

吊钢丝联系三角形法在隧道测量大型深竖井定向中的应用

陈方敏*

(上海市测绘院,上海 200063)

摘 要:对影响吊钢丝联系三角形法定向精度的因素进行了分析,提出相应的施测方案,并通过在上海青草沙原水过江管隧道大型深竖井定向中的实际验证,论述吊钢丝联系三角形法在隧道测量大型深竖井定向中的应用价值。

关键词:青草沙原水过江管;吊钢丝法;联系三角形法;精度估算

1 吊钢丝联系三角形法原理及精度分析

吊钢丝联系三角形法是通过从竖井上部悬挂至底部的两根钢丝,形成联系三角形来进行坐标和方位传递的方法见图 1。在竖井地面部分设置一固定地面点 A,预先以地面平面控制网中临近点作为起算数据,将平面坐标传递到地面控制点 A。在竖井上部预先制作两个钢制支架(E,F),在支架上悬挂两根 $\Phi 0.6$ mm 强化钢丝直至竖井底部,在钢丝下端悬挂 15 kg 重锤,并将重锤浸没在油桶中,保证其稳定。在基坑底部地面设置一固定观测墩 B,并在基坑底部的基坑壁上设置一固定观测墩 C,架设棱镜作为定向边后视。为保证精度,应保证两钢丝间间距 ≥ 5 m,方向角差 $\alpha < 3^\circ$ 、 $\alpha' < 3^\circ$ 、 a/c 、 a'/c' 应小于 1.5,形成狭长的伸展形三角形,利用联系三角形进行坐标和方位角传递。

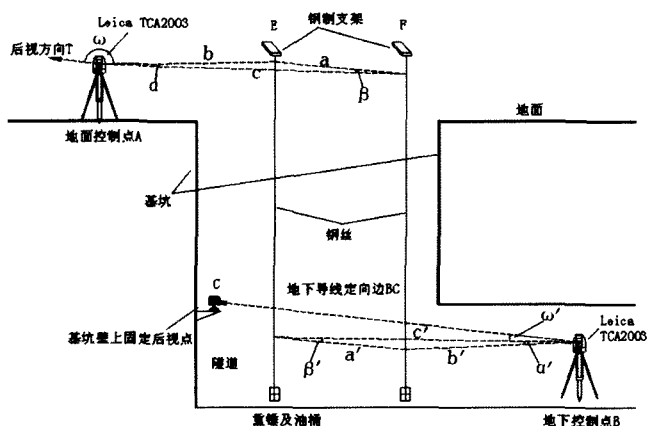


图 1 吊钢丝联系三角形法示意图

1.1 吊钢丝联系三角形法影响因素

1.1.1 风速影响

由于吊钢丝联系三角形法是通过钢丝来进行投点,所以在定向过程中风力对于钢丝的影响直接影响

投点精度。大深度的竖井中,钢丝上下端距离加大,风力更容易引起钢丝共振,导致投点精度差且角度观测时无法准确瞄准。

1.1.2 光照影响

吊钢丝联系三角形法测量时,地面与地下均应当建造固定观测墩用以架设仪器。如果地面观测墩是金属材质,就一定要注意光照影响。因为吊钢丝联系三角形定向测量中,测站(观测墩)与钢丝间的距离很近,观测墩金属表面受到光照后产生的微弱形变会直接影响角度观测精度。

1.1.3 竖井尺寸影响

传统的吊钢丝联系三角形定向中,钢尺丈量钢丝间的间距可以作为一项检核数据。大型竖井中,由于钢丝间的间距达数 10 m,而且钢丝悬挂在从竖井壁探出的支架上,无法直接进行钢尺丈量,所以在大型竖井中运用吊钢丝联系三角形法时无法通过钢尺丈量直接检核测量精度。

1.2 吊钢丝联系三角形法定向精度分析

假设 BC 边的方位角中误差为 M ,则 M 受以下 3 个因素的影响: M_1 为测边测角的综合误差; M_2 为钢丝投点偏差影响; M_3 为仪器对中误差以及目标偏心误差影响,即:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_3^2}$$

$$M_1 = \sqrt{m_{\alpha_{AT}}^2 + m_{\omega}^2 + m_{\beta}^2 + m_{\omega'}^2 + m_{\beta'}^2}$$

M_1 由地面已知方位角中误差 $m_{\alpha_{AT}}$,角度测量中误差 m_{ω} ,推算角度中误差 m_{β} , $m_{\beta'}$ 。假设 σ 为单根钢丝的平面位置偏移(钢丝投点误差), D 为钢丝的间距,则单根钢丝的投点误差对于方位角的影响为: $\frac{\sigma}{\sqrt{2}D} \cdot \rho''$,则由两根

钢丝组成的方位角受钢丝投点误差影响为: $M_2 = \frac{\sigma}{D} \cdot \rho''$;

