

# 地铁盾构区间自由设站法平面控制测量探究

邵炎

合肥市轨道交通集团有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i7.8995

**[摘要]** 地铁盾构隧道洞内空间狭小、施工扰动持续存在，常规导线测量难以适配动态掘进工况，自由设站法凭借点位布设灵活、多余观测充足的优势广泛应用于盾构平面控制。本文围绕盾构区间自由设站平面测量开展系统性研究，梳理该测量方式专属作业特性，构建涵盖点位布设、观测参数、解算模型的完整测量体系，梳理标准化内外业作业流程，划分设备、环境、数据处理三类精度干扰因素，针对性提出分层优化技术策略，用于盾构掘进洞内平面定位作业。

**[关键词]** 地铁盾构区间；自由设站法；平面控制测量；边角联合平差

## Exploration of Horizontal Control Measurement of Free Station Setting Method in Subway Shield Tunnel Section

Shao Yan

Hefei Rail Transit Group Co., Ltd.

**[Abstract]** The space inside the subway shield tunnel is narrow, and construction disturbances continue to exist. Conventional wire surveying is difficult to adapt to dynamic excavation conditions. The free station method is widely used in shield plane control due to its advantages of flexible point layout and sufficient redundant observations. This article conducts a systematic study on the free station plane measurement in the shield tunnel section, sorts out the exclusive operational characteristics of this measurement method, constructs a complete measurement system covering point layout, observation parameters, and solution models, sorts out standardized internal and external operation processes, divides equipment, environment, and data processing into three types of accuracy interference factors, and proposes targeted layered optimization technology strategies for plane positioning operations in shield tunnel excavation.

**[Key words]** Subway shield tunnel section; Free Station Establishment Law; Horizontal control measurement; Joint adjustment of edges and corners

### 引言

城市轨道交通地下盾构隧道掘进对平面定位精度具备严格要求，洞内封闭施工环境限制传统固定导线测量模式的实施。自由设站法无需预埋专用测站点位，可依托隧道侧壁基准控制点实时求解测站坐标，满足盾构不间断掘进的施工节奏<sup>[1]</sup>。本文结合盾构隧道施工测量现场工况，完整阐述自由设站测量全套技术框架，明确点位布设、观测取值、数据解算核心技术要点，细化全流程作业规范，同步分析各类误差来源并配套可

落地的精度提升手段。

### 1 自由设站法平面控制测量作业特性

地铁盾构区间隧道内部空间狭窄封闭，常规固定导线设站模式受场地约束显著，自由设站法可依托隧道侧壁布设的基准控制点灵活确定测站位置，适配盾构持续掘进的动态施工场景。隧道掘进过程中的设备振动、空气对流扰动会持续改变测量作业环境，自由设站法依托多基准点边角联合解算机制，弱化单点点位偏移带来的测量偏差。盾构区间长距离掘进作业会

逐步累积测量误差，自由设站法可实现测站的动态加密与实时校核，保障长距离隧道平面控制的整体精度一致性。隧道曲线段、变截面区段的施工工况复杂，自由设站法无需固定设站点位，能够适配不同隧道线型的测量作业需求，兼顾测量作业的灵活性与工程适配性。

## 2 自由设站法平面控制测量体系构建

### 2.1 自由设站法测量点位布设

某城市地铁4号线盾构区间自由设站测量点位依托隧道洞内永久基准控制点开展布设工作，点位布设严格贴合盾构掘进施工轴线与隧道净空条件，盾构隧道自由设站平面控制点布设如图1所示。隧道直线段区间可均匀布设基准控制点，控制点间距匹配盾构单次掘进施工长度，曲线段区间可加密控制点布设密度，适配隧道线型转折产生的测量角度偏差。测站点位选取贴合隧道通视条件，测站位置避开施工设备遮挡区域与渣土堆积区域，基准控制点固定于隧道侧壁稳固结构表层，保障点位坐标的稳定性。

