基坑变形监测中三维平差数据处理的应用

谢海松
安徽建筑大学设计研究总院有限公司 安徽 合肥 230000

摘 要 基坑变形是基坑工程施工建设期间需要重点关注的问题，直接关系基坑工程的建设质量与效果。结合新时期工程项目建设发展的背景，本文以基坑变形问题为主要研究对象，着重从基坑变形监测的角度，以实际的基坑工程施工建设情况为例，在梳理针对基坑运行情况的监测方案前提下，依据对工程项目施工建设的方案与要求，在工程现场的基坑位置布设监测网，并设置监测点，构建三维平差处理模型，进而依据工程现场的实际情况，重点探讨应用三维平差方法对基坑变形监测数据进行处理的思路。研究结果证明，三维平差数据处理方法可以作为基坑变形监测的有效方法，在后续的工程项目施工建设期间，可以应用该方法来保障基坑部分的施工质量。基于此，本研究旨在为提升基坑变形监测精度提供借鉴和参考。

关键词 基坑变形监测；三维平差数据；数据处理

Application of Three-Dimensional Adjustment Data Processing in Foundation Pit Deformation Monitoring

Xie Hai-song
Design Research Institute Co., Ltd. of Anhui Jianzhu University, Hefei 230000, Anhui Province, China

Abstract Foundation pit deformation is a critical concern during the construction of foundation pit engineering, as it directly affects the construction quality and performance of the project. In the context of engineering project development in the new era, this paper takes foundation pit deformation as the primary research object, focusing on the monitoring of such deformation. Taking an actual foundation pit engineering project as a case study, and based on a review of the monitoring scheme for foundation pit operation, this study establishes a monitoring network and sets up monitoring points at the foundation pit location on site in accordance with the construction plan and requirements of the project. A three-dimensional adjustment processing model is then constructed. Subsequently, based on the actual site conditions, the paper explores in detail the approach of applying the three-dimensional adjustment method to process foundation pit deformation monitoring data. The research results demonstrate that the three-dimensional adjustment data processing method can serve as an effective approach for foundation pit deformation monitoring, and can be applied during the subsequent construction phases of engineering projects to ensure the construction quality of the foundation pit. This study aims to provide a reference for improving the accuracy of foundation pit deformation monitoring.

Key words Foundation Pit Deformation Monitoring; Three-Dimensional Adjustment Data; Data Processing

三维平差数据是一种基于空间三维坐标与初始坐标对比分析结果，计算针对被监测物体水平与竖向位移变化情况的方法，可以有效预防被监测物体产生的较大位移形变情况。这种数据处理的方法，现阶段通常可以应用于基坑工程建设期间，重点针对基坑变形情况进行监测与计算分析。伴随新时期科学技术的不断发展，越来越多先进的空间坐标监测工具与算法，可以用于获取空间三维坐标，为三维平差数据处理提供技术方面的支持与保障。

1 基坑变形监测背景条件

1.1 工程概况

为探究基坑变形监测方法的应用情况，选择某电力通道工程的基坑施工作业情况为例。该案例工程在对现场作业情况进行勘察分析后，初步设计工程基坑深度为7 m，并规划在基坑冠梁顶部位置设置监测点，且要求监测点始终贴近城市道路一侧。基于保障基坑变形监测结果准确性的目的，该工程在基坑变形监测期间引入智能型测量机器人，并明确对基坑变形监测数据的质量控制要求，设计构建针对监测数据进行处理的系统平台，在系统平台中融入三维平差数据处理的方法，兼顾对基坑变形数据的监测与预警功能[1]。

1.2 监测方案规划

依据以上案例工程的情况，在规划针对基坑变形的监测方案时，采用闭合导线测量与水准测量两种方法来建立监测控制

网，进而依据监测控制网中的监测点位，启动测量机器人，在经由设备获取基坑变形监测数据后，将其输入至数据处理系统模块中，进而构建三维网平差模型，实现对基坑变形监测数据的处理分析。

2 基坑变形监测中三维平差数据处理的应用要点

在明确基坑工程总体建设情况与针对基坑变形情况进行监测的方案思路后，主要可以从以下几方面入手，探讨应用三维平差数据处理方法对基坑变形情况进行监测的具体过程。

2.1 基坑变形监测网布置与设站监测

案例工程在充分调查工程现场施工环境条件后，共计规划设置6个基准测量点，而基坑变形监测点则设置在靠近基坑护坡边缘的位置，以基坑边坡深度30 cm为设置标准，共布设18个监测点，且控制每个监测点之间的间隔距离以20 m为标准。

