

盾构隧道长距离独头掘进的控制测量技术

许维青¹, 韩福忠²

(1. 中铁隧道集团北京地下直径线项目部, 北京 100045; 2. 铁道部安全质量监督总站, 北京 100045)

[摘要] 北京地下直径线盾构独头掘进距离达 5.2 km, 因此隧道贯通精度控制难度大。通过测量精度分析, 单纯通过导线测量已不能满足设计规定的贯通限差要求, 施工中通过导线直接传递定向、洞内加测陀螺边、地上地下控制网紧密联系等辅助方法, 提高了贯通横向误差的精度, 达到了预期效果。

[关键词] 盾构; 长距离; 独头掘进; 控制测量

[中图分类号] U455 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)12-0056-03

1 前言

由于隧道的长度、竖井埋深对最终的贯通精度起决定性的影响作用, 因此对于长距离隧道施工, 进行详细的贯通误差分析以确定合适的控制测量方案设计非常关键。

2 工况条件介绍

北京地下直径线线路沿前三门大街呈东西走向, 线路全长 9 151 m。其中, 盾构隧道全长 5 175 m, 自天宁寺 4# 竖井位置始发, 独头掘进 5 175 m 后贯通于 2# 井位置, 始发井深 31.72 m。线路示意图如图 1 所示。

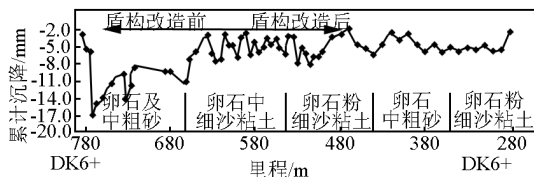


图 1 线路示意图

Fig. 1 Diagram of the line

盾构隧道全线共设有 7 处平曲线, $R_{\min} = 850$ m, $R_{\max} = 8 000$ m, 线路最大坡度为 1%, 最小坡度为 0.3%, 竖曲线半径为 10 000 m。

地面控制网由设计单位布置 B 级 GPS 网, 每半

年进行一次复测, 现场施工控制点直接利用设计院 GPS 网控制点引入。

设计横向贯通限差为 80 cm, 铁路测量规范对于该类长度隧道的贯通误差限值为 150 mm。为此必须进行详细的误差分析和测量方案设计。

3 贯通误差分析及测量方案设计

3.1 贯通误差影响及权限分配

影响隧道横向贯通的误差主要取决于地面控制测量误差、竖井联系测量误差、地下导线控制测量误差以及盾构姿态定位测量误差几方面的因素影响。由于《新建铁路工程测量规范》^[1] 中隧道贯通误差的分配仅对山岭矿山隧道的施工提出参考值, 而对于城市盾构隧道的贯通误差分配未提出要求。为此实际施工过程中参照地铁测量规范和和相关研究文献, 对误差按以下原则进行分配。

地面控制测量: 由于地面通视条件好, 测量精度高, 因此权限取最小值 1, 即 1 m。

竖井联系测量和盾构姿态控制测量: 盾构始发井深 31 m, 由于竖井深, 采用直接投点定向存在俯角过大、照准精度低、控制边短边等问题; 采用联系测量也主要受制于边长, 无法提高洞内控制测量精度; 这些问题很难通过测量仪器精度调整、人员调整而改变, 为此权限取 2, 即 2 m。

[收稿日期] 2010-08-01

[作者简介] 许维青(1974—), 男, 山西运城市人, 高级工程师, 主要从事隧道及地下工程方面的施工及研究工作; E-mail: jyxwq@163.com

地下导线控制测量实际施工中主要通过主副导线环进行,但考虑到以支导线计算更偏于安全,因此仍按支导线进行计算,权限分配值按3 m考虑。即 $m_1:m_2:m_3:m_4=1:2:3:2$ 。则有:

$$m_0^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 = 18 m^2 \quad (1)$$

式(1)中, m_0 为隧道横向贯通中误差; m_1 为地面控制测量引起的隧道横向中误差; m_2 为竖井联系测量引起的隧道横向中误差; m_3 为盾构姿态定位测量引起的横向中误差; m_4 为地下控制测量引起的隧道横向中误差。

由于隧道贯通限差要求为80 mm,则可得贯通横向中误差为40 mm,代入式(1)求解,得 $m = 9.428$ mm,则可知地下导线控制测量中误差 $= 3 \times 9.428 = 28.284$ mm。

3.2 测量方案设计

3.2.1 测量精度分析

由于导线的横向误差来源主要是角度测量误差,因此测角引起贯通面导线端点相对于起点的横向中误差按等边直伸形导线估算,其最远点横向估算根据文献[2]按式(2)计算:

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} S \sqrt{\frac{n}{3}} \quad (2)$$

式(2)中, m_u 为支导线终点横向中误差,mm; m_β 为测角中误差,mm; S 为导线长度,m; ρ 为 $180^\circ/\pi \approx 57.3^\circ$; n 为支导线边数。

由此可知测角中误差计算公式为:

$$m_\beta = \frac{\rho}{S} m_u \sqrt{\frac{3}{n}} \quad (3)$$

式(3)中, m_β 为测角中误差, " $1'' = 2.54$ cm); $\rho = 180/\pi \times 60 \times 60 = 206\,265''$ 。

按式(3)计算,独头掘进5 175 m,支导线长度按5 000 m计算,支导线边长按500 m考虑,则导线边数约为10,则以28.284 mm的横向贯通中误差可得测角中误差为 $\pm 0.64''$ 。

