

高速铁路轨道控制网精密测量技术要点探讨

梁 明

中交一公局集团有限公司 北京 100024

摘 要：随着高速铁路的快速发展，轨道的平顺性、稳定性、精确性等方面的要求也在不断提高。高速铁路轨道控制网精密测量技术作为保障轨道高质量建设和后期平稳运营的关键技术之一，其重要性不言而喻。本文旨在结合具体数据，探讨高铁轨道控制网精密测量技术的要点并加以分析论证。

关键词：高速铁路；轨道控制网；精密测量；CPⅢ控制网；全站仪

引言

高速铁路以其输送能力大、速度快、安全性好、乘坐舒适方便，在我国进入了高速发展阶段。现代高铁运行速度普遍达到200-350公里/小时，对轨道几何线形的平顺度与轨道结构稳定性提出了严苛标准。在高铁网络快速扩张背景下，传统测量技术因精度局限与效率瓶颈，已难以满足工程实际需求。为确保高铁建设的高质量实施及运营维护的可靠性，引入精密工程测量技术已成为不可或缺的关键环节。

1 高速铁路轨道控制网精密测量技术要点

1.1 控制网布设原则

按照施策阶段、目的和功能等，高铁轨道控制网被精细化分为勘测、控制网、建设控制网、运维控制网三大部分。这一划分确保了控制网在不同建设阶段都能发挥应有的作用，为高速铁路的全程建设提供坚实的支撑。平面控制网在框架控制网CP0的基础上，进一步细化为CPⅠ、CPⅡ、CPⅢ三级布设，形成了层次分明、功能明确的控制网体系。

CP0框架控制网作为整个控制网的基石，有着极其严格的布设原则。按照每50到100公里的基本区段，精心设置在铁路两侧。施测标准遵循国家A/B级GPS标准，通过高精度的GPS测量技术，引入并固定平面控制网的位置基准。这一步骤为后续的测量工作提供了稳定、可靠的参考框架。

CPⅠ基础平面控制网则紧密附合到CP0控制网上，在实用性和精密性上更讲究其布设原则。按照铁路B级GPS标准，沿线路小于4km的间距布设点或点对一个，确保控制点的密度和覆盖范围。具体采用分两个时段（每段时间1.5小时）静态观测测量的双频GPS接收机^[1]。这种观测方式能够有效抵消各种误差，使测量的精度和可靠性得到提高。广播星历解算基线时，基线边方向中误差控制在1.3秒以内，最弱边相对中误差达到1/170000，这

一精度要求确保了CPⅠ控制网的准确性。

CPⅡ线路平面控制网在CPⅠ控制网的基础上进行布设，其原则更多体现在实用性和灵活性两方面。沿线路在间距800~1000米内按照铁路C级GPS标准测量，部分受限路段最小不低于600米。这种灵活的布设方式既保证了控制点的密度，又适应了不同地形的需求。使用广播星历解算基线双频GPS接收机，同样采用双时段（60分钟）静态观测测量。基线边方向中误差控制在1.7秒以内，最弱边相对中误差达到1/100000，这一精度要求确保了CPⅡ控制网的精度和可靠性。

CPⅢ轨道控制网作为最接近轨道的控制网，其布设和测量要求更为严格精密。CPⅢ控制网应紧密附合到CPⅡ控制网上。这种密集的布设方式确保了控制点的覆盖范围和精度。结合全站仪以自由设站边角交会的测量方法，通过多个自由设站点的观测和计算，使整个控制网的测量精度得到提高。实际观测时，全程采用高精度全站仪进行多个测回的观测，以达到0.1厘米的相对点位精度和0.3厘米的可重复性测量精度^[2]。CPⅢ控制点的布设还应考虑其沿线路两侧成对分布，纵向间距宜为50米~70米，安装高度宜高于外轨顶面30厘米，以确保测量点的稳定性和可靠性。

1.2 平面控制测量

轨道控制网平面控制测量是确保高速铁路平面位置准确性的关键步骤。应采用全站仪，具有自动跟踪功能，测量采用自由设站边角交会法。这种方法充分利用了全站仪的精确测量功能和自动跟踪技术，提高了测量的效率和精度。

测量时，仪器水平角测量方向中误差不应大于1秒，距离测量中误差不应大于1毫米+2ppm。为确保测量数据的可靠性，必须严格执行高精度标准。测量过程应采用自动化控制系统，其配套软件需实时质量监控，对采集数据进行动态分析与评估。此举既提高了数据采集的效

