

桥梁施工控制测量三维坐标转换误差分析及高精度控制方法创新

谢易

陕西信兴铁路人力资源管理有限公司青岛分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i6.8083

[摘要] 建筑工程质量直接关系到人们生命财产的安全，尤其是在桥梁施工，作为连接跨越性两地的重要建筑结构，一旦出现误差，导致自身质量不达标，很容易造成巨大的灾难。所以做好误差控制是当前桥梁建筑的重点所在，其中施工控制测量三维坐标转换误差分析及高精度控制方法作为桥梁施工控制中的重点，对整个桥梁建筑施工有着重要的意义，本文主要对此进行分析，希望对相关的从业人员有一定的参考。

[关键词] 桥梁施工；测量三维坐标；转换误差；高精度控制方法

Analysis of three-dimensional coordinate transformation error and innovation of high precision control method in bridge construction control surveying

Xie Yi

Qingdao Branch of Shaanxi Xin Xing Railway Human Resources Management Co., LTD.

[Abstract] The quality of construction projects directly affects the safety of people's lives and property, especially in bridge construction. As a critical architectural structure connecting two distant areas, any errors can easily lead to significant disasters if the quality standards are not met. Therefore, controlling errors is a key focus in current bridge construction. Among these efforts, the analysis of three-dimensional coordinate transformation errors in construction control surveying and high-precision control methods are particularly important for the entire bridge construction process. This paper primarily analyzes these aspects, aiming to provide useful references for relevant professionals.

[Key words] bridge construction; measurement of three-dimensional coordinates; conversion error; high precision control method

引言：

三维坐标转换是桥梁施工控制测量的核心内容，主要是将不同坐标系下的测量数据进行转换，形成统一的格式，这样才可以进行后续的运用。但是三维坐标转换由于参照系特点的不同，因此会产生一定的误差，这些误差是无法避免的，如果这些误差较大，就会影响后续桥梁的制造，导致桥梁结构安全以及使用寿命等出现问题，所以面对这样的情况，需要做好三维坐标转换误差分析及高精度控制，这样才可以实现其有效的发展和应用。

一、桥梁施工控制测量三维坐标转换误差分析

（一）误差来源

测量仪器是桥梁施工控制测量中的关键设备，测量仪器的精度指标、系统误差和随机误差均会对三维坐标转换造成影响。全站仪是现阶段应用最广泛的测量仪器，由于其属于测量工具，在使用全站仪进行角度测量时，必然受制于全站仪本身的一些因素的影响，如制造工艺、轴系误差、度盘刻划误差等，例如如果出现全站仪横轴与竖轴不垂直的情况，则对进行角度测量时就会有系统误差存在，使得在进行角度测量过程中测量得到的角度值和真实值之间有所差别，然后在三维坐标转换时利用了三角函数关系得出转换后坐标存在一定的误差；相位式

全站仪采用调制光在测线上往返传播产生的相位差来测定距离，距离测量存在仪器的测距原理、反射棱镜质量以及大气折射等因素的影响。相位式全站仪测距误差的产生主要是因为仪器的相位测量精度有限或反射棱镜的反射率不稳定等造成的。

温度的变化对测量精度影响很大。全站仪及其他测量仪器多数都是用金属或光学玻璃等制作的，而这些材料热胀冷缩程度不一样，所以如果温度发生改变时，仪器各个零部件会产生热胀冷缩现象，使仪器的几何尺寸发生改变，例如：全站仪的望远镜筒受热后产生伸长变形，会使得望远镜的视准轴发生偏移，这时对角度测量值带来了一定误差，在三维坐标转换后其会进一步放大，导致最终获得的结果产生了变化；用钢尺进行测量时，如果温度变高了的话，则会导致钢尺的长度变长，用这样的尺子去测量的距离就会更长，如果温度变低了，则会导致钢尺的长度变短，那么用这样的尺子去测量距离就相应地变短了。