* 收稿日期:2009-07-07

作者简介:陈方敏(1977—),男,工程师,从事工程测量工作。

仪器采用强制归心观测墩,则假定 $M_3=0$ 。

角度观测采用 Leica TCA2003 观测 9 测回。Leica TCA2003 仪器标称测角精度为 $0.5''$,但在本项目中,考虑到观测角度时的调焦问题,标称精度未必能够达到。故假设 9 测回测角中误差为 $0.5''$ 。则: $m_{\omega}=m_{\omega'}=\pm 0.5''$

由图形可知: $\sin\beta = \sin\alpha \cdot \frac{b}{a}$,实际项目中, α 控制

$$m_a^2 = \frac{(b-c \cdot \cos\alpha)^2 \cdot m_b^2 + (c-b \cdot \cos\alpha)^2 \cdot m_c^2 + (b \cdot c)^2 \sin^2\alpha \cdot m_{\alpha}^2 / \rho''}{(b^2 + c^2 - 2bcc\cos\alpha)} \quad (2)$$

设 $m_b = m_c = \pm 1 \text{ mm}$, $b = 7 \text{ m}$, $c = 25 \text{ m}$, $\alpha = 40'$, 则 $m_a = \pm 1.4''$, $m_{\beta(\beta')} = \pm 0.2''$, 假设地面已知方位角误差为 0, 即 $m_{\alpha_{AT}} = 0$, 则 $M_1 = \pm 0.76''$, $M_2 = \frac{\sigma}{D} \cdot \rho'' = \pm 5.55''$, 则一个联系三角形定向精度为: $M = \pm 5.6''$

在实际运用中采用三根钢丝组成对称的两个联系三角形进行方位传递,则一组对称联系三角形定向精度为:

$$\overline{M} = 5.6 / \sqrt{2} = \pm 3.96'' \quad (3)$$

如果增加独立定向次数,则定向精度还可以进一步提高。

2 吊钢丝联系三角形法在青草沙原水管隧道测量中的运用

上海市青草沙原水过江管是将青草沙水库原水穿越长江口输送到浦东陆域的过江管线,设计全长约 7.3 km,是上海市 2008 年重点工程之一。隧道穿越长江南港时,在浦东和长兴岛各设一座深 35 m 左右的工作井,采用 $\Phi 7.05 \text{ m}$ 的盾构机,从浦东侧工作井出发,向长兴岛工作井掘进。其中浦东侧工作井为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 、深 35.3 m 的大型竖井,为上海市现今最深的工作井,对实施吊钢丝联系三角形定向测量造成了一定困难。

2.1 定向测量实际验证

我们在 2009 年 3 月对青草沙原水过江管工程进行了定向测量。

根据 1.1 节所述影响吊钢丝联系三角形法定向精度的几个因素,在本次测量中采取了以下措施减弱影响:

(1) 选择微风或无风的天气条件进行施测。

(2) 选择阴天进行施测,并将观测墩用混凝土覆盖并加固。

(3) 采用 Leica TCA2003 全站仪,保证联系三角形测量精度,舍去钢尺丈量钢丝间距检核。在钢丝上贴 Leica 专用反射贴片,直接进行测距。角度观测采用全

在 $40'$ 左右, β 控制在 $20'$ 左右,所以该式可写成:

$\beta = \alpha \cdot \frac{b}{a}$, 则 β 角中误差可以用下式表示:

$$m_{\beta}^2 = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \cdot m_{\alpha}^2 + \left(\frac{\alpha}{a}\right)^2 \cdot m_b^2 + \left(\frac{b \cdot \alpha}{a}\right)^2 \cdot m_a^2 \quad (1)$$

而钢丝间的间距 a 为: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bcc\cos\alpha$, 则钢丝间距的精度为:

圆测回法观测 9 测回,各项限差按照 GB 50308-2008 《地下铁道、轻轨交通工程测量规范》的相关规定实施;地面与地下同时进行观测,尽量减少钢丝抖动引起的投点误差。

采取以上措施以后,利用现场支架,布设 3 根 $\Phi 0.6 \text{ mm}$ 强化钢丝至竖井底部,钢丝下端悬挂 15 kg 重锤并浸没至阻尼液体中,待其稳定后进行第一组定向。第一组定向完毕后,将下端重锤微动,待钢丝重新稳定后进行第二组定向,定向数据见表 1。

青草沙原水过江管东线隧道定向数据计算表

表 1

第一组					
地上			地下		
钢丝号	角度	距离/m	钢丝号	角度	距离/m
01	348°08'40.5"	16.76232	01'	180°26'05.0"	10.79571
02	348°05'11.0"	36.75406	02'	180°17'08.0"	30.78835
03	348°16'10.8"	36.7749	03'	180°30'11.0"	30.80961
推算角 $\beta(01-02)$ 0°02'55.66"			推算角 $\beta'(01'-02')$ 0°04'49.97"		
推算角 $\beta(01-03)$ 0°06'17.16"			推算角 $\beta'(01'-03')$ 0°02'12.69"		
地下方位角与起始边方位角 差值(01-02):			-12°10'02.69"		
地下方位角与起始边方位角 差值(01-03):			-12°09'55.73"		
本组测量上下方位角平均差值:			-12°09'59.209"		
第二组					
地上			地下		
钢丝号	角度	距离/m	钢丝号	角度	距离/m
01	348°08'41.1"	16.76202	01'	180°26'04.4"	10.79589
02	348°05'12.2"	36.75412	02'	180°17'07.6"	30.78829
03	348°16'13.2"	36.77495	03'	180°30'14.6"	30.80958
推算角 $\beta(01-02)$: 0°02'55.14"			推算角 $\beta'(01'-02')$: 0°04'49.87"		
推算角 $\beta(01-03)$: 0°06'18.66"			推算角 $\beta'(01'-03')$: 0°02'14.96"		
地下方位角与起始边方位角 差值(01-02):			-12°10'00.68"		
地下方位角与起始边方位角 差值(01-03):			-12°09'57.71"		
本组测量上下方位角平均差值:			-12°09'59.195"		

