

文章编号:1005-0523(2011)06-0048-05

长距离盾构隧道相向施工测量方法优化

张业炜, 杨新安

(同济大学城市轨道交通与铁道工程系, 上海 200092)

摘要:以狮子洋盾构隧道为例,探讨了在长距离水下盾构隧道施工中,采取从两端相向施工,地中对接方案时施工测量方法的优化。从施工测量项目统筹规划、贯通精度要求设置、地面控制测量方法、联系测量方法、地下测量方法和盾构导向测量方法等方面给出了优化方案,隧道的顺利贯通表明采用该测量方案可以满足长距离盾构隧道最终贯通精度的要求。

关键词:长距离盾构;相向施工;测量;方法优化

中图分类号:TU921

文献标志码:A

盾构法作为暗挖施工中的一种全机械化施工方法,对环境的影响小,效率高的优点极为突出。但由于盾构机造价昂贵,加上盾构竖井建造的费用和用地问题,短距离隧道施工使用盾构法经济性差,一般认为盾构施工法在施工长度大于750 m才能发挥显著的工艺优势^[1]。随着越来越多的跨江跨海隧道和城市地铁隧道工程建设被提上议程,长距离甚至超长距离盾构隧道掘进成为必须面对的工程问题。

在长距离盾构隧道施工中,线性测量控制技术对整个工程的顺利施工至关重要,目前它是控制盾构姿态偏差,确保施工轴线和设计轴线吻合的唯一途径。长距离盾构隧道受井口及洞内恶劣条件的限制,洞内排风困难,局部有雾气,测量受气流、热浪、旁折光等因素影响大;同时距离增加带来的累积误差增大也是必须解决的问题。受地下工程施工领域现有仪器设备精度水平的限制^[2],提高长距离盾构隧道控制测量精度只能从测量方法的优化上着手。该文以狮子洋盾构隧道为例,阐述在长距离盾构隧道施工测量控制方法的优化措施。

1 工程概况

广深港铁路狮子洋隧道全长10.8 km,时速目标值350 km·h⁻¹,3次穿江越洋。其中狮子洋水面宽3.3 km,水深达2.6 m,为珠江航运的主航道,设计水压达0.67 MPa,是国内首次在软硬不均地层和岩层中采用大直径泥水盾构长距离掘进的工程案例。

狮子洋隧道工程盾构段长9 277 m,工作井长46 m。盾构段采用4台泥水平衡式盾构机施工,施工方案为“2个工作井、4台盾构地中对接”。隧道段内径9.80 m,外径10.80 m,采用“7+1”分块式的通用楔形环钢筋混凝土单层管片衬砌。

2 测量规划和贯通精度要求

盾构隧道工程施工测量内容较多,包括地面测量(地面控制测量、沉降观测和井位放样);联系测量(方向传递、坐标传递和高程传递);地下测量(地下控制测量、盾构导向测量、隧道沉降测量、贯通测量以及竣工测量)等^[3]。在施工前必须对所有测量项目进行合理的统筹规划,如图1所示。

收稿日期:2011-09-23

作者简介:张业炜(1987—),男,硕士研究生,研究方向为隧道工程和铁道工程。

在现行盾构施工规范中将隧道施工测量精度等级和隧道轴线允许误差及贯通误差等要求予以适当放宽,且只对 ≤ 2 km的隧道作了具体要求^[4],贯通距离大于2 km时贯通测量中误差通常由设计、施工、测量人员共同确定^[5]。本工程横向贯通误差为 ± 150 mm,按照三等导线要求和精度指标进行测施;高程贯通误差 ± 250 mm,限差50 mm。由于盾构法施工对贯通精度要求较高,因此洞内水准测量应按二等精度进行。