人为操作失误是造成测量误差的原因之一；测量点位的选择决定了测量工作的准确度，点位选择不正确会影响到测量结果；在选取测量控制点时要选择视野开阔，便于观察的，不容易被破坏的地方，在此范围内控制点不能靠近建筑物或高压线以及其它干扰源，避免影响到所测得的数据；在桥梁墩台定位测量时，控制点的测设不可见的情况时，一些测量人员只图数据收集便利，在实际测量中会把测得的数据点与其它干扰源结合起来判断定位，由于墩台属于桥上的高大建筑物，选择不合理的位置进行测量将会使得角度或距离发生偏差，那么经坐标换算后的墩台位置就会偏移。

（二）误差传播的影响

在桥梁施工中，当桥梁中墩、台定位时因三维坐标转换产生的误差会对桥梁各部分的位置准确度造成影响，并进而影响到桥梁的整体线形及结构的稳定性。所以桥梁墩台的定位非常重要，一旦三维坐标转换出现偏差，就会导致墩台实际位置和设计位置不相符。此时，墩台平面位置上的横向、纵向会有偏移；墩台高程会受到一定影响，高低差会出现一定的变化。桥梁线形和线位对行驶车辆的顺畅、安全有很大的影响，在桥梁控制测量中绝对不能忽略坐标转换带来的误差，否则会出现桥梁线形等一些列问题。如连续梁桥，如果因为坐标转换误差造成了节段定位的偏差，则梁体会发生线形上的不连续的情况，会造成折线或者曲线度过大，不仅使得桥梁不够美观，还会改变桥梁受力形式，在桥梁运营时受非均匀荷载而加快桥梁结构疲劳破坏。从桥梁结构稳定性的角度来讲，桥梁由于坐标转换误差造成结构定位偏差，桥梁结构内力作用状态就会发生变化，就会使桥梁结构产生多处应力集中现象，因为产生应力集中会导致部分构件出现变形，进而引起桥墩定位偏离，则会导致桥梁结构上的支点受力不一样，从而使部分桥墩所受荷载过大，而另一部分桥墩的受力却较少，会引起桥梁结构承受外力不平衡，引起结构出现较大的应力作用以及变形量过大，影响桥梁结构的承载能力及稳定性。在斜拉桥的施工中如果索塔的定位出现了偏差，则会使得斜拉索的拉力出现了不均匀的现象，让索塔以及主梁承受了不合理荷载，增加了结构失稳的概率。

二、桥梁施工控制测量高精度控制方法创新

（一）基于新技术的高精度控制方法探索

1. 智能化测量

智能全站仪、测量机器人等智能测量设备在桥梁施工控制测量中有独特的优势，是提高测量精度与效率的有效方式之一。智能全站仪是一种集合了先进电子技术和自动控制技术的测量仪器，能够实现自动目标识别、自动照准、自动测量等目的。用智能全站仪进行桥梁施工测量时，只需要输入测量目标即可快速自动完成整个过程，不需要人工手动进行瞄准，工作效率和精确度都大大提高。用智能全站仪进行桥梁墩台定位测量的时候，可以直接通过自动搜索到墩台上不同的测量标志点，然后进行自动测量，对测量的结果有效去除人为因素导致的误差，所以该类仪器在测量工作中的作用十分突出。并且在实时进行测量之后，还可以直接把相关的数据导入到计算机中或其他的设备中，在之后可以立即对这部分资料进行处理与分析。

测量机器人是典型的智能化测量设备，在桥梁施工控制测量领域有重要应用，它综合运用了机器人技术、测量技术和计算机技术，并实现了自动化和智能化的测量作业；对于桥梁变形测量来说，测量机器人可以按照预先设置的测量方案，定时自动对桥梁的几个重要部位进行测量工作，从而实现对桥梁的变形情况进行实时监测。

