

# Research on the impact of bad weather on data accuracy and countermeasures in mountainous road and bridge engineering surveys

Yujun Wang

Hubei Zhongdian Survey and Design Co., Ltd., Enshi, Hubei, 445000, China

## Abstract

The construction of road and bridge projects in mountainous areas is the key and difficult point of national infrastructure construction, and the accuracy of its measurement work is directly related to the design, construction and operation safety of the project. However, the complex and changeable adverse weather conditions in mountainous areas, such as heavy rain, fog, strong winds, extreme temperature differences, ice and snow, pose serious challenges to the accuracy of data collection in engineering measurements. This paper systematically analyzes the negative impact of various typical bad weather on measurement equipment, observation conditions, control point stability and data quality, and constructs a precise response technology system. By constructing a comprehensive response strategy integrating early warning, protection, correction and backup, the interference of bad weather can be effectively weakened, the reliability and accuracy of road and bridge engineering survey data in mountainous areas can be guaranteed, and solid technical support can be provided for the smooth progress of the project.

## Keywords

mountain road and bridge engineering; bad weather; data accuracy; intelligent monitoring

# 山区路桥工程测量中不良天气对数据精度的影响及应对措施研究

汪玉军

湖北中典勘察设计有限公司, 中国·湖北恩施 445000

## 摘要

山区路桥工程建设是国家基础设施建设的重点与难点,其测量工作的精度直接关系到工程的设计、施工与运营安全。然而,山区复杂多变的不良天气条件,如暴雨、大雾、大风、极端温差及冰雪等,对工程测量的数据采集精度构成了严峻挑战。本文系统分析了各类典型山区不良天气对测量设备、观测条件、控制点稳定性及数据质量的负面影响,构建了一套精准化的应对技术体系,通过构建一个集预警、防护、修正、备份于一体的综合性应对策略,能够有效削弱不良天气的干扰,保障山区路桥工程测量数据的可靠性与精度,为工程的顺利推进提供坚实的技术支撑。

## 关键词

山区路桥工程;不良天气;数据精度;智能化监测

## 1 引言

道路与桥梁作为连接偏远地区、促进区域经济发展的动脉,其建设正日益向地形、地质条件更为复杂的山区延伸。在此类工程项目中,高精度的工程测量是确保设计意图准确落实、指导施工有序进行、保障结构安全稳定的先决条件与根本基础。从初期的控制网建立,到施工过程中的桩位放样、构件安装,再到后期的变形监测,每一个环节都对测量数据的精度有着苛刻的要求。随着我国“交通强国”战略的深入

实施与西部大开发进程的持续推进,高速公路、高速铁路及国省干道不断向地形地质条件复杂的崇山峻岭延伸,工程测量数据精度受不良天气影响愈发强烈。本文旨在通过深入剖析各类典型不良天气的影响机制,集成现代测量技术、传感器技术及信息技术,构建一个综合性的应对技术体系,以提升山区路桥工程测量在恶劣环境下的适应能力与数据可靠性,为高质量建设保驾护航。

## 2 山区不良天气类型及其对测量精度的影响机制

山区地形起伏大,气候垂直分异明显,天气复杂多变,使得路桥工程测量工作常常面临诸多恶劣环境的考验。这些

【作者简介】汪玉军(1982-),男,土家族,中国湖北巴东人,本科,工程师,从事道路桥梁设计、道桥测量等研究。

不良天气不仅影响测量人员的作业安全与效率，更会直接或间接地降低测量数据的精度，甚至导致数据完全失效。

## 2.1 暴雨天气的影响

### 2.1.1 对测量设备的直接损害

暴雨的直接冲刷和浸泡，对精密测量仪器构成严重威胁。全站仪、电子水准仪等光学电子仪器的镜头、物镜表面若被雨滴附着，会立即导致成像模糊，无法精确照准目标。雨水若通过密封不严的接口渗入仪器内部，会造成电路短路、元器件锈蚀，引发永久性损坏。对于依赖卫星信号的GNSS接收机，其天线和主机同样面临防水压力。

### 2.1.2 对测量数据的间接影响

暴雨对测量环境的改变，间接导致数据精度下降。大气中水汽含量急剧增加，会显著改变电磁波（包括光波和微波）的传播路径和速度，导致光波测距和GNSS定位产生折射误差。对于GNSS测量，这种“湿延迟”误差是影响高程精度的主要因素之一，在暴雨天气下尤为显著，可使高程误差从厘米级扩大到分米级。其次暴雨导致的地面湿滑、通视条件差，增加了测量人员的作业难度和风险，也使得对中、整平、立镜等操作环节更容易产生人为粗差。暴雨对地表土壤的冲刷和浸泡，可能引起测量控制点（特别是地面点）的位移或沉降，破坏测量基准的稳定性<sup>[1]</sup>。

