

doi:10.3969/j.issn.1001-358X.2016.02.008

子午线收敛角计算对陀螺经纬仪定向精度影响的分析

张智强¹, 曹增增²

(1. 国电建投内蒙古能源有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017209;

2. 国家测绘地理信息局第一地理信息制图院, 陕西 西安 710054)

摘要:通过对中华人民共和国纬度范围内子午线收敛角的计算,分析陀螺经纬仪定向中计算子午线收敛角对最终定向精度的影响,并通过相关实例计算明确了在不同的情况下子午线收敛角对定向精度的影响程度。

关键词: 陀螺定向; 子午线收敛角; 精度分析

中图分类号: P213

文献标识码: B

文章编号: 1001-358X(2016)02-0025-04

在进行井巷工程和地铁隧道工程的贯通测量时,测角误差引起支导线终点位置的横向误差是贯通误差的主要来源,且测角误差的影响会随着导线长度的增大而增加,如果采取相关措施对该误差进行控制,最终的误差可能会超限,甚至会造成贯通失败,导致巨大的经济损失。为防止测角误差的累积影响,通常采取加测陀螺定向边的方法控制测角误差对导线终点位置的误差影响。在进行陀螺定向时,需要计算安置仪器点处的子午线收敛角,本文探讨了子午线收敛角计算对陀螺经纬仪定向精度的影响^[1]。

1 陀螺经纬仪定向过程及计算

1.1 在地面已知边上测定仪器常数 Δ

如图1所示,精密导线边 CD 的地理方位角为 A_0 ,在 C 点架设陀螺经纬仪可测得 CD 边的陀螺方位角 α_T ,根据式(1)求出仪器常数 Δ ;

$$\Delta = A_0 - \alpha_T \quad (1)$$

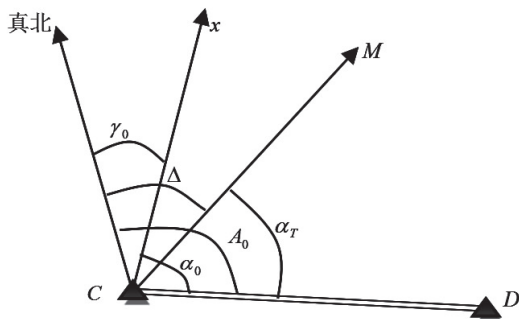


图1 陀螺定向地面示意图

1.2 在井下定向边上测定定向边陀螺方位角 α'_T

如图2所示,在井下导线边 C' 点上架设陀螺经纬仪,可测得 $C'D'$ 边的陀螺方位角 α'_T ,根据式(2)可求出定向边的地理方位角 A ;

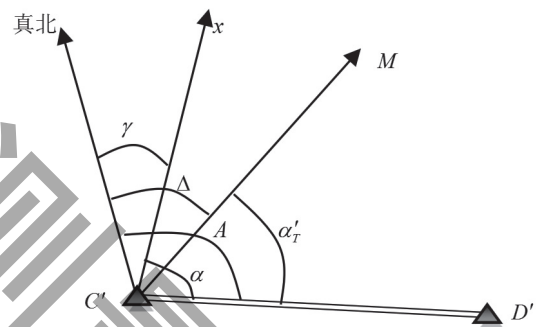


图2 陀螺定向井下示意图

$$A = \alpha'_T + \Delta \quad (2)$$

1.3 在地面已知边上重新测定仪器常数 Δ

1.4 求算测站点的子午线收敛角

如图1所示,地理方位角和坐标方位角的关系为:

$$A_0 = \alpha_0 + \gamma_0 \quad (3)$$

1.5 求算井下定向边的坐标方位角 α

根据式(1)、式(2)、式(3)可推出井下定向边的坐标方位角 α 的计算式(4):

$$\alpha = \alpha_0 - (\alpha_T - \alpha'_T) + \delta_\gamma \quad (4)$$

式中: $\delta_\gamma = \gamma_0 - \gamma$ 表示地面已知边和井下定向边测站点的子午线收敛角差值。

由式(4)可知,已知边坐标方位角 α_0 可由已知

引用格式:张智强,曹增增.子午线收敛角计算对陀螺经纬仪定向精度影响的分析[J].矿山测量,2016,44(2):25-28.

