

陀螺定向在地铁长区间隧道控制测量中的应用

孙士通 王 斌 杨 凯

北京市勘察设计院有限公司 北京 100038

摘 要: 为了进一步提升地铁隧道贯穿测量的准确性,在对陀螺全站仪的工作原理展开了深入的研究之后,对国内国产陀螺全站仪的发展状况和特性进行了详细的阐述和对比。同时,还对高精度陀螺全站仪在一个城市地铁隧道贯通中的应用进行了详细的研究,最后得到的结果是:在增加了测陀螺边定向测量后,地铁隧道贯通的精度将会得到极大的提升,这样才能确保地铁项目的顺利进行。在对陀螺全站仪的寻北原理进行了详细的介绍之后,本文对当前国内已有的陀螺全站仪的特性与优点进行了归纳和分析。

关键词: 地铁隧道贯通;陀螺全站仪;导线测量;定向测量

Application of gyro orientation in the control and measurement of long section subway tunnel

Sun Shitong, Wang Bin, Yang Kai

Beijing Survey and Design Research Institute Co., LTD. Beijing, 100038

Abstract: In order to further improve the accuracy of the subway tunnel measurement, after in-depth research on the working principle of gyro station, the development status and characteristics of domestic gyro station are elaborated and compared in detail. At the same time, the application of high-precision gyro station in the completion of a city subway tunnel is studied in detail. Finally, the result is that after the addition of the gyro side directional measurement, the accuracy of the subway tunnel will be greatly improved, so as to ensure the smooth progress of the subway project. After introducing the principle of finding north, this paper summarizes and analyzes the characteristics and advantages of the station.

Key words: subway tunnel through; gyro full station; traverse measurement; directional measurement

引言

在地铁隧道中,因其空间狭窄、观测条件苛刻、施工条件特殊等原因,很多空间测量手段不能使用,甚至连常规的全站仪测量方法都有一定的局限性。定向法就更不用说了,传输一个比较准确的坐标,需要消耗大量的资源。随着隧道长度的增加,导线测量误差将不断积累,这使得在地铁隧道中,由于引测方向的影响,其定位精度大大降低。在地铁隧道内,为了避免导线测量过程中的积累误差,通常采用增大陀螺仪方向角的方法,从而有效地提高了它在隧道内的定位精度。因为陀螺能精确地感应到地心的转动,所以能迅速、精确地确定真实的北向。该方法不仅能有效地抑制系统误差的累积,同时也能用来检测地下控制网的准确性。所以,利用陀螺来确定自己的位置,成为最常用的方式。

1 陀螺定向测量原理

定位方法有很多,其中磁北法、天文观测法、回转仪法、加速度计法是最常用的四种定位方法。磁北方法由于受到地磁、地磁、地磁等环境因素的影响,其定位精度很难提

高,仅能进行大致的定位。天文寻北方法是利用光学设备对目标进行定位,定位准确率高,但一般工作时间长,且受天气影响,不适合在野外进行。采用不带机械移动的陀螺实现了高精度的测量。北向测量用的陀螺是用一根吊带吊着,吊带穿过它的重心,使它的转轴在重力的作用下保持水平。当陀螺旋转到某一角度时,由于惯性的作用,陀螺能维持其原有的空间位置。当它的轴线向北偏移时,由于地球的自转,它的轴线将改变它的轴线的水平位置,使它的中心向下移动,这样就会形成一个力矩,使它的轴线发生一系列的旋转。在主、副控制函数的作用下,陀螺全站仪就会向北旋转,然后测量完毕,就可以确定出北。利用高精度测定法,给出了全站仪零向北面的位移值^[1]。

2 目前我国高精度陀螺全站仪的现状和特点

在地铁工程中,对自动测量陀螺仪的要求是非常高的。地铁隧道施工过程中,因观测条件较差,导致施工过程中导线定位精度较低、误差较大、工作效率较低等问题,给施工单位和施工单位带来了很大的困扰。即使使用的是原威特厂

的 GAKI或国产的JT15陀螺经纬仪,因为仪器在操作时的劳动强度较大,并且很容易发生返工的情况,特别是在风吹日晒的情况下,测出来的结果会比较困难。由此导致的结果是:在陀螺经纬仪测设现场,因需高精度,经常要对其他施工操作采取停工措施,由此导致停工损失。我国大多数城市的轨道交通建设都是在城市的主干道上进行的,工期十分紧迫。在地铁施工中,亟需一种新的高效定位方法。

