

电离层扰动对桥梁CORS网定位精度研究

张亮

四川中城华宇建设工程有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年4月10日; 发布日期: 2026年4月21日

摘要

带状CORS网络作为桥梁等线性工程控制网的替代方案, 能够为沿线施工提供全天候高精度动态位置服务。磁暴期间, 电离层异常活跃, 加之带状CORS网构型狭长, 定位精度较常规CORS网更容易衰减。本文利用西南地区某桥梁带状CORS网络2025年12月1日磁暴时期观测数据, 分析磁暴对双差电离层延迟、三种电离层内插模型精度以及网内外测站定位性能的影响。结果表明: 磁暴导致双差电离层延迟异常活跃, 严重时可使基线解算失败; 三种内插模型中, DIM模型精度最差, 双差电离层内插值偏差小于1 cm 仅占38.52%, LIM与LSC模型相对较优; 磁暴发生后, 网内与网外测站定位精度均大幅下降, 其中网外测站精度衰减更为显著, 平面精度在3 cm以上, 高程精度约4.6 cm。研究结果可为磁暴环境下桥梁工程高精度测量作业的误差控制与时段选择提供参考。

关键词

带状CORS网络, 大气延迟建模, 定位精度, 内插模型

Research on the Positioning Accuracy of CORS Network for Bridges Affected by Ionospheric Disturbances

Liang Zhang

Sichuan Zhongcheng Huayu Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Received: March 17, 2026; accepted: April 10, 2026; published: April 21, 2026

Abstract

As an alternative to linear engineering control networks such as bridges, the strip-shaped CORS network can provide all-weather high-precision dynamic location services for construction along the line. During a geomagnetic storm, the ionosphere is abnormally active, and coupled with the

文章引用: 张亮. 电离层扰动对桥梁 CORS 网定位精度研究[J]. 测绘科学技术, 2026, 14(2): 125-133.

DOI: 10.12677/gst.2026.142012

narrow and elongated configuration of the strip CORS network, the positioning accuracy is more prone to decay compared to conventional CORS networks. This article uses the observation data of a bridge strip CORS network in Southwest China during the geomagnetic storm period on December 1, 2025, to analyze the impact of geomagnetic storms on the double difference ionospheric delay, the accuracy of three ionospheric interpolation models, and the positioning performance of stations inside and outside the network. The results indicate that geomagnetic storms cause abnormally active double difference ionospheric delay, which can lead to baseline calculation failure in severe cases. Among the three interpolation models, the DIM model has the worst accuracy, with a double difference ionospheric interpolation deviation of less than 1 cm accounting for only 38.52%. The LIM and LSC models are relatively better. After the occurrence of a geomagnetic storm, the positioning accuracy of both in-network and out-of-network stations decreased significantly, with the accuracy of out-of-network stations declining more significantly, with a plane accuracy of over 3 cm and an elevation accuracy of about 4.6 cm. The research results can provide reference for error control and time selection of high-precision measurement operations in bridge engineering under geomagnetic storm environments.

Keywords

Banded CORS Network, Atmospheric Delay Modeling, Positioning Accuracy, Interpolation Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国基础设施建设的快速发展,桥梁等线性工程对高精度位置服务的需求日益迫切。连续运行参考站网络(CORS)作为现代测绘基准设施,能够为桥梁施工全周期提供全天候实时动态定位服务。对于大跨度桥梁而言,带状 CORS 网络因其沿线路布设的构型特点,成为保障桥梁控制网精度的重要技术手段。然而,带状 CORS 网络受限于其狭长几何构型,在空间大气误差建模方面存在先天不足,尤其是在磁暴等空间天气事件发生时,电离层扰动会显著影响定位服务的可靠性与精度[1][2]。

