

工程测量中误差来源分析与有效控制措施

文 / 卢富涛 西北综合勘察设计研究院

张 雷 西北综合勘察设计研究院

谭 璐 陕西省建筑科学研究院有限公司

摘要：工程测量作为工程建设的关键环节，贯穿于项目规划、设计、施工及运营维护的全过程，其测量结果的准确性直接关乎工程的质量、安全以及经济效益。在各类工程项目中，从高耸入云的摩天大楼，到绵延千里的交通干线；从庞大复杂的水利枢纽，到精细入微的工业设施，精准的测量数据都是确保工程顺利推进和成功实施的基石。一旦出现测量偏差的问题，直接会导致工程整体出现问题，影响工程的发展。所以必须做好工程测量中的误差来源分析，以及作出有效的控制方案，这样才可以确保工程顺利实施，达到预期的效果。

关键词：工程测量；测量误差；误差来源与控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.019

引言

近年来，随着国内工程建设规模的不断扩大和技术水平的不断提高，对工程测量误差的研究也取得了显著成果。在误差来源分析方面，我国工程人员不仅关注测量仪器和环境因素，还深入研究了测量方法和人为因素对误差的影响。随着我国技术的发展，当前我国已经能够做到在复杂地形条件下的工程测量中，对地形起伏、通视条件等因素导致的误差进行了详细分析，并提出了针对性的解决方法。有效提升了测量精确度，实现了测量工作的长远发展。

一、工程测量误差概述及其影响分析

（一）工程测量误差概述

在工程测量中，测量误差是指测量结果与被测量真值之间的差异。真值是指在一定的时间及空间条件下，被测量所体现的真实数值，然而，由于受到测量理论、方法、仪器精度以及环境等多种因素的限制，真值往往难以确切获得。测量误差按其性质和特点，主要可分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。系统误差是在相同条件下多次测量同一量时，误差的符号保持恒定，或在条件改变时按某种确定规律而变化的误差。随机误差则是在实际相同条件下，多次测量同一量时，误差的绝对值和符号以不可预定的方式变化的误差。粗大误差是指在一定的测量条件下，测得的值明显偏离其真值，既不具有确定分布规律，也不具有随机分布规律的误差。这三种误差是当前工程测量中误差的主要来源，在测量中需要找出误差的主要类型，这样才可以制定出具体的应对方案。

（二）误差对工程的影响分析

不同类型的误差对工程测量的精度、可靠性和工程质量有着各不相同但又至关重要的影响，有效控制误差是保障工程测量科学性与工程顺利推进的必要前提。

系统误差由于其具有恒定或按规律变化的特性，会使测量结果在同一方向上偏离真值，对测量精度产生累积性的影响。随机误差虽然单个误差的出现具有随机性，但在大量测量中服从统计规律。它会使测量结果在真值附近波动，降低测量结果的可靠性。在角度测量中，由于观测者的瞄准误差、仪器的微小震动等随机因素的影响，每次测量得到的角度值都会有所不同。这些随机误差会使测量结果的离散性增大，导致测量结果的可靠性降低。粗大误差的出现会严重歪曲测量结果，使测量数据失去可靠性。在测量记录过程中，测量人员因疏忽将数据记录错误，如将角度值记录错误，那么基于这个错误数据进行的后续计算和分析都将是错误的，整个测量结果也就失去了意义。若在工程测量中没有及时发现和剔除粗大误差，依据错误的测量结果进行工程决策和施工，可能会导致工程出现严重质量问题，甚至引发安全事故。误差对工程测量的影响是多方面且严重的。系统误差影响测量精度，随机误差降低测量可靠性，粗大误差则直接破坏测量结果的可用性。因此，在工程测量中，必须高度重视误差的控制，通过合理的测量方法、精确的测量仪器以及严格的质量控制措施，尽可能减小各类误差的影响，确保测量结果的准确性和可靠性，为工程建设提供坚实的数据基础。

二、工程误差的来源分析

（一）仪器方面的问题

在工程测量中，全站仪、水准仪等仪器是获取数据的关键工具，然而其本身的精度限制是导致测量误差的重要因素之一。全站仪作为集测角、测距、测高差功能于一体的测量仪器，其测角精度通常用标称精度来表示，如 $\pm(2'' + 2\text{ppm} \times D)$ ，其中 $2''$ 表示测角的固定误差， $2\text{ppm} \times D$ 表示与测量距离 D 相关的比例误差。在实际测量中，度盘分划误差是影响全站仪测角精度的重要因素

之一。度盘在制造过程中，由于工艺水平的限制，分划间隔不可能完全均匀一致，这就导致了在读取角度时会产生误差。当使用全站仪进行角度测量时，若度盘分划误差较大，对于一些对角度精度要求较高的工程测量任务，如桥梁主墩垂直度测量，可能会导致测量结果与实际值存在偏差，影响桥梁的结构稳定性。