### 2.2 自由设站法观测参数设定

地铁盾构区间自由设站观测参数依据市政隧道测量规范

表1 地铁盾构区间自由设站标准观测参数取值表

| 观测项目   | 精度等级     | 观测测回数 | 往返较差限值                                 | 设站有效距离(m) | 垂直角观测要求  |
|--------|----------|-------|----------------------------------------|-----------|----------|
| 水平角观测  | 二级导线精度   | 2测回   | $\leq 6''$                             | —         | 无需观测     |
| 斜距观测   | 光电测距二级精度 | 往返观测  | $\leq 2\text{ mm}+2\text{ ppm}\cdot D$ | 15~60     | 倾斜改正同步执行 |
| 自由设站定位 | 隧道施工控制精度 | 组合观测  | 点位残差 $\leq 3\text{ mm}$                | 20~50     | 气象参数实时修正 |

### 2.3 自由设站法数据解算模型

地铁盾构区间自由设站数据解算模型以边角联合平差算法为核心基础，解算模型整合测站观测的水平角数据与斜距观测数据，完成未知测站点坐标的精准解算<sup>[2]</sup>。解算模型引入坐标约束条件匹配地铁隧道平面控制基准，模型可剔除观测数据中的粗差数据，保障有效观测数据的运算有效性。解算模型适配盾构区间动态施工场景，模型可兼容不同点位布设密度、不同观测参数下的测量数据，平差运算模式可平衡角度观测误差与距离观测误差，提升测站坐标解算结果的贴合度。

## 3 自由设站法平面控制测量作业流程

### 3.1 测量前期准备

全站仪、棱镜、气压温湿度计完成进场前计量检定，检定证书标注仪器测角标称精度不低于 $2''$ ，测距标称精度达到 $2\text{ mm}+2\text{ ppm}\cdot D$ 。施工项目部调取盾构隧道洞内预埋基准控制点的复测坐标资料，资料标注所有基准点前期复测点位偏差均控制在 $2\text{ mm}$ 以内。测量人员踏勘隧道掘进区间，清理测站布设路径内堆积的渣土与临时施工构件，同步记录隧道洞内实时温度、空气压强数值，数值录入全站仪机载测量程序，气象改正参数同步完成预设置。隧道曲线掘进区段额外核对线路设计曲率半径，曲率数值录入测量软件，软件可适配曲线段点位坐标推算逻辑。

### 3.2 现场外业观测

结合施工现场工况确定，观测参数涵盖水平角观测、斜距观测、设站距离等核心指标，地铁盾构区间自由设站标准观测参数取值如表1所示。水平角观测匹配二级导线测量精度标准，测回数适配洞内微光观测环境，斜距观测严格限定往返观测较差限值，削弱大气折光对测距数据的干扰。测站与基准控制点的间距保持合理区间，近距离观测可降低长距离视线偏移误差，远距离观测可适配隧道大范围测量作业需求，观测参数可根据隧道掘进深度动态微调。

