

大地测量数据处理中的误差分析与校正

杨江涛 毛云松

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i11.2010

[摘要] 随着测绘学科领域的蓬勃发展,大地测量致力于对地球的形状、大小以及重力场等参数信息进行精准测定,以此为众多行业领域提供基础的数据支持。因大地测量作业可能受到多方面因素的影响,测量数据误差问题无法避免,基于此,本文简述了大地测量数据处理中的误差来源,并聚焦于大地测量数据处理中的误差分析与校正技术展开研究,以期能够助力测量数据精度的提高,全面保障数据可靠性,彰显高质量数据处理在科学发展建设过程中的重要价值。

[关键词] 大地测量; 数据处理; 误差分析; 校正技术

中图分类号: P111.31 文献标识码: A

Error analysis and correction in geodetic data processing

Jiangtao Yang Yunsong Mao

China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design and Research Institute Co., LTD

[Abstract] With the vigorous development of surveying and mapping discipline, geodetic surveying is committed to the accurate determination of the shape, size and gravitational field parameters of the earth, so as to provide basic data support for many industries. For geodetic operation may be affected by many factors, the measurement data error problem, based on this paper describes the error source in geodetic data processing, and focus on the error analysis in geodetic data processing and correction technology, in order to help the increase of accuracy of measurement data, comprehensive guarantee data reliability, reveal the important value of high quality data processing in the process of scientific development and construction.

[Key words] geodetic survey; data processing; error analysis; correction technique

近些年,随着北斗卫星导航系统的完善,我国在大地测量数据处理中的误差分析与校正方面取得了显著进展,诸多大地测量数据处理误差分析与校正技术软件被研发出来,在大地测量及其他测绘领域均得到了广泛应用。即便如此,因大地测量数据的信息量巨大,目前的算法精度与技术效率并不能完全满足测量需求,促使大地测量数据处理中的误差分析与校正技术研究成为推动行业领域发展的主流方向。

1 大地测量数据处理中的误差来源

1.1 仪器误差

全站仪作为大地测量中常用的仪器设备,测角与测距精度都会直接影响测量结果的准确性,受到仪器精度限制造成的误差,会在长距离且高精度要求的测量任务中呈现出更为显著的影响。除全站仪外,水准仪也是造成仪器误差的主要载体,国家高精度水准仪测量标准要求,每公里往返测量结果的误差应控制在0.5mm以内。长距离的水准测量作业中,根据误差传播定律,可能会出现误差的累积现象,如果工程对大地测量数据的要求严格,累积后的误差可能会超出允许范围。在测量仪器设备的长

期使用过程中,不可避免的会出现仪器的老化或零部件的磨损问题,导致测量数据处理误差逐渐增大。

1.2 观测误差

观测者的专业经验与技术水平会直接影响观测结果的准确性,经验丰富的观测人员,能够熟练运用仪器设备自带的瞄准装置,从而将照准误差控制在较小的范围内。如果观测人员经验缺失,操作不熟练,在照准过程中可能因晃动等原因导致偏离测量目标,照准误差增大。受到观测人员的视觉判断能力与估读能力的影响,可能会出现读数偏差问题,严重影响测量结果的准确性。此外,观测环境中的多种因素同样是造成观测误差的主要诱因,如温度会诱发测量钢尺热胀冷缩的特性;湿度会对测量仪器的光学部件以及电子元件性能产生干扰;风力会导致水准尺发生倾斜等,都会导致读取的数据结果不准确。

1.3 数据处理误差

在进行大地测量数据的处理时,数学模型的选择至关重要,决定着最终测量结果的准确性与可靠性。在实际测量的过程中,标准化的假设条件大多难以满足,受到观测环境特殊性的

影响,观测结果受到耦合作用,导致其误差分布违背了正态分布要求^[1]。同时,大地测量数据处理过程中,算法的收敛性与近似性也是不可忽视的误差来源,以迭代算法为例,在函数非线性程度较低时,近似性能够快速收敛到更为准确的数据值,但大地测量涉及诸多复杂的物理过程与参数估计问题,在算法近似性特征的影响下,经多次迭代仍无法获得准确的结果,导致误差逐渐扩大。

