

# 地铁盾构隧道成型管片姿态测量及精度分析

高帅<sup>1,2</sup> 符新新<sup>1</sup> 任千<sup>1</sup>

1 北京城建勘测设计研究院有限责任公司

2 城市轨道交通深基坑岩土工程北京市重点实验室

DOI:10.12238/gmsm.v4i3.1073

**[摘要]** 基于既能加快内、外业作业进度,文中以某盾构隧道成型管片姿态实际测量作业为背景,利用全站仪结合铝合金水平长尺对地铁盾构成型管片姿态进行测量。测量成果经与三维激光扫描成果进行对比分析,结果显示采用该方法测量并进行数据处理是可行的,测量结果是准确的。同时,该方法可在仪器设备和人员数量投入上大量节省成本,对类似工程具有很好的指导意义。

**[关键词]** 盾构隧道; 管片姿态; 测量方法; 精度分析

中图分类号: P208 文献标识码: A

## 引言

随着城市化的不断扩张,全国各地都掀起了大范围地建设城市轨道交通工程的热潮,盾构施工以其环保、高效、安全等优势在在众多施工工法中脱颖而出,得到越来越广泛的应用。在盾构掘进施工过程中,因为受后期施工过程中注浆加固、盾构掘进偏差及周边环境变化的影响,已经拼装好的成型管片姿态会经常发生位移现象。这就会使成洞隧道偏离设计轴线较大的质量事故,导致后期设计调线调坡等一系列的附加工作。为了避免这种情况的发生,就要求测量人员除了尽量提高控制测量精度,还要每天实时测量成型管片姿态,及时采取措施纠偏。而传统的管片姿态测量方法直接测量较为困难,同时还容易出现多值性情况。

鉴于以上情况,本文提出了一种利用全站仪结合铝合金水平长尺对地铁盾构成型管片姿态进行测量,结合Excel表格自动计算管片姿态进行测量的方法,并经工程实例验证,该方法测量结果准确且能节省仪器设备和人员投入,可以应用于工程实践。

## 1 盾构隧道成型管片姿态测量方法

为了获取成型管片环心的平面坐标

和高程值,从而有效地指导后续盾构掘进施工,各单位测量人员需要结合盾构机的掘进速度,对成型管片姿态进行测量。在进行测量作业之前,测量人员首先需要制作一根专用的铝合金尺,该铝合金尺长度一定,为了方便调节铝合金尺的水平,需要将一根水平尺固定在铝合金尺上,同时将一张专用的反射片贴在铝合金尺中心位置。测量人员进行外业作业时,需将铝合金管尺水平放置在某一待测成型管片上,同时要保证铝合金尺与环缝对齐,利用固定好的水平尺将铝合金尺调平,此时贴在铝合金管尺中点处的反射片原则上就与待测环管片的中心在同一铅垂线上,然后架设全站仪,采用极坐标法对反射片进行测量,待测环管片中心平面坐标即反射片坐标。

## 2 管片姿态计算的理论模型

地铁平面线路设计一般分为直线段和曲线段组成,其中曲线段又包括缓和曲线段和圆曲线段两种形式。在进行管片姿态计算时,根据计算管片所处位置不同,需要采用不同的模型进行分析。

### 2.1 直线模型

如图1所示,当所测管片对应的圆环

中线坐标点P位于直线上时,假定点A( $X_A, Y_A$ )为已知的线段起点,为点A处线路的方位角,假如点P到点A的距离为*l*,则点P的隧道施工中心坐标可以表示为:

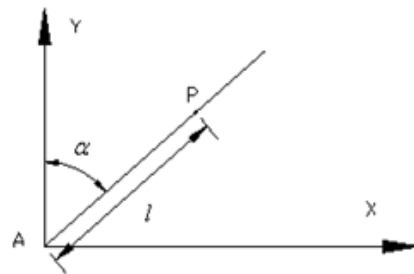


图1 直线模型

$$\begin{cases} X_P = X_A + l \times \sin \alpha \\ Y_P = Y_A + l \times \cos \alpha \end{cases} \quad (1)$$

