

# 利用 GNSS 测定机场跑道磁差方法的研究

## Research on the Method of Measuring Airport Runway Magnetic Difference Using GNSS

李开华

Kaihua Li

深圳市爱华勘测工程有限公司 中国·广东 深圳 518001

Shenzhen Aihua Survey and Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518001, China

**摘要:** 机场跑道的真北方位角及磁偏角(磁差)是飞机起降导航的重要保障。因此,为保证飞机起降飞行的安全,对机场跑道的真北方位角、磁偏角(磁差)及磁差年变率进行定期的测量是机场勘察和后期运行非常重要的一个任务。论文利用 GNSS-RTK 方法计算真北方位角,结合机场对磁差测定的要求,提出利用 GNSS-RTK 方法进行磁差测定的合理性。

**Abstract:** The airport runway true north azimuth and magnetic deviation angle (magnetic deviation) is an important guarantee of aircraft take-off and landing navigation. Therefore, in order to ensure the safety of aircraft take-off and landing, it is a very important task for airport survey and later operation to regularly measure the true north azimuth, magnetic declination (magnetic deviation) and annual variability of the airport runway. This paper uses the GNSS-RTK method to calculate the true north azimuth, combined with the airport's requirements for magnetic difference measurement, the rationality of using the GNSS-RTK method for magnetic difference measurement is proposed.

**关键词:** 子午线收敛角; 磁差; 磁偏角

**Keywords:** radial convergence angle; magnetic difference; magnetic bias angle

**DOI:** 10.12346/se.v4i2.6518

## 1 引言

近年来,随着民用航空业的快速发展,中国对航空器飞行安全及机场运行安全管理越来越重视。为飞机起降导航的需要,对新建机场、已运营的机场跑道方位及磁差进行初次测量、复核测量,以确保飞行安全,杜绝事故隐患。

## 2 磁差简介

所谓磁差,就是真北方位角和磁北方位角之差。传统的磁差测定方法(天文测量)采用北极星任意时角法测定正北方位角,这种方法虽然精度较高,但受天气影响较大且观测繁琐计算复杂,不易掌握。GNSS 作为一种成熟的测量方法,其精度已逐步满足各类需求,在测定正北方位角的过程中已经达到相当的精度,再结合磁方位角的测定,即可获取机场的磁差,因此研究利用 GNSS 测定磁差对机场建设起着重要作用。

磁差,是地面某点的磁子午线与真子午线的夹角,用 $\delta$ 表示,如图 1 所示。凡是磁子午线北方向偏在真子午线北方向以东者称为东偏,其角值为正;偏在真子午线以西者称为西偏,其角值为负。

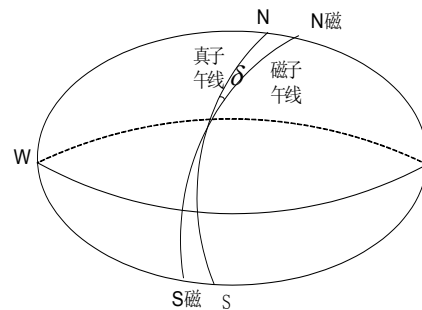


图 1 磁偏角示意图

为了测定地面上某一点 A 的磁偏角,首先要测量该点

【作者简介】李开华(1973-),男,中国湖北浠水人,本科,工程师,从事控制测量、建筑工程测量、变形形变与精密测量、地下管线测量、房产面积测绘等方面的研究。

A 与相邻另一已知点 B 的真方位角和磁方位角，二者的磁偏角计算公式为：

磁偏角  $\delta = AB$  边的真方位角 - AB 边的磁方位角 - 子午线收敛角 - 方向归化改正

后二项可通过 AB 的经纬度和空间直角坐标求出，磁方位角通过地磁纬仪进行测定。而某一区域的磁偏角可通过该区域内数点的磁偏角平均值得出。

### 3 GNSS 测量真北方位角的计算

#### 3.1 真北方位角计算

当坐标系为高斯投影下坐标时某测线的真北方位角和坐标方位角具有以下关系式： $A = a + r + \delta$ 。其中，a 为坐标方位角，r 为测站点的子午线收敛角， $\delta$  为方向归化改正，这三者的具体计算见图 2。

