

城市地铁盾构区间施工测量方案设计与实践

陈焕然 李金城

(广州市城市规划勘测设计研究院, 广东广州 510060)

Design and Practice of Construction and Survey Scheme on Shielding Section in Urban Subway

Chen Huanran Li Jincheng

摘要 地铁盾构区间施工测量的主要目的是按设计正确贯通。结合广州地铁六号线东湖站—黄花岗站盾构隧道施工实例,详细阐述地铁盾构区间施工测量管理机构、精度、程序、方法、盾构姿态控制等基本内容,验证了该方案在隧道施工中的有效性和可行性,并根据地铁盾构区间施工的特点总结经验,提出建议。

关键词 城市地铁 盾构区间 施工测量 贯通

地铁隧道区间工程施工工法根据地质等相关情况,一般按明挖法、矿山法、沉管、盾构法等施工手段来实施。盾构隧道施工(见图1)不需要初支、二衬等工序,而是一次性管片拼装成型。根据《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》要求,为使广州地铁六号线东湖站—黄花岗站盾构区间施工能够按设计图纸准确定位,精确贯通,必须进行测量方案设计。在施工过程中通过科学的测量方法,使盾构在隧道内掘进全过程处于受控状态,按设计标准贯通,为机电安装和铺轨提供高质量地铁隧道。

1 工程概况

东湖站—黄花岗站3个盾构隧道区间(位置见图2)位于广州市东山区。从东湖站始发后,先向东后向北掘进,下穿东山湖、省海外联络办等建筑群后,沿东山大街、龟岗大马路、署前路,再延伸至中山一路南侧到达东山口站。继续向前以半径600m的曲线穿过内环高架路27~B桥墩,接入农林下路并沿路北行,以两个半径450m的曲线至环市东路、农林下路“T”形路口接入区庄站。以300m的半径向北相继下穿广东工业大学宿舍区等建筑至黄花岗站。全长5 841.937m。本工程土建阶段投资为2.8亿元,地铁六号首期工程于2011年通车。

收稿日期:2008-04-23

第一作者简介:陈焕然(1969—),男,2005年毕业于武汉大学测绘工程专业,高级工程师。

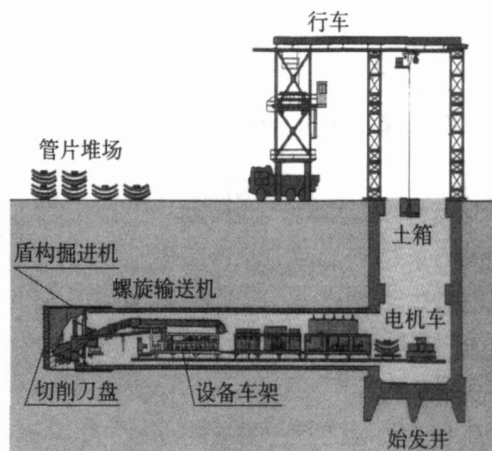


图1 盾构施工示意



图2 东湖—黄花岗盾构区间位置

2 管理机构设计

2.1 人员组成

本项目设专职测量工程师2名,具体负责现场施工控制、测量放样及内业资料的复核整理,助理工程师

1名,专职测量工和技术员 4名。

2.2 仪器设备

主要测量仪器如表 1所示。

表 1 测量主要仪器设备

仪器名称	数量	单位	规格型号	标称精度
Leica	1	台	TCA 1101	$1.5'' \pm (1+1 \times 10^{-6} D) \text{ mm}$
Leica	1	台	TCRA 1201	$1'' \pm (1+1 \times 10^{-6} D) \text{ mm}$
精密水准仪	1	台	WLD-3	$\pm 0.1 \text{ mm/km}$
NAK2水准仪	1	台	Leica	$\pm 0.7 \text{ mm/km}$