磁暴期间,电离层总电子含量(TEC)发生剧烈变化,导致 GNSS 信号穿越电离层时产生异常延迟。已有研究表明,磁暴会引发 GNSS 定位性能的显著衰减。富裕等[1]基于 ROTI 指数分析了磁暴条件下的 GNSS 测速方法,发现磁暴期间测速精度明显下降;朱佳豪等[2]对比了四种神经网络在磁暴期 TEC 建模中的表现,指出磁暴期电离层建模难度显著增加;张盛[3]系统评估了磁暴期电离层闪烁对 GNSS 性能的影响,发现闪烁事件会导致信号失锁和周跳频发。此外,韩蔡生龙[4]与魏晓萱[5]分别从 TEC 预报和磁暴扰动结构探测角度,揭示了磁暴期电离层异常的时空演变规律;王柳等[6]进一步分析了地磁暴对 GNSS 定位性能与数据质量的影响,证实磁暴期间数据质量下降明显;崔双雷[7]关注磁暴期间电离层闪烁对 GPS 精密单点定位的影响,并提出了三频周跳探测方法。

上述研究多聚焦于磁暴对 GNSS 定位的宏观影响,但针对磁暴环境下带状 CORS 网络,特别是桥梁工程控制网的定位性能研究尚不充分。桥梁带状 CORS 网络因其狭长构型,参考站分布不均匀,电离层误差内插模型的应用效果可能与常规 CORS 网存在差异。基于此,本文利用西南地区某桥梁带状 CORS 网络 2025 年 12 月 1 日磁暴时期观测数据,系统分析磁暴期间带状 CORS 网的双差电离层延迟变化特征、不同电离层内插模型的适用性,以及网内外测站的定位精度响应规律,以为磁暴环境下桥梁工程高精度定位服务提供参考依据。

2. 解算模型及电离层内插模型

2.1. 解算模型

网络 RTK 终端解算方法为短基线解算算法, 利用双差观测模型进行解算。短基线解算使用双频载波相位观测值可以很好地消除大气延迟, 后续直接固定其模糊度。以多频北斗卫星导航系统(Beidou navigation satellite system, BDS)与 GPS 组合定位模型为例, 其双差观测方程为:

$$\begin{cases} \Delta\nabla P_i^G = \Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla T^G + \delta\Delta\nabla I_i^G + \Delta\nabla\varepsilon_{\rho i}^G \\ \Delta\nabla L_i^G = \Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla T^G - \delta\Delta\nabla I_i^G + \lambda_i^G \Delta\nabla N_i^G + \Delta\nabla\varepsilon_{\phi i}^G \\ \Delta\nabla P_i^B = \Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla T^B + \delta\Delta\nabla I_i^B + \Delta\nabla\varepsilon_{\rho i}^B \\ \Delta\nabla L_i^B = \Delta\nabla\rho + \delta\Delta\nabla T^B - \delta\Delta\nabla I_i^B + \lambda_i^B \Delta\nabla N_i^B + \Delta\nabla\varepsilon_{\phi i}^B \end{cases} \quad (1)$$

公式(1)中 $\Delta\nabla$ 表示站间双差, BDS 与 GPS 使用上标 B 、 G 分别表示, 下标 i 为频率, ρ 表示站星距, T 为对流层延迟, I 为电离层延迟, λ 为波长, ε_{ρ} 、 ε_{ϕ} 表示伪距与载波相位的噪声, N 为整周模糊度。将上述观测方程可线性化为:

$$L = BX + \varepsilon \quad (2)$$

公式(2)中 B 为观测系数矩阵, L 表示观测向量, $l = L - \varepsilon$ 表示随机噪声向量, X 为待估参数, 由坐标与整周模糊度构成, 随机模型选择高度角模型。

使用最小二乘平差作为参数估计方法。由式(2)有误差方程:

$$V = BX - l, Q \quad (3)$$

公式(3) $l = L - \varepsilon$, Q 为方差协方差矩阵, 依据最小二乘法则: $V^T P V = \min$, 待求参数的估计方程为:

$$\begin{cases} \hat{X} = (B^T Q^{-1} B)^{-1} B^T Q^{-1} l \\ \hat{Q} = (B^T Q^{-1} B)^{-1} \end{cases} \quad (4)$$