为确保地铁隧道的贯通精度,按时完成地铁隧道的施工,可以根据施工建设需求,单程开挖长度大于1km的地铁线路,提出了在单程开挖过程中增设陀螺仪进行定位的要求。尽管国外的陀螺全站仪在5"的精度上要好很多,但是它的成本很高,而且它只用于军用,所以大部分国家都对我们的设备实行了禁运。因此,采用国产高精度陀螺全站仪在轨道交通中的应用,对轨道交通隧道的贯通方向测量,具有十分重大的经济和国家的战略意义。

2.1 悬挂带式全自动陀螺全站仪及特点

目前,大部分的陀螺仪(经纬仪)都是采用吊带方式。该系统一般采用单摆下悬式陀螺仪定位,通过集成测距原理,可获得较高的定位精度。其准确度为:单次方位测定中的误差不超过5英寸,测定返回方位所用的时间不超过18分钟。在使用了部分抗干扰装置后,该装置的抗干扰性能得到了一定的改善。但是,由于该系统使用了悬臂带作为支承方式,因此,悬臂带的性能对其寻北精度有很大的影响。另外,悬吊皮带与陀螺敏感部分的有缘接触也会使陀螺受到扰动力矩的影响,从而影响陀螺的定位精度。为了确定悬吊皮带陀螺的摇摆平衡点,必须对其定位前和定位后进行零点观测^[2]。

2.2 AGT-1高精度自动陀螺全能仪及特点

本陀螺仪是中南大学与长沙市莱塞光电子所联合开发并投放市场的一种新型陀螺全站仪,它将现代测量技术与多种测量方法有机地结合在一起,具有一定的特色。该系统产品包括:①由自动寻迹电子全站仪、②环形带螺纹的连接器、③自动陀螺仪、④定时信号信道、⑤PDA、⑥陀螺仪功率控制器、⑦电源等组成。⑧全球定位系统RTK接收器:⑨全球定位系统基地台配合RKT接收器;快速定位、定向、测控等软件这种陀螺具有更高的智能,更容易使用,定位精度低于5"级,可以在野外获得比陀螺更多的坐标方位角。但这种陀螺仪不能自主升降,而且整个组成系统比较复杂,这就造成了它的商业化和其他一些方面的问题。

2.3 CAT高精度磁悬浮陀螺全站仪及特点

长安大学与中国航院第十六研究所共同研制开发了具有自主知识产权的CAT高精度磁悬浮回旋全站仪。技术上的突破和创新主要表现在:磁悬浮支承技术、转矩反馈控制技术和相应的测试方法、数据处理技术。通过以上研究,实现了我国自主研发的CAT陀螺仪的核心技术的突破,实现了CAT陀螺仪的高精度、高可靠性和高可靠性。对GAT磁悬浮陀螺

进行了一次较大的改进,即采用了磁悬浮技术。其一般工作原理为:当陀螺全站仪开始工作时,向磁浮线圈供电,根据电磁原理产生的磁力,将陀螺的引擎房悬浮;测量完毕后,关掉电源,将陀螺马达调回原位^[3]。

3 陀螺定向在地铁长区间隧道控制测量中的应用

本文以某地铁长区间为例,对陀螺在隧道测量中的应用进行了验证,并对其在隧道测量中的应用进行了探讨。

第一次测定位置是在南向隧道2km处,使用的仪器是HGG-05型陀螺仪,它的寻北角中误差为 $\pm 5''$,并在它的上方配有一套全站仪。由于缺少相应的配件,陀螺仪无法强制对中,故采用间接测量的方式进行测量,因此另外还有全站仪TS30一套,用于测定连接角。将TS30强制对中后部及回转仪对准,并测定回转仪与测线间的角度。利用全站仪将陀螺的寻北结果转换到测线上,求出测线到真北的角度,并对其进行了计算。采用坐标系下,将两条测线在洞内、洞口的方位角与测线的方位角进行了比较^[4]。

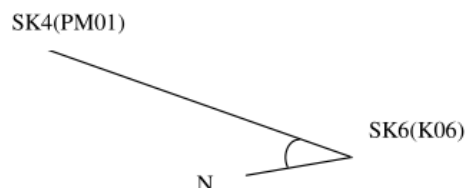


图1 间接方法测定方位角

第二次测试是从洞外的K06至PM01的方向,从洞外的K10至K09的方向,从洞外的K10至K09的方向,见图3,一并在两个点上进行测量:在洞内,SK6至SK4之间的测线,距离洞口大约1公里,后视点SK4;在隧道入口处的K006与PM01间的测线,PM01后视点;N点为回转器的安装位置。在SK6处(或K06处)安装全站仪。在使用陀螺仪时,需要先在地下测量一段距离的方位角,在根据地上距离找到相应地下距离,再次测量方位角,将地上、地下方位角进行对比,即可获得该坐标方位角的数据。