率，又确保了数据的质量可靠性，可谓一举多得。

自由设站间距的选择应根据实际情况进行合理调整。一般宜为120米，但在特殊情况下，如地形复杂或测量要求更高时，可适当缩短设站间距。CPⅢ控制点至少要在各测站前后各观测3对，上一测站至少要在下一测站重复观测3对。这样的观测要求确保了每个控制点都有足够的观测次数和覆盖范围，提高了控制网的可靠性和精度。当设站间距为60米时，观测要求相应调整为前后各观测2对CPⅢ控制点，每个CPⅢ控制点至少要观测4个自由设站点。

在控制网联测作业中，CPⅢ测量需与上一级控制点保持定期联系测量，标准间隔为600米。若CPⅠ/CPⅡ控制点分布密度不足，则需进行控制点加密作业。进行联测时，每个高级控制点应保证至少两个测站的观测条件，且观测边长宜控制在200-300米范围内。这样的联测要求确保了不同级别控制网之间的衔接和协调性，提高了整个控制网的统一性和精度。

当受观测条件限制，只能有一个测站点和CPⅠ或CPⅡ通视时，应灵活设置辅助点。辅助点的设置应遵循一定的原则和规范，确保其位置准确、稳定可靠。这既解决了观测条件限制的问题，又保证了测量的连续性和完整性。

1.3 高程控制测量

轨道控制网高程控制测量是确保高速铁路高程准确性的重要环节。其主要精度指标应满足以下要求：每公里偶然中误差限值为 ± 2 毫米，全中误差限值不得超过 ± 4 毫米。该精度标准为工程高程控制提供了必要的测量保障，确保成果数据的可信度。

在水准测量设备方面，应使用水准仪和钢瓦水准尺，等级不低于DS1级。DS1级水准仪具有高精度、稳定性好等特点，能够满足高速铁路高程控制测量的需求。钢瓦水准尺则具有尺身稳定、刻度清晰等优点，能够提高测量的准确性。

高程测量应分区段进行，区段划分与平面测量保持一致。这样的测量方式既保证了高程测量的连续性和完整性，又方便了后续的数据处理和分析。在每一区段内，应联测至少3个线路水准点^[3]。这些水准点应选择位置稳定、易于保存且能够长期作为参考的点位。联测过程中，要确保测量结果的准确性，应严格按照规范进行操作。

水准测量外业观测时，要避免阳光直接照射仪器。阳光直射会导致仪器温度升高，影响测量精度。因此，在观测时应选择阴凉处或采取遮阳措施。水准测量立尺

作业须使用专用支撑装置，通过调整圆形水准器至居中位置，确保测量标尺处于铅垂状态。尺撑的使用能够稳定水准尺，防止其因风吹或手动晃动而影响测量精度。同时，观测者应保持专注和耐心，仔细读取水准尺上的刻度值，确保测量结果的准确性。

2 高速铁路轨道精调测量技术分析

2.1 轨道精调测量方法

轨道精调测量主要采用全站仪配合轨道几何状态测量仪进行。全站仪作为高精度测量仪器，其自由设站功能能够灵活应对各种复杂地形，确保测量点的准确定位。轨道几何状态测量仪则能够实时检测轨道的几何尺寸，为精调提供准确的数据支持。在测量前，需将预先在手簿机载软件中输入CPⅢ精测网资料、轨道线型等参数。此外，测量前需预先配置环境观测参数，包括温湿度、大气压等要素，通过系统自动补偿机制消除环境因素影响，从而提升观测数据的精确度。测量现场，首先手动照准2个CPⅢ坐标并采集数据，作为初始定位基准。然后全站仪自动照准其余6个CPⅢ坐标，通过多点定位技术，确保测量点的精确位置。这种自动照准方式即提高了测量效率，同时减少了人为误差，确保了测量结果的准确性。

2.2 调整原则与计算方法

轨道精调的调整原则为“先高低、后水平，先轨向、后轨距”。这一原则体现了轨道调整的优先级和顺序性。首先调整轨向，确保轨道的方向性正确；然后调整轨距，使两股钢轨之间的距离符合设计要求。在调整高低方面，先调整轨道的高低起伏，确保轨道的平顺性；最后调整水平，使两股钢轨在同一水平面上。在调整过程中，优先调整参考轨的平顺性。参考轨作为调整的基准，其平顺性直接影响到整个轨道的调整效果。另外一股钢轨则通过轨距和水平（可利用轨道尺）与参考轨对齐，确保两股钢轨的协调性和一致性。轨道精调的关键环节是调整量的计算。在长轨精调软件中导入轨道状态测量的采集数据，根据调整原则进行计算，得出每个点的调整量。对计算的调整量进行核对优化后，形成正式的“调整量表”。这一量表是现场调整的依据，指导施工人员进行精确的调整施工。

