

盾构姿态测量方法的研究

魏 丽, 郭玉静, 赵晨光

(唐山学院 机械工程省级实验示范中心, 河北 唐山 063000)

摘要:在地下暗挖施工过程中, 盾构机的掘进路线必须在设计误差要求范围内, 因此实时监控盾构的运动状态至关重要。作为盾构机眼睛的导向系统要求高精度、实时快速地测量出盾构的位置和姿态。基于嵌入式技术设计的激光位移检测靶主要由 CCD 照相机、倾角传感器和棱镜等光学元件组成, 结合全站仪和后视棱镜, 通过 CCD 采集全站仪发射的激光光斑, 对光斑图像进行去噪、形态学等处理, 准确计算中心点坐标, 通过坐标系的转换, 最终实现对盾构的滚动角、方位角和俯仰角的测量。

关键词:盾构; 姿态角; 激光导向

中图分类号:TH741.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2017)03-0074-04

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2017.03.016

A Study on Measurement Method for Shield Pose

WEI Li, GUO Yu-jing, ZHAO Chen-guang

(Provincial Experimental Demonstration Center of Mechanical Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: In the process of underground excavation, shield tunneling route must be within the scope of the design error. So it is very important to monitor the real-time motion state of shield. The guidance system is the eye of shield and it can measure the real-time position and orientation of shield precisely and rapidly. The system of laser displacement detection target based on embedded technology is composed of CCD cameras, tilt sensors and optical prism components. The system, with total stations and rear prisms, collects the laser spot emitted by total station through CCD, conducts denoising and morphological processing of the spot image, accurately calculates the coordinates of the center point and finally obtains the rolling angle, azimuth angle and pitch angle of the shield through the transformation of the coordinate system.

Key Words: shield; attitude angle; laser guiding

0 引言

近几十年来为缓解交通运输压力, 各个城市相继展开了地铁工程项目。由于不同区域地

质条件各异, 地下暗挖施工存在各种技术难题。与传统地铁施工方法相比, 盾构掘进施工因不受天气影响, 不影响地面交通, 对地上建筑和地

基金项目:河北省高等学校科学技术研究指导项目(ZC2016127)

作者简介:魏丽(1981—), 女, 河北衡水人, 讲师, 硕士, 主要从事测试技术、图像处理技术研究。

下管线影响小等原因,逐渐被应用广泛。

盾构法是暗挖法施工中的一种全机械化施工方法。盾构机械在地下推进,通过盾构外壳和管片支承四周围岩防止发生隧道内坍塌。在开挖面前方用切削装置进行土体开挖,通过出土机械运出洞外,靠千斤顶在后部加压顶进,并拼装预制混凝土管片,形成隧道结构的一种机械化施工方法^[1]。

盾构需严格按照设计路线掘进,所以导向系统必不可少。传统的导向系统主要靠人工测量^[2]。随着计算机技术和自动化技术的发展,各种导向技术逐渐应用在盾构系统中。目前导向系统主要有三棱镜导向系统、双棱镜导向系统和标靶导向系统^[3]。笔者设计了一种严密封装的激光靶导向系统,通过其内部的传感器和光学元件实时测量出盾构的姿态角。

1 盾构导向系统结构

盾构导向系统主要由全站仪、参考棱镜和激光靶组成,如图1所示。后视参考棱镜坐标已知,全站仪向参考棱镜发射激光并反射回来,可得到全站仪的高程和坐标角,即为全站仪的绝对坐标。全站仪方位确定后,转动激光器搜寻激光靶,激光靶面向全站仪方向装有角锥棱镜,角锥棱镜是由三个相互垂直的反射面构成的四面体,其最大的特点是:从底面进入的入射光线,经三个垂直面的反射后,再从与入射光方向相反的方向出射^[4]。入射光线经角锥棱镜反射回激光器,全站仪即可确定激光靶的方位。