## 2.2 大雾与低能见度天气的影响

### 2.2.1 光学仪器通视条件恶化

全站仪、经纬仪、水准仪等传统光学仪器的核心原理是“看得见、瞄得准”。大雾天气下，空气中的水滴和气溶胶粒子对光线产生严重的散射和吸收，导致目标（如棱镜、标尺）的对比度急剧下降，甚至完全无法辨识。这使得仪器操作员无法精确照准目标，读数困难，直接引入巨大的照准误差和读数误差。此外，地面积雪会改变测站与目标点的相对高度，并可能掩盖测量标志点，为寻找和照准目标带来额外困难。

### 2.2.2 三维激光扫描点云质量下降

三维激光扫描技术作为现代测量的重要手段，同样深受大雾困扰。激光束在穿透雾气时，能量因散射而衰减，导致有效测程大幅缩短。更严重的是，部分激光脉冲会打在雾中的水滴上并提前返回，产生大量的“噪点”或“飞点”，污染点云数据。这些噪点会掩盖真实的地物表面信息，降低点云的信噪比和密度，给后续的数据滤波、建模和特征提取带来巨大困难，严重影响地形测绘和结构物三维建模的精度与完整性。

## 2.3 大风天气的影响

### 2.3.1 仪器稳定性降低

当风力作用于全站仪、水准仪等三脚架支撑系统时，会引起仪器的微小振动和晃动。这种微动虽肉眼难以察觉，但对于高精度的角度和高度测量而言，足以引入可观的误差。例如，在进行精密水准测量时，仪器的微小倾斜会导致视线不水平，产生 $i$ 角误差。同时，大风能吹动对中杆和棱镜，使其无法严格对中、整平和保持稳定，进一步增大了目

标点的定位误差<sup>[2]</sup>。

### 2.3.2 无人机航测数据失真

无人机航测已成为山区大比例尺地形图测绘和工程进度监控的重要手段。大风天气会严重影响无人机飞行的稳定性和安全性。强风会导致无人机产生剧烈的姿态变化（如横滚、俯仰），即使搭载高精度POS系统，其定位和姿态角数据的精度也会下降。这种情况造成影像模糊、重叠度不规则，进而导致空中三角测量解算失败或精度降低，生成的数字表面模型和正射影像图出现扭曲、拉花等现象。

## 2.4 极端温差天气的影响

### 2.4.1 仪器机械部件热胀冷缩

测量仪器本身的金属机械部件（如轴系、基座）和光学玻璃会随温度变化而膨胀或收缩。这种形变会导致视准轴误差、横轴误差等系统误差的增大。虽然现代仪器在一定范围内进行了温度补偿，但在极端温差下，补偿模型可能失效，残余误差不容忽视。

### 2.4.2 控制点稳定性破坏

测量控制点，无论是埋设于地面的混凝土标石，还是锚固在岩石上的强制对中标志，其本身及周围地基都会受温度循环影响。反复的热胀冷缩会导致标石与土壤、岩石之间产生微小裂隙或位移，长期累积可能造成控制点坐标的缓慢变化（蠕变），破坏了整个测量网络的基准统一性和长期稳定性，对施工控制网和变形监测网的影响尤为严重。

## 2.5 高山冬季冰雪气候的影响

### 2.5.1 仪器电子元件与电池性能衰减

低温会显著降低电子元件的性能，导致液晶显示屏反应迟缓、对比度下降，甚至无法正常工作。最突出的问题是电池，在低温环境下，锂电池的化学反应速率降低，内阻增大，容量会急剧下降，可能导致仪器在电量显示充足的情况下突然关机，造成数据丢失。GNSS接收机和全站仪的内部时钟晶振频率也可能因温度变化而产生漂移，影响计时和测距精度。

### 2.5.2 仪器散热效率降低与冷凝风险

虽然仪器工作时会产生热量，但在极寒环境中，过快的散热可能导致内部结露。当将温暖的仪器从室内带到室外低温环境，或反之，水汽可能在仪器内部电路板上凝结，造成短路。此外，冰雪覆盖在棱镜、仪器镜头上，会完全阻断光学路径。