以确定的基坑变形监测网与监测点位置为依据，案例工程主要应用了以伺服全站仪为基础的测量机器人，依靠该类设备具备的集成测量目标自动识别技术，在自动识别并照准测量棱镜的情况下，完成针对基坑变形情况的自动测量。

在实际应用该设备时，主要遵循以下步骤：①依据工程方案确定监测精度标准，先通过边角网或GPS网测量获取基准点平面坐标，并采用精密几何水准测定高程[2]。②在现场通视良好处架设测量机器人，对基准点的斜距、天顶距及水平方向进行观测，经平差计算得到测站三维坐标。③利用极坐标法观测各监测点，获得其三维坐标后，与基准数据作差分析，并通过图表形式呈现位移情况。

为保障这种设站监测方法的结果准确性，要求在工程现场设置2个以上的自由设站点，且各个具体的测站应对3个以上的观测点进行重复观测，要求每个具体测点涉及2个方向的边角交会，作为后续对三维平差数据进行计算与处理的依据。

2.2 构建三维网平差模型

在获得针对基坑变形情况的监测数据后，引入数据处理系统平台，主要运用数据处理平台中的平差文件生成、平差软件调用以及平差成果输出等功能，在将经由测量机器人获取的基坑变形监测数据传输至系统后，调用系统中的测量平差软件，构建三维平差模型，自动生成平差数据，并对其进行处理分析。

在构建三维平差模型时，考虑工程项目的实际，基坑变形监测范围通常不超过500 m，因而可以在监测期间忽略大气折光系数对监测结果准确性的影响[3]。在明确这一前提条件后，明确工程现场测量机器人实际设置的监测站点与监测点位，获取反映基坑变形情况的方位角、天顶距、斜距观测值等数据，则可以构建针对监测点的三维平差计算方程。

以方位角这一监测指标为例，在对监测数据进行计算分析时，主要可以通过以下公式实现：

$$\alpha_{MN}=\arctan\frac{Y_N-Y_M}{X_N-X_M} \tag{1}$$

$$a_M=a_N-\angle i'MN'\pm 180^\circ \tag{2}$$

式中，i—站点；M、N—基坑现场的已知控制点；S_M、S_N—斜距观测值；A_M、A_N—天顶距观测值；L_M、L_N—水平方向观测值；a_{MN}—M点到N点的方位角；a_M—站点I到M点方向的方位角。

在获取以上监测数据后，可以整理得到针对站点的具体坐标如下：

$$X=X_M-S_M\sin A_M\cos a_M \tag{3}$$

$$Y=Y_M-S_M\sin A_M\sin a_M \tag{4}$$

$$Z=Z_M-S_M\cos A_M \tag{5}$$

依据以上计算获得的站点测量坐标值，考虑测量期间可能存在的误差情况，主要涉及测站点至基准点的倾斜距离误差、测站点到基准点的天顶距离误差以及测站点到基准点的水平距离误差三种情况，应用三维平差数据处理的方法，需要在系统模块中生成误差方程后，对误差方程进行线性化处理，以便确保得到针对相应指标误差情况的近似值。以斜距误差方程为例，其方程用公式表示如下：

$$v_{x_{ij}}=\frac{x_j-x_i}{S_{ij}}dx_i-\frac{Y_j-Y_i}{S_{ij}}dy_i-\frac{Z_j-Z_i}{S_{ij}}dz_i+\frac{x_j-x_i}{S_{ij}}dx_j+\frac{Y_j-Y_i}{S_{ij}}dy_i+\frac{Z_j-Z_i}{S_{ij}}dz_j-(S_{ij}-S_{s_{ij}}) \tag{6}$$

式中，$v_{x_{ij}}$—斜距观测值的改正数；S_{ij}—测量机器人观测到的测站点i到目标点j的实际斜距观测值；i—测站点；j—目标点；x_j、Y_j、Z_j—目标点三维坐标的平差值；x_i、Y_i、Z_i—测站点三维坐标的平差值；dx_i、dy_i、dz_i—测站点三维坐标近似坐标差；dx_j、dy_j、dz_j—目标点，三维坐标等近似坐标差；$S_{s_{ij}}$—测站点与目标点之间的近似斜距。

将以上方法运用到案例工程项目监测中，明确案例工程现场实际设计的监测点之间间距并未超过400 m，且在实际监测期间，严格按照自由生产法的相关作业标准要求，在获取各个监测点的原始监测值后，将原始监测值输入至数据处理系统中，