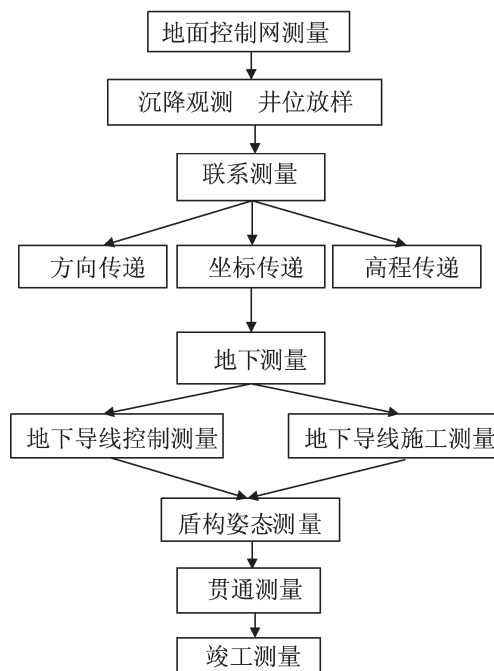


图1 测量方案总体筹划

Fig.1 General project of survey scheme

3 测量方法优化

在各项测量工作中,最为重要的是地面控制测量、联系测量、地下控制测量和盾构导向测量。这些测量内容决定着隧道能否达到设计要求,盾构机能否准确在地中对接。

3.1 地面控制测量

由于相向施工的特殊性,测量工作不仅要保证隧道顺利贯通,还要考虑到相邻标段的搭接。因此,相向施工的标段不仅需要进行独立控制网联合测量,还需要进行与相邻标段的衔接测量。由于狮子洋海面过宽,采用常规测量方法很难达到设计要求,故平面控制采用铁路GPS-B等网设计,并参照国家GPS-C级网精度技术指标,构造大地四边形坚强网络结构施测,所有7个加密GPS控制点均制作强制对中装置,平面布置如图2所示。GPS控制桩离洞口不能太远,同时要求布设的GPS控制桩点间距大于600 m,以提高观测值相对精度,确保复测成果质量。施测时与设计院既有的GPS控制点联测以保持系统基准一致^[6-7]。

3.2 联系测量

联系测量的任务是将地面控制点的高程、平面坐标和方位角准确传递到工作井下。由于盾构始发位置距离地面深度并不很高,所以利用悬吊钢尺的方法即可满足高程传递精度要求。因此联系测量中的关

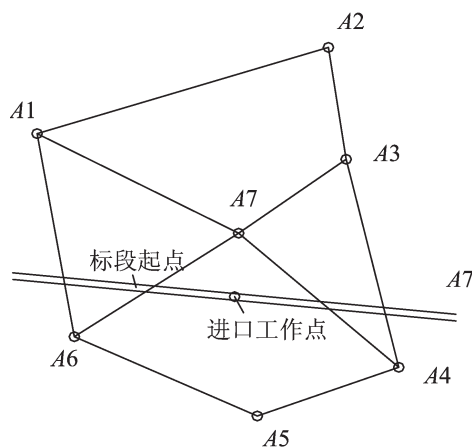


图2 平面控制网示意图

Fig.2 Diagram of horizontal control network

键任务即是对平面坐标和方位角的传递,在工程中采用“1井定向引测、两井定向检核”的方法进行坐标和方位角的传递。两井定向法检核时再悬挂1根吊锤线,利用地面上最近的导线点,采用导线测量测定两吊锤线的平面坐标值。在井下,将已布设的始发基线边控制点与竖井中的吊锤线联测,即可将地面坐标系中的坐标与方向角传递到地下去。

盾构始发初期采用支导线直接投点到始发基线边控制点的方法,确定始发基线边控制点坐标,等明挖工区工作面空出后,在敞开段处布设GPS-B级控制点,直接从地面加密控制点投点到始发基线边控制点。这样可以提高始发基线方位角的精度,确保隧道准确贯通。

3.3 地下控制测量

地下控制测量直接关系到隧道掘进轴线质量,是所有测量工作的重中之重,因此应受到格外关注。为了保证地中对接的精度,洞内平面控制测量和高程控制测量精度必须严格控制。

1) 洞内平面控制测量。采用主副导线(施工主控导线和施工控制导线)分级布设的方法。为了保证点位的稳定,避免观测时受施工环境的影响,施工主控导线点布设在管片侧面的仪器台上,仪器采用强制归心装置,测量人员在走道板上观测,与仪器台完全分离,从而确保仪器的稳定性;施工控制导线点布设在隧道底部,便于管片测量、盾构姿态测量、隧道内施工测量时使用,如图3所示。

考虑到隧道内施工干扰大,能见度低,欲达到 $\pm 1''$ 的测角精度比较困难,故洞内二等导线测量的测角精度可放宽到 $\pm 1.2''$,测边相对精度为 $1/10^5$,左右角各观测6个测回,左右角平均值之和与 360° 的较差控制在 $\pm 4''$ 内,边长往返观测各4个测回,其平均值较差控制在2 mm内。主副导线每前进一段距离便交叉一次,使得主副导线形成多个小闭合环,同时在线路起止点形成一个大闭合环。每个新的施工控制点由两条导线进行坐标传递,当检核无误后,最后取平均值作为新点的数据,每个闭合环均进行导线严密平差。