2 大地测量数据处理中的误差分析方法

2.1 误差传播定律

误差传播定律是大地测量数据处理中至关重要的理论基础之一,用于阐述误差与其函数中误差之间的紧密关系,在实际的大地测量作业中,许多被测量对象并无法进行直接的观测,而是需要借助与直接观测值相关的函数运算方式进行获取。由于观测值误差问题的存在不可避免,但这些误差会随着函数运算的方式传递至最终的测量结果,从而影响测量精度。误差传播定律在大地测量领域有着更为广泛的应用。以大地水准测量作业为例,通过测量多个测站的高度差进行观测点之间高差的确定,根据误差传播定律,随着测站数的增加,总高差随着增大。因此,为了控制大地水准测量作业误差,应当合理规划测量路线,尽可能减少测站数量,提高测站观测精度。在导线测量作业中,误差传播定律的作用同样关键,通过对导线边长度与转折角进行测量,能够实现对导线点坐标的计算,随后利用误差传播定律,计算导线点坐标的误差值,以此清晰了解测量误差对大地测量导线点坐标精度的影响,从而为后续的测量数据处理与精度评估提供重要依据。

2.2 统计分析法

在大地测量数据处理作业中,应当深入计算测量数据的均值、方差与标准差等统计数据特征,以此实现对数据离散程度的精准分析,将分析过程视作为统计分析法。其中,均值能够直观的展现出数据信息的集中趋势,有助于相关人员快速了解测量结果的平均水平;方差用于对数据与其均值之间的差异程度进行衡量,方差值越大,表明数据的离散程度越大,证明数据的分布较为分散;标准差是方差的平方根,在衡量数据离散程度方面发挥着重要意义,与方差的作用相近,但因标准差与原始数据更加贴近,有利于进行直观的数据理解与对比分析,标准差与大地测量数据的稳定性呈反比例相关关系。大地测量数据中存在诸多异常值问题,严重干扰测量数据处理的准确性与可靠性,因此要利用有效的统计方法对异常值进行检测与处理。如果检测出存在异常值,应当采取合理的处理方式,如果异常值是由测量仪器故障或观测人员的错误操作导致,可以直接将错误数据删除,并重新进行观测^[2]。如果异常值并非由明显的错误引起,就要考虑其是否反映出大地测量环境中存在特殊情况或潜在变化风险,从而采取数据插补的处理方式,以此获取更为合理的测量数据值,既能够保证测量数据的连续性,又避免异常值影响后续数据分析的精准度。

2.3 残差分析法

残差是大地测量数据处理中的关键性指标,直接影响着测量数据判断质量,残差分析处理法的计算主要基于测量值与模型预测值之间的差值。通过对残差的深入分析,数据处理人员能够获取更为丰富的数据信息,以此对测量数据的质量进行评估,如果残差计算结果呈现出无规律的随机分布状态,代表测量数据质量较高,数据处理模型与实际测量情况之间的拟合性较强。反之,如果残差值存在明显的规律性变化,包括但不限于周期性波动、逐渐增大等趋势,考虑其是否暗示大地测量数据存在问题,或者证明现阶段采用的数据处理模型并不适用。根据残差分析结果,针对性改进数据处理模型,以此提高大地测量精度,并对改进后的数据处理模型再次进行残差计算,观察残差变化趋势,判断改进后模型与大地测量对象之间的拟合效果。

3 大地测量数据处理中的误差校正策略

3.1 测量仪器的校准与维护对测量仪器进行定期校准是保障大地测量精度的关键举措,作为常用的大地测量仪器之一,全站仪校准涉及到多个方面,包括角度测量校准、测距校准等多个维度。使用高精度的角度标准器,用全站仪的望远镜以此瞄准多面棱的反射面,以此测量角度值,将测量结果与标准角度值进行对比,计算角度偏差,如果偏差值超出阈值范围,则需要调整全站仪的测角系统,以此确保角度测量的准确性。在进行测距校准时,主要借助长度已知的标准基线,进行多次的测距测量,同样与标准基线长度进行对比,计算测距误差。水准仪的校准也有重要意义,将水准仪安置在两个水准点之间,分别竖立水准尺进行读数,计算水准仪测量高度差,并将水准仪安置在其中一个水准点附近,再次进行读数,如果两次计算结果差异显著,说明需要调整水准仪的水准管校正螺丝,以此保证水准测量精度。此外,仪器设备的日常维护也是减少大地测量数据处理误差的重要路径,在仪器的使用过程中,应保持仪器设备的清洁性,并做好仪器设备电子部件的防水、防潮处理。所有大地测量仪器,都不能长时间的暴露在高温或强磁场环境中,否则会影响仪器的测量性能与测量精度,只有做好仪器的校准与维护工作,才能有效避免发生误差问题。