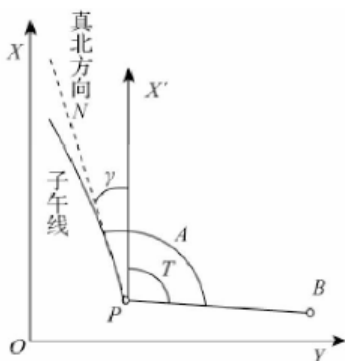


图 2 坐标北方向和真北方向关系

#### 3.2 坐标北方位角的计算

根据公式：

$$a = 180^\circ - 90^\circ \times \text{SIGN}(\Delta Y) - \arctan(\Delta X / \Delta Y) \times 180^\circ / \pi$$

其中，SIGN 为符号函数，其符号由  $\Delta Y$  决定。

#### 3.3 子午线收敛角的计算

子午线收敛角的定义为：地球椭球体上一点的真子午线与位于此点所在的投影带的中央子午线之间的夹角，即在高斯平面上的真子午线与坐标纵线的夹角。子午线收敛角即坐标纵线偏角，以真子午线为准，真子午线与坐标纵线之间的夹角。坐标纵线东偏为正，西偏为负。在投影带的中央经线以东的图幅均为东偏，以西的图幅均为西偏。可按下式求得：

$$r = \Delta L \cdot \sin B$$

式中，r 的单位为秒； $\Delta L$  为两点的经差； $B$  为测站点的当地纬度。

#### 3.4 方向归化改正

椭球面上两点间的大地线方向，归算至高斯投影平面上相应两点间的直线方向，成为方向归化改正，用  $\delta$  表示，具体如图 3 所示。

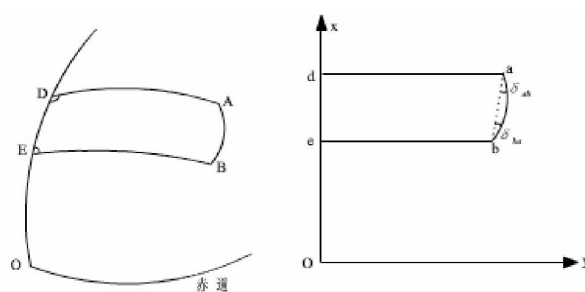


图 3 方向改化示意图

方向归化改正的公式为：

$$\delta_{ab} = \rho'' / 2R^2 y_m (x_a - x_b)$$

其中  $\rho'' = 206265$ ， $y_m$  为 a、b 两点的横坐标的平均值，单位取  $k_m$ 。这项改正数很小，到达  $10^{-4}$  的精度，因项目测量真向数据应精确到 0.01 度、磁差数据应精确到 1 分。故该项改正一般忽略不计，表 1 为本项目三条边的方向改正计算表。

表 1 方向改正计算表

$Y_m = (Y_a + Y_b) / 2$	$X_a - X_b$	方向归化改正量 (秒)
480.1194438	201.591	0.000245374
476.5671901	-218.666	-0.000264188
482.8441966	-239.917	-0.000293681

通过上述计算，可利用 GNSS 方法获取真北方位角，结合磁方位角公式，从而可获得磁北方位角。

### 4 工程实例

现有南方某机场两条跑道采用 GNSS 测量计算获取的方位角成果和磁方位测量成果，进而计算机场场址磁差及其年变率等测量工作。因为了保密需要对坐标进行了保密处理。

测量方法，依据《民用机场勘测规范》《民用机场飞行区技术标准》《大地天文测量规范》及《工程测量规范》等技术规范的要求，机场基准点及跑道入口坐标点测量，平面位置采用 GNSS 观测技术，坐标系统一般采用 WGS-84 或 CGCS2000 坐标系；高程系统一般采用 1985 国家高程基准<sup>[1-3]</sup>。

本项目以选定的三条的磁差平均值作为南方某机场的磁差，再通过采集机场二条跑道的数据，计算机场跑道方位及磁差年变化率。

磁差观测受多种因素的影响，主要包括太阳活动（黑子、耀斑、日冕物质抛射等）、地表输变电及通信设施、测站周围的铁磁性物质等。根据机场地形、地磁条件及磁差测量要求，经多处、多时段（项目实施时发生多次磁暴）测试，最终选用网络 CORS 现场测量的 3 对控制点（坐标系统：CGCS2000，中央子午线经度： $**4^\circ 00' 00''$ ），具体见表 2。