利用最小二乘法求出模糊度的浮点解之后, 后续使用模糊度固定经典算法 LAMBDA 算法固定整周模糊度。

2.2. 电离层内插模型

电离层内插模型是基于参考站间的电离层延迟数据, 通过数学方法推估流动站或虚拟参考站处电离层延迟的关键算法[7]。其核心思想是利用电离层延迟在空间上的相关性, 即距离较近的站点间电离层延迟具有一定的相似性。常用的内插模型包括线性内插法、距离相关线性内插法以及基于最小二乘的协方差内插法, 其一般表达式为:

$$V_u = a_1 V_1 + a_2 V_2 + \dots + a_n V_n \quad (5)$$

公式(5) V_u 为虚拟参考站处电离层改正误差, V_i 为参考站的电离层延迟, a_i 为模型系数。将主参考站与其余参考站相减可得下式:

$$V_{u,A} = b_1 V_{1,A} + b_2 V_{2,A} + \dots + b_n V_{n,A} \quad (6)$$

公式(6) $V_{u,A}$ 为流动站双差电离层延迟改正数, $V_{i,A}$ 为网络基线双差电离层延迟, b_i 为内插模型系数。在三个参考站组成的三角网中其一般形式为:

$$V_{u,A} = b_1 V_{1,A} + b_2 V_{2,A} \quad (7)$$

1) 线性内插法(Linear Interpolation Model, LIM)

LIM 模型假设电离层延迟在三角网内呈线性变化, 适用于参考站分布均匀、基线长度较短的区域。其优点是计算简单、稳定性好, 在电离层平静期表现良好。适用条件为参考站构成近似等边三角形, 电离层空间梯度变化平缓。当电离层存在显著非线性扰动(如磁暴期间)或参考站分布不均匀时, 线性假设失效, 内插误差显著增大。LIM 模型在三角网中表达式如下:

$$\begin{cases} \Delta\nabla V_{AB} = a_1\Delta E_{AB} + a_2\Delta N_{AB} \\ \Delta\nabla V_{AC} = a_1\Delta E_{AC} + a_2\Delta N_{AC} \end{cases} \quad (8)$$

公式(8)中, A 为三角网内主参考站, B 、 C 为辅助站, 系数表达式如下:

$$\Delta\nabla V_{AV} = \frac{(\Delta E_{AV}\Delta N_{AC} - \Delta E_{AC}\Delta N_{AV})}{(\Delta E_{AB}\Delta N_{AC} - \Delta E_{AC}\Delta N_{AB})} \Delta\nabla V_{AB} + \frac{(\Delta E_{AB}\Delta N_{AV} - \Delta E_{AV}\Delta N_{AB})}{(\Delta E_{AB}\Delta N_{AC} - \Delta E_{AC}\Delta N_{AB})} \Delta\nabla V_{AC} \quad (9)$$

LIM 模型使用三个测站内插的方法与 CORS 网中三角网契合, 因此较为常用。

2) 距离相关线性内插法(distance based linear interpolation model, DIM)

DIM 模型引入基线长度作为权重因子, 认为电离层延迟与站点间距离成反比关系。该方法在理论上更符合电离层延迟随距离衰减的物理特性。适用于网络型 CORS 系统, 尤其是参考站间距差异较大的情况。在电离层剧烈扰动期间, 距离与延迟之间的关系可能被破坏, 导致内插精度下降; 此外, 模型对参考站几何分布敏感, 若参考站共线或分布不均, 易出现插值不稳定。DIM 模型参考到基线长度与电离层延迟之间的相关性, 内插系数由两站之间对同一卫星电离层穿刺点的距离 d 的倒数的比值, 系数表达式如下:

$$\bar{\beta} = \begin{bmatrix} \frac{s_1}{s} & \frac{s_2}{s} & \frac{s_3}{s} & \dots & \frac{s_{n-1}}{s} \end{bmatrix} \quad (10)$$

公式(10)中 $s = \sum_{i=1}^{n-1} s_i$, $s = 1/d_i$, 在三角网表达形式如下:

$$\Delta\nabla I_{AV} = \frac{s_{BV}}{s} \Delta\nabla I_{AB} + \frac{s_{CV}}{s} \Delta\nabla I_{AC} \quad (11)$$

公式(11)中 s_{BV} 、 s_{CV} 内插系数, $\Delta\nabla I_{AB}$ 与 $\Delta\nabla I_{AC}$ 为基线双差电离层延迟。

3) 最小二乘法(Least Squares Constant, LSC)