并以三维平差方法进行处理，得到的针对案例工程现场的监测点位两期监测结果如下：在针对JV01监测点的结果进行平差处理后，得到的第一期针对该监测点的三维坐标值精度误差结果分别为0.59 mm、0.47 mm、1.14 mm，第二期精度误差结果为0.91 mm、0.19 mm、0.83 mm；对JC02监测点的结果进行平差处理后，得到的第一期针对该监测点的三维坐标值精度误差结果分别为0.35 mm、0.89 mm、0.30 mm，第二期精度误差结果为0.85 mm、0.50 mm、0.53 mm。

依据获得的这些数据，可以明确基坑位移监测期间产生的最大误差监测点位，并明确最大误差值是否超过事先设定的基坑变形监测误差标准。若未超过，则表明基坑变形监测的精度较高，可以满足基坑工程施工建设的监测质量要求。

2.3 观测值定权

在获得以上针对三维平差数据的误差方程后，还需要通过观测值定权的方式，保障基坑变形监测的精度效果。在确保实际监测中，观测3个以上基准点的前提下，需要以冗余观测量为依据，可以应用Helmet方差分量估计的方法，在对获取的沉降观测结果进行权重分配后，以方位角观测值的误差作为单位权重误差，则可以在计算工程现场设站点位的权重误差后，对观测值的单位权重估计值进行计算分析[4]。这一过程中，主要依据以下公式，支持对实际观测值的定权处理：

$$P_i^{t+1} = C\int_2^0 (P_i^t)^{-1} \quad (7)$$

式中，P_i^{t+1}—第t时刻第i个对象的观测值；$(P_i^t)^{-1}$为P_i^{t+1}的倒数；C—常数系数，可以依据观测值结果，对常数系数进行调整。

依据以上方法，利用该公式对设站观测值进行反复迭代计算，直至迭代结果收敛，即可完成观测值的定权。

基坑位移监测中，设站点的定位精度主要受控制点数量和分布位置的影响。为分析二者与点位精度的关系，可将这两个因素作为变量，研究单个因素变化时对观测值精度的影响。通过Matlab仿真实验可以对设站观测精度进行分析。已有研究表明，增加控制点数量能显著提高设站点位精度。

2.4 三维平差数据计算与处理

在建立观测值权重分析模型并求解权重矩阵后，通过最小二乘法求得改正值，修正监测点坐标，即可获得平差处理后的三维坐标。为验证精度，需计算监测网的协因数阵，并检查单位权中误差是否合理。同时，统计平差后各点的三维坐标误差，与三维平差模型的预测结果对比，以分析其是否符合实际变形情况。

案例工程中，在采用测量机器人及三维平差方法的同时，辅以电子水准仪进行校验。对比发现，三维平差方法所得坐标的平均误差小于0.2 mm，高程误差小于0.1 mm，满足工程监测要求[5]。这表明三维平差方法能有效提升监测精度，但其应用需依赖先进仪器，各项目应结合自身条件考量其适用性。

2.5 三维平差数据处理的方法建议

三维平差处理方法的应用依赖于数据处理系统。在对基坑变形进行监测时，可直接将该方法整合到系统处理模块中。系统输入测量数据后，能自动生成标准格式的电子手簿，将不同阶段的监测数据存入对应数据库，并提取可直接用于平差处理的数据。系统根据监测要求，通过内置算法自动输出三维平差结果，并生成可视化图表，便于后续分析[6]。

3 结束语

综上所述，三维平差数据处理方法的应用，对提升基坑变形监测结果准确性具有重要的作用。在明确基坑工程总体建设情况的前提下，应事先构建覆盖基坑工程全部范围的监测网，并合理布置基坑变形监测点位，进而运用机器人等更为先进的观测工具，获取准确的监测信息后，以构建三维平差模型的方式实现对三维平差数据观测值的定权，进而通过三维平差数据的计算方法，对获得的基坑监测数据进行处理，以此获得更为准确的反映基坑变形情况的数据信息。

参考文献

[1]白健燕.三维平差自由设站法在基坑监测中的应用研究[J].资源导刊,2025(14):38-40,44.

[2]王羽楠.三维平差数据处理在基坑变形监测中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(6):185-187,191.

[3]王小龙,康玲,董岚,等.附有高程约束的三维平差方法研究[J].强激光与粒子束,2022,34(8):88-96.

[4]段伟.在基坑监测中自由设站结合三维整体平差的应用[J].科学技术创新,2022(12):41-44.

[5]孙选科,王海荣.高层写字楼深基坑监测技术应用研究[J]. 散装水泥,2022(6):131-133,136.

[6]林华捷.建筑深基坑监测技术探讨[J].工程建设与设计,2021(19):36-40.

（本文编辑 曹 阳）

