

2020-J-2

青岛地铁 1 号线长距离过海隧道高精度贯通测量

作为国内迄今为止最长、最深的海底地铁隧道，青岛地铁 1 号线过海段全长 8.1km，其中海底段 3.49km，最大海底深度 88m。在海上无法建造竖井或斜井，长距离跨海地铁隧道的空间基准和方向只能通过到过海隧道区间的两侧做联系测量进行传导。由于距离较长，随着测量距离的深入，测量的误差会逐渐累积，如果不加以修正，这将会对隧道的贯通产生不利的影响；本工程属于典型的短边控制长边，同时，单向贯通距离长，测量误差累积大，贯通精度控制难度大。该项目产值 350 余万，对过海隧道后续施工产生了不可估量的经济效益和社会效益。

为保证过海隧道的精准贯通，本工程采用了多项新技术、新方法，主要的技术措施：

1、地上三维空间基准的平面以 CORS 作为起算，高程以已知高等级水准点作为起算，由此得到的过海段隧道地上空间基准是与区域空间基准相统一，极大地方便了相关的规划、设计以及施工等工作。对地铁地上空间基准的分级布设方案进行探索，对获得的 GNSS 数据进行 GNSS 静态控制网分别定权融合平差优化算法的研究，并结合大气折射、对流层和电离层模型进行时域和空域变化分析，以此来提高地上平面空间基准的精度。

2、施工开挖前进行过海隧道贯通精度估计，顾及地面控制测量、联系测量和地下控制测量的综合影响，对影响贯通的各项因子进行分

类定权，通过误差传播分析，在满足规范要求的贯通精度下，分析各类影响因子的最大允许测量误差。针对不同影响因子，采取必要的控制措施减少误差积累，确立了平面采用 **TS50** 一级全站仪观测 **6** 个测回，高程采用天宝 **DINI03** 电子全站仪往返测的技术思路，在观测过程中严格按照规范要求进行，减少误差积累。导线网布设时综合考虑了各种因素，使得线路设计最优化，导线网主要布设成附合网和结点网的形式，以卫星定位控制网作为起算点。为了使得全线导线网精度统一，将全线导线网进行整体平差。将所有起算点数据、观测数据一次性录入平差软件进行解算。

3、联系测量是过海段地下空间基准建立的重要步骤，对于平面空间基准，通过使用导线测量方法（适用于斜井）、一井定向及两井定向（适用于竖井）等方法将地上平面空间基准引测到地下；对于高程基准，采用几何水准测量方法（适用于斜井）、悬挂钢尺测量法（适用于竖井）等方法将高程基准引测到地下；以此建立长距离跨海地铁隧道地下三维空间基准。对联系测量的外业观测方案以及数据的处理算法进行进一步的研究，提高联系测量的精度，保证地下空间基准起算数据的正确性。

4、采用双导线进行方向传递的方法具有较高的稳定性和较高的精度，但是随着测量距离的深入，方向传递的误差也会逐渐累积。当距离足够长时，由于线路间没有已知点可供联测，这将有可能对隧道的贯通产生不利的影响。为了能够减小定向误差累积造成的影响，提出使用加测陀螺定向边的方法，加测陀螺定向边的方法能够提高长距

离跨海地铁隧道空间基准的精度以及定向精度。使用陀螺全站仪分别使用中天法、逆转点法等方法进行寻北定向，对不同方法的测量结果和精度进行对比分析，对陀螺全站仪数据处理的过程进行优化，通过各种措施来提高定向测量的精度以及长距离跨海地铁隧道空间基准的精度。

青岛地铁 1 号线过海隧道于 2018 年 11 月顺利贯通，通过贯通测量及平差计算，过海段平面贯通误差 4.2mm、高程贯通误差 9.1mm，远低于规范限差要求，贯通精度极好。高精度的贯通测量成果为后续工序奠定了良好基础，现阶段过海隧道已完成轨道铺设工作，各项精度指标良好，设备安装工作正有条不紊的运行中，为地铁车辆快速平稳行驶提供了必要条件，为青岛地铁后续过海隧道的建设提供了技术解决方案。