2.3 管理机构

(1)内部管理

项目总工是工程测量工作实施的技术总负责人,对项目经理全面负责。测量工程师负责组织对工程各部位的测量控制、放样工作,以及数据的计算、成果校核,对项目总工负责。

(2)外部管理

广州地铁施工测量由总部测量队、驻地监理测量组、承包商测量队三个管理层次组成,各管理层次均设有固定的测量人员和设备仪器。

2.4 作业程序

主要作业程序如图 3所示。

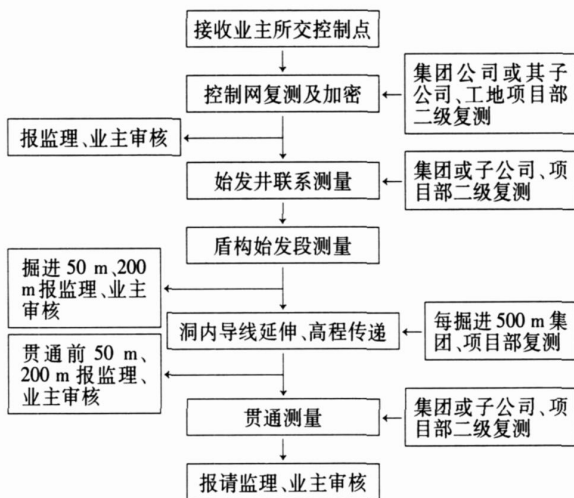


图 3 主要作业程序

3 测量精度设计

隧道贯通限差应符合:横向 $\leq \pm 50 \text{ mm}$ 、纵向 $\leq \pm 50 \text{ mm}$ 、高程 $\leq \pm 25 \text{ mm}$ 。

3.1 精密导线点复测及加密精度要求

各角度测回数: 6个测回;

测角中误差: $\leq \pm 2.5''$;

导线坐标闭合差: $\leq \pm 12 \text{ mm}$;

导线全长相对闭合差: $\leq 1/35\,000$;

测距中误差: $\leq \pm 6 \text{ mm}$;

测距相对中误差: $\leq 1/60\,000$ 。

3.2 二等水准点复测及加密精度要求

观测次数:往返测各 1次;

往返测闭合差: $\leq \pm 8L^{1/2} \text{ mm}$;

相邻高程点高差的互差: $\leq \pm 3 \text{ mm}$ 。

3.3 施工放样

施工放样内容包括主体结构纵横轴线、基坑开挖线及高程、围护结构纵横中心线。限差见表 2。

表 2 放样各项限差要求

测量内容	围护结构			主体结构		
	搅拌桩	连续墙	锚索	边角点	轴线点	细部点
误差范围	$\pm 50 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	$\pm 50 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	$\pm 20 \text{ mm}$
测量方法	极坐标法,支距法,偏角法 依据现场灵活运用			极坐标法,支距法,偏角法 依据现场灵活运用		

3.4 细部放线

①主线: $L \leq 30 \text{ m}$, $\Delta_{允} = \pm 5 \text{ mm}$;

$30 \text{ m} < L \leq 60 \text{ m}$, $\Delta_{允} = \pm 10 \text{ mm}$;

②细部轴线: $\Delta_{允} = \pm 2 \text{ mm}$;

墙门预留洞口预埋件位置线: $\Delta_{允} = \pm 3 \text{ mm}$ 。

3.5 盾构机始发定位测量精度

①平面偏离值: $\pm 5 \text{ mm}$;

②高程偏离值: $\pm 5 \text{ mm}$;

③纵向坡度: 1% ;

④盾构机旋转角: $\pm 3\%$;

⑤盾构机切口里程偏差: $\pm 10 \text{ mm}$ 。

4 施工测量实施

4.1 地面控制点复测与加密

(1)地面控制测量

对本工程使用的农业厅等 3个 GPS点、LJ058等 20个精密导线点和 II6-11等 6个二等水准点按照规范中的精度要求复测并根据工程要求进行加密。密切与监理工程师配合,将测量成果报监理工程师及业主批准后使用。