LSC 模型基于统计学习理论, 通过构建协方差函数描述电离层延迟的空间相关性, 适用于非均匀、非线性的电离层变化。该方法具有较强的理论支撑, 能够适应复杂电离层结构。适用于电离层变化复杂、参考站分布不规则的情况, 尤其在磁暴等极端空间天气事件中具有一定优势。计算复杂度高, 需合理选择协方差函数模型; 但该方法存在对先验协方差参数的依赖性较强, 若参数估计不准确, 易导致插值偏差等问题。LSC 模型早期用于重力场内插, 在三角网中一般的表达式为:

$$\hat{U} = \begin{bmatrix} c_{VA} & c_{VB} & c_{VC} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{AA} & c_{AB} & c_{AC} \\ c_{BA} & c_{BB} & c_{BC} \\ c_{CA} & c_{CB} & c_{CC} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ V_{AB} \\ V_{AC} \end{bmatrix} \quad (12)$$

公式(12)中 c_{VA} 、 c_{VB} 、 c_{VC} 是观测矢量和内插矢量的互协方差阵, $c_{ij} = l_{\max} - l_{ij}$, l_{ij} 两站之间对同一卫星电离层穿刺点的距离, V_{AB} 与 V_{AC} 为双差电离层改正数。

2.3. 数据处理策略与关键参数

为保证解算结果的可靠性与可复现性, 本文数据处理采用 GAMIT/GLOBK 10.8 与 RTKLIB 2.4.3 双

软件协同策略：基线解算与双差电离层延迟提取使用 GAMIT，网内/外测站定位解算及虚拟参考站生成使用 RTKLIB。主要参数设置如表 1 所示。

Table 1. Key parameters for data processing

表 1. 数据处理关键参数

参数类型	策略/取值
采样间隔	5 s
卫星截止高度角	15°
观测值组合	双频消电离层组合(LC)进行基线解算，MW 组合辅助周跳探测
观测值加权方式	高度角定权， $\sigma^2 = \sigma_0^2 \cdot (1 + 1/\sin^2(\theta))$ ， θ 为卫星高度角
随机模型	高度角模型
周跳探测与修复	GF-MW 组合联合探测，TurboEdit 方法修复
模糊度固定策略	LAMBDA 方法，固定成功率阈值 0.99
对流层延迟改正	Saastamoinen 模型 + 分段常数估计(每 2 小时一组)
电离层处理模式	双差电离层延迟作为未知参数逐历元估计(GAMIT)
参考框架	ITRF2020

3. 定位性能试验分析

3.1. 试验方案设计

为研究磁暴期间带状 CORS 网络定位性能，主要使用西南地区某桥梁 2025 年 12 月 1 日 CORS 网络观测数据进行试验分析，这天 0 时~11 时未发生磁暴，电离层处于平静时期，11 时~24 时发生磁暴现象，电离层处于活跃时期。数据采样间隔 5 s，采集时长 24 h，截止高度角 15°。网内 STA01~04 为参考站，MX01 为网内测站，MX02 为网外测站，MX02 测站距离最近基线距离在 2 km 左右。实验方案如下：

1) 选择 STA01 与 STA03 组成的基线，解算日期为 2025 年 11 月 30 日与 2025 年 12 月 1 日。选取 GEO 卫星解算结果对比分析磁暴时期双差电离层延迟变化。

2) 分别在 MX01 与 MX02 附近生成虚拟参考站，并比较 DIM、LIM 和 LSC 三种电离层内插模型精度，MX01 与 MX02 处电离层延迟真实值通过解算主参考站与两测站之间基线获得。

3) 使用以上三种电离层内插模型生成的虚拟参考站解算 MX01、MX02 单历元坐标结果，并统计 N(北方向)、E(东方向)、U(高程方向)坐标偏差，其中 MX01、MX02 坐标参考值已知。

3.2. 双差电离层时空特征分析

GEO 卫星因其覆盖面积大、空间位置相对稳定，因此能够良好地反映电离层延迟的时空特性。图 1 为 2025 年 11 月 30 日即电离层平静时期北斗 GEO 卫星双差电离层延迟时序图，从图中可以看出电离层延迟在 UTC 时间 4 时~16 时较为活跃，其余时间段都处于平静状态；对比图 2 磁暴时期即电离层活跃时期可以看出，磁暴期电离层延迟有一定程度的增大，如北斗 C01 卫星双差电离层延迟变化范围由-0.3 m~0.2 m 变为-0.2 m~0.6 m，在 UTC 时间 16 时~24 时电离层延迟对比前一天异常活跃，C02、C04 也出现相同现象；并且在 UTC 时间 11 时~15 时此段时间内磁暴引起电离层异常活跃，可能引起卫星连续周跳，严重时甚至失锁，使得此时间段内基线解算失败，从而无法解算双差电离层延迟。

