

地铁隧道联系测量方法与精度分析

张志军

北京致远工程建设监理有限责任公司 北京 100000

摘要：在地下盾构隧道施工中，联系测量是为盾构隧道传递方向、坐标、高程的测量方法，平面联系测量方法有一井定向、两井定向、投点仪+陀螺仪定向方式、导线定向等方法，高程联系测量有悬吊钢丝、悬吊钢尺等方法。所传递的方向、坐标、高程均是地下盾构隧道的施工依据，联系测量的精度将直接关系到盾构隧道的贯通质量，是隧道贯通的基础。

关键词：隧道；联系测量；精度分析

1 平面联系测量

平面联系测量可分为一井定向、两井定向、投点仪+陀螺仪定向方式、导线定向。平面联系测量分为地上控制点、地下导线和联系测量。

1.1 地上控制点

地上控制点尽量使用甲方提供的GPS控制点，按照隧道施工走向对竖井附近适当增加导线控制点，导线尽量做成符合导线或闭合环的方式，以提高地面近井控制点的测量精度。

1.2 平面联系测量方法

联系测量是将地面上的坐标和方向传递到地下，作为隧道开挖的依据。平面联系测量方法包括：

1.2.1 联系三角形定向法

应用比较广泛，但对竖井的大小有要求，且施工占用竖井时间长的缺点^[1]。

竖井内悬挂两根钢丝，两根钢丝分别挂着重锤置于油桶里，钢丝上贴反光片，全站仪架设地上导线点上，无棱镜模式测量钢丝的距离和角度，从而计算出钢丝的坐标以及两根钢丝之间的方位角，然后在井下导线点上架设全站仪，认为钢丝的坐标和方位角已知，通过测量和计算得出地下导线起始边的坐标和方位角^[1]。

(1)井上、井下联系三角形两根悬吊钢丝间距不应小于5m，定向角 α 应小于 3° ， α/c 及 α'/c' 的比值应小于1.5倍。

(2)采用四测回全圆观测，在角的偏差范围可控制在 $\pm 4''$ 以内。

(3)各测回的地下起始边方位角之间差不应大于 $20''$ ，方位角的平均值中误差不应大于 $\pm 12''$ 。

1.2.2 投点仪和陀螺经纬仪定向

投点仪与陀螺经纬仪定向法，比较快速、精度高，不受施工现场条件的影响，而且占用竖井时间短。陀螺

仪的定向精度影响隧道定向精度，铅垂仪的投点误差作为固定常数影响隧道的横向贯通误差，应使用高精度的陀螺仪，操作熟练的陀螺仪观测者采用双投点、双向取其平均值作为测量起算依据^[2]。

(1)在地面上控制点上先进行测前零的测定，测量完成后，再进一步采用反转定点法。在陀螺经纬仪定向成功后，就可以将其转移到另一边，然后重复上述方法进行整个陀螺经纬仪定向过程。

(2)在隧道中，首先选择一个边长较长比较稳定的导线边，并以此进行陀螺定向。

(3)从地面上控制点通过竖井定向，传递到地下近井点的坐标，应在 $\pm 10\text{mm}$ 之内。

1.2.3 两井定向法

两井定向法掌握最多的技术方法，适合车站已完成的盾构区间或矿山法的浅埋隧道。

(1)两投点通视时间距应大于 $100 \sim 120$ 米；当两投点不通视时，投点间距应大于 150 米；

(2)投点洞内洞外都能通视，以提高定向的测量精度。

(3)当竖井不能保证两井通视时，钻孔直径不小于 20cm ，钻孔应垂直。

(4)地上投点坐标尽可能按符合导线进行测量，不能采用支导线。

1.3 地下导线

地下导线是定向边与投点之间的联络导线。通常定向边与投点之间可直接连接，困难条件可增加临时点，但不得使导线多于3站。

1.4 联系测量次数

地上控制点、定向与投点和地下导线共同构成竖井联系测量。联系测量的好坏将直接影响隧道贯通精度，与竖井位置、定向边长短有关，多次测量可以提高联系

测量精度,因此测量次数可根据基线边长短及隧道贯通距离长短确定。隧道施工到150m、300~350m、贯通前100~150m处,应进行一次联系测量。当隧道贯通距离大于1000米时,应增加一至二次,以保证隧道贯通。

2 联系三角形定向法基本原理与误差

联系三角形定向法是通过竖井悬挂两根钢丝,由井上近井点架设全站仪,在钢丝上贴反光片,无棱镜模式测定钢丝的距离和角度,计算得出钢丝的坐标以及它们之间的方位角,然后在井下,认为钢丝的坐标和方位角已知,作为地下导线起始边的坐标和方位角。联系三角形角度布设得越小越好,边长比例也越小越好,尽可能布设成直伸三角形。对于钢丝稳定性要求高,距离测量精度高。坐标传递的误差位移对隧道贯通的影响是一个常数。测角误差是影响方位传递精度,对隧道贯通的影响将随着盾构隧道的长度增加而增大^[3]。