### 2.2 缓和曲线模型

如图2所示,当所测管片对应的圆环中线坐标点P位于缓和曲线段上时,可以建立临时坐标系以求解其坐标值,该坐标系选取缓和曲线与直线的分界点(ZH点或HZ点)做为坐标原点,过原点的切线为X轴(指向JD),切线的垂直方向(指向曲线内侧)做为Y轴。则点P的隧道施工中心坐标可以表示为:

$$\begin{cases} x = l - \frac{l^5}{40R^2l_0^2} \\ y = \frac{l^3}{6Rl_0} \end{cases} \quad (2)$$

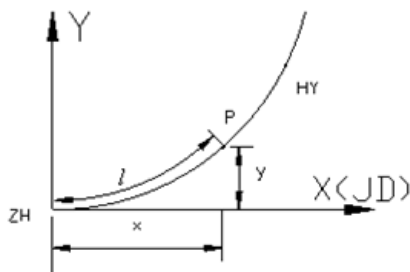


图2 缓和曲线模型

假若点P到ZH(或HZ)的弧长为 $l$ , 曲线半径为 $R$ , 缓和曲线长为 $l_0$ , 圆曲线段偏移量的设计值为 $e$ 。则点P处的切线

方位角可以表示为 $\beta = \frac{l^2}{2Rl_0}$ , 那

么点P处的偏移量可以表示为 $e(\frac{l}{l_0})$ , 经

坐标系转换之后则可以得到偏移之后的缓和曲线上的点P的隧道施工中心坐标值为:

$$\begin{cases} x = l - \frac{l^5}{40R^2l_0^2} - e(\frac{l}{l_0})\sin(\frac{l^2}{2Rl_0}) \\ y = \frac{l^3}{6Rl_0} + e(\frac{l}{l_0})\cos(\frac{l^2}{2Rl_0}) \end{cases} \quad (3)$$

综合考虑地铁线路的偏转方向之后可以进行坐标变换可能有如下两种情况:

(1) 假定待求点P在缓和曲线前段上, 在施工测量坐标系中过ZH点的切线方位角为 $\alpha$  经坐标系统转换之后可以得到点P的隧道施工中心坐标为:

$$\begin{cases} X_P = X_{ZH} + x \cos \alpha - y \sin \alpha \\ Y_P = Y_{ZH} + x \sin \alpha + y \cos \alpha \end{cases} \quad (4)$$

表1 区间部分管片姿态计算结果

管片环号	里程	实测管片圆环中心坐标点三维坐标			实测偏差值 (mm)	
		X (m)	Y (m)	H (m)	水平	垂直
1	8893.380	25270.265	27855.682	2.640	-21	-15
20	8864.866	25298.737	27854.122	2.413	-15	4
40	8834.847	25328.720	27852.643	1.813	-21	-19
60	8804.743	25358.788	27851.183	1.111	-32	29
80	8774.737	25388.756	27849.656	0.204	-5	-1
100	8744.665	25418.792	27848.181	-0.652	-17	-15
120	8714.613	25448.808	27846.735	-1.474	-3	4
140	8684.574	25478.829	27845.745	-2.334	-33	-15
150	8669.538	25493.861	27845.531	-2.788	-9	-27
160	8654.483	25508.914	27845.624	-3.224	-20	-14
170	8639.453	25523.929	27846.000	-3.651	-36	-8
180	8624.403	25538.970	27846.601	-4.031	-33	-27
190	8609.342	25554.012	27847.386	-4.444	-22	-22
200	8594.353	25568.973	27848.293	-4.792	-24	-27
210	8579.316	25583.979	27849.267	-5.090	-23	-12

说明: 实测偏差值栏中的正负表示沿着里程值增大方向的右正左负, 上正下负

(2) 假定待求点P在缓和曲线后段上, 在施工测量坐标系中过HZ点的切线方位角为 $\alpha$ , 则令 $\beta = \alpha \pm \pi$ , 经坐标系统转换

之后可以得到点P隧道施工中心坐标为:

$$\begin{cases} X_P = X_{HZ} + x \cos \beta + y \sin \beta \\ Y_P = Y_{HZ} + x \sin \beta - y \cos \beta \end{cases} \quad (5)$$

### 2.3 圆曲线模型

如图3所示, 当点P位于圆曲线段上时, 假如在施工测量坐标系中过HY点切线的方位角为 $\alpha$ , 则HY点至圆心的方位角为 $\beta = \alpha + n\pi / 2$  (线路左偏时,  $n = -1$ ; 线路右偏时,  $n = +1$ ), 由此可以计算得到圆心坐标 $O(X_0, Y_0)$ 为:

