

综述

静海地磁台天文方位角测量及其质量评估

徐学恭¹, 尚先旗¹, 周锦屏²

(1. 天津市地震局, 天津 301600; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 为适应高精度新型地磁仪器对观测磁偏角和磁倾角条件的需要, 应用经典的天文测量方法, 精密测定了天津静海地磁台改造后的7个观测墩至4个方位标志的方位角, 共取得了38个方位角参数, 平均标准偏差达到 $\pm 1.2''$. 使该台在磁偏角测量或仪器验收中可供7套仪器同时观测, 并可以做到全天候观测.

关键词: 地磁; 天文方位角; 测量; 质量评估

中图分类号: P128.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2003)03-0281-05

0 引言

地磁台的任务是提供连续完整、准确可靠地球磁场变化观测数据. 某一测点地球磁场特征的描述表现为磁偏角 D 、磁倾角 I 、总强度 F 、水平强度 H 、北向强度 X 、西向强度 Y 、垂直强度 Z 七要素, 其中只需直接测定三个独立量, 如 D 、 H 、 Z 或 D 、 I 、 F 等组合, 则其他量可通过数学函数求得. 其中 D 是必测和不可或缺的要素. 若要测得某测点的 D , 必须首先知道该测点的地理正北方向, 又称地理子午线. 通过天文方位角的测量可以获得地理正北方向; 通过地磁测量可获得地磁北方向, 两者之差即为磁偏角 D .

为适应高采样率、高分辨率、高精度新型地磁仪器观测条件的需要, 天津市地震局于2000年9月至2001年6月对静海地磁台进行了全面改造. 内容包括: 拓宽场地面积19.5亩; 重建绝对观测室、相对记录室、方位标志、办公室等建筑设施; 使台站成为我国数字化、自动化、现代化的新型地磁台之一. 目前该台已安装有GM-3型三分量数字化磁通门磁力仪、分量质子旋进式磁力仪、CTM-DI地磁经纬仪. 为保证观测磁偏角 D 和磁倾角 I 的CTM-DI仪及时投入使用, 测定绝对观测室内各观测墩至室外标志的天文方位角成为当务之急. 为此笔者于2001年11月21日至27日应用经典的天文方位角测量方法, 对静海地磁台各观测墩之方位角进行了精密测量.

1 方案设计

1.1 点位设置

静海地磁台绝对观测室内设有 $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 120\text{ cm}$ 大理石观测墩6个, 编号为1~6[#]; 在观测室的正南方向40m处的比测亭内设大理石观测墩1个, 编号为7[#]. 在观测室东边方向约300m、500m处设近标 M_{E1} 、远标 M_{E2} 各1个; 在观测室南边方向约160m、400m处设近标 M_{S1} 、远标 M_{S2} 各1个(图1).

考虑到1[#]、3[#]、5[#]观测墩不能直接窥视北极星, 2[#]与7[#]墩又互不通视、墩位标志又多等因素, 为提高工作效率, 测量中采用2[#]墩直接观测北极星测定其与标志间的方位角, 其余各墩位则通过7[#]墩观测北极星测定其与标志间的方位角, 经过几何转换将其引入室内各观测墩上.

1.2 标志的制做与埋设

标志杆上的标记为一“义型”标记中心, 其宽度及标志杆(或野光标)的直径依据观测精度的要求而定.

假设测角精度要求达到 $0.05'$ ($\approx 3''$), 据此可以计算出“义型”标记中心的宽度或标志杆的直径在 300 m 处为 2.6 mm、500 m 处为 4.4 mm. 观测精度与标记尺寸的选择与观测仪本身的精密度有关.

静海台地处平原地区, 台址周围为农作物和林木. 为确保观测目标能常年通视, 并节省土地和造价, 选用了现成电杆作为方位标志. 标志直径约 0.3 m, 其顶部离地面约 10.0 m, 埋深(置于冻土层以下)1.8 m, 坑围直径约 1.5 m, 混凝土浇注, 基础坚实牢靠. 在标志杆上方为供瞄准用的二种标记, 一是用红、白二种漆做成“义型”标记; 二是在顶部焊接金属标杆, 两者互为参考.