另外,本项目拟建立一套HGG-05陀螺仪方位测量方案,在每一条方位一侧进行4个回波,进行4个回波,对每一条回波进行4个回波的平均。每一次陀螺仪寻北都要有一个固定的时间段,在等待陀螺全站仪完全冷却之后,才能进行寻北测量,以确保每一次观测的结果都是相互独立的,从而提高观测的准确性^[5]。

在使用陀螺仪进行测量以前,为了避免因环境温度的改变而引起的误差,需要在一定的时间内开启仪表盒,使仪表与环境温度保持一致。为防止振动对测量结果产生不良影响,必须在洞室进行陀螺测量时暂停施工。观测开始前,先给出测点的大致纬度,使陀螺仪的指向与北面基本一致,每次寻北分为四步,即:步进寻北(粗找北)、测定吊带零位、预定向、精确定北(测量壳体北向剩余偏差),大约10分钟之后,寻北结束,使用全站仪对齐,每次照准一次,把度盘的读数输入到陀螺仪中,在4个测回共8次的照准后,就

可以得到一个方位的观察结果,每个方向有4次寻北结果,根据仪器的精度,最大和最小的差异不可以超过12秒,否则就应该重新测一遍。在各测站的结果中,最大最小差值最大为11秒,满足了限差的规定。

每一条直线都是4次搜索的平均,并在每个站点上计算出子午线的收敛角,然后在洞口之外的一个已知点上,通过已知点的位置反演出一个坐标,因为仪器常数的检查存在着一定的偏差,所以可以用已知点的常数来修正洞口的测量结果,具体的修正方式是根据两岸的已知点,采用加权平均的方式,将距离的倒数作为权重的权重,得到一个新的常数,从而得到一个新的隧道。陀螺全站仪高精度的测量是基于无机械位移的陀螺而实现。在重力作用下,陀螺的旋转轴处在水平的状态下。在通过主辅控制的功能,陀螺全站仪将因此向北绕转,完成测量以后便能明确北方向。全站仪零方向和北方向的偏差,通过高精度的测定之后,会在屏幕上显示出来。

陀螺定向的精度评定:陀螺全站仪的定向精度主要以陀螺方位角一次测定中误差 m_l 和一次定向中误差 m_Δ 表示。

陀螺方位角一次测量中的误差:在待定位的一侧进行陀螺定位时,需要陀螺全站仪在地面上已知的坐标方位角一侧测量仪器的常数。根据精确导线的技术要求,前后共需要对其进行测量6次,这样就能够根据误差传播定律,计算出陀螺方位角一次测定中误差(m),也就是仪器常数一次测定中误差(m):

$$m_l = m_\Delta = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

式中,为仪器常数的平均值与各次仪器常数的差值; n 为测定仪器常数的次数,仪器常数 $\Delta = \beta + Z$ 。则测定仪器常数平均值的中误差为:

$$m_{\Delta平} = m_{l平} = \pm \frac{m_l}{\sqrt{n}}$$

本项目根据《工程测量标准》GB50026-2020中的二级精度,对隧道内的导线进行了测量,其角度中误差为1秒,假设导线通过了 n 个拐角,那么,从洞口东边6个拐角,西边5个拐角,就可以计算出HGG-05陀螺仪测得的角度中误差,然后再计算出与陀螺仪测得的角度差的中间误差,并以中间误差的3倍为极限差,按此估计,中东、西导线的夹角与陀螺仪测量的夹角之间的最大偏差是9.5秒,而实际最大偏差是4.8秒,3.1秒,7.9秒,均在允许的误差范围内,因此,可用于平差的计算,可提高测量点的水平精度。

结束语

陀螺仪定向测量技术,在一定程度上,能够有效地解决隧道在延长段前方的侧向振荡问题,并能够在保证质量的前提下,保证隧道的贯通精度。本项目研究成果可应用于长距离铁路隧道、城轨地下工程等地区,可有效减小洞口弱边对贯通精度的影响。本课题的研究成果可为以后同类项目的建设提供可资借鉴的经验,并对新型的测控技术的推广具有重要意义。

参考文献

- [1]张健,曾力,易军,等.陀螺定向在地铁长区间隧道控制测量中的应用[J].工程建设与设计,2022(8):160-162.
- [2]朱辉.GAT-D陀螺经纬仪在长盾构区间测量中的研究与应用[J].工程建设与设计,2022(5):133-135.
- [3]杨定强,许锋,孙明峰.区间投点约束法在地铁隧道联系测量中的应用[J].天津建设科技,2021,31(6):25-29.
- [4]王智,董雷,薛慧艳,等.青岛地铁1号线过海隧道高精度贯通测量方法研究[J].城市勘测,2021(6):149-152.
- [5]张军.盾构长大隧道单向掘进水平定向技术研究[J].中国高新科技,2020(12):87-89.