3.2.2 测量方案

根据新建铁路测量规范^[1],洞内导线测量精度如表1所示。

而基于3.2.1测量精度分析可知,单纯通过导线测量已不能满足设计规定的贯通限差要求,为此要满足测量精度和横向贯通误差的要求,必须依赖于其他辅助措施,结合横向贯通中误差的组成应从以下方面入手:一是通过对测量贯通误差的影响分析,提升地上、地下联系测量精度控制,以降低其在

误差分析中的权限,并适当提高洞内导线测量的中误差允许值;二是应减小误差积累,提高导线终点的横向精度;三是提高洞内导线测量和盾构姿态控制本身的精度,以有效控制贯通误差。

表1 洞内导线测量精度

Table 1 Measurement accuracy of the line in the tunnel

测量部位	测量等级	测角精度/($''$)	适用长度/km	边长相对中误差
洞内	二	1	直线7~20	1/10 000
			直线3.5~20	1/10 000
	三	1.8	直线3.5~7	1/10 000
			直线2.5~3.5	1/10 000

根据以上分析确定测量方案为:

1)导线直接传递定向。盾构前期测量仍然通过盾构始发井联系测量提供控制点,进行控制点延伸。在西端暗挖隧道完成后,在西端176.5 m直接通过导线实现将地面控制网传递定向,由于西端基坑深度不足15 m,通视条件较好,起始边长可达220 m,因此可直接降低原误差分配中的竖井联系测量误差。根据实际情况则将联系测量误差与洞内导线测量误差合并。为此调整后的误差分配则为:地表测量影响中误差:洞内测量中误差:盾构姿态定位测量中误差 $= 1:4:2$ 。则根据上述公式重新计算后的洞内测量中误差允许值 ≈ 35 mm。

2)洞内加测陀螺边。根据文献[3],洞内导线通过加测陀螺定向,可显著减少测角误差对点方位角的影响,避免误差积累,以形成各段附合导线,并最终降低导线端点的贯通误差,同时结合文献中对于加测陀螺位置的分析和估计,我们最终确定在采用1)方法的基础上,分别在300、2 000、4 000 m位置加测陀螺边,进行方位角约束,以控制贯通误差。

3)增加投点孔。笔者在2 km位置增设了一个投点孔,在盾构掘进2 000 m和5 000 m时,直接投点进行导线复测,并以此投点作业约束控制点进行严密平差计算,等同于缩短洞内导线边长度。

4)地下导线采用闭合环测量和延伸。以降低角度观测累计误差对方位的影响。

5)严格控制测站至盾构机的距离。根据贯通误差的分配原理,盾构姿态定位测量的横向中误差可按支导线计算,则为 $m = \frac{m_a}{\rho} S$ (其中, m_a 为仪器的标定精度; S 为全站仪至盾构机的距离)。

如果测站与盾构距离控制在 100 m 以内,则因盾构姿态定位测量的误差可控制在 1 mm 以内。

4 方案实施情况

根据确定的测量精度以及横向误差原因分析,现场实施情况如下:

测量仪器选用瑞士徕卡 TCR1201 全站仪(标称测角精度为 1 s,测距精度为 $1\text{ mm} + 2\text{ ppm} \times D$,注: $1\text{ ppm} = 10^{-6}$);导线水平角观测时,采取强制对中以避免对中误差对测角影响的积累;观测时,内、外角各观测三测回,共六测回,以消除仪器本身照准误差;长、短边均用带照准标志用的精密觇牌棱镜测角测距,以降低觇标偏心产生的误差;测角精度按二等导线要求限制,实测过程测角中误差按 1.7 s 控制。

通过多次复测和第三方检校,目前已完成的 1.7 km 横向误差控制在预计值以内。

5 结语

随着盾构向长距离、深埋发展,实现横向贯通误差要求的难度越来越大,通过直径线测量方案的设计与实施,可以得出:

1) 进行测量方案前必须根据实际工况条件进行详细的测量误差分配和估算。

2) 应根据不同的测量横向中误差进行测量精度的选取,并确定实施的可能性。

3) 根据确定的测量精度和方案,应进一步验算贯通误差,在难以满足的情况下应进行方案修正,增加辅助措施。

4) 地上、地下控制网的联系测量误差应结合工况条件尽量弱化其在全部横向中误差中的分配值,对于浅埋长距离隧道,应优先考虑是否有条件在减少俯仰角、保障边长的条件下实现导线直接传递测量,否则必须结合工况条件,通过钻孔投点或洞内加测陀螺边以避免导线测角误差的积累,进而控制最终的横向贯通误差。

5) 盾构测站和盾构之间的距离与其对横向贯通误差的影响成正比,施工中必须严格控制其长度,对曲线段应考虑控制在 60 m 以内,直线段应控制在 100 m 以内。

参考文献

- [1] 中华人民共和国铁道部. 新建铁路工程测量规范(TB10101-99)[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
- [2] 秦长利. 城市轨道交通工程测量[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 高俊强,王 斌. 测有一个陀螺方位角地下导线的计算及最佳加测位置的理论证明[J]. 南京工业大学学报,2005,27(3):47-50.

Control measuring technique of long distance only head driving in shield tunnel

Xu Weiqing¹, Han Fuzhong²

(1. Beijing Underground Diameter Project Department, China Railway Tunnel Group, Beijing 100045, China;
2. Central Station of Security and Equality Supervision, Ministry of Railway, Beijing 100045, China)

[Abstract] The only head driving distance of the engineering of Beijing underground diameter line is 5.2 km, thus controlling the precision of tunnel transfixion is difficult. Based on the analysis of the measuring accuracy, only through the wire line can not satisfy the design requirements of provisions error limit. Eventually, methods like wire directly orientation, adding the gyro in the tunnel and control net of wire of ground and underground in close connection are determined. These increased the lateral error precision of piercing, and achieved expected effect.

[Key words] shield; long distance; only head driving; control measuring