水准仪的精度同样对高程测量结果有着关键影响。水准仪的视准轴应与水准管轴平行，以确保视线水平，从而准确测量两点间的高差。但在实际仪器制造中，很难做到绝对平行，这就产生了视准轴误差，即*i*角误差。当水准仪存在*i*角误差时，在水准测量中，前后视距不相等会导致测量的高差产生误差，且误差大小与*i*角和前后视距差成正比。在长距离水准测量中，如果*i*角误差未得到有效控制，随着测量距离的增加，误差会不断累积，最终可能使测量的高程与实际高程相差较大，对道路、建筑等工程的高程控制产生严重影响。

此外仪器会经过长期的使用，出现老化以及磨损的情况，导致自身的精度出现问题，如图1所示。而且在仪器的使用过程中，会出现校准不当的现象，这也会造成仪器的精度出现问题，影响测量的精确度。



图1：水准仪拆解维修

（二）人为因素影响

测量人员的操作技能水平对测量结果的准确性有着直接且关键的影响。在实际工程测量中，由于部分测量人员对测量仪器的操作不够熟练，缺乏对测量原理和操作规范的深入理解，导致操作过程中出现各种不规范行为，从而引入较大的测量误差。例如，在使用全站仪进行角度测量时，对中、整平是确保测量精度的关键步骤。若测量人员操作不熟练，未能准确地将全站仪的中心与测站点位于同一铅垂线上，就会产生测站偏心误差。这

种误差会随着测量距离的缩短而对角度测量结果产生更为显著的影响。在短边测量中，即使是微小的对中偏差，也可能导致角度测量结果出现较大误差。在某小型建筑工程的基础定位测量中，由于测量人员对全站仪的对中操作不够熟练，对中误差达到了5mm，在测量边长仅为10m的情况下，根据误差传播定律计算可得，由此产生的角度误差达到了约1'，这对于对角度精度要求较高的基础定位来说，偏差已经超出了允许范围，可能会导致基础位置偏离设计要求，影响建筑物的整体结构稳定性。

水准仪的操作同样对测量人员的技能有较高要求。在水准测量过程中，若测量人员未能正确地调节水准仪的微倾螺旋，使水准管气泡严格居中，导致视线不水平，就会产生读数误差。在读取水准尺读数时，测量人员的视线应与水准尺垂直，若存在斜视，也会使读数产生偏差。在某道路工程的水准测量中，测量人员由于操作不熟练，在调节气泡时未能使其完全居中，导致视线存在微小的倾斜，在读取水准尺读数时又因斜视产生了2mm的读数误差。在该道路工程的长距离水准测量中，这种误差随着测量路线的延长不断累积，最终导致该路段的高程测量结果与实际高程相差达到了5cm，严重影响了道路的坡度设计和施工质量。

（三）自然环境的影响

自然环境因素对工程测量的影响广泛且复杂，温度、湿度、气压、风力等因素均会对测量仪器的性能和测量结果的准确性产生显著作用。

以温度变化为例。各类测量仪器多由金属、光学材料等制成，这些材料的物理性质会随温度的改变而发生变化。以钢尺为例，钢尺具有热胀冷缩的特性，其线膨胀系数一般在 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 左右。在温度变化较大的环境中进行钢尺量距时，若钢尺的实际温度与检定时温度存在差异，就会导致钢尺的实际长度发生改变，从而引入测量误差。当环境温度比钢尺检定时温度升高 10°C 时，对于一条100m长的钢尺，其实际长度将增加约12mm。如果在测量过程中未对温度进行修正，直接按照钢尺的标称长度进行测量，那么测量结果将会比实际距离短12mm，这种误差在长距离测量中会不断累积，对工程测量的精度产生严重影响。

此外施工现场也是造成影响的重要原因，例如电磁干扰。随着电子设备在工程中的广泛应用，施工现场存在着各种电磁干扰源，如高压电线、通信基站、施工机械等。这些电磁干扰会影响测量仪器的正常工作，尤其是对电子测量仪器，如全站仪、GPS接收机等。电磁干扰可能会导致仪器的测量数据出现跳变、偏差等问题，

影响测量结果的准确性。在靠近高压电线的区域进行全站仪测量时，电磁干扰可能会使全站仪的测距数据出现异常，偏差可达数厘米甚至更大。GPS接收机在受到强电磁干扰时，可能会出现信号失锁、定位错误等情况，严重影响GPS测量的可靠性。

