

全站仪在管片结构竖向位移监测中的应用

杨茂华, 孙亚霖

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 依据全站仪三角高程测量方法, 确定地铁盾构隧道中管片结构竖向位移的测量方式, 研究全站仪在地铁隧道施工监控中测量管片结构竖向位移的原理, 推导竖向位移测量中误差公式, 依据该公式对不同测量环境下测量精度进行分析, 确定测量方法的适用范围, 并通过实际工程应用分析验证其可靠性。结果表明, 采用全站仪三角高程方法测量隧道管片结构竖向位移, 方法简单、迅速, 可节省大量人力、物力, 在满足一定要求的前提下测量精度满足规范要求。

关键词: 隧道; 管片; 竖向位移; 全站仪; 三角高程

中图分类号: U456.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)05-0150-03

随着社会的发展, 城市交通压力越来越大, 城市轨道交通迎来井喷式发展。随着大量城市轨道交通项目的上马, 轨道工程的安全问题日益凸显, 对工程监测提出了更高要求。管片结构竖向位移监测在地铁隧道变形监测中具有重要地位, 目前主要采用公路隧道的测量方法, 如精密水准测量法、自动化监测系统等。这些方法都存在一定局限, 如水准仪测量倒尺法存在挂尺不便的问题, 测量工作强度高、时间久, 需较多人力和物力投入; 自动化系统造价高, 系统稳定性差, 常需人为干预才能连续工作。随着工业技术的发展, 精度更高的全站仪在隧道施工监测中的应用越来越广泛, 不用测量仪器高和棱镜高的三角高程测量方法得到广泛运用, 并取得了很好的效果。

1 测量方法及原理

三角高程测量方法是基于徕卡圆棱镜和小棱镜的全站仪测量管片结构竖向位移的方法, 测量过程中不用量取仪器高和棱镜高, 且对全站仪的设站位置无太多要求, 架设在通视好的位置即可。

监测基准点由地面国家一、二等水准网引入隧道洞口外, 并设置牢固的强制对中墩, 在对中墩上放置圆棱镜。布设监测点时, 为保证测量精度, 选择基准点零点位置时基准点距离第一站仪器安置点的水平距离应不小于后视点高度的 2 倍, 以防后视点观测竖直角大于 30° 。保持较小的后视点竖直角, 以适当增加水平距离, 可增强后视点的稳定性。

隧道内监测点设置在拱顶, 并避开施工管道, 监测点用 360° 小棱镜固定在管片上, 每隔固定距离布设一个监测点, 并按照顺序编号(见图 1)。

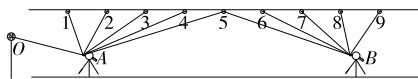


图 1 拱顶沉降测量路线

测量时, 将全站仪架在点 A, 此时后视点为点 O, 前视点为点 5, 然后依次测量点 1~5, 完成一测站的观测; 然后搬至点 B, 此时后视点为点 5, 依次测量该站需测量的监测点, 测完后搬至下一站进行测量。为保证测量精度, 后视点和前视点到站点的水平距离应大于测点高度的 2 倍。

2 测量数据计算

2.1 高程计算

如图 2 所示, 设基准点为点 1, 待测点为点 2, 在测点 1、2 分别安放圆棱镜, 在测点 1、2 大致中间的位置安设全站仪, 按照常规三角高程测量原理, 则测点 1、2 间的高差为:

$$h_{12} = H_2 - H_1 = S_2 \sin \alpha_2 - S_1 \sin \alpha_1 + \frac{1-K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 - \frac{1-K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 \quad (1)$$

式中: H_1 、 H_2 分别为测点 1、2 到站点平面的距离; S_1 、 S_2 分别为测点 1、2 到站点的距离; α_1 、 α_2 分别为测点 1、2 到站点连线与水平面的夹角; K_1 、 K_2 分别为测站到测点 1、2 的大气折光系数。

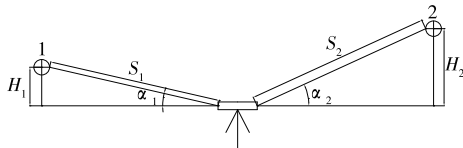


图 2 拱顶测量计算示意图

点 1 为基准点,高程已知,则测点 2 的高程为:

$$H_2 = H_1 + S_2 \sin \alpha_2 - S_1 \sin \alpha_1 + \frac{1 - K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 - \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 \quad (2)$$