2.3 现场调整施工

现场调整对照调整量表进行，严格按照“先高低，后水平；先方向，后轨距”的原则进行精调施工。为提高施工效率，建议将作业面划分为两个工作组，高程调整组和轨向调整组。两组人员密切配合，共同确保调整工作的顺利进行。在调整过程中，施工人员需密切关注

调整量表的指示，确保调整量的准确无误^[4]。同时，还需注意调整的顺序和步骤，避免因操作不当而影响调整效果。通过精细的调整施工，使轨道的几何尺寸达到设计要求，确保高速铁路的平顺性和稳定性。

2.4 控制网复测与维护

控制网作为轨道精调测量的基础，其准确性和稳定性直接关系到测量结果的可靠性。因此，一定要定期复测和维护控制网。复测时选取相同的设备和仪器进行精密复核，确保复测结果的准确性和可比性。复测周期为每年进行一次全面复测，以检测控制网的变化情况。对于部分自然地质特殊状况的地区，要有计划地实施复测，确保控制网的实时性和准确性。在复测过程中，需严格按照技术标准进行测量，确保复测结果的可靠性。同时，还需对复测数据进行分析 and 处理，及时发现并处理控制网中存在的问题。通过定期的复测和维护，确保控制网的稳定性和准确性，为轨道精调测量提供有力的保障。

3 案例分析——以某高速铁路项目为例

3.1 项目概况

本项目为某高速铁路的一段，全长约为100公里，采用无砟轨道技术。项目采用了CPⅢ控制网精密测量技术，确保轨道的高平顺性和精度。

3.2 CPⅢ控制网布设与测量

3.2.1 控制网布设

根据设计要求，本项目沿线路两侧布设了CPⅢ控制点，相邻控制点间距约为60m，控制点高度均高于设计轨面0.3m。控制点埋设严格按照规范要求进行，确保了控制点的稳定性和准确性。

3.2.2 测量方法与仪器

本项目CPⅢ控制网采用自由设站边角交会法，使用高精度全站仪进行观测。全站仪的标称精度满足方向测量中误差不大于±1″，距离测量中误差不大于±(1+2×10⁻⁶)mm的要求。

3.2.3 测量数据与精度分析

在测量过程中，对每个CPⅢ控制点进行了多次观测，并记录了详细的观测数据。表1列出了部分CPⅢ控制点的观测数据及其精度分析结果。

表1 CPⅢ控制点观测数据及精度分析表

CPⅢ点号	观测次数	方向观测中误差 (″)	距离测量中误差 (mm)	相邻点相对点位中误差 (mm)
0013301	3	1.6	0.9	0.9
0013302	3	1.7	0.8	0.8
0013303	3	1.5	0.9	0.9
0013304	3	1.8	1.0	1.0
...	...	...	...	...

通过数据分析可以看出，所有CPⅢ控制点的观测数据均满足精度要求。方向观测中误差均小于±1.8″，距离测量中误差均小于±1.0mm，相邻点相对点位中误差均小于±1.0mm。

3.3 成果应用与效果

本项目通过CPⅢ控制网精密测量，确保了轨道的高平顺性和精度。CPⅢ控制网在后续的轨道铺设和运营维护过程中发挥了重要作用。列车运行平稳、安全舒适，得到了广大旅客的赞誉。

结语

高速铁路轨道控制网精密测量技术是保证高速铁路轨道高平顺性、稳定性和精度的重要手段。通过合理的控制网布设、精确的平面和高程控制测量以及精细的轨道精调测量，可以有效提高高速铁路轨道的建设和运营

维护质量。未来，随着技术的不断进步和应用经验的积累，高速铁路轨道控制网精密测量技术将进一步完善和发展，从而更加坚实地保障高铁的安全高效运行。

参考文献

[1]刘进娃.高速铁路轨道控制网精密测量技术要点探讨[J].居业,2024,(04):93-95.
[2]王涛,孟磊,王斌.高速铁路轨道控制网CPⅢ修复测量技术应用分析[J].测绘与空间地理信息,2024,47(S1): 299-302+309.
[3]赵永强.高速铁路无砟轨道控制网测量技术研究探索[J].智能城市,2019,5(12):46-47.
[4]闫广峰.高速铁路轨道控制网测量数据质量控制研究[D].西南交通大学,2020.