高铁区域沉降监测与 CPIII 网数据处理实践

周传水

中铁十四局集团第四工程有限公司　山东　济南　250004

摘　要：高速铁路对线路基础稳定性与轨道平顺精度有着极高的建设与运维标准，区域不均匀沉降是影响高铁线路服役状态、威胁行车安全的主要隐性隐患。本文结合高铁场地地质与环境特征，完成沉降监测方案的系统化设计，明确监测点位布设思路、设备选型标准与精度控制要求。围绕监测数据处理核心流程，开展沉降数据整理粗差剔除、平差计算与变形量统计工作。同时针对 CPIII 控制网观测数据，完成数据预处理、格式校验、严密平差计算与全网精度评定，形成完整的控制网数据处理技术体系。基于处理后的精准数据，客观分析高铁区域沉降变化规律与变形特征，判别线路基础整体稳定性。

关键词：高铁区域；沉降监测；CPIII 网；数据处理

引言

在长期土体固结、水文环境变化与列车动荷载的持续作用下，高铁沿线区域容易产生持续性的缓慢沉降，局部区段会出现不均匀沉降问题，逐步诱发轨道线形偏移、结构受力异常等各类工程隐患。CPIII 控制网作为高铁轨道铺设、复测校正和运维监测的核心基准体系，其数据处理质量直接决定线路测量成果的精准程度，也是沉降变形分析的重要数据依托。现阶段高铁运维工作中，部分监测作业存在点位布设针对性不足、数据筛选不规范、平差处理流程粗放等问题，容易造成沉降分析结果偏差，无法精准判别线路真实变形状态，难以满足高精度运维管控的工作需求。

工程概况

津潍高铁寿光段是津潍高铁山东境内关键区段，全长 36.218 公里，途经 5 个镇街，整体走向为西北-东南方向。线路以高架桥敷设为主，桥梁占比 92.3%，跨越多条河流与公路，地质以粉质黏土、粉土为主，部分区域有松软土层，沉降控制要求高；全段设计最小曲线半径 7000 米，最大坡度 20‰，满足 350 公里/小时高速列车运行要求。

该段建成后将结束寿光无高速铁路的历史，通车后寿光至北京通行时间缩至 1.5 小时，至上海缩至 3 小时，提升出行效率；还可完善寿光综合交通体系，增强招商引资吸引力，带动特色产业发展，对寿光融入京津冀协同发展圈、对接长三角产业转移有重要推动作用。

1 高铁区域沉降监测方案设计

1.1 监测区域概况与沉降影响因素分析

（1）监测区域地层分布是引发基础沉降的核心自然因素。不同土层压缩性能、固结程度与承载能力存在差异，松软土层、填土层及未完成固结地层在长期荷载下易产生持续压缩变形；多层土体交替分布场地会出现不均匀沉降，破坏高铁线路平顺性。掌握区域地层分布规律与土体特性，可帮助识别沉降高发区段，为差异化监测布置提供支撑。（2）区域水文条件是影响沉降变化的重要因素[1]。地下水水位动态变化会改变土体有效应力状态，水位下降会使土层孔隙水压力降低，土体固结压缩，引发地表沉降；水位反复波动会扰动土层结构，加剧压缩变形，提升不均匀沉降发生概率。摸排区域地下水赋存状态与变化规律，是分析沉降成因、预判沉降趋势的重要基础。（3）除自然条件外，外部环境与工程因素也会诱发区域沉降。高铁线路长期承受列车反复动荷载，会持续扰动基础土层，使土体空隙压实，产生持续沉降变形；周边工程施工的土体扰动，会改变原有地层应力平衡，引发局部沉降差异；自然气候变化、土体蠕变等隐性因素，会长期影响场地基础稳定性，造成缓慢持续的沉降变化。

1.2 监测点位布设原则与点位布置方案

（1）监测点位布设首先需要严格遵守针对性与全面性的基本原则。点位布置需要覆盖线路全线的沉降敏感区段，重点聚焦土层变化均匀性较差、水文条件复杂以及外部扰动明显的区域。保证布设点位可以完整捕捉线路的竖向变形变化规律，有效规避监测范围不足、点位覆盖不全等问题。同时点位布局需要兼顾整体均匀性，避免出现监测点位过度集中或者大面积空缺的情况，让每一段线路区域都能够获得有效的监测数据支撑。（2）