表 2 3 对控制点

控制点对	点号	X (m)	Y (m)	子午线收敛角
I	A	*6966.9040	*995.2700	-0° 04' 30"
	B	*6765.3130	*243.6170	—
II	C	*9098.6686	*622.4768	-0° 05' 16"
	D	*9317.3353	*511.9033	—
III	E	*6242.2564	*936.5794	-0° 03' 50"
	F	*6482.1750	*751.8129	—

注：上表中的子午线收敛角，依据外业施测的三对点经纬度，按  $r = \Delta L \cdot \sin B$  化式计算。

在 A、C、E 三个点分别安置仪器（其定向点依次为 B、D、F）进行磁差测量，并以它们的磁差平均值作为南方某机场的磁差。

机场磁偏角外业观测方法：每个机场选择的测站数不少于 3 个（符合地磁观测、分布较合理），每个测站观测 3 个测回（每个测回，盘左瞄准定向点时应配置水平度盘，以消

减度盘分划误差）<sup>[4]</sup>。

4.1 测前准备

①用 GNSS-RTK 按图根控制测量精确测定测站点（P1）、定向点（P2）坐标（XY、BL），两个点尽量等高，距离尽可能大于 200m，并计算 P1-P2 的真方位角  $A_{12}$ 。

②在测站点（P1）上架设仪器，在定向点（P2）上架设带视牌的基座棱镜；仪器架好后，务必打开补偿器锁紧手轮（即将手轮逆时针旋至 ON 位置）。

③用专用电缆线将传感器与磁通门检测系统电路装置连接在一起。

④打开磁通门检测系统的电源开关，用按键开关检验电源电压，当电压在 11V 以上时表明可以工作，切换至磁场状态。

4.2 机场磁差平均值观测计算

在选定的 3 个测站上各进行 3 测回“近零法”观测，各测站观测数据如表 3 所示。

表 3 观测数据

测站点		A			C			E			
定向点		B			D			F			
定向真方位角		*° 59' 32"			*° 05' 16"			*° 20' 07"			
观测日期		2022.3.16			2022.3.16			2022.3.16			
开始时间 (BT)		8:00			12:30			17:00			
结束时间 (BT)		9:00			13:30			18:00			
第 1 测回		°	'	"	°	'	"	°	'	"	
定向标志观测	盘左	测前 (1)	*	59	30	*	05	48	*	20	00
		测后 (4)	*	59	24	*	05	48	*	19	54
	盘右	测前 (5)	*	59	24	*	05	48	*	20	06
		测后 (8)	*	59	30	*	05	48	*	20	06
磁偏角观测	盘北向上 (2)		*	50	00	*	46	30	*	47	00
	盘南向上 (3)		*	47	12	*	46	30	*	44	24
	盘北向下 (6)		*	49	18	*	50	48	*	51	00
	盘南向下 (7)		*	54	54	*	53	00	*	56	00
一测回磁偏角观测值		*° 09' 34"			*° 11' 20"			*° 10' 18"			
第 2 测回		°	'	"	°	'	"	°	'	"	
一测回磁偏角观测值		*° 09' 28"			*° 11' 30"			*° 10' 17"			
第 3 测回		°	'	"	°	'	"	°	'	"	
一测回磁偏角观测值		*° 09' 35"			*° 12' 02"			*° 10' 18"			
3 测回磁偏角均值		*° 09' 32"			*° 11' 37"			*° 10' 18"			
1 测回磁偏角观测中误差		±4.0"			±21.9"			±0.9"			
3 测回磁偏角均值中误差		±2.3"			±12.6"			±0.5"			
场址磁偏角均值		*° 10' 29" (西偏)									

说明上表中(1)~(8),即为下面的操作步骤:

①盘左瞄准定向点标志,配置水平度盘A12(第2测回为A12+60°、第3测回为A12+120°),再精确瞄准定向标志,读记标志的盘左侧前水平度盘读数。

②放平望远镜旋转仪器照准部至磁东位置(水平度盘读数约为86°50'),通过调节水平微动螺旋,使磁场读数在(0±0.5)以内且稳定,此时读、记水平度盘读数。

③旋转仪器照准部至磁西位置(水平度盘读数大约为266°50'),通过调节水平微动螺旋,使磁场读数在(0±0.5)以内且稳定,此时读、记水平度盘读数。

④旋转仪器照准部瞄准定向点标志,读、记水平度盘读数,完成上半测回。

⑤盘右瞄准定向点标志,读、记标志的盘右侧前水平度盘读数。

⑥放平望远镜旋转仪器照准部至磁西位置(水平度盘读数约为86°50'),通过调节水平微动螺旋,使磁场读数在(0±0.5)以内且稳定,此时读、记水平度盘读数。

⑦旋转仪器照准部至磁东位置(水平度盘读数大约为266°50'),通过调节水平微动螺旋,使磁场读数在(0±0.5)