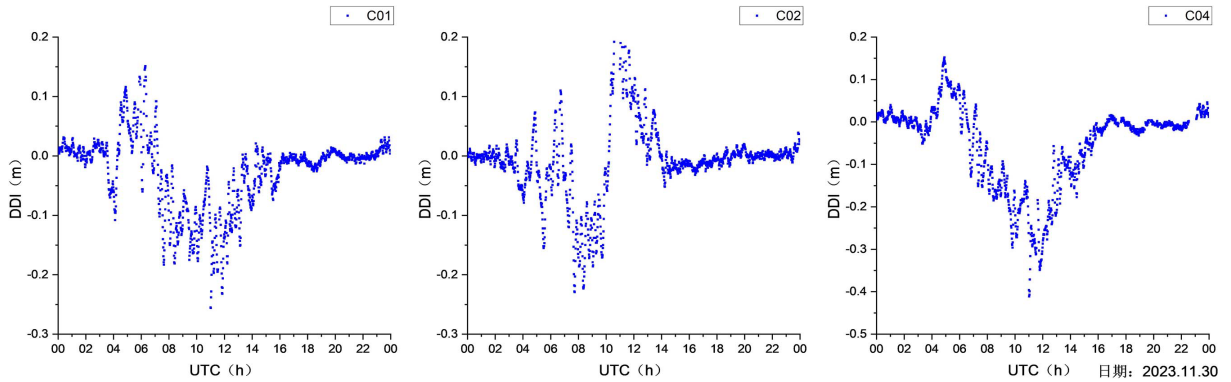


Figure 1. Time series of double-difference ionospheric delay for BeiDou GEO satellites on November 30, 2025
图 1. 2025 年 11 月 30 日北斗 GEO 卫星双差电离层延迟时间序列

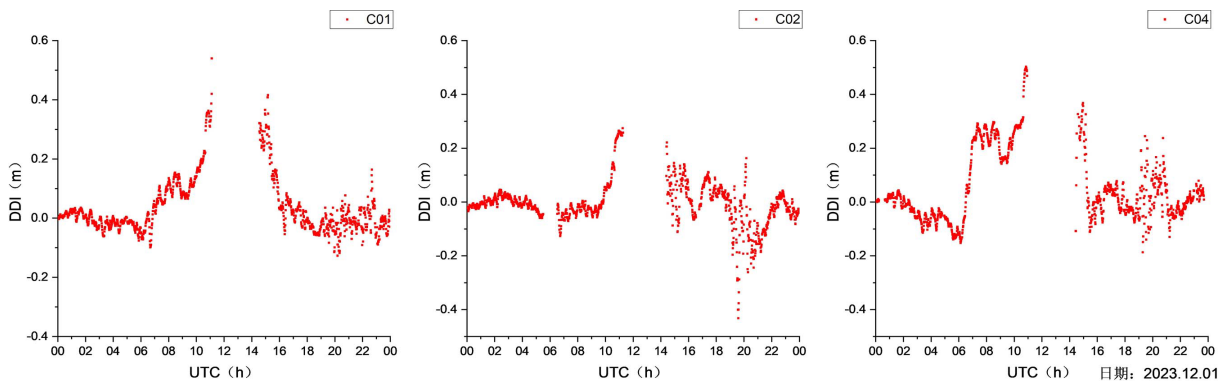


Figure 2. Time series of double-difference ionospheric delay for BeiDou GEO satellites on December 1, 2025
图 2. 2025 年 12 月 01 日北斗 GEO 卫星双差电离层延迟时间序列