三、工程误差控制措施

(一) 工程情况概述

某大型桥梁工程横跨一条重要河流，连接两岸交通要道，是区域交通网络的关键枢纽。该桥梁全长2.5公里，主桥采用双塔斜拉桥结构，主跨跨度达600米，边跨跨度分别为200米和150米。桥梁的塔高180米，采用钢筋混凝土结构，索塔的垂直度和塔顶位移精度要求极高，直接关系到桥梁的结构安全和稳定性。引桥部分采用预应力混凝土连续箱梁结构，梁体的高程和平面位置精度要求也十分严格，以确保桥梁与两端道路的顺畅衔接。对于测量方面，本次测量需要平面位置测量精度达到 $\pm 5\text{mm}$ ，高程测量精度达到 $\pm 3\text{mm}$ 。

(二) 工程测量误差规避方式

1. 选择高精度工具

在工程测量中，依据工程的具体精度要求，科学合理地选择仪器的精度等级是确保测量准确性的关键。不同类型的工程对测量精度有着不同的需求，在本次工程之中由于工程要求平面位置误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，高程误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。针对该桥梁工程的误差问题，采取了一系列有效的控制措施。在仪器选用与校准方面，选用了高精度的全站仪和水准仪，全站仪的测角精度达到 $\pm 1''$ ，测距精度达到 $\pm (1\text{mm}+1\text{ppm}\times D)$ ，水准仪的*i*角误差控制在 $\pm 2''$ 以内。定期对仪器进行校准和维护，每季度对全站仪和水准仪进行一次全面校准，确保仪器的精度和性能满足工程要求。在一次校准中，发现全站仪的测距模块存在偏差，经过校准和调整，使全站仪的测距精度恢复正常。

测量方法选择不当也引入了误差。在桥梁下部结构的测量中，最初采用常规的三角测量方法，由于施工现场地形复杂，通视条件差，测量过程中需要多次搬站，导致测量误差不断累积，测量精度无法满足工程要求。在数据处理过程中，由于采用的平差模型不合理，未能有效消除测量数据中的系统误差，使得处理后的测量结果与实际值存在偏差。

2. 加强人员培训

为了确保本次工程测量不会受到人为因素的干扰，因此在实际的测量工作过程中，先组织测量人员进行了专项培训，为了确保人员不会出现误差的情况，采用了

两人一组数据的测量方式，在汇总测量数据的时候，需要两人共同出具测量结果，符合双方一致认可才可以使用。

3. 环境问题的解决方案

根据工程特点和环境条件，科学合理地选择测量时间与环境是降低环境误差对工程测量影响的关键策略。在进行钢尺量距时，温度对钢尺长度的影响显著，因此应尽量选择温度较为稳定的时段进行测量。在一天中，清晨或傍晚时分气温相对稳定，温度变化较小，此时进行钢尺量距可以有效减小因温度变化导致的钢尺热胀冷缩误差。在夏季高温时段，钢尺的线膨胀系数较大，温度每变化 1°C ，100m长的钢尺长度变化约为1.2mm。若在高温时段进行测量且未进行温度修正，测量误差会随着距离的增加而不断累积，严重影响测量精度。在本次工程的场地测量中，由于合理选择了测量时间，避开了中午高温时段，在清晨和傍晚进行钢尺量距，并结合温度修正公式对测量数据进行处理，有效地控制了温度误差，使测量精度满足了工程要求。针对温度、湿度、气压等环境因素对工程测量的影响，采取有效的环境补偿措施是提高测量精度的重要手段。在温度补偿方面，对于使用钢尺进行量距的测量工作，可采用温度补偿算法对测量结果进行修正。

结语

综上所述，通过采取上述误差控制策略，该桥梁建筑工程测量误差得到了有效控制。垂直度偏差控制在 $\pm 8\text{mm}$ 以内，满足了工程对垂直度的精度要求。高程误差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，平面位置误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，均达到了设计要求。在当前常见的工程中，本次工程的经验可以大力进行推广，这样才可以有效解决工程问题，实现工程的发展。

参考文献

- [1] 石磊, 刘修刚, 郭建磊. 误差传播理论在地下贯通工程测量中的应用研究 [J]. 陕西煤炭, 2025, (03): 164-168.
- [2] 谭彬彬. 铁路工程测量中误差分析与控制 [J]. 工程与建设, 2024, 38 (06): 1283-1285.
- [3] 张群英, 辜琳瑾, 李楚璇, 等. 水利水电工程测量误差影响因素及预防措施研究 [J]. 工程与建设, 2024, 38 (06): 1290-1291+1335.
- [4] 韩支圆. 工程测量中的误差分析与质量控制策略应用研究 [J]. 工程与建设, 2024, 38 (06): 1294-1295+1298.
- [5] 苏有军. 水利工程测量中误差分析与控制策略研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38 (09): 122-125.