3 联系测量实例

3.1 工程概况

北京地铁17号线09标段正线长2.26km,共1站1区间,即香河园站、工人体育场站~香河园站区间。

工人体育场站~香河园站区间南起出工人体育馆站,沿新东路向北敷设,下穿亮马河、机场线东直门~三元桥区间和二环~机场路联络线北线高架桥后到达香河园站,正线长度953m。区间设计起点里程右线:YK24+816.339(左线:ZK24+816.339),终点里程右线:YK26+795.646(左线:ZK26+762.523),右线全长1979.307m(左线全长1946.184m),为盾构法+矿山法区间。工香区间地面标高约39.30~41.80m,覆土厚度约15~26m,区间平面线间距11.7~18.0m。区间右线纵坡先以5.3‰上坡,到达最高点后再以4‰下坡到达最低点,最后以26.016‰上坡进入车站。区间左线纵坡先以5.3‰上坡,到达最高点后再以4‰下坡到达最低点,最后以28‰上坡进入车站。轨面标高约8.33~18.50m,地面标高约39.30~41.80m,区间覆土厚度约15~26m。区间平面线间距9.0~18.0m,最小平面曲线半径 $R=350\text{m}$ 。区间隧道主要位于中砂⑦1、粉质黏土⑥层。地下水类型为潜水~承压水,区间隧道结构位于水位以下。

3.2 施工过程控制情况

(1)为确保施工控制点的稳定可靠,测量与相邻标段测量点联测闭合,对地面首级和二级控制网点进行同等精度的复测工作。

(2)盾构始发前,对地面控制点和地下控制点进行布设和复核测量。

(3)盾构区间的施工测量工作主要是盾构机始发时始发托架、反力架和密封钢环的安装定位、隧道线形人工复测和盾构机到达接收井时接收导轨和密封钢环的放样,它们对测量的精度要求很高。

(4)换站前后盾构姿态数据进行对比,盾构姿态差值超过15mm时,应从新对测量结果进行复测复核,确认确实超过15mm无误后,邀请控制测量单位进行复测。

(5)应在换站测量后的第一天(或15环)对后视棱镜坐标、全站仪坐标进行复核。

(6)转弯半径大于500米的隧道,盾构每推进80环,转弯半径小于500米的隧道,盾构每推进50环,应对成形管片隧道轴线进行测量。如遇成型管片隧道测量结果出现超过规范允许值的偏差,应立即停止盾构施工。

(7)盾构到达前100m,应对盾构姿态、接收洞门位置进行测量,并根据测量结果调整盾构施工参数,确保盾构顺利接收。

(8)盾构导向系统

洞内控制导线是支持盾构机掘进导向定位的基础。自动测量的全站仪设置在掘进机附近(一般150m内)的一个导线点上(该点三维坐标已知),后视另一导线点定向。全站仪测量测站至前路棱镜间的距离、方位角、竖直角,前置棱镜的三维坐标和掘进里程(XYZ)即可获得,推算出盾构机前、中、后的三维坐标,并通过计算机与已知该里程的线路设计位置(DTA)相比较,得出偏差值并显示在屏幕上,这就是盾构机姿态的实时检测导向。

(9)隧道线形人工复测

盾构进洞后,及时对盾构管片进行人工复测,并对导向系统进行人工复核,防止导线系统偏差而使盾构掘进方向产生偏差。

盾构掘进过程中,每30-50环进行搬站,由测量人员对隧道线形及盾构机的位置进行人工复核。

3.3 平面联系测量

平面以北京地铁17号线平面控制点DT[17]88c、DT[17]89c、DT[17]97、DT[17]97a为起算依据,测设近井附合导线,外业按《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308-2017中的精密导线测量的技术要求作业,施测水平角观测左右角各四测回,边长观测两测回。内业采用清华山维测量控制网平差软件处理观测数据。右线附合导线角度闭合差 $14.5''$,全长相对闭合差 $1/57243$,平差后最大点位误差 $\pm 4.2\text{mm}$,最大点间误差 $\pm 1.9\text{mm}$,满足《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T 50308-2017)中相应要求^[3]。