点位布设需要坚持稳定性与实用性相结合的原则。监测基点需要选在受外力扰动极小、地层结构稳定的区域，保证基准点位长期固定不变，为全程监测提供稳定可靠的参照标准。工作测点需要贴合线路基础的受力位置，布置在能够直观反映路基、桥梁基础沉降变形的关键位置。布设过程还要兼顾后期观测作业的便利性，合理控制作业视野，降低人为观测误差，提升长期监测的可持续性。（3）在既定布设原则的指导下，需要结合高铁线路实际工况制定系统化的点位布置方案。结合前期区域地质条件分析结果，在地质条件复杂的区段适当加密点位，用来精准捕捉局部沉降差异。对于地质条件稳定、土层均匀的常规区段，可以按照标准间距统一布设测点，保障整体监测布局规整合理。（4）所有监测点位布设完成后需要做好点位标记与保护工作，避免点位受到施工扰动或外界破坏。同时建立完整的点位信息台账，记录点位分布位置、布设属性以及对应监测区段。规范的点位布置方案能够有效提升监测精度，完整记录线路沉降的整体变化趋势，精准识别沉降异常区域，为后续数据处理、变形规律分析和线路安全评估提供扎实的基础条件。

1.3 沉降监测仪器设备与精度指标

（1）沉降监测作业主要依托高精度水准观测设备完成数据采集工作，配套包含专业水准尺、观测支架以及各类辅助校准器具。所有投入使用的监测设备，均需要符合高铁工程测量的行业规范标准，设备出厂性能需要满足高精度高程测量的作业要求。在正式开展现场监测工作前，所有仪器设备必须完成系统性的校验与调试工作，排查设备存在的系统误差和机械偏差，确保设备运行状态稳定，测量性能达标，从硬件层面规避设备缺陷带来的数据偏差问题。（2）不同监测设备承担的作业功能各有侧重，整体搭配形成完整的沉降监测作业体系[2]。主测设备负责完成全程高程数据的采集工作，辅助设备用于固定观测姿态、校准观测角度，最大程度降低人为操作带来的观测误差。设备使用过程中需要匹配标准化的作业环境，规避大风、强光折射、地面震动等外界干扰因素，保持设备观测状态的稳定性，保证每一组监测数据都具备良好的重复性与真实性。（3）精度指标管控是沉降监测工作的核心重点，也是区别于普通工程测量的关键内容。高铁沉降监测属于高精度变形监测范畴，针对往返观测高差误差、闭合差限值、单次观测精度等内容，都设置了明确的规范化指标。所有外业观测数据必须严格对照既定精度指标进行核验，一旦出现数据误差超限的情况，需要及时作废重测，坚决杜绝不合格数据流入后期数据处理环节。

2 监测数据与 CPIII 网数据处理

2.1 沉降监测数据整理与粗差剔除

（1）沉降监测数据整理需要按照标准化流程有序推进。首先要完成外业观测资料的统一归集与分类梳理，核对各监测点位的观测时序，检查观测记录的完整性与规范性。工作人员需要逐一核查全部观测数据，补齐记录缺失的内容，修正书写格式不规范的条目，保证所有数据信息时序清晰、内容完整。同时按照监测区段和测点编号对数据进行有序归档，建立条理清晰的数据台账，为后续的数据筛选与计算工作提供规整的数据基础。（2）在外业数据规整完成后，需要开展系统性的误差排查工作。现场监测作业过程中，仪器临时扰动、观测视线偏差、外界环境突变以及人员操作细微失误，都会造成个别观测数值偏离正常变化规律，形成数据粗差[3]。这类异常数据不属于地层真实沉降变形，会直接干扰整体数据的变化趋势，导致沉降分析结果出现偏差，无法客观反映线路基础的实际变形状态。（3）粗差剔除工作需要依托专业的数据处理准则开展，摒弃主观随意筛选的处理方式。结合高铁沉降变形的渐变特性，依托数据连续变化规律对监测序列进行整体研判，区分正常波动数值与异常粗差数值。合理运用专业判别标准识别超限数据，精准定位偏离整体变化趋势的异常数值。在剔除粗差的同时保留土体自然蠕变和环境影响带来的正常小幅波动数据，避免过度筛选造成有效监测信息丢失。

2.2 沉降数据平差计算与变形量统计

（1）沉降数据平差计算是高精度变形监测的核心处理环节，整体遵循高铁测量规范的标准流程实施。平差计算开展前需要统一所有监测数据的基准条件，确保各观测周期的起算基准保持一致，杜绝因基准偏移造成的系统性数据偏差。依托严密平差计算原理，对各测点高程观测值开展整体修正处理。通过合理分配各观测误差，消除观测成果内部的闭合不符值，让多期监测数据具备时序可比性，有效提升高程成果的整体精度与可靠性。（2）平差计算过程中需要严格把控计算参数与约束条件，全程遵循行业技术标准。结合高铁沉降监测的精度要求设置对应计算限值，对高差闭合差、点位高程误差等关键指标进行逐项核验。针对超限的计算成果需要重新复核原始观测数据，排查误差产生的原因，在修正问题之后再次开展平差运算，保证最终平差成果稳定合规，完全满足高铁变形监测的精度管控标准。（3）完成平差计算并得到精准高程成果后，需要系统开展变形量统计工作。以首期观测高程作为初始基准值，逐期比对

