# 区域沉降下高铁 CPIII 控制网复测精度研究

李亚军

中铁十四局集团第四工程有限公司　山东　济南　250004

**摘　要：**高铁沿线出现的区域沉降问题，会持续改变控制点的空间位置，导致 CPIII 控制网复测数据出现系统性偏差。传统测量标准与作业模式无法适配沉降区域的测量条件，精度判定结果容易出现偏差，难以保障复测成果的有效性。本文结合实际测量技术要求，梳理沉降环境下 CPIII 复测工作存在的精度问题，分析误差形成的主要诱因，针对沉降工况优化对应的评价体系、作业方式和数据处理手段，能够有效提升复测精度，可为高铁线路测量运维工作提供基础参考。

**关键词：**区域沉降；高速铁路；CPIII 控制网；复测精度；精度控制

引言：高速铁路在运营期间对轨道测量基准有着严格的精度标准，CPIII 控制网的测量状态能够直接影响线路运维效果与行车安全。我国部分高铁线路会出现区域性地表沉降问题，土体持续变形会改变控制点的空间位置，让传统复测作业产生精度偏差，现有测量管控模式难以适应这类特殊工况。本文依据高铁精密测量相关规范，分析沉降环境下影响 CPIII 复测精度的主要因素，总结现阶段存在的技术问题，制定适配现场条件的精度优化与改进方案。

**工程概况**

本文研究依托津潍高铁工程开展。该线路是我国《中长期铁路网规划》“八纵八横”高速铁路主通道沿海通道的重要组成部分，起自天津滨海站，终至潍坊北站，正线全长约 348.9 公里，设计时速 350 公里，连接京津冀协同发展区与山东半岛城市群，全线共设 12 座车站，桥梁占比约 85%。线路穿越华北平原东部黄泛冲积平原沉降发育活跃带，存在大范围持续性区域沉降，集中分布于东营、寿光等区段，沉降特征空间差异性显著。

津潍高铁 CPIII 控制网沿线路两侧每隔 60 米对称布设于接触网支柱或桥梁防撞墙顶部，平面测量采用自由测站边角交会法，高程测量采用精密水准测量，施工阶段精度符合《高速铁路工程测量规范》要求。2023 年至 2026 年我公司承建的 DK307+700~DK344+870 区段复测成果显示，线下深埋基准点累计沉降量达 111.05mm，累计隆起量达 43.00mm，部分区段沉降变形超过控制阈值，对运营期 CPIII 控制网复测造成显著干扰。

## 1 区域沉降与高铁 CPIII 控制网复测基础理论

区域沉降属于大范围地表土体持续性变形，分为均匀沉降与不均匀沉降两类，对高铁精密测量的干扰程度不同，不均匀沉降对测量精度的负面影响更突出。CPIII 控制网是高速铁路轨道养护和线形调整的核心测量基准，布设密度大，精度管控严格，国内规范对其平面和高程测量误差设置明确限值，高铁运营阶段需定期开展控制网复测。当前行业采用的复测精度评价体系分为平面、高程两大指标，传统评价模式无法适配区域沉降带来的复杂测量工况。区域沉降会改变控制网原有基准约束条件，引发沿线控制点真实空间位移，直接影响复测成果精度[1]。均匀沉降大多仅影响高程测量结果，基本不改变控制点平面相对位置，对平面复测干扰有限。不均匀沉降可同时改变控制点平面与高程位置，双向降低测量成果精度，是沉降区域高铁 CPIII 控制网复测精度管控的核心重点。

## 2 区域沉降下 CPIII 控制网复测精度现存问题与误差分析

### 2.1 常规复测标准适配性不足

我国现行高铁 CPIII 控制网复测精度评价标准多依据常规稳定地质环境制定，未针对区域沉降特殊作业条件优化，实际应用中存在适配性不足问题。现行测量规范默认复测区域地表结构稳定，将复测数据全部偏差统一界定为人工观测带来的随机误差，偏差超出规范限值即判定观测成果不合格或点位失效。在区域沉降路段，复测数据偏差主要来源于地表变形引发的点位真实位移，属于地质变化产生的系统性误差，并非人工观测失误导致。沿用传统标准判定，会误将沉降变形误差认定为观测精度误差，既会造成有效数据被剔除、重复复测次数