坐标正反算获得,地面已知边和井下定向边的陀螺方位角 α_T 和 α'_T 可由陀螺经纬仪多次测量获得,测量工作完成后这些值都是直接确定的,只有地面已知边和井下定向边测站点的子午线收敛角差值 δ_y 需要进行计算获得,由此可见陀螺经纬仪定向成果的精度和子午线收敛角的计算精度有着直接的关系^[1]。

2 子午线收敛角计算方法及精度分析

2.1 子午线收敛角的计算方法

一点处的子午线收敛角 λ 就是通过该点的子午线投影与该点的纵坐标线之间的夹角,点在中央子午线以东时 λ 为正,以西时 λ 为负。

一点子午线收敛角 λ 可以通过该点的大地坐标 (B, L) 和平面坐标计算,使用平面坐标计算的公式比较复杂,在这里我们选择使用大地坐标进行计算,计算式为:

$$\gamma = l \sin B \left[1 + \frac{l^2}{3} \cos^2 B (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) + \frac{l^4}{15} \cos^4 B (2 - t^2) \right] \quad (5)$$

式中: l 为经差, $l = L - L_0$, B 为大地纬度, $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$, $e'^2 = 0.0067385254$, $t = \tan B$ 。

根据地面和井下测站点的大地坐标通过式(5)可以分别计算子午线收敛角 γ_0 和 γ ,再根据式(4)就可以计算井下定向边的坐标方位角。

式(5)通过简化推算出子午线收敛角差值 δ_y 的简易计算式(6):

$$\delta_y = 32.23 \tan B (y_0 - y) \quad (6)$$

式中: B 为地面测站点的纬度, y_0 和 y 为地面测站点和井下测站点的横坐标(单位: km)^[2-3]。

2.2 计算精度分析

选取西安地区 3°带坐标进行子午线收敛角计算,纬度范围为我国的南北纬度跨度,为北纬 5° ~ 55°,该地区为 3 度带的第 36 带,经度范围为 106°30' ~ 109°30',中央子午线为东经 108°。一般地铁隧道的一个区间长度都在 2 km 左右,所以选取两点 Δx 为 100 m、500 m、1000 m、2000 m, Δy 为 100 m、500 m、1000 m、2000 m 分别采用式(5)、式(6)进行计算,计算结果见下表 1、表 2、表 3。

表 1 $\Delta x = 0$ m, Δy 为变量时,式(5)下 δ_y (") 取值

	纬度	5°	15°	25°	35°	45°	55°
	经差						
$\Delta y = 100$ m	10'	0.28	0.87	1.51	2.26	3.23	4.61
	30'	0.28	0.87	1.51	2.26	3.23	4.61
	50'	0.28	0.87	1.51	2.26	3.23	4.61
	1°10'	0.28	0.87	1.51	2.26	3.23	4.61
	1°20'	0.28	0.87	1.51	2.26	3.23	4.61
	$\Delta y = 500$ m	10'	1.41	4.33	7.53	11.31	16.14
30'		1.41	4.33	7.53	11.31	16.14	23.04
50'		1.41	4.33	7.53	11.31	16.14	23.04
1°10'		1.41	4.33	7.54	11.31	16.14	23.04
1°20'		1.41	4.33	7.54	11.31	16.14	23.04
$\Delta y = 1000$ m		10'	2.83	8.66	15.07	22.62	32.28
	30'	2.83	8.66	15.07	22.62	32.28	46.08
	50'	2.83	8.66	15.07	22.62	32.28	46.08
	1°10'	2.83	8.66	15.07	22.62	32.28	46.08
	1°20'	2.83	8.66	15.07	22.62	32.28	46.07
	$\Delta y = 2000$ m	10'	5.66	17.33	30.14	45.24	64.57
30'		5.66	17.33	30.14	45.24	64.57	92.16
50'		5.66	17.33	30.14	45.24	64.57	92.16
1°10'		5.66	17.33	30.15	45.24	64.57	92.15
1°20'		5.66	17.33	30.15	45.24	64.57	92.15

表 2 $\Delta x = 0$ m、 Δy 为变量时,式(6)下 δ_y (") 取值

纬 度	5°	15°	25°	35°	45°	55°
$\Delta y = 100$ m	0.28	0.86	1.5	2.26	3.22	4.6
$\Delta y = 500$ m	1.41	4.42	7.51	11.28	16.11	23.01
$\Delta y = 1000$ m	2.82	8.63	15.03	22.57	32.23	46.03
$\Delta y = 2000$ m	5.64	17.27	30.06	45.13	64.46	92.06