引测近井导线点:利用复测后成果书,由公司精测队以最近的导线点为基点,采用边角三角形引测至少 3个导线点至每个端头井附近,布设成三角形,形成闭合导线网。

引测近井水准点:利用业主批准的水准网,以最近的精密水准点为基点,将水准点引测至端头井附近并附合在地面精密水准点上,按国家二等精度施测。每端头井附近至少布设 2个以上埋设稳定的水准点,以

便相互校核。

(2) 盾构始发井及站内投点联系测量

在施工过程中,需多次进行联系测量,包括东山湖盾构始发井的投点联系测量及东山口站、区庄站、黄花岗站投点联系测量。

盾构始发井的投点测量和东山口站、区庄站、黄花岗站投点测量,都是将地面坐标方位、高程传递到车站的底板上,所用的方法相同。结合本工程的特点,盾构始发井和黄花岗站坐标方位、高程传递采用如下方法。

① 定向测量

利用地面控制点采用导线定向测量方法将坐标方位传递到地面近井导线点,然后采用导线测量的方法进行定向。地面坐标方位的传递和联系导线测量均按精密导线测量的精度进行。该测量使用仪器为徕卡 TCRA1201 全站仪。水平角观测时,内外角分别观测 3 测回,距离观测时每条边均往返观测,各测 2 测回,每测回读数 2 次,并测定温度和气压,现场输入全站仪进行气象改正,仪器的加乘常数也同时自动改正。定向测量时向井下传递至少 3 个导线点,以利于相互校核。坐标传递测量至少进行 3 次(见图 4、图 5)。

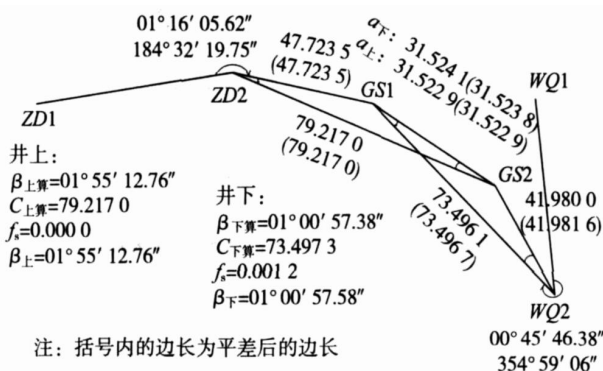


图 4 竖井联系测量计算示意(第一组)(单位:m)

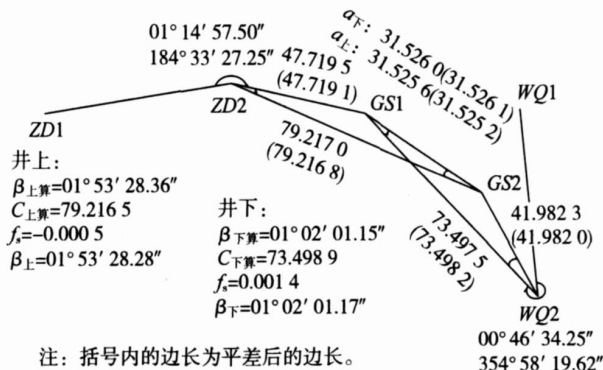


图 5 竖井联系测量计算示意(第二组)

② 高程传递

传递高程测量采用钢尺悬垂法。首先,将地面高程传递到近井水准点上,然后在竖井内悬吊钢尺进行高程传递。鉴定后的钢尺挂重锤(10 kg),用两台水准

仪在井上井下同步观测,将高程传至井下固定点。整个区间施工中,高程传递至少进行 3 次,传递高程时每次应独立观测 3 测回,每测回应变动仪器高度,3 测回测得地上、地下水准点的高程较差应小于 3 mm,闭合差在 $\pm 8\sqrt{L}$ mm (L 为全程长度,单位为 km)之内。

4.2 盾构始发井施工测量

结合现场的环境条件,根据围护结构(搅拌桩、连续墙、锚索)和主体结构的测量内容和误差范围布设相应平面、高程控制网,以确保施工时围护结构、主体结构轴线与细部点放样的精度。