以内且稳定,此时读、记水平度盘读数。

⑧旋转仪器照准部瞄准定向点标志,读、记水平度盘读数,完成下半测回。

表中第二、第三测回数据略,只表示结果;一测回观测完成后,如仪器对中、整平情况满足要求,可继续完成第2、第3测回。根据水平度盘配置不同,磁东、磁西概略读数会分别增加60°、120°。当3个测回都完成后,到其他测站继续测量。

### 4.3 磁差年变率计算

南方某机场提供了2011年3月的磁差为-2°00'(西偏),本次测量的磁差为: \*°10'29"(西偏),可以计算出磁差年变率:

$$\delta = \frac{(-3^{\circ}10'29") - (-2^{\circ}00")}{2022 - 2011} = -6'24"/\text{年}$$

### 4.4 跑道真(磁)方位计算

利用GNSS-RTK测量南方某机场RYW15/33、RWY16/34跑道坐标数据,进行真方位角、磁方位角的求算,测量及计算成果见表4。

表4 计算成果

坐标及高程系统		2000 国家大地坐标系		独立坐标系	1985 国家高程基准
跑道	端(中)点/方位角	X/Y(m)	B(纬度)/L(经度)	X/Y(m)	H(m)
RYW15/33	15	*6119.908	*° 39' 10.6789" N	*41.745	3.697
		*766.783	*° 48' 11.3258" E	*34.331	
	中点	*4603.684	*° 38' 21.4209" N	*12.622	3.734
		*535.675	*° 48' 38.3239" E	*77.246	
	33	*3087.348	*° 37' 32.1579" N	*83.386	3.736
		*304.501	*° 49' 05.3144" E	*20.094	
	真方位角	15 → 33	153.0361° /153° 02' 10"		
		33 → 15	333.0419° /333° 02' 31"		
磁方位角	15 → 33	156.2108° /156° 12' 39"			
	33 → 15	336.2167° /336° 13' 00"			
RYW16/34	16	*6288.142	*° 39' 16.0634" N	*42.016	4.023
		*887.482	*° 47' 05.4946" E	*58.169	
	中点	*4593.567	*° 38' 21.0147" N	*33.024	3.960
		*746.761	*° 47' 35.6737" E	*88.415	
	34	*2898.996	*° 37' 25.9644" N	*24.036	3.992
		*606.077	*° 48' 05.8474" E	*18.701	
	真方位角	16 → 34	*0281° /153° 01' 41"		
		34 → 16	*0347° /333° 02' 05"		
磁方位角	16 → 34	*2028° /156° 12' 10"			
	34 → 16	*2094° /336° 12' 34"			

#### 4.5 结论

南方某机场场址的磁差测量方案合理可行, 所选择的测量点尽量避开了有可能影响磁差测量等众多因素, 观测成果符合性好, 磁北方向1测回观测中误差优于 $\pm 22''$ , 三处磁差均值中误差为 $\pm 36.5''$ , 其磁差测量精度满足《民用机场勘测规范》中磁偏角测量精度优于 $6'$ 的要求。

#### 5 结语

①在实例中, 通过实验数据发现, 采用测区中央的经度作为坐标投影的中央子午线计算方位角与真北方位角相差最大不超过 $6''$ , 由此可见 GNSS 方法反算真北方位角计算出的磁差完全满足飞机自动控制系统对磁差的精度要求。

②传统的天文测量测定真北方位角, 精度较高, 但受环境影响较大且观测烦琐计算复杂, 不易掌握。GNSS 作为一种成熟的测量方法, 其精度已逐步满足各类需求, GNSS 方法在真北方位和磁差测量中具有广阔的使用前景。

最后感谢在项目里中南大学测绘与遥感科学系相关技术专家邱斌和公司总工程师付仁俊、高级工程师蒋明富的技术指导。

#### 参考文献

- [1] MH/T 5025—2011 民用机场勘测规范[S].
- [2] MH 5001—2021 民用机场飞行区技术标准[S].
- [3] MH/T 4015—2013 民用航空应用规范[S].
- [4] GB/T18314—2009 全球定位系统(GPS)测量规范[S].