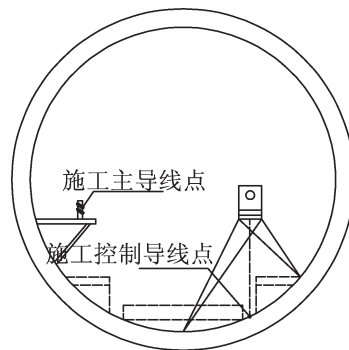


图3 隧道内导线点布置

Fig.3 Layout of traverse points in the tunnel

2) 洞内高程控制测量。以竖井传递的水准点为基准点,在隧道内直线段每隔500 m布设一个固定水准点,曲线段间隔加密为200 m,按国家三等水准测量规范测施,相邻测点往返测闭合差3 mm,全程闭合差 $\leq 12L^{\frac{1}{2}}$ mm(L 为全程长度,km)。在穿越上软下硬的复合地层时候,盾构机姿态会出现“抬头”的现象,因此在该地段应加强洞内高程控制点的观测。

3.4 盾构机导向测量

施工过程中盾构机的导向测量以自动测量为主,用人工测量检核。激光自动导向系统采用基于全自动全站仪和激光感应器的隧道施工连续测量方案,通过盾构机自带PC软件处理系统对全站仪和激光感应器采集的数据进行处理,得出盾构机切口及盾尾的三维坐标,再对比DTA数据库就能得到相应的盾构偏差,实时地显示盾构切口及盾尾的平面和高程偏差。

人工测量必须独立于自动测量系统,定期对盾构机的姿态和位置进行检查,间隔时间取决于隧道的具体情况,在有严重光折射效应的情况下,应缩短检查间隔时间。将人工测量得到的盾构机姿态与自动测量系统计算结果相比较,根据类似工程的施工经验,认为误差在5~10 mm以内自动导向系统的测量和计算是准确的^[8]。人工测量盾构姿态采用平杆法测量,如图4所示。左右定向点 W , E 点之间的距离直接影响前盾构机体方位角,所以 W , E 点间距应2 m;前后 F , B 点之间的距离直接影响盾

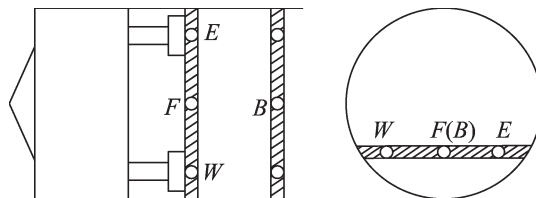


图4 平杆法测量示意

Fig.4 Diagram of balance bar method

构机体的绝对俯仰角,因此后杆应尽量远离前杆, F, B 点间距应1.5 m。

4 陀螺测量修正导线方位

4.1 长距离隧道施工中陀螺测量的必要性

按照误差传播定律和精度分析,隧道内最前端控制点即为最弱控制点,随着导线传递距离递增,其精度会逐渐降低,隧道内高精度控制测量极为不利;其次,工程中使用的直伸型导线的测量精度主要决定于方位测量的精度,光电导线测量不仅存在误差累积,而且缺乏有效的检核手段;再者,隧道深处通视条件差,影响隧道光电导线精度,甚至导致粗差。鉴于以上原因,为保证狮子洋隧道顺利贯通,在SDⅡ标左、右线盾构掘进4 km时开始对隧道内导线实施陀螺定向测量。此项工作的必要性和效果,在隧道贯通测量中得到很好验证,能够最大限度地减小隧道长距离掘进过程中的横向贯通误差。

4.2 陀螺测量简述及测量方案

陀螺全站仪是一种通过敏感地球自转角动量独立测定任意测线方位的定向仪器,它可以不受隧道内支导线误差累积的影响,精确测定任意导线边的坐标方位角。因此,在矿山测量、城市地铁修建以及诸多地下工程测量中都得到了广泛应用^[9-10]。

陀螺定向测量方案如下:

- 1) 选取地面相互通视的高精度导向边作为测定仪器常数的基线边,独立定向测量3个测回。
- 2) 左右线隧道1 400环至1 900环之间,分别选取两条导线边测量陀螺方位,独立定向测量2个测回。
- 3) 返回地面后,在同样的地面仪器常数边,独立定向测量3个测回。