2 测量的依据与方法

2.1 基本原理

为便于讨论问题, 将地理子午线、北极星、标志均投影至平面上. 如图 2 所示, O 为观测点; ON 为通过测点的地理子午线; X 为北极星; A 为北极星之方位角, 可东可西, 视观测时刻而定; θ 为北极星与标志间之水平夹角; A_m 为标志方位角. 因此有

$$A_m = A + \theta \tag{1}$$

近极星任意时角法测定天文方位角, 具有不受观测时间限制的特点, 且可以设置不同度盘位置进行观测, 以消除度盘刻划不均匀误差, 因此被公认在方位角测量中最为精确之方法. 任意时角法求天体方位角 A 的公式是

$$\text{tg } A = \sin t / (\cos \varphi \text{tg } \delta - \sin \varphi \cos t) \tag{2}$$

式中: A 为天体方位角, 偏东为正, 偏西为负; φ 为测点纬度, 可用 GPS 测定; δ 为赤纬, 以观测日期为引数, 从天文年历中查得; t 为时角 ($t = S - \alpha$, S 为恒星时, 通过观测时间换算而得; α 为赤经, 以观测日期为引数, 查历而得).

2.2 方位角之转换

由于观测室内的 1[#]、3[#]、5[#]墩不能直接观测北极星, 因此须利用比测亭的 7[#]墩直接观测北极星的有利条件. 以 1[#]墩为例, 首先测定 7[#]墩至 1[#]墩之方位角 A_{7-1} , 为初始方位角; 然后通过几何方法将 A_{7-1} 转换成 1[#]至 7[#]墩方位角 A_{1-7} ; 最后将其转换至各标志之方位角. 由图 3 不难看出 1[#]、7[#]及各标志间之关系:

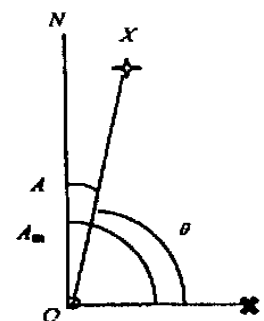


图 2 北极星与标志间的关系
Fig. 2 Relationship between Polaris and mark.

$$\left. \begin{aligned} A_{1-7} &= A_{7-1} + 180 \\ A_{1-M_{E1}} &= A_{1-7} + \alpha \\ A_{1-M_{E2}} &= A_{1-7} + \alpha_1 \\ A_{1-M_{S2}} &= A_{1-7} + \alpha_2 \\ A_{1-M_{S1}} &= A_{1-7} + \alpha_3 \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

……其余类推.

式中 α 、 α_1 、 α_2 、 α_3 可用高精度经纬仪精密测定. 须指出, 观测墩与观测墩及各标志间的相互通视是实现方位角转换的必要条件.

2.3 方法步骤

(1) 本次测量所用仪器为德国制 T₃ 高精度光学经纬仪, 度盘分辨率每小格

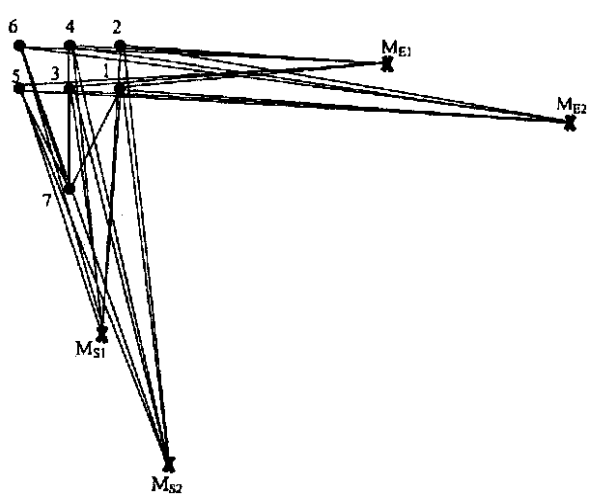


图 1 静海地磁台绝对观测室观测墩与各标志间通视示意图
Fig. 1 Positions of geomagnetic absolute measurement platforms and azimuth marks in Jinghai station.

0.1″;记时表使用上海产金雀牌电子表,记时分辨率 0.01 s.在测前、测后均与中国科学院陕西天文台 BPM 标准时间标准频率发播台准确对时,测定其钟差.