表 3 $\Delta y = 0$ m、 Δx 为变量时,式(5)下 δ_y (") 取值

	纬度	5°	15°	25°	35°	45°	55°
经差							
$\Delta x = 100$ m	10'	0	0	0.001	0.003	0.006	0.01
	30'	0	0.002	0.006	0.01	0.02	0.03
	50'	0	0.003	0.01	0.02	0.03	0.06
	1°10'	0	0.004	0.01	0.03	0.05	0.08
	1°20'	0	0.005	0.02	0.03	0.05	0.09
$\Delta x = 500$ m	10'	0	0.003	0.009	0.02	0.03	0.05
	30'	0.001	0.01	0.03	0.06	0.1	0.16
	50'	0.002	0.02	0.05	0.09	0.17	0.27
	1°10'	0.003	0.02	0.06	0.13	0.23	0.38
	1°20'	0.003	0.03	0.07	0.15	0.27	0.44
$\Delta x = 1000$ m	10'	0.001	0.007	0.02	0.04	0.07	0.11
	30'	0.002	0.02	0.06	0.11	0.2	0.33
	50'	0.004	0.03	0.09	0.19	0.33	0.55
	1°10'	0.005	0.05	0.13	0.26	0.47	0.77
	1°20'	0.006	0.05	0.15	0.3	0.53	0.88
$\Delta x = 2000$ m	10'	0.001	0.013	0.04	0.08	0.13	0.22
	30'	0.004	0.04	0.11	0.23	0.4	0.66
	50'	0.007	0.07	0.19	0.38	0.66	1.1
	1°10'	0.01	0.09	0.26	0.53	0.93	1.54
	1°20'	0.01	0.1	0.3	0.6	1.06	1.76

表 1 是 x 坐标不变, y 坐标按增加 100 m、500 m、1000 m、2000 m 在不同的纬度和不同的经度按式(5)进行子午线收敛角差值 δ_y 的计算;表 2 是按式(6)计算两点的子午线收敛角差值 δ_y ;表 3 分别是 y 坐标不变, x 坐标按增加 100 m、500 m、1000 m、2000 m 在不同的纬度和不同的经度按式(5)进行子午线收敛角差值 δ_y 的计算,因为坐标不变,所以按式(6)计算子午线收敛角差值 δ_y 为 0,在文中未列出。

由计算数据可以分析,通过式(5)和式(6)分别计算的在不同经纬度 x 、 y 方向距离不同的两点的子午线收敛角差值 δ_y 的规律如下^[4]:

(1) 当两测站点的 Δx 不变, Δy 一定时,随着纬度的增加,子午线收敛角差值 δ_y 也跟着增大,与中央子午线的距离对 δ_y 几乎没影响,式(5)和式(6)比较的结果最大相差 0.11",这对定向边的方位角的影响微乎其微,可以忽略不计;

(2) 当两测站点的 Δy 不变, Δx 一定时,由式(5)计算的数据可以发现两测站点的子午线收敛角有一定差异,同一纬度随着与中央子午线距离的增加, δ_y

也随着增大,与中央子午线距离不变时,随着纬度的增加, δ_y 也跟着增大;通过对不同的 Δx 计算的数据进行分析可以发现,随着 Δx 的增大,不同位置的 δ_y 也跟着增大,当 $\Delta x = 2000$ m, 纬度为 55°, 距 3 度带的中央子午线 1°20" 时, δ_y 为 1.76"。

(3) 通过表格计算数据分析,当两测站点相对位置的的东西方向占优时,用式(5)和式(6)计算的 δ_y 的结果相差很小,对陀螺定向最终的成果的精度不会构成大的影响,但是当两测站点相对位置的南北方向占优时,式(5)和式(6)计算的 δ_y 的结果的差值就会随着 Δx 的增加而增加,当 Δx 大于 2 km 时, δ_y 就可以达到甚至超过 2",不考虑井下导线测量误差的影响, δ_y 对横向贯通误差的影响见表 4,《城市轨道交通

