



盾构自动引导系统两棱镜模型的开发与研究

李法礼

(山东省煤田地质局物探测量队, 山东 泰安 271021)

摘要: 提出 2 个棱镜加上倾斜仪的盾构自动引导系统模型, 利用双轴倾斜仪读取俯仰角和扭转角。根据盾首盾尾以及 2 个棱镜的空间位置关系, 用空间解析几何方法推导了盾构姿态解算方法。

关键词: 盾构姿态; 坐标转换; 两点模型; 倾斜仪

中图分类号: U455.43 **文献标识码:** B

随着城市化进程的加快, 城市人口大量增加, 地面交通状况越来越差, 国内许多城市都在积极兴建地铁来缓解地面交通压力。目前国内地铁施工中获取盾构机的实时姿态主要采用人工测量手段, 耗时且费力, 使用的自动引导系统均是从国外引进, 如德国 VMT 公司的 SLS 系统及日本的小松系统等等, 国内一些单位研究的自动引导系统基本都处于试验阶段, 其普遍是三棱镜模型, 它基于空间直角坐标转换或是根据空间相应特征点距离不变的特性解算方程组来求取盾首盾尾的坐标^[1-4]。当曲率半径比较小时, 吊篮上的全站仪会出现不能同时观测到 3 个棱镜的情形。该文提出在盾构机上适当的位置安置 2 个棱镜和 1 个双轴倾斜仪来获取盾构机姿态的方法。

1 数学模型

如图 1 所示, O 为切口中心, C 为盾尾中心, P_1 和 P_2 为盾构机上的测量特征点, 其在盾构机轴线 OC 上的投影点为 P_{01} 和 P_{02} , P_1 与盾构机轴线 OC 组成的平面 π_1 与通过 OC 的竖直平面 π_v 之间的夹角为 α_1 , P_2 与盾构机轴线 OC 组成的平面 π_2 与通过 OC 的竖直平面 π_v 之间的夹角为 α_2 。 α_1, α_2 可在初始标定时求得, 规定从测站看向盾构, 当测量点在盾构机右侧时, 夹角为正值; 在左侧时, 夹角为负值。首先将测量特征点 P_1, P_2 投影到水平面上, 得

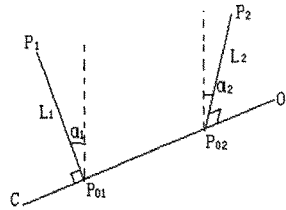


图 1 盾构机上测量特征点与盾构机轴线关系图
到投影点 P_1', P_2' 的平面坐标, 根据此坐标与设计轴线比较, 可得到投影点 P_1', P_2' 的相对于设计轴线的偏差 I_1, I_2 (图 2)。此时盾构机的转角为 α , 则 P_{01}, P_{02} 的盾构转角平面改正分别为:

$$\Delta I_1 = L_1 \sin(\alpha + \alpha_1), \Delta I_2 = L_2 \sin(\alpha + \alpha_2) \quad (1)$$

将偏差 I_1, I_2 分别加上平面改正 $\Delta I_1, \Delta I_2$ 后即得到 P_{01}, P_{02} 平面偏差 M_1, M_2 。

$$M_1 = I_1 + \Delta I_1, M_2 = I_2 + \Delta I_2 \quad (2)$$

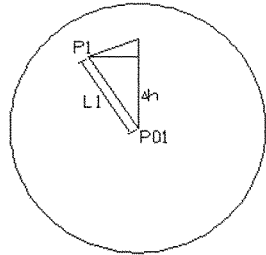


图 2 盾构机转角改正

再根据 $CP_{01}, P_{01}P_{02}, P_{02}O$ 之间距离的比例关系, 利用相似三角形的原理求出盾构机切口中心、盾

* 收稿日期: 2011-09-22; 修订日期: 2011-10-17; 编辑: 陶卫卫
作者简介: 李法礼 (1975—), 男, 山东临沂人, 工程师, 主要从事工程测量、数字化测图外业及质量管理与研究等工作; E-mail: sdlfl2005@126.com.

尾中心的平面偏差,即得到盾构实际的平面姿态(图 3)。

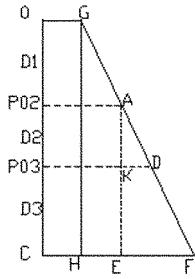


图 3 盾首盾尾水平偏差示意图

如图 3 所示,根据 $\triangle AEF$ 与 $\triangle AKD$ 相似及图形关系可得:

$$\frac{D_2}{D_2 + D_3} = \frac{M_1 - M_2}{EF} \quad (3)$$

$$\Delta_{尾平} = EF + M_2 = \frac{(D_2 + D_3)(M_1 - M_2)}{D_2} + M_2 \quad (4)$$

式中 $\Delta_{尾平}$ 表示盾尾水平偏差,同理,根据 $\triangle AEF$ 与 $\triangle GHF$ 相似可得:

$$\frac{D_2 + D_3}{D_1 + D_2 + D_3} = \frac{EF}{HF} \quad (5)$$

$$HF = \frac{(D_1 + D_2 + D_3)}{D_2 + D_3} \times \frac{(D_2 + D_3)(M_1 - M_2)}{D_2} = \frac{(D_1 + D_2 + D_3)(M_1 - M_2)}{D_2} \quad (6)$$