增加，推高线路运维成本，也会导致控制点稳定性判定结果偏差，不利于高铁轨道常态化精细化养护。

2.2 复测作业流程精度管控薄弱

沉降区域开展的 CPIII 控制网复测工作，对观测时间、复测频率以及作业环境的整体要求，都会高于普通稳定区域的测量工作。目前大部分复测工作依旧沿用传统作业流程，整体的精度管控工作存在较多缺陷。相关规范设定的常规复测周期为一到两年，这个周期很难匹配沉降区域持续变形的实际特点，控制点会在两次复测的间隔期间产生持续位移，最终得到的测量成果也就无法实时体现基准的真实状态[2]。工作人员在开展复测作业时，观测时段的选取往往不够严谨，沉降区域本身存在地表微小变形，外界温度变化和土体应力波动都会引发临时变形，传统全天观测的模式会产生额外的测量误差。同时，复测作业前期普遍缺少现场工况核查工作，工作人员没有检测分析区域沉降速率和沉降梯度，也不会结合沉降分布特征调整观测方案，统一的作业模式难以适配差异化的沉降工况，使得观测数据出现系统性偏差，复测精度的损耗问题也会不断累积。

2.3 数据处理方法存在缺陷

目前国内高铁 CPIII 控制网复测数据处理，大多沿用传统最小二乘平差算法，该算法以初始测量基准为固定约束条件，未结合区域沉降带来的系统性变形因素计算。这类算法默认控制网基准稳定、测量误差随机分布，仅可消除随机观测误差，无法识别处理沉降引发的系统性变形误差。在区域沉降环境中，该算法会将沉降变形误差错归为随机误差修正，导致最终解算的坐标与高程数据失真，无法真实反映控制点实际变形情况。此外，现有数据处理模式未区分不同沉降类型的影响差异，缺少对应误差分离手段，无法精准区分观测误差与沉降变形误差，精度评价笼统，难以精准判定复测质量，也无法为高铁轨道基准修正提供可靠数据依据。

2.4 基准体系稳定性不足

高铁 CPIII 控制网复测需依托 CPII 首级控制网搭建测量基准，常规地质环境下 CPII 控制点埋设深，结构可长期稳定，能为线路复测提供可靠基础支撑。当高铁沿线出现大范围区域沉降后，地表土体持续变形会影响 CPII 控制点，造成点位整体偏移或局部位移，直接导致上级测量基准产生偏差，误差沿测量体系逐级传递[3]。开展 CPIII 复测时，若持续采用已变形的 CPII 原始坐标为约束条件，基准误差会直接融入 CPIII 复测成果，造成整体测量精度下降。目前沉降区域高铁测量普遍缺少动态更新机制，大多沿用固定原始基准参数开展复测，基准偏差随运营时间不断累积。这种固化基准使用模式会造成 CPIII 复测数据系统性失真，无法反映线路控制点实际状态，难以适配高铁常态化运维对测量精度的要求，也是影响沉降区域控制网复测质量的重要因素。

## 3 区域沉降下 CPIII 控制网复测精度优化控制策略

3.1 构建沉降适配型精度评价标准

为解决传统精度评价标准难以适配沉降区域测量工作的问题，行业可以结合区域沉降的实际变形特点，搭建出具备差异化和层级化特点的 CPIII 复测精度评价体系，以此区分测量作业产生的随机误差与地表沉降引发的系统性误差。工作人员需要先调整原有精度判定的基础逻辑，把 CPIII 复测成果产生的整体偏差划分为变形偏差和观测偏差两种类型，工作人员可以利用现有沉降监测数据拟合出对应的区域变形模型，以此算出控制点的理论沉降偏差数值，工作人员对测量数据剔除系统性沉降偏差之后，剩余的数据偏差就可以作为评判本次观测作业精度的主要依据。相关人员需要按照不同沉降工况制定对应的精度限值标准，对于出现均匀沉降的高铁路段，工作人员可以适当放宽高程整体偏差的控制范围，同时严格把控相邻点位的相对高差数据，以此判断控制点的整体稳定状态。存在不均匀沉降的路段，工作人员可以结合现场沉降梯度设置动态化精度限值，依据各区段实际沉降速率调整误差容纳范围，能够有效规避单一评价标准带来的成果判定失误。工作人员还需要搭建分级式的精度评定机制，对所有复测成果进行等级划分，既可以保障日常观测作业的精度合规性，也可以真实反映区域沉降的变形状态，让整体精度评价工作更加贴合现场工程应用需求。

3.2 优化复测作业流程与精度管控

工作人员可以结合区域沉降持续发生变形的基本特征，对 CPIII 控制网复测的整体作业流程和精度管控模式进行全面优化，这项工作可以从作业准备、现场观测、后期核查三个主要阶段落实，以此整体提升沉降区域的复测测量精度。工作人员需要对传统复测周期进行调整，相关复测频次可以按照区域沉降速率进行分级设置，对于沉降速率相对较快的区域，工作人员可以适当缩短复测间隔时间，同时对沉降状态不够稳定的路段增设常态化动态监测工作，能够持续掌握控制点的实时变形情况[4]。测量观测的开展时段也需要进行统一规范，工作人员可以选择环境温度稳定、地表应力状态平稳的时段开展测量作业，能够有效规避外界环境变化带来的