各监测点位的高程变化情况，统计不同时段的单点沉降量与阶段性沉降速率。通过批量汇总多期监测数据，梳理各测点的累计沉降变化数值，清晰反映基础土体的固结变形进程与动态变化特点。

2.3 CPIII 观测数据预处理与格式校验

（1）CPIII 观测数据预处理工作主要针对外业采集的原始观测信息开展规范化整理。外业作业过程中，仪器自动记录数据与人工辅助记录数据容易出现信息不统一的情况，同时会产生大量无效的冗余数据和重复记录内容。预处理阶段需要全面筛查原始数据内容，剔除观测过程中产生的无效数据片段，清理重复采集的观测记录。同时统一所有观测数据的记录标准，规整观测角度、距离、温度气压等配套观测参数，保障整套数据内容干净规整，符合后续专业数据处理软件的运行要求。（2）在数据规整完成后，需要开展全方位的格式校验工作。CPIII 数据处理对文件格式、数据排序、字段内容有着严格的统一标准，格式错乱和字段缺失是外业数据中最常见的问题[4]。工作人员需要逐条核对数据文件的整体结构，检查点位编号、观测序列、参数录入等内容是否完整规范。及时修正格式错乱、内容缺失、字段错位等各类问题，杜绝因格式不标准导致的数据读取失败和计算异常问题。（3）校验过程中还要兼顾数据逻辑的合理性检查，筛查观测数据中不符合测量规律的异常条目。对比同测回、不同测回的观测差值，排查数值跳变、参数录入错误等人为问题，区分设备误差导致的异常数据和正常观测波动数据，避免错误数据参与后续计算流程。

2.4 CPIII 网严密平差计算与精度评定

（1）CPIII 网严密平差需遵循高速铁路测量技术规范，选用适配平差模型开展整体计算，依托稳定高级控制点作为起算基准，固定全网基准框架，避免整体坐标偏移。将角度、距离观测值统一纳入平差系统，按最小二乘原理做整体约束处理，分配各环节误差分量，消除观测数据矛盾偏差，提升控制点坐标成果的一致性与合理性。（2）平差计算过程中需全程把控约束条件，保证参数设置符合高铁线路测量精度要求。核对各项计算参数，确保观测值权比分配适配外业实际工况；平差完成后第一时间核查整体闭合状态，判断单位权中误差、观测值残差等核心指标是否符合规范要求，若指标超限，需回溯原始数据排查原因后重新计算，杜绝不合格成果留存。（3）平差计算完成后，同步开展系统化精度评定。精度评定可量化判断 CPIII 网布设质量与观测作业水平，是检验控制网成果是否合格的重要依据，评定内容包含点位中误差、边长相对中误差、观测残差分布等关键指标，通过多维度比对判断控制网整体精度稳定性[5]。（4）精度评定可客观反映控制网薄弱区域与观测短板，判断全网成果的均匀性与可靠性，所有精度指标达标后，方可确认 CPIII 控制网成果有效。整套流程可弱化偶然误差带来的数据偏差，保障点位成果精准稳定，为高铁轨道线形复测、沉降修正、线路平顺性调整及后期运维监测提供高精度标准化基础控制数据支撑。

结束语

总体来看，高精度沉降监测与 CPIII 数据处理是保障高铁线路安全稳定运行的核心技术手段。后续工作中，还可以结合长期监测数据持续优化沉降分析模型，完善动态监测与数据处理体系。不断提升高铁沉降病害预判能力，推动高铁运维管理工作向着标准化、精细化、智能化方向持续发展，为高速铁路工程的长效安全运维提供坚实的技术保障。

参考文献

[1] 李伟. 超大断面高铁下穿 GTC 复杂共构体系的变形沉降分析及监测预警应用 [J]. 智能城市,2026,12(5):135-138.

[2] 刘俊杰, 龚循强, 梁琦, 等. 基于 E-PS-InSAR 的高铁沿线沉降监测分析 [J]. 测绘科学,2025,50(7):107-116.

[3] 王忠仁, 武光伟, 岳聪, 等.CPIII 平面网平差结果精度指标统计软件的设计实现 [J]. 测绘技术装备,2025,27(1):121-125.

[4] 邹世龙, 李建章. 顾及投影尺度因子的 CPIII 平面控制网模型 [J]. 测绘工程,2026,35(3):52-58.

[5] 唐佑绵, 王巍, 柳卫林, 等. 高铁精测精调技术在普铁隧道整体道床的应用验证 [J]. 高速铁路新材料,2026,5(1):58-65.