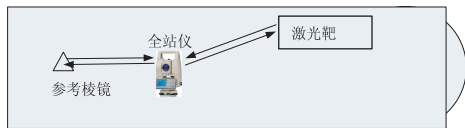


图1 盾构导向系统的组成

2 姿态角测量原理

2.1 激光靶的结构

激光靶主要包括倾角传感器、CCD照相机、角锥棱镜、嵌入式电路板及各种接口,如图2所示。由全站仪发射的激光照射到标靶屏上,可在位于透镜焦平面上的CCD接收面上形成光斑,光斑中心的位置与激光的入射角有关,

使用CCD相机获取激光光斑图像,传输到嵌入式处理模块,利用OpenCV3.0图像处理软件计算光斑中心位置,从而确定激光靶的方位角和俯仰角。滚动角由倾角传感器测量。这样固定在盾构上的激光靶的空间姿态和位置坐标全部获得,从而就可确定盾构机的姿态和位置信息了。

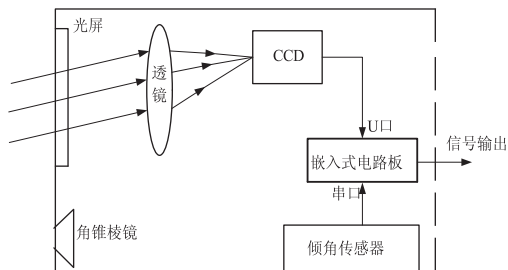


图2 激光检测靶结构示意图

2.2 滚动角的测量原理

滚动角是由盾构机刀盘切削时与土层之间的反作用力造成的,旋转轴为自身轴线。由于盾构机滚动角的变化是盾构在重力平面内绕自身轴线旋转引起的,所以滚角可以通过重力的变化得到^[5],如图3所示。

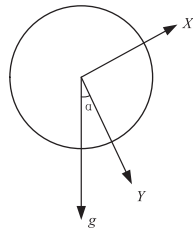


图3 滚动角测量原理图

设X和Y是倾角传感器的输出坐标轴, g_x 和 g_y 分别为重力在两轴上的分量,根据几何关系有

$$\alpha = \arctan(g_x / g_y) \quad (1)$$

根据倾角仪测量原理,采用水平放置的倾角仪得到x和y方向的输出值,通过串口将数据传输给CPU。

2.3 光靶中心定位计算

激光经透镜成像于CCD形成光斑,确定光斑中心坐标即可确定激光靶坐标系内的方位角和水平角。

激光光靶采用密封结构,防止杂散光的摄

入。但由于制作工艺的限制,标靶内部仍有少量外界杂光,同时入射光屏透光的不均匀性也会造成光斑亮度的不均匀,所以需要对手斑图像进行预处理。处理 CPU 选用 ARM9 嵌入式芯片,软件采用 Linux 环境下的 OpenCV3.0 编程完成。

图像预处理过程一般包括图像获取与数字化、灰度变换与空间滤波、图像增强和图像复原等。在实验室中采集的光斑图像如图 4 所示,根据图像特点需对其进行平滑化处理,同时保持光斑边缘的灰度信息,然后确定图像中心坐标。



图 4 原始光斑图像

图像平滑化处理的方法主要有领域平均法、低通滤波法和多图像平均法^[6],激光光斑图像噪声较复杂,单一滤波法无法满足要求,所以采用形态学滤波法进行处理。膨胀和腐蚀是最基本的形态学操作,应用两个基本操作可实现开闭运算、形态学梯度、顶帽和黑帽等更高级的形态学变换。其中开操作可以用来消除小物体,在纤细点处分离物体;闭操作可以增强比结构元小的暗细节,削弱和增强的程度取决于这些特征相对于结构元的尺寸^[7]。本研究根据光斑内部存在块状暗区的缺陷,采用闭操作完成形态学滤波。滤波后图像如图 5 所示。

图像进行滤波后采用质心法获取光斑中心坐标,由公式(2)求得。

$$(x, y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [i \times f(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)}, \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [j \times f(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)} \right), \quad (2)$$