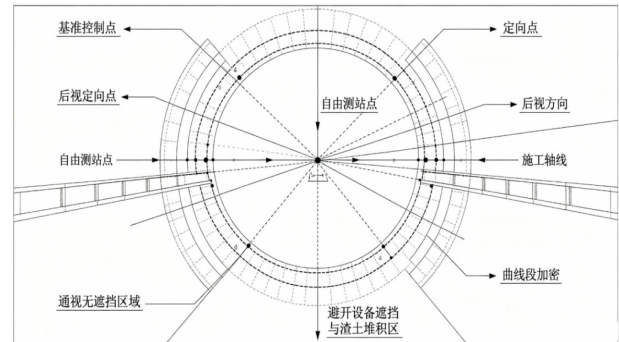


图1 盾构隧道自由设站平面控制点布设示意图

全站仪架设至选定测站地面硬化区域，三脚架基座螺栓完成三次整平对中操作，基座圆水准气泡偏差控制在0.5格以内。测量人员将棱镜安置于不少于三枚洞内基准控制点，棱镜杆底部贴合衬砌预埋点位标识，棱镜对中杆水准管保持居中状态<sup>[3]</sup>。全站仪启动边角同步观测模式，仪器按照设定的2测回水平角观测标准开展数据采集，单测回观测顺序覆盖全部后视基准棱镜，斜距观测同步执行往返测距操作，单次测距完成自动记录气象修正后距离数值。隧道内部风机持续运转形成气流扰动时，单次测回观测间隔延长90s，降低空气折光对视线传播的干扰。单站全部观测任务结束后，仪器重新瞄准两枚基准控制点开展复测比对，水平角较差超出 $6''$ 限值时，全站观测数据执行重测操作。

### 3.3 数据处理与精度检核

全站仪存储的角度、距离原始观测数据导出至专业隧道测量平差软件，软件搭载构建的边角联合解算模型，原始观测数据同步录入隧道基准控制点已知坐标。软件自动识别观测数据内部粗差，粗差判别阈值设定为三倍观测中误差，超出阈值的单条观测记录单独标记隔离，不参与整体平差运算。平差运算生成测站点坐标、点位平面中误差、角度观测单位权中误差三类成果文件，地铁盾构施工测量规范规定平面点位中误差上限为 $\pm 5\text{ mm}$ ，角度单位权中误差不得超过 $\pm 2.5''$ 。平差成果同步匹配盾构机导向系统坐标基准，两套坐标系统转换残差持续维

持在 3 mm 以内，转换残差超出限值时重新开展外业全站观测，复测数据重复整套内业解算与指标核验步骤。

#### 4 自由设站法平面控制测量精度影响因素

##### 4.1 观测设备误差

地铁盾构区间自由设站测量所用全站仪会存在固定系统误差，仪器视准轴偏差、横轴倾斜偏差会持续影响水平角观测数据，仪器长期施工现场使用会小幅增大轴系偏差数值。全站仪测距光波调制频率偏差会引发固定测距误差，误差数值贴合仪器标称  $2\text{ mm}+2\text{ ppm}\cdot D$  精度指标，超长距离观测工况下比例误差会持续放大<sup>[4]</sup>。棱镜组件光学中心点偏移会产生观测偏差，棱镜基座对中、整平偏差叠加角度与距离观测误差。配套气象采集设备精度偏差会造成气象改正参数失真，不实参数降低测距数据修正匹配度，影响测站坐标解算精准度。

##### 4.2 外界环境干扰

盾构隧道密闭空间形成特殊温湿度梯度与气压分布，洞内昼夜温差波动可达 8℃至 12℃，温度变化改变空气折射率，引发测距光波传播路径偏移。通风设备持续运转产生局部气流湍流，视线微抖动增大水平角观测离散性。掘进机械作业带来持续性结构振动，衬砌微变形造成基准控制点瞬时位移，扰动观测基准稳定性。洞内悬浮粉尘削弱光波传播质量，粉尘散射损耗提升测距数据随机误差占比。

##### 4.3 数据处理方式

自由设站法常规解算采用固定阈值粗差剔除标准，静态阈值无法适配隧道不同掘进区段误差分布特征，弱粗差数据易被保留。多数测量作业使用单一边角联合平差算法，该算法难以区分系统误差与随机误差，系统误差留存于坐标成果。统一气象改正公式无法匹配洞内局部微环境，公式适配偏差造成测距改正量计算偏差。数据处理缺少分段精度核验机制，长距离区间累积误差无法逐层分解，误差叠加降低平面测量整体精度。