可求得盾首水平偏差:

$$\Delta_{首平} = \Delta_{尾平} - HF = M_2 - \frac{D_1(M_1 - M_2)}{D_2} \quad (7)$$

P_1 点的盾构转角高程改正为:

$$\Delta h_1 = L_1 [1 - \cos(\alpha + \alpha_1)] \quad (8)$$

式中: α 为盾构扭转角,无论左转右转,改正值均为正。

根据 P_1 点的高程加上转角引起的高程改正 Δh_1 ,并归算到盾构轴线上,得到 P_{01} 点的高程,然后根据双轴倾斜仪读出盾构机的当前坡度值,归算切口中心高程和盾尾中心高程,再与设计的相应里程处切口高程和盾尾高程进行比较,得到切口中心和盾尾中心的高程偏差^[5,6]。

2 系统开发

根据上述数学模型用 VC6.0 开发一套盾构自动引导系统,程序主界面如图 4 所示,界面左上方显示的盾构机的方位角、俯仰角、扭转角偏差以及盾首盾尾的当前里程、水平偏差、竖直偏差,右上方和右下方界面分别显示的是盾首水平偏差和竖直偏差的

历史轨迹,左下方界面 4 个按钮可以方便对全站仪和倾斜仪进行操作,该界面还可以显示盾构机和设计路线偏差的俯视图。

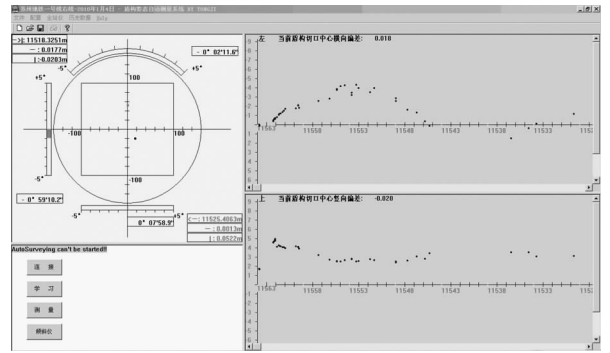


图 4 盾构自动引导系统主界面

首先在始发井中盾构机上适当位置焊两个棱镜,在工程坐标系测定 2 个棱镜及盾首盾尾的三维坐标并把它们录入“配置”下的“TBM - points”中,如图 5 所示,在“平曲线”和“竖曲线”中输入设计曲线相关参数,以 1 m 的间隔放样出设计路线的三维坐标,全站仪测站坐标和后视点坐标在“导线点”中录入。



图 5 引导系统相关配置

系统运行时,全站仪自动测量盾构机上的 2 个棱镜的三维坐标并采集双轴倾斜仪的俯仰角和扭转角,按照上述数学模型计算出盾首和盾尾的水平和竖直偏差并实时显示在系统界面上。

3 结语

随着我国城市地下铁道的大量兴建,使用盾构法施工的隧道将越来越多,但国内当前盾构自动引导系统主要依靠从国外引进,因此对盾构位置和姿态控制的研究将会产生较大的经济效益和社会效益。国内一些单位和机构研制的三棱镜模型的盾构自动引导系统大多处于试验阶段,且遇到小半径隧

道时全站仪并不能保证时刻与 3 个棱镜保持通视, 该文提出基于两棱镜模型的盾构自动引导系统避免了三棱镜模型的不足, 对实际施工有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 张德海. 地铁隧道盾构自动定位系统开发研究[D]. 同济大学, 2006.

[3] 潘国荣, 王穗辉. 地铁盾构施工中的若干测量手段及方法[J]. 测绘通报, 2001, (1): 23 - 25.

[4] 张厚美, 古力. 盾构机姿态参数的测量及计算方法研究[J]. 现代隧道技术, 2004, (2): 14 - 20.

[2] 徐然. 地铁盾构智能导向系统研究[D]. 同济大学, 2008.

[5] 李青岳, 陈永奇. 工程测量学(修订版)[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.

[6] 陈龙飞, 金其坤. 工程测量[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.

Development and Research on Two Prism Shield Model in Automatic Guidance Systems

LI Fali

(Geophysical Prospecting and Surveying Team of Shandong Coal Geological Exploration Bureau, Shandong Tai'an 271021, China)

Abstract: Two prisms model with clinometers of TBM automated guidance system is proposed in this paper. By using double-axis, elevation angle and torsion angle can be read. According to the head and tail of shield and spatial relations and locations of two prisms, by using analytic geometry of space, shield posture solving method has been derived.

Key words: Shield posture; coordinate transform; two-points model; clinometers