式中, M 和 N 是图像 ROI 边界像素数, $f(i, j)$ 是像素点的灰度值。



图 5 滤波后图像

2.4 坐标系的转换及方位角和水平角的测量

盾构方位角和水平角需在绝对坐标系内进行标定。全站仪通过后视参考棱镜确定其方位,转向内置激光测距仪发出的激光束射向激光靶测得方位角,再根据激光光斑的位置可得盾构的姿态角^[8-9]。

图 6 为激光束射在 CCD 成像的示意图。设标靶轴线与盾构轴线方向一致,光束经透镜后会聚在位于其焦平面的 CCD 上,则有:

$$\tan \theta = r/f, \quad (3)$$

式中 θ 为光束与轴线的夹角, r 为光斑中心与原点的距离, f 为透镜焦距。

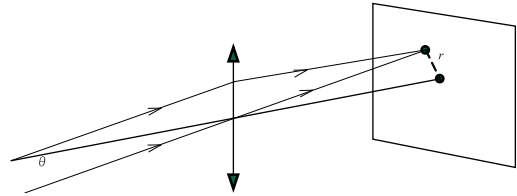


图 6 激光成像示意图

为确定标靶或盾构的方位角和俯仰角,需将标靶坐标系转换到全站仪的绝对坐标系,如图 7 所示。

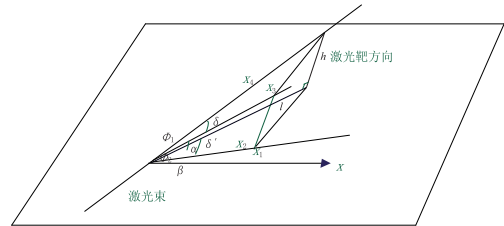


图 7 姿态角关系图

设 x 和 y 轴确定绝对坐标系的水平面, x_2 为激光靶方向, x_1 为 x_2 在水平面的投影, x_4 为

激光束方向, x_3 为 x_4 在水平面上的投影, 所以 α 为激光束的方位角, 可通过全站仪测量。根据几何关系可得激光靶方位角。

$$\beta = \alpha - \delta', \quad (4)$$

$$\cos \delta' = \frac{\frac{h}{\cos \phi_1} \cos \delta \cos \phi_2}{\frac{h}{\tan \phi_2}} = \frac{\tan \phi_1 \cos \delta \cos \phi_2}{\sin \phi_1}, \quad (5)$$