4.3 施工放样

根据总体布置图和细部结构设计图,由整体到局部、由控制到细部的施测原则,以控制网作为放样依据。

(1) 墩台中心点放样

采用极坐标法放样墩台中心点,选定一个为置镜点,另一个为后视点,放样点的坐标可根据内业计算资料计算出来,然后分别计算置镜点至后视点,置镜点至放样点的坐标方位角,即可得置镜点和后视点、放样点间的夹角与置镜点与放样点间的距离。根据上述计算夹角和距离进行放样。

(2) 锚索孔定位

锚索孔定位精度要求在 ± 5 cm 以内,可用全站仪架设在基坑边上,直接放出其空间点位。

(3) 井内施工放样

竖向投测:本项目采用经纬仪与锤球挂吊方法实现投测。高程竖向传递:各层高程的传递采用钢尺直接量测,用水准仪进行测量。分别在结构各个角设高程引测点,确定各层控制线,在控制点处用钢尺沿竖向量至施工层,允许误差为 ± 3 mm。高程测量放样之前应校核传递的高程点。

(4) 满堂支架体系完成后,以柱子的中心位置和高程为依据,测定梁底、顶板底模板的位置和高程,进行调整后再进行下道工序。

4.4 井下控制测量

主导线边长不短于 300 m,曲线上边长不短于 150 m。如洞内通视条件许可,边长尽量加长以减少折角,提高贯通精度;盾构始发井投点测量按照现场实际情况确定,最短边长不小于 100 m。采用三联脚架进行测量,以减少仪器和棱镜的对中误差;对地表控制点经常校核,确保所使用控制点的准确无误。

(1) 井下平面控制测量

地下施工控制导线是盾构机掘进的依据,在管片底

部的相应位置埋设洞内导线控制点,以始发井联系测量的井下起始边为支导线的起始边,沿隧道设计方向布设导线,直线段导线边长 ≥ 200 m,曲线段导线边长 ≥ 100 m布设一点,导线测量采用 I 级全站仪施测。每次延伸施工控制导线测量前,应对已有的施工控制导线前 3 个点进行检测。检测点如有变动,应选择另外稳定的施工控制导线点进行施工控制导线延伸测量。

(2) 井下水准测量

地下高程控制测量起算于地下近井水准点,洞内水准点也可以利用地下导线点作水准点,沿隧道直线段每 200 m 左右布设一固定水准点,曲线段每 100 m 左右布设一个。地下控制水准测量应在隧道贯通前独立进行 3 次,并与地面向地下传递高程同步。

对东湖车站内 BM1-3 进行了复测,投设了 3 个水准点 D12、D13、D14 (如表 3)。

表 3 D12、D13、D14 水准路线高程计算

序号	点号	高差 1/m	高差 2/m	高差 3/m	测站数	较差最大值/mm	高差值/m	高程/m
	BM1-3							7.618 4
1	D12	-27.110 2	-27.109 93	-27.110 27	2	0.34	-27.110 14	-19.491 7
2	D13	-27.131 44	-27.131 11	-27.131 47	2	0.36	-27.131 34	-19.512 9
3	D14	-27.150 89	-27.150 47	-27.150 68	2	0.42	-27.150 68	-19.532 3

经计算较差最大值为: $-0.42 \text{ mm} < f_n (\pm 3 \text{ mm})$, 符合规范要求。

4.5 托架测量

安放在托架上的徕卡 TCA1103 全站仪和后视棱镜点的坐标、高程必须预先测量。该测量使用仪器为徕卡 TCR402 全站仪及 DSZ2 自动安平水准仪。

角度测量采用正倒镜观测 4 测回的方法;距离观测时每条边均往返观测,各测 2 测回,并进行气象改正和仪器加乘常数改正;高程测量采用单程双置镜法。

5 盾构推进测量

5.1 准备工作

对盾构推进线路数据 (DTA) 进行复核计算,实测始发、到达并预留洞门中心横向和垂直向的偏差,并确认无误后方可进行下道工序施工。

按设计图在实地对盾构基座的平面和高程位置进行放样,基座就位后立即测定与设计的偏差。

在盾构右上方留出位置供安装测量标志,并保证测量通视。盾构就位后精确测定相对于盾构推进时设计轴线的初始位置和姿态。安装在盾构内的专用测量设备就位后立即进行测量,测量成果应与盾构的初始位置和姿态相符,并报监理工程师备查。

