ 、水平角外符合误差为 $40.199''$ 、测距内的符合误差 5.192mm 、测距外的符合误差 10.103mm , 各项数据满足表1的参数要求, 因此可认为其数据精度是科学合理的。

在数据处理中, 将三期点云数据导入到SCENE中去噪后, 仅保留试验区域的点云资料, 再将资料导入到3D处理模型中, 通过任意配准两个点云的方式建立三维模型, 并在该模型的基础上提取建筑结构的变形量。整个处理操作步骤为:

步骤①, 先扫描建筑物周边的控制点位, 连续扫描三次后即可将其中的点云数据导入到SCENE中实现去噪、滤波以及拼接。

步骤②, 将拼接后的点云数据导入到3D处理模型建立建筑结构的三维模型, 此时通过任意控制点配准监测点位的坐标数据。

步骤③, 确定配准坐标值后即可利用3D处理模型提供的“对比检测”工具获得建筑物的变形情况, 此时工作人员可以按照处理要求分别界定不同的变形量消除点云误差, 点云误差处理方法如上文。在误差处理后, 即可获得建筑物任意方向的数据变化情况, 用于综合判断结构变形情况, 例如可在支护结构单独提取并保留沿y轴方向的变形情况等。

步骤④, 为更方便相关人员了解, 可通过调整色阶

的方式, 用不同颜色展示建筑物的变形情况。例如模型颜色显示建筑物为绿色, 则证明建筑物无变形, 或者变形量处于安全状态下。随着变形量的增加, 建筑模型中的红色逐渐加深, 便于鉴别。也可以采用位移数值的方式显示任意观测点的数据位移变化, 本文将详细记录不同点位下观测的建筑物单片位移情况, 其详细资料如表2所示。

表2 案例建筑物的单点位移数据(单位: m)

监测点位	X轴偏差	Y轴偏差	Z轴偏差
1号点位	-0.001	0.002	-0.005
2号点位	0.000	0.000	0.001
3号点位	-0.005	-0.001	0.003
4号点位	-0.001	0.003	-0.006
5号点位	0.000	0.002	0.001
6号点位	0.002	-0.001	0.002

根据表2对案例建筑物的单点位移监测结果可以发现, 该建筑物在深基坑项目施工后, 建筑物所监测的各个点位发现位移情况, 但各项位移量较小, 位移量集中在 $-0.006 \sim 0.003$ 之间, 基本不会对建筑物结构稳定性产生影响, 因此可认为本次深基坑项目没有对建筑结构稳定性产生影响。

结束语: 工程建筑变形监测及其数据处理结果成为评价建筑物性能的关键, 根据本文研究结果可知, 针对工程建筑变形监测问题, 需要工作人员充分发挥信息系统的技术优势, 在有效消除数据误差的基础上实现建筑变形的快速监测。而结合所选案例工程的应用经验也可判断, 三维激光扫描技术的数据精度高, 在建筑工程深基坑项目中发挥着重要作用, 该技术可明确判断基坑工程对建筑物结构稳定性的影响, 为现场施工管理提供了必要支持, 值得推广。

参考文献

- [1]程周炳, 史立冉, 唐敏等. 建筑工程钢结构施工质量管理关键点分析[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(06): 184-186.
- [2]张建华, 马勇, 郑文科. 地铁沿线建筑物沉降变形监测与分析[J]. 测绘技术装备, 2023, 25(02): 6-10.
- [3]员嵩. 建筑工程地基沉降和黄土湿陷变形监测技术[J]. 江西建材, 2023, (03): 89-90+95.
- [4]赵娜. 建筑工程基坑变形监测分析研究——以蚌埠某建筑工程为例[J]. 西部资源, 2023, (01): 41-44.