3.3. 电离层内插模型精度分析

为进一步分析三种内插模型精度，表 2 统计三种模型双差电离层内插值偏差的绝对值分布情况，从表 1 可以看出未发生磁暴时段内 LIM 与 LSC 模型内插值偏差绝对值小于 1 cm 约为 80%，中误差在 1 cm 左右，在发生磁暴后 LIM 模型与 LSC 模型偏差小于 1 cm 仅占 55%左右，DIM 模型偏差小于 1 cm 仅为 38.52%，中误差为 4.47 cm；三种内插模型在大于 2 cm 占比都有明显增大，其中 DIM 大于 2 cm 占比可达到 39.52%。可以看出在未发生磁暴时段，LIM 与 LSC 内插模型精度较高，DIM 模型较差；磁暴时段内三种模型精度都出现较大幅度下降，DIM 模型精度仍然表现较差。

Table 2. Statistics of the absolute value distribution of interpolation deviations in the MX01 dual-difference ionosphere
表 2. MX01 双差电离层内插值偏差的绝对值分布情况统计

时段	模型	<1 cm	1~2 cm	>2 cm	中误差/cm
0~11 时	DIM	68.12%	12.19%	19.71%	1.56
	LIM	82.64%	11.69%	5.67%	0.97
	LSC	81.98%	12.43%	5.59%	1.11
11~24 时	DIM	38.52%	21.96%	39.52%	4.47
	LIM	55.34%	19.64%	25.02%	3.61
	LSC	53.94%	19.72%	25.34%	3.55

表 3 同样统计了网外测站 MX02 磁暴前后三种内插模型精度表现, 对比表 2 可以看出在未发生磁暴时网外内插精度相较于网内精度略差, LIM 模型与 LSC 模型精度在 1.5 cm 左右, DIM 模型表现仍较差模型精度为 1.89 cm。从表 3 中可以看出发生磁暴后, 网外点 MX02 三种内插模型精度下降更加明显, 其中 LIM 模型与 LSC 模型小于 1 cm 占比分别为 36.69%和 36.29%, 中误差均在 6.5 cm 左右, DIM 下降尤为明显, 小于 1 cm 占比下降至 33.47%, 中误差为 6.97 cm。

从三种内插模型的机理差异来看, DIM 模型在磁暴期间精度最差的主要原因在于其假设电离层延迟与穿刺点间距呈简单反比关系, 而磁暴导致 TEC 空间梯度剧烈变化, 破坏了这一物理假设; 同时 DIM 对参考站几何构型高度敏感, 在带状 CORS 狭长布设条件下, 距离权重易被少数基线主导, 插值稳定性不足。相比之下, LIM 模型虽为线性假设, 但在短基线条件下局部线性近似仍可成立; LSC 模型则通过协方差函数构建空间统计关系, 具备更强的非线性扰动适应能力。因此, 在磁暴环境下, LIM 与 LSC 模型的表现显著优于 DIM 模型。

Table 3. Statistics of the absolute value distribution of interpolation bias for MX02 dual-difference ionosphere

表 3. MX02 双差电离层内插值偏差的绝对值分布情况统计

时段	模型	<1 cm	1~2 cm	>2 cm	中误差/cm
0~11 时	DIM	69.52%	4.43%	26.05%	1.89
	LIM	78.84%	7.92%	13.24%	1.48
	LSC	79.84%	6.92%	12.24%	1.45
11~24 时	DIM	33.47%	21.36%	45.17%	6.97
	LIM	36.69%	21.93%	41.38%	6.56
	LSC	36.29%	21.60%	42.11%	6.53

3.4. 定位精度分析

1) 网内定位精度分析

表 4 统计三种内插模型生成的虚拟参考站解算网内测站 MX01 的坐标偏差时间序列精度统计, 从表 4 统计磁暴前后精度的表现, 未发生磁暴 LIM 和 LSC 模型平面精度在 1 cm 左右, 高程精度优于 1.5 cm, DIM 模型较差, 平面精度均大于 1 cm, 高程精度在 1.5 cm 左右。磁暴发生后, 三种模型解算精度都出现大幅度下降, 平面精度都在 3 cm 以上, 高程精度都在 4.6 cm 以上, 其中 DIM 模型精度表现最差, 平面精度由 2.16 cm 下降至 3.28 cm, 高程精度由 1.43 cm 下降至 4.86 cm。

Table 4. Statistics of accuracy in N, E, and U directions before and after MX01 magnetic storm