5.2 盾构隧道推进测量

在盾构机的配置中,用于掘进方向控制的主要为导向系统 (SLS-T)。在盾构机右上方管片处安装吊篮,吊篮用钢板制作,其底部加工强制对中螺栓孔,用以安放全站仪。

强制对中点的三维坐标通过洞口的导线起始边传递而来。在盾构施工过程中,吊篮上的强制对中点坐标与隧道内地下控制导线点坐标应相互检核。如较差过大,需再次复核,确认无误后以地下控制导线测得的三维坐标为准。SLS-T 导向系统能够全天候的动态显示盾构机当前位置相对于隧道设计轴线的位置偏差,主司机可根据显示的偏差及时调整盾构机的掘进姿态,使得盾构机能够沿着正确的方向掘进。

盾构推进测量以 SLS-T 导向系统为主,辅以人工测量校核。该系统主要组成部分有 ELS 靶、激光全站仪、后视棱镜、工业计算机等 (见图 6)。

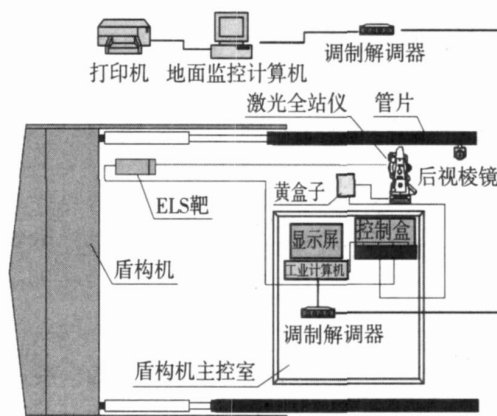


图 6 SLS-T 导向系统

(1) 盾构姿态测量

包括纵向坡度、横向坡度、平面偏离值、高程偏离值、切口里程、滚动值。

(2) 环片成环现状测量

主要包括环片的直径、圆度、环片的平面和高程偏差以及环片前沿里程等。

(3) 隧道沉降测量

盾构机机头前 10 m 和后 20 m 范围每天早晚各测 1 次,并随着施工进度递进,范围之外的监测点每周观测 1 次,直至稳定。当沉降和隆起超过规定限值 ($-30 \text{ mm} / +10 \text{ mm}$) 或变化异常时,则加大监测频率的监测范围。

6 贯通测量和中线调整

6.1 贯通误差测量

盾构到达一个区间后,联测地面上、井下导线网,

水准网,并进行平差,为盾构到达提供具有一定精度和密度的导线点与水准点。利用贯通面两端平面和高程控制点进行贯通误差测量,贯通误差测量应包括隧道的纵向、横向和方位角贯通误差以及高程贯通误差测量。

6.2 地下控制网平差和中线调整

隧道贯通后地下导线则由支导线经与另一端基线边联测成为附和导线,支水准导线也连成了附和水准,当闭合差不超过限差规定时,进行平差计算。按导线点平差后的坐标值调整线路中线点,改点后再进行中线点的检测,直线夹角不符值 $\leq \pm 6''$,曲线上折角互差 $\leq \pm 7''$,高程要用平差后的新成果作为净空断面测量和调整中线起始数据。

7 结束语

东湖站至东山口站 1.2 km 左线隧道已按设计精度贯通,其他区间隧道正在按测量方案有序、受控中掘进。实践证明,上述施工测量设计方案是一个保证施工质量的切实可行的好方案。不但满足隧道贯通限差要求,易于操作,未发生过测量事故,而且测量成果(隧道内导线、水准点和结构断面图)为后续的机电安装、隧道、车站装修提供了准确可靠的测量基础资料。