测量机器人还有着精度高的特点，它的测角精度以及测距精度完全符合桥梁施工控制测量的要求。在测量桥梁构件时，测量机器人可以将构件的坐标值以及姿态值进行精准的测量，为构件的正确安装打下良好的基础，在某一座桥的箱梁架设中，我们采用了测量机器人的技术来测量箱梁的安装位置，在进行测量的过程中，测量机器人很快便测得了箱梁的三维坐标与倾斜角度，同时施工人员通过测量数据及时地调整了箱梁的位置，保证了箱梁的安装精度，提高了施工效率。利用智能化测量技术能够使桥梁施工控制测量更加精准高效，也可以大大减轻测量人员的体力负担，降低测量结果受到人为因素影响的可能性，为桥梁工程的开展奠定坚实的基础。

2. 多源数据融合技术

在桥梁施工控制测量中，把 GPS、全站仪、激光扫描等多种数据融合起来加以利用，充分发挥每种数据来源的优势，对于提高测量精度以及测量可靠度都起到重要作用。GPS 可以全天候工作、全地域适应，而且 GPS 可以获得高精度的三维坐标值，可以通过在桥梁施工区域内周围的适当位置设置 GPS 控制点，然后用 GPS 接收机采集这些控制点的信息并及时更新得到控制点坐标的实时值，在桥梁施工过程中作为桥梁施工的统一测量基准，但是 GPS 也有其不足之处，例如在一些城市峡谷、山地地带等，往往会造成 GPS 信号遮挡，从而影响定位精度。

全站仪用于短距离测量和高精度测量，可测角度及距离。可用于桥梁局部施工放样测量（放样桥墩或桥梁各构件）、桥梁构件安装测量等，由于精度高，更能满足施工要求；但是全站仪的测量范围小，并受通视条件影响较大。

激光扫描技术可以通过测量的方式在较短时间内获得大量的三维物体表面信息，并通过一定的建模软件转换成高质量

的点云数据。对于桥梁变形和结构检测，在运用激光扫描技术对桥梁整个结构实现快速扫描的过程中可以获取到桥梁表面变形数据，进而利用该类数据信息对桥梁的健康状况进行评估。此外由于采集数据较多，因此存在着较大的数据处理难度。

使用多源数据融合技术，可将 GPS 数据、全站仪数据及激光扫描等多源数据有机地结合起来，在取长补短的基础上提高测量精度和可靠度。对于桥梁施工控制测量，可以用 GPS 数据确定整个桥梁的位置和姿态；用全站仪数据进行桥梁局部高精度测量；用激光扫描数据测量桥梁结构。最后将多源数据进行融合处理得到桥梁更精确的测量数据。

（二）改进的坐标转换算法研究

自适应加权方法主要通过 CARS 加权算法工具进行计算，其核心在于根据测量数据的质量和可靠性，动态地为每个数据分配不同的权重。以 CARS 算法为例，在计算的过程中，每次随机从校正集中选择一定的数量样本进行采样，其中 $|b_i|$ 为 i 个变量的回归绝对值， w_i 为 i 个变量的回归系数绝对权重，所以可以得出公式 $w_i = \frac{|b_i|}{\sum_{i=1}^m |b_i|}$ ，其中 m 为每次采样中的剩余变量数。

在实际桥梁施工测量中，由于测量环境的复杂性和测量仪器的局限性，不同测量点的数据精度可能存在差异。对于精度较高、可靠性强的数据，赋予较大的权重，使其在坐标转换计算中发挥更大的作用；而对于精度较低、可能存在误差的数据，赋予较小的权重，以降低其对坐标转换结果的影响。在使用全站仪进行桥梁控制点测量时，由于部分控制点的通视条件较好，测量数据的精度较高，而部分控制点受到周围环境干扰，数据精度相对较低。通过自适应加权方法，可以根据测量数据的标准差、测量次数等因素，自动计算每个控制点数据的权重。对于标准差较小、测量次数较多的控制点数据，给予较高的权重；对于标准差较大、测量次数较少的控制点数据，给予较低的权重。这样在进行坐标转换计算时，能够充分利用高精度数据的优势，提高坐标转换的精度。