3.2 优化观测方法

大地测量结果还会受到观测时段的影响,这与地球自身的运动以及外界环境的动态变化息息相关。以卫星定位测量为例,卫星的轨道位置会随着时间的变化而变化,不同时段卫星的几何分布情况存在差异,且卫星分布的零散性与定位精度呈正比例相关关系。为了确定最佳观测时段,应当综合考虑多种影响因素,通过长期的观测数据积累分析,建立观测时段与测量精度之间的关系模型,提前预测不同时段卫星分布情况,以此为依据选择更为合适的测量时间,有效提高大地测量精度与数据处理的可靠性。此外,通过增加观测次数与冗余观测的方式,能够有效提升测量数据精度,减少随机误差的概率与影响,使数据精度随着观测次数的增加而提高,实现对大地测量数据误差的校正效果。冗余观测有利于及时发现并剔除误差问题,重新进行测量,保证大地测量数据结果的准确性与可靠性。同时,要对观测方案

进行合理设计,根据大地测量任务需求与测量数据精度要求,确定合适的观测方式与观测次数,采用多种冗余观测相结合的方式,提高数据误差控制效果^[3]。

3.3 数据处理算法改进

在大地测量数据处理过程中,抗差估计方法能够起到有效的误差校正作用,显著提高数据处理的稳定性。通过构建特定的目标函数,对异常值进行合理的降权处理,有助于降低粗差对整体测量数据处理结果的影响。不同的权函数会导致出现不同的抗差性能,充分利用观测数据中的有效信息,当残差较大时,权函数会转变为线性函数类型,降低异常值的权重,有效控制误差干扰。此外,还可以积极采用IGG估计算法,能够针对不同大小的残差进行分段函数处理,将残差分为三类,赋予不同类别残差的权重,通过分段式的权函数设计,展现出IGG估计算法良好的抗差性能。自适应滤波算法也是大地测量数据处理中的有效误差校正策略,能够根据测量数据的实时变化情况,动态调整滤波参数,提高大地测量数据处理精度。自适应滤波算法中应用较为广泛的卡尔曼滤波算法,基于状态空间模型,对大地测量数据进行预测与更新处理。自适应最小二乘滤波算法根据观测数据的统计学特性,对观测值的权重进行动态调整,以此在不同的噪声环境下,确保滤波算法结果更为真实,提高大地测量数据误差校正效果。

3.4 大地测量校正技术

大地测量中,地球并不是一个规则的球体,为了对地球表面的位置信息进行精确描述,诞生了椭球体高和大地水准面高的校正方法。受到地球曲率与投影方式的影响,测量数据误差现象频发,为消除误差问题并实现误差校正,可以利用已知的大地水

准面高数据,参考椭球面的高差进行数据转换,有助于提高测量精度,并为后续的大地测量数据处理提供可靠依据。同时,光束法平差也是较为重要的误差校正方法,基于共线条件方程,统一处理观测方程,以此描述数学模型之间的几何关系。在应用大地测量校正技术的过程中,通过对观测数据的平差处理,能够有效消除各种因素导致的坐标偏差与数据误差影响,构建更高精度的三维模型。

4 结语

综上所述,大地测量数据处理中的误差主要来源于仪器误差、观测误差、数据处理误差三方面,常见的误差分析方法包括误差传播定律、统计分析法、残差分析法等。为解决大地测量数据处理中的误差问题,应当积极探究误差校正策略,通过对测量仪器进行校准与维护,优化观测方法,改进数据处理算法以及应用大地测量校正技术等路径,为我国测量技术与数据处理水平的发展奠定有利基础。

[参考文献]

- [1]刘晓云,卫玄烨,刘小鹏,等.VBA技术在大地测量数据处理中的应用[J].测绘技术装备,2023,25(4):57-60.
- [2]冯义楷,陈冠旭,刘杨,等.海洋大地基准点位置标定误差影响因素分析[J].测绘科学,2023,48(4):22-38.
- [3]黄立刚,贾晓蓉,王建文,等.测量结果之间允许误差的探讨[J].经纬天地,2024(5):16-20.

作者简介:

杨江涛(1983--),男,白族,云南剑川人,高级工程师,研究方向:工程测量,大地测量。