参考文献

- [1] GB50308—1999 地下铁道、轻轨交通工程测量规范[S]
- [2] GB50157—2003 地下铁道设计规范[S]
- [3] 徐顺明. 广州地铁盾构施工控制测量措施[J]. 城市勘测, 2007(1)
- [4] H. Bejui, T. Avril 何声虎译. 法国修建海底隧洞的经验[J]. 隧道译丛, 1988(8): 8-18
- [5] J. M. SerranoHerrero. 直布罗陀海峡隧道[J]. 隧道译丛, 1986(8): 21-26
- [6] Haugen Liv, Ayers Paul D., Vance Michael, Anderson Alan. Using GPS for vehicle tracking and dynamic property monitoring[A]. 2000 ASAE Annual International Meeting, Engineering Solutions for a New Century, 2000: 2395-2409
- [7] Minowa Tadashi. Polyhedral GPS receiver system for attitude determination[A]. IEEE Vehicular Technology Conference, v 60, n 6, 2004 IEEE 60th Vehicular Technology Conference, VTC2004-Fall: Wireless Technologies for Global Security, 2004: 4108-4112
- [8] Nagasaka Y., Taniwaki K., Otani R., Shigeta K. A study about an automated rice transplanter with GPS and FOG[A]. 2000 ASAE Annual International Meeting, Engineering Solutions for a New Century, 2000: 2337-2341
- [9] Ramalingam Nagarajan, Stombaugh Timothy S., Mirgeaux Jonathan. DGPS-based automatic vehicle guidance[A]. 2000 ASAE Annual International Meeting, Engineering Solutions for a New Century, 2000: 2355-2370
- [10] Rock Kirstin L., Beiker Sven A., Laws Shad, Gerdes J. Christian. Validating GPS based measurements for vehicle control[A]. American Society of Mechanical Engineers, Dynamic Systems and Control Division (Publication) DSC, v74 DSC, n1 PARTA, Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division 2005: 583-592
- [11] 周忠谟, 易杰军. GPS卫星测量原理与应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1997: 105-109
- [12] Bomford, G., Geodesy, 2nd ed., [M]. Oxford University Press, London, 1962: 68-93

(上接第 6 页)

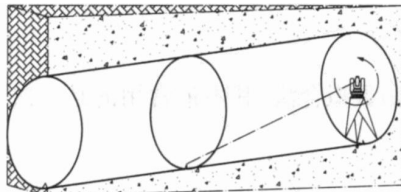


图5 电子全站仪测绘隧道断面

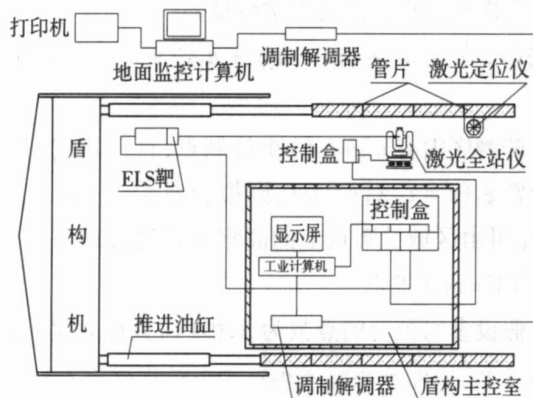


图6 盾构机掘进精准导向与姿态监控

7 结束语

高可靠度、高精度的测量技术对于南京长江隧道的精准信息化施工具有举足轻重的作用,没有高可靠度、高精度的测量技术就不会有南京长江隧道施工的高质量、高安全度、高效率和高速度。南京长江隧道精准信息化施工测量技术方案对于未来长江沿线各城市的越江隧道建设,具有重要的参考价值和借鉴作用。本文叙述的测量方法不仅适用于水下隧道,也同样适用于山岳隧道和城市隧道。

参考文献

- [1] Fathalla EFNahhas Construction Monitoring of Urban Tunnels and