由于是在洞内测量,测量距离较短,测量环境稳定、均匀,每点的测量情况相似,大气折光的影响较微弱,为抓住主要矛盾,分析三角高程测量误差的主要影响因素,不考虑大气折光的影响,式(2)简化为:

$$H_2 = H_1 + S_2 \sin \alpha_2 - S_1 \sin \alpha_1 \quad (3)$$

2.2 中误差计算

点 1 为基准点,高程稳定,不考虑点 1 的误差,对式(3)进行全微分,得:

$$dH_2 = \sin \alpha_2 dS_2 + S_2 \cos \alpha_2 d\alpha_2 - \sin \alpha_1 dS_1 - S_1 \cos \alpha_1 d\alpha_1 \quad (4)$$

式中: dH_2 为测点 2 高程的微分量; dS_1 、 dS_2 分别为测点 1、2 至测站斜距的微分量; $d\alpha_1$ 、 $d\alpha_2$ 分别为测点 1、2 竖直角的微分量。

由于测量使用的是同一台仪器,前后视距又大致相等,各距离和角度中误差分别按照相等来处理,根据误差传播定律,式(4)的中误差为:

$$m_h = \pm \sqrt{(\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2) m_s^2 + (S_1^2 \cos^2 \alpha_1 + S_2^2 \cos^2 \alpha_2) \frac{m_a^2}{\rho^2}} \quad (5)$$

式中: m_h 为测点 2 的高程中误差; m_s 为距离测量的中误差; m_a 为高度角测量的中误差; ρ'' 为转换系数,其值为 206 265。

2.3 精度分析

采用徕卡 TM50 全站仪配合徕卡圆棱镜(见图 3)进行测量,其测角精度 $m_a = \pm 0.5''$,测距精度 $m_s = \pm (0.6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$,具有强大的数据存储和处理功能,可免去洞内计算和测量常数设置等,从而大大减少测量工作时间。



图 3 测量仪器

按照控制变量的方法,分别固定距离和角度,计算测点高程的中误差,结果见表 1。

表 1 参数计算结果

距离/m	各竖直角(°)下的高程中误差/m				
	15	30	45	60	75
25	0.23	0.44	0.63	0.77	0.85
50	0.24	0.46	0.65	0.80	0.89
75	0.25	0.48	0.68	0.83	0.92
100	0.26	0.49	0.70	0.86	0.96
150	0.27	0.53	0.75	0.92	1.02
200	0.29	0.57	0.80	0.98	1.09

由表 1 可知:1) 竖直角不变时, m_a 值不变, m_s 随着观测距离的增大而增大,测量误差增幅随着观测距离的增大而增大。2) 如果每次测量距离不变,则 m_s 影响值固定, m_a 影响值随测量距离的增加而增加,测点高程误差有所增加,但增幅不大。3) 测点高程误差的最大影响量取决于测量时竖直角,随着竖直角的增大,测点高程误差快速增大。4) 根据 GB 50911—2013《城市轨道交通工程监测技术规范》的要求,工程监测等级为一级时,竖向位移监测点测站高差中误差小于等于 0.6 mm。对于徕卡 TM50 全站仪,竖直角控制在 30° 以下,测量距离在 200 m 以内都满足要求。

3 工程应用实例

某城市轨道交通二号线的某段地下区间采用盾构法施工,断面形式为圆形,结构形式为装配式钢筋混凝土单层衬砌。洞身主要穿过强~中等风化砂岩、泥岩,局部拱顶为残积土,无不良地质,特殊岩土为人工填土、软土、残积土、风化岩及膨胀岩。隧道范围的主要建(构)筑物有南北大涌公路涵、泰陶卫浴(2 层)、海口人行天桥、凤凰人行天桥、隔田坊安全小区、石油公司油库、凤凰岗加油站、石湾站端头民房区等。工程监测等级为一级,其中管片结构竖向位移为必测项目。

该项目区间竖向位移监测控制网(点)以 85 高程系统为基准建立,采用施工坐标系,起始附合于地铁施工控制网二等精密水准点上。控制点由基准点和工作基点组成,根据该线路车站待监测结构物的位置分布及道路地表等监测对象分布情况,控制网分段布设成局部独立网,与观测点一起布设成闭合环网、附合网或附合线路等。基准点是检验工作基点稳定性的基准,设在远离地铁基坑或隧道施工影响区的稳固位置,距基坑开挖深度或隧道埋深 2.5 倍范围之外。以 3 个断面的竖向位移监测结果(见