工程中实际使用的GAT陀螺全站仪,标称定向精度为 $5''$,因此要求同一边任意两测回测量陀螺方位角的互差不得超过 $10''$ 。对于超限数据应在现场予以补测。为保证测量成果的可靠性,在仪器常数标定测量及洞内定向测量时,采用一点架设仪器多方向定向的方法,在定向的同时对点位进行检核。

4.3 结果处理

根据进洞前后在仪器常数边测量的6个测回的数据计算陀螺全站仪的仪器常数,评定陀螺定向精度。根据计算得到的仪器常数和隧道内的陀螺定向成果,分别计算隧道内定向导线的北向方位角,并通过子午线收敛角改正最终求取左、右线定向导线的坐标方位角。

将陀螺定向得到的洞内坐标方位角成果,同已有的洞内光电导线成果进行对比分析。并对洞内导线的坐标方位进行调整,以此推算导线点坐标,作为后续控制测量依据。如果结果符合较好,则可保留导线测量结果。如果结果差值较大,则以陀螺全站仪结果对导线成果进行修正。若两者相差过大,则需采取相应措施,重新对洞内导线进行测量,以确保导线结果质量。

5 总结

狮子洋盾构隧道于2011年3月12日全线贯通,直径接近11 m的盾构机在水下60 m处的精确对接,隧道的顺利贯通表明采用该测量优化方案合理可行。在隧道施工前,应对所有需测项目统筹规划,制定合适的贯通误差精度要求;在所有测量工作中,应着重优化地面控制测量、联系测量、地下控制测量和盾构导向测量工作;采用陀螺测量修正导线方位能够有效减小隧道长距离掘进过程中的横向贯通误差,确保隧道精确贯通。

参考文献:

- [1] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004:21-22.
- [2] 张义同,高建,乔金丽,等. 隧道盾构掘进土力学[M]. 天津:天津大学出版社,2010:15-16.
- [3] 牛学军. 城市地铁盾构施工测量若干问题的探讨[D]. 武汉:武汉大学,2005:18-25.

- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50446-2008盾构法隧道施工与验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 汪玉勤. 长区间盾构法施工地铁隧道的测量控制方法[J]. 铁道勘察,2007(2):1-4.
- [6] 居向明,徐忠阳,李俊玲. GPS在工程控制测量中应注意的几个问题[J]. 测绘学院学报,2003,20(1):18-21.
- [7] 李猛. 浅谈长大隧道平面控制网(CP II)测量[J]. 铁道勘测与设计,2011(1):26-30.
- [8] 潘明华,朱国力. 盾构机自动导向系统的测量方法研究[J]. 施工技术,2005,34(6):34-36.
- [9] 刘绍堂,蒋瑞波,苏轩. 陀螺全站仪在矿井联系测量中的应用[J]. 测绘科学,2011,36(2):94-96.
- [10] 袁仁爱,杜强,罗田郎. 浏阳河隧道3#竖井陀螺定向联系测量技术[J]. 铁道工程学报,2010(1):59-62.

Optimization of Measurement of Long Distance Shield Tunnel Construction from Opposite Directions

Zhang Yewei, Yang Xin'an

(School of Urban Track and Railway Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Taking Shiziyang Tunnel as an example, the paper discusses the optimization methods of the long distance underwater shield tunnel construction, which adopts the docking underground methods from opposite ends of the project. Optimization plan include measuring project construction plan as a whole, transfixion precision requirement, ground control survey, connection survey, underground control survey and tunnel guiding survey. Successful connecting of the tunnel means that the method can satisfy the transfixion precision requirement of the tunnel.

Key words: long distance shield tunnel; opposite directions construction; survey; method optimization

(上接第37页)

SHE-PWM Control of Z-source Inverters Based on Current Source

Xu Kai, Song Pinggang

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In the application of traditional current source, the status of circuit block is not allowed. Using Z-source current not only allows the block of circuit, but also implements lift current by controlling the switch. In this paper, the topology of Z-source is analyzed, and the relation of output and input is deduced. The topology is applied in current source inverter that is based in the control of SHE-PWM. MATLAB/SIMULINK is also used to simulate and test, illustrating the characteristics of the circuit.

Key words: Z-source; current source; lift current; specific harmonic elimination