上面两式中 ϕ_1 和 ϕ_2 分别是激光束和激光靶在水平面上的投影角; δ 和 δ' 分别是激光束和标靶夹角及在水平面投影的夹角; β 为光靶的水平方位角。

根据公式(3)~(5)就可换算出激光靶的方位角。

2.5 测试结果

根据实验方法在实验室进行了测试, 测试结果如图8所示。

时间	环号	掘进距离	前点里程	前点东坐标	前点北坐标	前点高程	中点里程	中点东坐标	前点北坐标	中点高程	后点里程	后点东坐标	后点北坐标	后点高程
3/24/2017 13:55:44	0	140.16	140.16	98.06	183.51	17.08	138.61	98.63	184.96	17.07	136.51	99.4	186.91	17.04
3/24/2017 13:56:03	0	140.16	140.16	98.06	183.51	17.08	138.61	98.63	184.96	17.07	136.51	99.4	186.91	17.04
3/24/2017 13:56:18	0	140.16	140.16	98.06	183.51	17.08	138.61	98.63	184.96	17.07	136.51	99.4	186.91	17.04
3/24/2017 13:56:32	0	140.16	140.16	98.06	183.51	17.08	138.61	98.63	184.96	17.07	136.51	99.4	186.91	17.04
3/24/2017 13:56:46	0	140.16	140.16	98.06	183.52	17.08	138.61	98.63	184.96	17.07	136.51	99.41	186.91	17.04
3/24/2017 13:57:01	0	140.16	140.16	98.06	183.52	17.08	138.61	98.64	184.96	17.07	136.51	99.44	186.9	17.04
3/24/2017 13:57:19	0	140.16	140.16	98.06	183.52	17.08	138.61	98.64	184.96	17.07	136.51	99.44	186.9	17.04
3/24/2017 13:57:33	0	138.69	138.69	99.65	184.43	19.17	138.69	99.65	184.43	17.62	138.68	99.67	184.44	15.52
3/24/2017 13:58:16	0	140.16	140.16	98.06	183.52	17.08	138.61	98.64	184.96	17.07	136.51	99.44	186.9	17.04
3/24/2017 13:58:32	0	140.16	140.16	98.06	183.52	17.08	138.61	98.64	184.96	17.07	136.51	99.44	186.9	17.04
前点水平偏差 前点垂直偏差 中点水平偏差 中点垂直偏差 后点水平偏差 后点垂直偏差 前盾水平偏角 前盾垂直偏角 尾盾水平偏角 尾盾垂直偏角 前盾滚动角 尾盾滚动角 前盾俯仰角 尾盾俯仰角														
-33.3	50.11	14.51	37.88	73.51	5.57	-30.85	7.89	-28.11	15.4	-0.05	0	0.45	0	
-33.15	50.09	14.42	37.86	73.1	5.54	-30.7	7.89	-27.95	15.4	-0.05	0	0.45	0	
-33.44	50.14	14.42	37.8	73.49	5.34	-30.88	7.96	-28.14	15.47	-0.05	0	0.45	0	
-33.42	49.81	14.1	37.88	72.72	5.97	-30.67	7.7	-27.92	15.2	-0.05	0	0.44	0	
-26.66	50.19	13.31	37.94	61.69	5.58	-25.79	7.91	-23.05	15.41	-0.11	0	0.48	0	
-24.02	50.15	3.23	37.82	34.38	5.35	-17.58	7.96	-14.84	15.46	-0.05	0	0.46	0	
-23.81	50.14	3.07	37.8	33.73	5.34	-17.35	7.96	-14.6	15.46	-0.05	0	0.46	0	
-1134.65	2135.41	-1134.63	585.41	-1145.14	-1514.25	-540.85	1570.78	676.47	1564.56	-0.05	0	0.46	0	
-24.13	50.16	3.23	37.8	34.54	5.3	-17.66	7.98	-14.91	15.48	-0.05	0	0.46	0	
-23.72	50.19	3.1	37.8	33.67	5.27	-17.31	7.99	-14.56	15.5	-0.05	0	0.46	0	
-24.06	50.19	3.18	37.8	34.31	5.26	-17.57	7.99	-14.83	15.5	-0.05	0	0.46	0	
-23.81	50.21	3.15	37.79	33.91	5.22	-17.39	8.01	-14.65	15.51	-0.05	0	0.46	0	

图8 测试结果

3 结论

本项目研究了一套激光导向方法用于实现对盾构位置和角度的测量。该方法可以准确测量从全站仪发出的激光照射到激光靶的入射角, 通过坐标变换可以转换计算激光靶的方位角和俯仰角, 从而完成对盾构位姿的准确测量。测量系统在实验室进行了测试实验, 测试精度满足要求, 下一步将在现场进行测试。

参考文献:

- [1] 叶志明. 土木工程概论[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 115.
- [2] 杨凯文. 激光法盾构自动导向系统的研究与实现[J]. 现代测绘, 2013, 36(5): 14-17.
- [3] 毕小伟. 盾构机位姿测量系统的关键技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

- [4] 刘冠兰, 黎建洲. 全站仪斜入射角锥棱镜的测角误差分析[J]. 工程勘察, 2017, 45(1): 45-47.
- [5] 邵涛. 用于盾构姿态测量的激光标靶关键技术[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [6] 阮秋琦. 数字图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 145-150.
- [7] 毛星云. OpenCV 编程入门[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 200-203.
- [8] 邹万军, 朱国力, 吴学兵. 基于面阵 CCD 的激光角度测量系统的研究[J]. 光电工程, 2006, 33(10): 91-93.
- [9] 孟祥瑞, 杨学友, 高扬, 等. 激光标靶六自由度测量技术[J]. 光电工程, 2015, 42(5): 28-31.

(责任编辑: 夏玉玲)