表 4 δ_y 对横向贯通误差的影响

δ_y /m	1"/mm	2"/mm
500	2.4	4.9
1000	4.8	9.7
2000	9.7	19.4

《交通工程测量规范》规定横向贯通测量允许误差应为 ± 100 mm,可以发现当陀螺定向边距离贯通面2 km时就会产生将近20 mm的横向误差,所以陀螺边距离贯通面的距离比较远时对贯通误差的影响还是比较大的,所以选择陀螺定向边的位置也非常重要。因此在这种情况下为了保证测量成果的精度就需要通过式(5)来计算子午线收敛角,才能更好的保证测量成果的精度。

3 经纬度对子午线收敛角计算精度的影响

由表3的计算结果可以发现,当两点 $\Delta x = 100$ m、 $\Delta y = 0$ m,在纬度为 55° 、距中央子午线 $1^\circ 20'$ 的位置两点子午线收敛角仅相差 $0.09''$,当两点 $\Delta x = 500$ m、 $\Delta y = 0$ m,在同样的位置两点子午线收敛角相差 $0.44''$,由此可见子午线收敛角的计算结果对纬度的测量精度不敏感^[5-6]。

一般在实际的陀螺定向工作中,使用式(6)进行子午线收敛角差值 δ_γ 的计算,和式(5)比起来更方便快捷,并且式(6)只需要测定地面测站点的经纬度尽可以进行计算;目前的手机GPS软件就可以方便快捷的测定地面一点的大地坐标,精度可以达到20 m,通过上面的分析这样的精度足以满足计算的精度要求。

现在在城市地铁建设过程中使用的一般都是独立坐标系,控制点的大地坐标不易通过坐标转换获得,在这种情况下使用手机GPS软件获得地面测站点的坐标,然后采用式(6)进行子午线收敛角差值 δ_γ 的计算,这种方式可以大大的提高陀螺定向的工作效率,同时测量成果的精度也可以得到保证。

4 结论

(1)在子午线收敛角的计算过程中,当地面测站点和地下测站点的相对位置东西方向占优时,使用

(上接第24页)

会向自动化、信息化、数字化、可视化不断迈进,为盾构施工保驾护航。

参考文献:

- [1] GB 50308-2008,城市轨道交通工程测量规范[S].
- [2] 潘巍.地铁盾构区间施工测量技术研究[J].科技展望,2015(8).

原始式(5)和简化式(6)计算的结果差异不大,当两点的相对位置南北方向占优时,随着两点南北距离的增大,原始式(5)和简化式(6)计算的子午线收敛角差值 δ_γ 也会随着增大,距离达到2 km时,相差将近 $2''$,对陀螺定向的精度会产生影响。

(2)通过分析发现测站点的大地纬度对子午线收敛角的计算精度影响微乎其微,在精度100 m的范围内对结果几乎没有影响,在使用简化式(6)计算时可以采用手机GPS软件测得的地面测站点的经纬度进行计算,精度可以满足要求。

参考文献:

- [1] 张国良,朱家钰,顾和和,等.矿山测量学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [2] 于来乏.陀螺定向测量[M].北京:解放军出版社,1988.
- [3] 姜雁飞,胡荣明,杨联安.陀螺经纬仪在地理空间定向中的应用研究[J].西北大学学报(自然科学版),2011,41(2):145-149.
- [4] 薛志宏,李广云,王留朋,等.陀螺定向中子午线收敛角的计算方法与精度分析[J].测绘通报,2009(12):43-45.
- [5] 王庆林.陀螺经纬仪定向系统误差研究[J].测绘科学,2010,35(5):56-57.
- [6] 刘小生.地理纬度对陀螺定向的影响[J].地矿测绘,1999,3(11):24-26.
- [7] 徐泮林,郭庆坤.TJ9000陀螺全站仪在井下导线测量中的应用[J].矿山测量,2015,43(6):1-3.

作者简介:张智强(1990-),男,陕西渭南人,助理工程师,现为国电建投内蒙古能源有限公司察哈素煤矿测量工程师,主要从事矿井测量工作。

(收稿日期:2016-02-16)

- [3] 袁存防.VMT自动导向系统在盾构法施工中的应用和研究[J].现代隧道技术,2011(3).
- [4] 徐顺明.地铁盾构隧道施工测量方案设计与实现[J].现代隧道技术,2008(S1).

作者简介:郑永军(1984-),内蒙古人,本科,学士学位,工程师,项目总工程师。

(收稿日期:2016-02-10)