瞬时变形误差，降低外部因素对测量成果的干扰。在正式开展复测工作前，工作人员需要新增现场工况核查流程，借助常规精密测量技术排查测区的沉降分布规律、沉降速率以及变形梯度，按照不同区域的沉降差异制定对应的观测方案，对变形较为明显的区段加密观测点位和观测次数，提升薄弱区域的测量可靠性。除此之外，现场作业的质量管控力度也需要进一步加强，工作人员需要严格把控仪器调试、设备安置等关键作业步骤，减少人为操作和设备状态带来的测量误差，保障所有原始观测数据都具备基础准确性。

3.3 改进复测数据处理与误差分离算法

为有效解决沉降区域 CPIII 控制网数据处理精度不足的问题，工作人员可以对传统平差计算方式做出调整，以此实现不同类型测量误差的有效区分，整体提升数据处理的准确程度。工作人员需要摒弃单一的最小二乘平差计算模式，在数据处理流程当中融入沉降变形修正的相关模型，依托日常监测得到的区域沉降数据搭建适配的变形拟合模型，工作人员可以通过模型测算出各个 CPIII 控制点的理论沉降位移参数，并且提前对原始观测数据进行修正处理，能够有效抵消沉降问题带来的系统性数据偏差。在平差计算的过程中，工作人员可以结合自由网平差与约束平差两种方式开展组合计算，自由网平差的方式可以帮助工作人员掌握控制点的相对变形状态，后续结合稳定基准点完成约束平差作业，能够有效规避固定基准偏差对最终测量成果造成的干扰。工作人员还需要建立对应的误差分离处理机制，多期复测数据的对比分析工作可以正常开展，工作人员能够根据数据变化规律拟合出区域沉降的整体变化趋势，对系统性变形误差和随机观测误差进行有效区分，合理剔除无效误差数据并保留真实的变形参数，让平差计算得出的坐标与高程数据符合测量精度标准，也可以如实体现控制点的沉降变形情况，为高铁轨道基准更新工作提供可靠的数据支撑。

3.4 完善动态基准保障体系

高铁 CPIII 控制网的复测精度会受制于 CPII 上级控制基准的整体稳定性，基准状态不稳是沉降区域测量精度持续降低的核心诱因。现阶段高铁复测作业普遍采用静态基准作业模式，相关人员一般直接沿用工程施工阶段留存的原始基准参数开展数据计算，这种固定的基准应用方式并不适配土体持续沉降的地质工况。基准误差会在线路长期运营的过程中不断积累，还会顺着测量层级逐级向下传导，最终导致 CPIII 复测数据出现整体性偏差。为有效解决该类问题，相关测量单位需要搭建 CPII 与 CPIII 控制网协同配合的动态基准保障体系，将 CPII 首级控制网的复核工作纳入日常常态化测量流程。工作人员需要定期对沉降路段内的 CPII 控制点开展全面监测作业，及时更新变形点位的坐标与高程数据，维持上级测量基准的稳定性，减少误差传递引发的精度损耗[5]。测量工作还需要配套建立常态化基准更新机制，在每期复测与沉降监测工作完成后，工作人员需要依托最新的实测数据调整区域基准参数，替代传统固化的基准使用模式。复测作业结束后，工作人员需要核验整套基准体系的连续性与稳定性，对比多期测量数据、校验相邻区段基准衔接状态，规避基准突变与衔接偏差问题，以此提升 CPIII 复测成果的可靠性，满足高铁长期运营的精密测量需求。

**结束语**

综上所述，高铁 CPIII 控制网的复测精度会受到区域沉降的综合影响，沉降问题会分别作用于测量标准、作业流程、数据处理以及基准体系，让测量成果出现失真和判定不准的情况。对现有精度评价标准、现场管控方式、数据处理算法和基准模式进行系统性调整，能够逐步消除沉降带来的系统误差，降低地质变形对测量工作的干扰。整套优化方式可以稳步提升沉降区域复测数据的可靠程度，辅助高铁日常运维工作开展，有效保障线路长期运营的平稳性与安全性。

**参考文献**

[1] 王甜甜. 高铁隧道内 CPIII 控制点稳定性与沉降关联性研究 [J]. 科技与创新,2026(14):52-54.

[2] 付仁俊, 李开华, 周弥睿. 顾及 CPIII 相对精度的平差方法在高铁控制网复测中的应用 [J]. 铁道勘察,2025,51(2):13-17+34.

[3] 陈远锋. 高速铁路运营期轨道控制网复测新方法研究与实证分析 [J]. 科学技术创新,2026(3):133-136.

[4] 李杰. 温度变化对 CPIII 平面测量结果的影响 [J]. 测绘标准化,2024,40(3):58-64.

[5] 陈言红. 浅析高速铁路 CPIII 控制网测量技术 [J]. 新丝路,2021(10):253-253+255.