表 4. MX01 磁暴前后 N、E、U 方向精度统计

时段	测站	内插模型	精度/cm		
			N	E	U
0 时~11 时	MX01	DIM	1.89	1.05	1.43
		LIM	0.76	0.79	1.15
		LSC	0.78	0.95	1.05
11 时~24 时	MX01	DIM	2.41	2.23	4.86
		LIM	2.22	2.11	4.62
		LSC	2.17	2.15	4.66

2) 网外定位精度分析

表 5 统计三种内插模型生成的虚拟参考站解算网外测站 MX02 的坐标偏差时间序列精度, 从表 5 统计网外测站磁暴前后精度的表现, 对比网内测站 MX01, 未发生磁暴 LIM 和 LSC 模型平面精度与网内测站精度相当, 平面精度在 1 cm 左右, 高程精度优于 1.5 cm, DIM 模型相较于网内测站 MX01, 精度稍差平面精度均大于 1 cm, 高程精度在 1.5 cm 左右。磁暴发生后, 三种模型解算精度都出现大幅度下降, 平面精度相较于网内测站 MX01, 精度表现更差, N、E 方向都在 3 cm 以上, 高程精度都在 4.8 cm 以上。

Table 5. Statistics of accuracy in N, E, and U directions before and after MX02 magnetic storm

表 5. MX02 磁暴前后 N、E、U 方向精度统计

时段	测站	内插模型	内符合精度/cm		
			N	E	U
0 时~11 时	MX02	DIM	1.56	1.21	1.95
		LIM	0.75	0.74	1.74
		LSC	0.77	0.73	1.77
11 时~24 时	MX02	DIM	3.22	3.48	4.88
		LIM	3.14	3.13	4.82
		LSC	3.12	3.17	4.86

4. 结束语

本文针对磁暴环境下桥梁带状 CORS 网络的定位性能开展了系统研究, 利用西南地区某桥梁带状 CORS 网络 2025 年 12 月 1 日磁暴时期观测数据, 从双差电离层延迟变化特征、电离层内插模型精度以及网内外测站定位响应规律三个方面进行了分析。研究结果表明: 磁暴期间电离层异常活跃, 导致双差电离层延迟显著增大, 严重时可引发卫星连续周跳甚至基线解算失败, 直接影响带状 CORS 网的解算稳定性。在三种常用电离层内插模型中, DIM 模型在磁暴前后精度表现均较差, 不适用于带状 CORS 网络电离层延迟估计; LIM 与 LSC 模型在磁暴期间精度虽有所下降, 但相对优于 DIM 模型。定位精度分析显示, 磁暴发生后网内与网外测站定位精度均出现大幅下降, 其中网外测站精度衰减更为显著, 平面精度均在 3 cm 以上, 高程精度接近 5 cm。上述结果表明, 磁暴期间进行桥梁工程测量作业时, 定位结果可能出现大幅跳变, 应尽量避免高精度测量作业或采取相应的误差修正措施。后续研究可进一步探讨网外测站精度衰减与基线距离的相关性, 并优化适用于磁暴环境的电离层误差内插模型, 以提升桥梁带状 CORS 网络在空间天气扰动下的服务可靠性。

参考文献

- [1] 富裕, 贺凯飞, 姬生月, 等. 磁暴条件下基于 ROTI 指数的 GNSS 测速方法[J]. 导航定位学报, 2025, 13(6): 68-78.
- [2] 朱佳豪, 闫文林, 金宇峰, 等. 四种神经网络方法在电离层磁暴期 TEC 建模的对比分析[J]. 空间科学学报, 2025, 45(5): 1230-1242.
- [3] 张盛. 磁暴期电离层闪烁风险评估与 GNSS 性能衰减研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2025.:
- [4] 韩蔡生龙. 磁暴期电离层 TEC 预报与震前 DTEC 扰动特征分析[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2025.:
- [5] 魏晓萱. 电离层 TEC 深度学习预报模型构建及磁暴扰动结构探测研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2025.:

-
- [6] 王柳, 楼立志, 杨玲, 等. 地磁暴对 GNSS 定位性能与数据质量的影响分析[J]. 北京测绘, 2025, 39(8): 1218-1224.
- [7] 崔双雷. 地磁暴期间电离层闪烁对 GPS PPP 影响分析及三频周跳探测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2025.