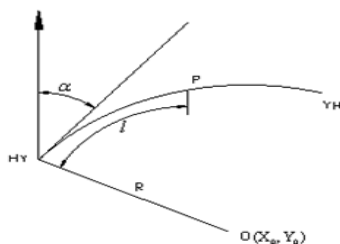


图3 圆曲线模型

$$\begin{cases} X_0 = X_{HY} + R \times \cos(\alpha + n\pi / 2) \\ Y_0 = Y_{HY} + R \times \sin(\alpha + n\pi / 2) \end{cases} \quad (6)$$

则可以通过圆心坐标计算得到圆曲线上点P的隧道施工中心坐标为:

$$\begin{cases} X_P = X_0 + R' \times \cos(\beta + l / R) \\ Y_P = Y_0 + R' \times \sin(\beta + l / R) \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $\beta$  为圆心到HY点的方位角, 且

$\beta = \alpha + n\pi / 2 + \pi = \alpha + (n+2)\pi / 2$ ,  $l$  为圆曲线上待求点P到HY点之间的弧长,  $R'$  为考虑隧道偏移之后的圆曲线半径, 若假设圆曲线隧道偏移量的设计值为 $e$ , 则 $R' = R - e$ , 将以上几式联立之后有:

$$\begin{aligned} X_P &= X_{HY} + R \times \cos(\alpha + n\pi / 2) + \\ &(R - e) \times \cos[\alpha + (n+2)\pi / 2 + l / R] \\ Y_P &= Y_{HY} + R \times \sin(\alpha + n\pi / 2) + \\ &(R - e) \times \sin[\alpha + (n+2)\pi / 2 + l / R] \end{aligned} \quad (8)$$

### 3 工程实例

为了验证该方法在实际工程作业过程中是否可行,测量成果精度是否能满足工程建设需要,本文以某地铁盾构区间为例,采用该方法对已成型的管片姿态进行测量并计算。该区间线路平面曲线要素如下,ZH点坐标为(25576.3047,27848.7331),交点坐标为JD(25503.1888,27843.9868),缓和曲线长55m,曲线半径800m,并结合该段曲线的竖曲线要素,利用上述方法对该区间实测管片姿态与设计值的偏差情况进行计算和比对,部分计算结果如表1所示。

### 4 测量精度验证

为了更加直观地验证该方法测量成果精度是否能够满足工程建设需要,本文又对已测成型管片的内壁进行了三维激光扫描精确测量,并利用专用软件对待测里程上隧道中心坐标(即成型管片圆环中心坐标)进行拟合计算,然后将两

种测量方法测得的成果进行精度对比分析,结果所测量的865个成型管片成果中,采用两种测量方法所得到的成果差值绝大多数小于15mm,只有个别差值大于15mm。结果说明利用全站仪结合铝合金水平尺对成型管片姿态测量的方法是可行的,精度也能够满足实际工程建设需要,且在仪器设备和人员投入相较于三维激光扫描测量方法而言,操作更简便,投入成本更低。

### 5 结论

本文简单地介绍了地铁盾构隧道成型管片姿态的测量方法,并结合相关理论计算模型进行了分析阐述,为了更加直观地验证该方法测量成果精度是否能够满足工程建设需要,经与三维激光扫描成果进行比对验证,得到如下结论:

(1)通过该方法测量并计算获得的盾构隧道成型管片姿态成果能够满足工

程要求的精度,该方法具有可行性和科学性。

(2)该方法操作简单,测量成果能直接反应盾构推进过程中的姿态控制情况,可以在盾构推进施工过程中提供技术参考和指导纠偏。

(3)该方法只需要利用一台全站仪结合特制铝合金水平长尺即可完成测量,相较于利用三维激光扫描技术,更能节省仪器设备和人员的投入。

### [参考文献]

[1]高帅,方秀友.地铁隧道中心平面坐标计算程序的设计与实现[J].智慧城市与轨道交通,2016:333-336.

[2]范鹏飞.地铁隧道盾构管片姿态测量方法与软件设计[J].城市勘测,2020(4):143-146.

[3]高帅.基于最小二乘法的地铁盾构隧道横断面测量方法的研究[J].城市勘测,2015(6):94-97.