抗差估计方法经常使用的是 Huber 估计，它定义了一个分段函数， $L_\delta(y, f(x)) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y-f(x))^2, & \text{当误差较小时, 采用最小二乘准则;} \\ \delta(|y-f(x)| - \frac{1}{2}\delta), & \text{当误差较大时, 采用线性函数来抑制粗差的影响,} \end{cases}$ 该方法是为了应对测量数据中可能存在的粗差，提高算法的稳健性。粗差的存在会严重影响坐标转换的精度，传统的最小二乘法对粗差较为敏感，容易使计算结果产生偏差。抗差估计方法通过选择合适的抗差估计模型，通过抗差估计方法，可以使坐标转换算法在面对含有粗差的数据时，依然能够保持较好的计算精度和稳定性，提高了算法的可靠性。

（三）误差实时监测与动态补偿方法

通过实时监测信息对历史数据进行分析，对于产生的误差进行范围分析，找出误差规律进行归纳，确定可接受误差的范围，进而建立动态补偿模型，该模型主要通过人工智能进行及其学习，将误差历史数据进行比对，对于误差内在联系建立数学分析，从而划定误差的范围，并据此设定相应的补偿策略是

降低误差影响，提高桥梁施工控制测量精度的重要步骤，动态补偿模型建立需考虑误差产生的来源、传播规律、实时监测信息特点等要素。

在分析误差来源时对测量仪器误差、外界环境因素、测量方法及人为因素误差以及数据处理计算误差等方面做了全面的分析。测量仪器误差：对全站仪、GPS 接收机等测量仪器的精度指标和误差特性进行了分析，通过这样的方式，综合当前误差产生的情况，并且借助信息设备建立对应的误差模型，根据全站仪测角精度和测距精度建立了角度误差模型和距离误差模型来说明测量仪器本身的误差对测量结果产生的影响。外界环境因素包括温度、湿度、风力、地形地貌等等，通过对相关试验与数据分析找出这些因素对测量误差的影响关系。数据处理与计算误差采用优化的数据处理算法以及提高计算精度的方式，避免舍入误差、截断误差及计算模型简化带来的误差。

对于建立动态补偿模型，在这过程使用了自适应滤波算法、神经网络算法等算法手段，其中利用自适应滤波算法能够根据当前的监测数据变化来改变滤波器的参数，使得补偿误差始终满足一定的允许范围，因此，在桥梁的施工过程中因为受到外界环境因素以及施工的影响，会导致监测误差大小时刻发生变化，在这种情况下，可以通过自适应滤波算法对测量数据滤波，实时调整其权值系数，并依此得到更精确的参数结果。而神经网络算法属于非线性模型，模型本身便具备对非线性的较强学习能力以及较强的非线性映射能力，可以较好地表征出测量误差本身的规律性，并能够对未来一段时间内的误差做出较为准确的预报。

三、结束语

综上所述，在当前的桥梁施工控制测量三维坐标转换误差分析及高精度控制方法之中，由于传统测量方式本身的缺陷，所以想要进行创新优化，必须结合信息技术，以及重构算法，这样才可以确保最终的结果符合施工的需求，实现工程的长远发展。

【参考文献】

- [1]穆星，张宁.基于激光跟踪仪的三维坐标转换方法[J].北京测绘，2024，38（02）：264-269.
 - [2]刘春阳，刘超.三维坐标转换的非线性 Gauss-Helmert 模型及其解法[J].测绘科学，2017，42（05）：118-123.
 - [3]孙大双，张友阳，黄令勇，等.多元总体最小二乘在大旋角三维坐标转换中的应用[J].测绘科学技术学报，2014，31（05）：481-485.
 - [4]魏二虎，殷志祥，李广文，等.虚拟观测值法在三维坐标转换中的应用研究[J].武汉大学学报（信息科学版），2014，39（02）：152-156.
 - [5]陶叶青，张生，杨娟.顾及大地高误差的空间三维坐标系统转换[J].大地测量与地球动力学，2013，33（04）：96-99.
- 作者简介：谢易（1984-），男，汉族，山东济宁人，工程师，本科，主要从事测绘（工程测量）工作。