#### 5 提升自由设站法平面控制测量精度策略

##### 5.1 设备校准与观测规范优化

全站仪每间隔 6 个月送至法定计量机构完成全套轴系校准，校准项目覆盖视准轴、横轴、竖轴三项几何关系偏差，仪器轴系残余偏差控制在 1" 以内。棱镜配套基座每月开展对中整平性能校验，棱镜光学中心偏移量维持在 0.5 mm 限值以内，气象传感器同步完成温湿度、气压标定，标定误差控制在 0.2℃与 0.3 hPa。测量作业严格遵循给定观测参数，隧道长距离区段增设一组复测测回，测站观测不少于四枚基准控制点，多余观测分量可抑制仪器系统误差传播<sup>[5]</sup>。测量作业文件细化三脚架架设操作标准，硬化地面增设防滑垫板弱化基座微量滑移，观测时段拆分单次测量操作，单测回间隔预留充足静置时间抵消仪器受热形变带来的数值偏移。

##### 5.2 作业环境干扰防控

隧道通风设备调整定向送风模式，气流避开全站仪观测视线通道路径，观测作业启动前暂停掘进机械运转，机械停机时

长不少于 12min，隧道衬砌瞬时变形量可降至 0.8 mm 以内。洞内分段布设多组气象采集终端，终端采集间隔设置为 3min，多组气象数值参与测距折射改正运算，多点气象数据可削弱局部温差造成的折射率计算偏差。隧道掘进工作面布设喷雾降尘装置，观测作业前完成 15min 降尘操作，空气悬浮粉尘浓度下降可降低光波散射损耗。隧道曲线段基准控制点增设防震固定夹具，夹具缓冲衬砌振动传递至预埋点位，降低振动引发的基准坐标瞬时波动，稳定的基准点位可压缩角度观测离散误差区间。

##### 5.3 数据解算算法改进

动态自适应粗差识别算法替换固定三倍中误差判别阈值，算法依托单站多余观测分量实时调整粗差判别边界，适配直线、曲线隧道差异化误差分布特征。解算模型叠加系统误差分离模块，模块拆分观测数据内部系统误差与随机误差，系统误差分量单独建立修正方程完成补偿运算。多测点气象插值公式替换统一静态气象改正模型，插值公式依托洞内多点气象采集数值拟合空间折射率分布，细化测距改正量的分段计算逻辑<sup>[6]</sup>。长距离盾构区间引入分段平差运算模式，每 600m 区间独立完成一次平差检核，分段运算模式逐层消解测量累积误差，平差模型同步匹配边角联合解算框架，保留原有坐标求解核心运算逻辑并补充误差分层处理模块。

#### 6 结语

本文明确隧道特殊工况下自由设站测量独有的作业适配特征，搭建平面控制测量技术体系，并明确布设标准与观测参数。全文划分完整标准化作业流程，区分对测量成果产生扰动的三类核心影响因素，并分别从设备管理、环境管控、算法优化三个层面给出针对性改进方案。该技术体系一盾构洞内自由设站测量作业标准，能够稳定控制平面测量点位误差，技术内容可直接服务于城市轨道交通盾构隧道施工测量现场作业。

#### [参考文献]

- [1]陈迪猛.断裂带地层盾构开挖面土体失稳处置措施[J].城市轨道交通研究,2026,29(7):89-94.
- [2]刘立永,叶正联,刘钦文,王忠英,解廷伟,王锋,周学彬.城市轨道交通双模盾构模式转换技术探讨[J].四川建筑,2026,46(3):85-86.
- [3]王辉,孟晓静,宁晋萱.地铁过江区间盾构掘进进度动态控制方法研究[J].铁道工程学报,2026,43(1):101-106.
- [4]杨发.地铁区间隧道盾构始发钢套筒施工工艺优化设计[J].工程机械与维修,2026,(1):74-76.
- [5]鲁朋.地铁盾构区间施工测量中姿态监测数据误差修正技术研究[J].产品可靠性报告,2025,(12):167-169.
- [6]周毅.浅覆土盾构小净距上穿对既有区间隧道的影响及控制措施研究[J].施工技术(中英文),2025,54(24):9-16+22.