2.2 定向成果精度评定

地面起始边坐标方位角为:33°53′31.08″,按照测量结果推算得出地下边方位角为:21°43′31.88″。

根据表1数据显示,两组独立定向得到的最终结果差值较小,按照每组定向中每个单三角形定向的成果进行精度评定:

$$m_{\text{定向}} = \sqrt{\frac{vv}{n}} = \pm 2.7''$$

(4)

而根据式(1)计算,两组独立对称三角形定向精度为:

$$m_{\text{理论}} = \overline{M}/\sqrt{2} = \pm 2.55''$$

(5)

实际定向成果精度评定值与理论估算的精度相差为±0.15″。由此可以推论,若进一步验证本次吊钢丝联系三角形定向成果的正确性即可证明本精度估算方法的正确性。

2.3 定向成果与陀螺仪定向成果比较

我们使用现国际公认的德国 GYROMAT-2000 型高精度陀螺经纬仪(定向精度±3″)对本次吊钢丝联系三角形定向成果进行检核。

陀螺经纬仪高精度的测量是通过无机械位移的陀螺达到的。用于测定北方向的陀螺由通过其重心的悬挂带挂着,在重力的作用下,陀螺旋转轴处于水平状态。陀螺高度旋转时,由于惯性总是试图维持其原有空间位置,一旦陀螺旋转轴偏离北方向,地球自转会使陀螺旋转轴的 水平状态发生改变,重心降低并生产重力矩,陀螺将通过绕其竖轴的一系列转动做出反应。通过主辅控制功能,陀螺经纬仪将因此向北绕转,测量完成后便可确定出北方向。陀螺仪经纬仪定向的主要过程是:在两岸已知控制边测定陀螺方位角后,计算子午线收敛角并计算仪器常数;在洞内待定导线边上测定陀螺方位角;计算子午

线收敛角;对地下待定边陀螺方位角进行常数和子午线收敛角改正,计算出待定边坐标方位角。本工程采用的陀螺经纬仪是德国 DMT 公司研制的 GYROMAT-2000 型高精度自动陀螺经纬仪,该仪器具有稳定性能好、精度高等优点,并且在欧洲隧道工程(英、法隧道)贯通有成功的应用先例。

在使用陀螺经纬仪定向过程中,使用与本次定向使用的相同的地面控制边,经过计算子午线收敛角和对地下待定边陀螺方位角进行常数和子午线收敛角改正,计算出地下待定边坐标方位角。与吊钢丝定向成果比较结果如下表2。

吊钢丝联系三角形定向与陀螺经纬仪定向成果对比表 表2

定向方式	地下待定边坐标方位角值
吊钢丝联系三角形定向:	21°43′31.88″
GYROMAT-2000 型陀螺经纬仪定向:	21°43′33.0″

根据上表对比结果可以验证本次吊钢丝联系三角形定向成果和本文所述的精度估算方法的正确性。

3 结 论

通过本文论述的精度估算过程以及我们在青草沙原水过江管东线隧道定向项目中进行的实际验证,说明吊钢丝联系三角形定向方法在大型深基坑定向过程中,通过合理的施测方案可以达到较高精度,且理论成熟,成本较低,具有较高的实际应用价值。

参考文献

[1] GB 50308-2008. 地下铁道、轻轨交通工程测量规范.

[2] GB/T 15314-94. 精密工程测量规范.

[3] 华锡生,黄腾编著. 精密工程测量技术及应用. 南京:河海大学出版社,2002. 8

[4] 樊功瑜. 误差理论与测量平差. 上海:同济大学出版社,1998

Application of Long Wire-Connection Triangle Method in Large Shaft Orientation of Qing Chaosha Original Water Tunnel Crossing the Yangtze River of Shanghai

Chen FangMin

(Shanghai Institute of Surveying and Mapping, Shanghai 200063, China)

Abstract: According to the precision estimation of traditional Long wire-Connection triangle method, and the actual use of Long wire-Connection triangle method in Large shaft orientation of Qing Chaosha original water tunnel crossing the Yangtze River of Shanghai, the Practicability of Long wire-Connection triangle method in Large shaft orientation of tunnel is discussed.

Key words: Qing Chaosha original water tunnel; Long wire method; Connection triangle method; Precision estimation