图4~6)为例分析测量结果的可靠性。

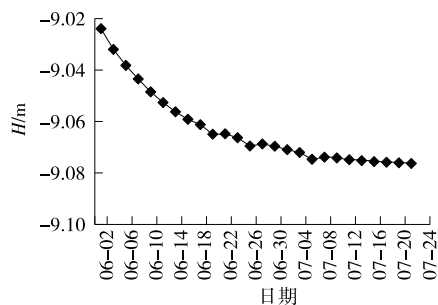


图4 0#断面监测结果

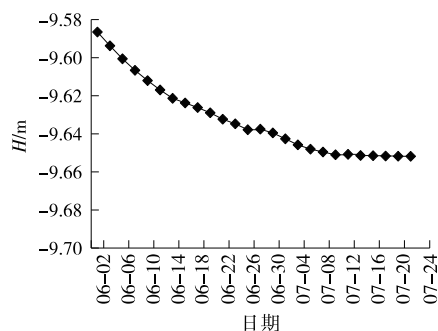


图5 17#断面监测结果

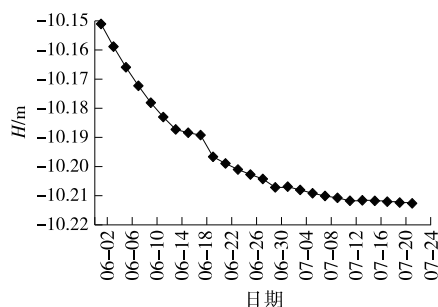


图6 33#断面监测结果

从图4~6可看出:3个断面的监测数据变化平缓、圆滑,只有个别点出现略微起伏;竖向位移整体上呈现越来越小的规律,符合随着盾构机远离管片结构竖向位移逐渐收敛的规律。采用全站仪三角高

程测量方法进行管片结构竖向位移测量科学、可行。

4 结论

(1) 传统水准测量方法操作不便,费时费力,而采用全站仪三角高程测量方法快速且精度满足要求,是测量管片结构竖向位移的一种新方法。

(2) 采用全站仪测量时,相邻两测点间可以不通视,仪器只需整平,无需对中,不用量取仪器高,测量快速、灵活,具有明显优势。

(3) 使用全站仪采取三角测量时,若需进一步提高精度,可采取尽量使前后视距相等、尽量降低竖直角、适当增加测回数等措施。

参考文献:

- [1] 尹志强.地铁隧道施工拱顶下沉值监测方法分析[J].科技与企业,2014(1):202.
- [2] 雷坚强.测微器水准仪在隧道拱顶下沉量测中的应用[J].现代隧道技术,2012,49(1):171-174.
- [3] 刘绍堂,肖海文.隧道拱顶下沉监测[J].地下空间与工程学报,2007,3(8):1397-1399.
- [4] 曾京,王源,刘建永.免棱镜全站仪测量拱顶下沉的方法与分析[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2009,10(2):179-182.
- [5] 郝士华.全站仪Z坐标测量在大断面隧道拱顶下沉量测中的应用[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2015,17(3):7-10.
- [6] 王方奇,张兴.三角形法量测拱顶下沉及周边位移误差调参研究[J].中国高新技术企业,2010(19):58-62.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

收稿日期:2020-04-29

(上接第149页)

- [5] 魏纲.基坑开挖对下方既有盾构隧道影响的实测与分析[J].岩土力学,2013,34(5):1421-1428.
- [6] 谢雄耀,郁宏杰,王庆国,等.基坑开挖引起下卧既有电力隧道变形的控制技术研究[J].岩土工程学报,2014,36(1):88-97.
- [7] 张治国,张孟喜,王卫东.基坑开挖对临近地铁隧道影响的两阶段分析方法[J].岩土力学,2011,32(7):2085-2092.
- [8] 黄宏伟,黄栩, SCHWEIGER F Helmut.基坑开挖对下卧运营盾构隧道影响的数值模拟研究[J].土木工程学

报,2012,45(3):182-189.

- [9] 杨帆,魏焕卫.基坑开挖对既有地铁隧道的影响分析[J].现代隧道技术,2018,55(增刊2):805-810.
- [10] 吴兰婷,雷安平.基坑开挖与下卧盾构隧道的相互影响分析[J].公路,2019(4):339-344.
- [11] 汪小兵,贾坚.深基坑开挖对既有地铁隧道的影响分析及控制措施[J].城市轨道交通研究,2009,12(5):52-57.

收稿日期:2019-12-27