## 3 精准化应对技术体系构建

### 3.1 硬件抗干扰技术

防护等级提升：优先选用具备高IP防护等级的测量设备，如IP65/66/67，确保其防尘、防喷淋、防短暂浸泡。

环境适应性设计：选用宽温型设备，其工作温度范围可达-30℃至+60℃。为电池配备保温套，使用低温特种电池。

物理防护附件：配备仪器遮阳伞、防雨罩、镜头盖等，减少外界环境对仪器的直接冲击。为三脚架加装防风缆绳，增加稳定性。

专用传感器：采用带有频率校正和抑径板的大气折射 GNSS 天线，抑制多路径效应。

### 3.2 数据采集与处理技术

多系统 GNSS 融合解算：同时接收 GPS、GLONASS、Galileo 及中国北斗等多卫星系统信号，增加观测卫星数量，提升在遮挡环境下的定位可靠性和精度。

气象参数实时采集与改正：在测区同步布设便携式气象站，实时采集温度、气压、湿度数据，输入全站仪或 GNSS 后处理软件，对电磁波传播速度进行精确修正。

抗差估计与数据滤波算法：在数据处理中采用抗差估计技术，自动识别和剔除因大风抖动、雾气干扰产生的粗差。对激光点云数据，运用先进的滤波算法去除雾、雨、雪引起的噪点。

多时段观测与平差处理：对关键测量任务，增加观测回次数，在不同时段进行重复观测，通过平差计算削弱随机误差，发现可能存在的系统误差<sup>[2]</sup>。

### 3.3 智能化监测系统

测量机器人自动化监测：在关键结构物上布设测量机器人，预设监测周期，实现全天候、无人值守的自动化变形监测。

遥感与地面传感融合：结合合成孔径雷达干涉测量、无人机定期航拍等遥感手段，与地面传感器数据融合，形成“空-天-地”一体化的监测网络。

云平台与大数据分析：将所有监测数据实时传输至云平台，利用大数据和人工智能算法进行趋势分析、预警预测，为工程决策提供支持。

## 4 山区路桥工程测量中不良天气的应对措施

### 4.1 优化测量手段与设备

#### 4.1.1 选用抗恶劣环境的测量仪器

在项目采购阶段，应将环境适应性作为核心指标。优先选择具有高防护等级和宽工作温度范围的全站仪、GNSS 接收机等产品。为无人机配备防风、防雨罩，并考虑在极端天气下使用固定翼无人机以提高抗风性。

#### 4.1.2 引入多技术融合的测量方案

摒弃单一技术依赖，采用“GNSS+ 全站仪”、“无人机航测+地面激光扫描”等组合方案。例如，在雾气弥漫的谷底，GNSS 可能因信号遮挡而失效，可使用全站仪进行导线加密；而在大风天气无法稳定飞行时，则转而依靠地面测量手段。

#### 4.1.3 数据处理中的气象改正模型

强制规定在精密测距和 GNSS 静态/动态测量中，必须同步记录测站和镜站的气象元素（温、压、湿）。对于长边精密测距，应考虑使用专用气象仪沿线测量，获取更具代表性的气象参数。在后期数据处理中，严格应用相关改正模型，如使用 Hopfield 或 Saastamoinen 模型改正 GNSS 信号的大气延迟。

### 4.2 强化过程控制与应急机制

#### 4.2.1 建立气象预警与测量调度系统

与当地气象部门建立联动，获取精细化、短临天气预报。在项目部建立测量作业气象风险等级制度，根据预警信息动态调整测量计划。如发布大风、暴雨橙色及以上预警时，停止高空和野外作业；大雾天气，安排无需长距离通视的局部测量任务。

#### 4.2.2 优化测量作业流程与人员培训

优化作业流程，如选择一天中气象条件相对稳定的时段进行关键测量。加强对测量人员的技术与安全培训，使其熟练掌握在不良天气下的应急操作技能、误差识别能力和设备防护知识，培养其严谨细致的工作作风。

#### 4.2.3 构建多级控制点保护体系

在布设测量控制网时，建立“基准点-工作基点-放样点”的多级控制体系。基准点应选在地质条件稳定、受天气影响小的区域，并深埋标石。定期对各级控制点进行复测，尤其在遇不良天气后，及时核查其稳定性，确保测量基准的可靠传递。

### 4.3 智能化测量手段的应用

#### 4.3.1 北斗+InSAR 地表形变监测技术

利用中国北斗卫星导航系统的高精度服务，结合合成孔径雷达干涉测量技术，实现对桥址区、边坡等大范围区域的毫米级形变监测。该技术不受天气影响，可穿透云层，是常规测量手段在恶劣天气期间的重要补充和验证。

#### 4.3.2 自动化测量机器人系统

在特大桥、长隧道等关键工点，布设自动化测量机器人系统。该系统可编程运行，自动照准数百个监测点，实现 24 小时不间断监测。一旦发现变形超限，立即自动报警。极大地降低了天气对监测工作的制约，实现了从“间断性人工测量”到“连续性自动感知”的跨越<sup>[3]</sup>。

## 5 结论

山区路桥工程测量工作因其特殊的地理与气候环境，面临着来自不良天气的严峻挑战。本研究系统剖析了这些影响机制，并指出，单一的技术或管理措施难以完全克服这些困难。为此，须建立一个集成化的应对策略，通过“技术+管理”、“预防+修正”、“人工+智能”的多管齐下策略，最大程度地抑制不良天气的负面影响，确保山区路桥工程测量数据在任何环境下都具备高精度与高可靠性，从而为我国复杂山区交通基础设施的建设质量与长期安全运营奠定坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 张波. 工程测量在路桥施工中的重要性及具体应用要点[J]. 汽车周刊, 2025, (09): 66-67.
- [2] 刘俊莉. 市政路桥工程测量技术要点与控制方法研究[J]. 居业, 2024, (04): 87-89.
- [3] 朱俊. 路桥工程测量技术要点及控制措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (06): 147-149.