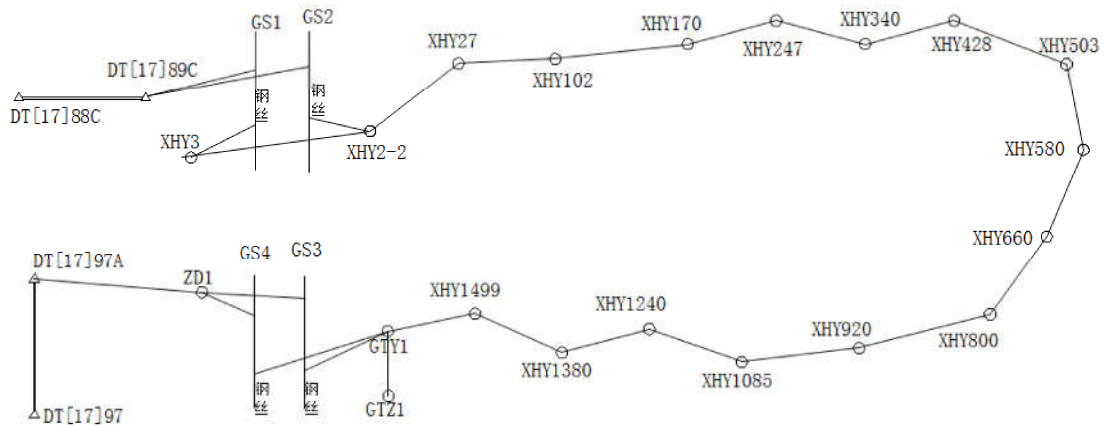


图1 右线导线测量示意图

3.4 高程联系测量

本次高程以DT[17]97、DT[17]98为地下高程控制点作为起算依据，于区间盾构接收竖井悬吊钢尺，布设附和水准路线，从贯通面两侧分别测量贯通点右线GTY1的高程并计算高程贯通误差，然后统一联测平差，水准测量采用轨道交通二等水准测量的方法进行施测。内

业采用清华山维测量控制网平差软件处理观测数据。右线附合水准线路高差闭合差为9.8mm，水准线路全长1.9km，平差后最大高程中误差±2.9mm，最大高差中误差±1.8mm，满足《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T 50308-2017)中相应要求。

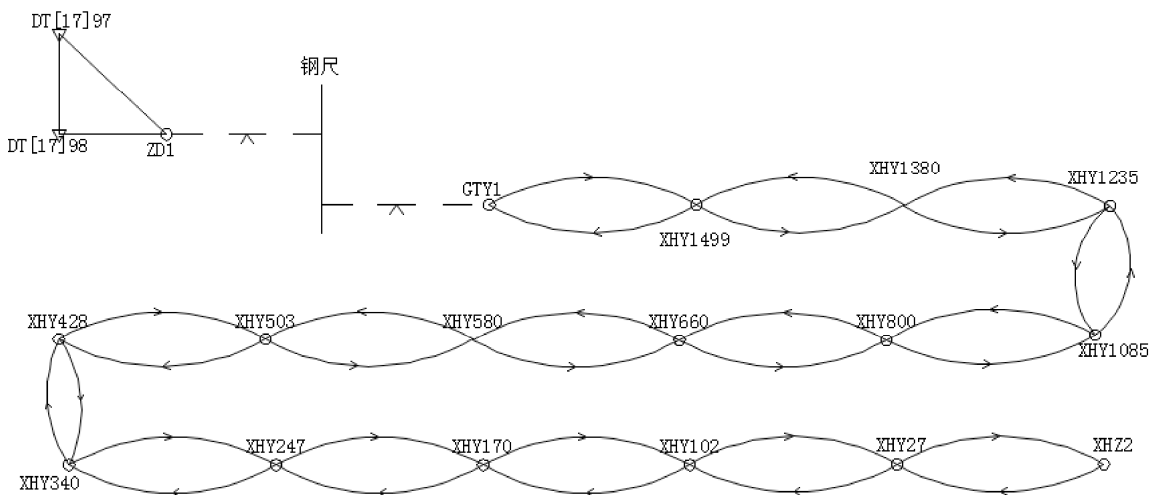


图2 右线高程传递测量示意图

3.5 数据处理

内业采用清华山维测量控制网平差软件处理观测数据。右线导线平差后最大点位中误差±4.2mm，最大点间中误差±1.9mm；右线水准路线全长约1.9km，经平差后，最大高程中误差±2.9mm，最大高差中误差±1.8mm。精度满足《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308-2017中的相关要求。

减少地下导线测量对横向贯通误差的影响。地下导线的边长应适当加大；使用1"级以上仪器，增加角度测回数，提高测角精度。(3)严格按照规范要求进行竖井联系测量，当施工进行到1千米时，加测1次陀螺方位角，用以限制测角误差的积累，提高横向贯通精度。

结论

控制联系测量引起的贯通误差，特提出以下控制措施：(1)提高测角精度，减少测角误差，多次测量取平均值。从而减少地面控制测量对盾构隧道横向贯通误差的影响；(2)地下导线布设双导线加强检核提高精度，

参考文献

- [1]段朝阳.采矿工程巷道掘进及支护技术的应用叮.建筑工程技术与设计,2019(18):407.TB10101—99
- [2]《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T50308-2017)
- [3]《轨道交通建设工程控制测量总体技术要求》(轨道安质字【2011】225号)