(2) 准确安装和调整仪器后,对北极星和地面目标的瞄准均采用 5 测回(即 5 次正镜、5 次倒镜)为一组.为确保观测结果的有效性,用两个晚上在 7[#]墩分别测定北极星方位角各 6 组 30 测回和瞄准地面目标 2 组 10 测回,合计 16 组 80 测回,取其平均值作为该墩的最终方位角.

(3) 在白天可测定 7[#]墩至 1[#]、3[#]、4[#]、5[#]、6[#]墩和 M_{E1}、M_{E2}、M_{S1}、M_{S2}及 1[#]~6[#]墩和 M_{E1}、M_{E2}、M_{S1}、M_{S2}之间的水平夹角,再用几何转换的方法将 7[#]墩所测出的初始方位角引入各墩位上.

3 测量结果

本次对静海地磁台观测室内 6 个墩位至 4 个标志、观测亭 7[#]墩至室内 6 个墩位和 4 个标志,均进行了方位角的测定与转换,共取得 38 个方位角参数(表 1).由于设立了远、近不同距离的目标,且室内各观测墩与 7[#]墩不仅相互通视且具备方位角参数,因此在必要时 7[#]墩也可作为近标使用.由此使得该台在磁偏角观测中可供 7 套地磁经纬仪同时工作,并可做到全天候观测,其使用价值显而易见.

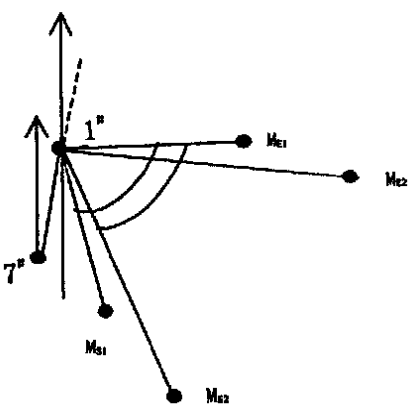


图 3 1[#]、7[#]观测墩与各标志间夹角示意图
Fig. 3 Angles between measurement platforms 1[#], 7[#] and azimuth marks

表 1 静海台各墩位方位角测量结果

序号	墩号	目标	方位角	标准偏差	观测时间
1	1	7 [#]	180°58'15.15"	±0.76"	2001-11-21(22)
2	1	M _{E1}	95°48'28.11"	±0.76"	2001-11-21(22)
3	1	M _{E2}	96°45'01.81"	±0.76"	2001-11-21(22)
4	1	M _{S1}	170°05'15.85"	±0.76"	2001-11-21(22)
5	1	M _{S2}	169°13'42.60"	±0.76"	2001-11-21(22)
6	2	M _{E1}	96°24'14.38"	±1.70"	2001-11-23(25)
7	2	M _{E2}	97°04'50.65"	±1.70"	2001-11-23(25)
8	2	M _{S1}	169°59'43.50"	±1.70"	2001-11-23(25)
9	2	M _{S2}	169°11'57.34"	±1.70"	2001-11-23(25)
10	3	7 [#]	177°02'28.82"	±0.76"	2001-11-21(22)
11	3	M _{E1}	95°41'05.79"	±0.76"	2001-11-21(22)
12	3	M _{E2}	96°40'38.85"	±0.76"	2001-11-21(22)
13	3	M _{S1}	169°03'00.42"	±0.76"	2001-11-21(22)
14	3	M _{S2}	168°48'00.81"	±0.76"	2001-11-21(22)
15	4	7 [#]	176°14'35.16"	±0.76"	2001-11-21(22)
16	4	M _{E1}	96°16'10.17"	±0.76"	2001-11-21(22)
17	4	M _{E2}	97°00'01.93"	±0.76"	2001-11-21(22)
18	4	M _{S1}	168°58'24.68"	±0.76"	2001-11-21(22)
19	4	M _{S2}	168°46'15.98"	±0.76"	2001-11-21(22)
20	5	7 [#]	173°05'25.34"	±0.76"	2001-11-21(22)
21	5	M _{E1}	95°33'56.34"	±0.76"	2001-11-21(22)
22	5	M _{E2}	96°36'18.11"	±0.76"	2001-11-21(22)
23	5	M _{S1}	168°01'24.44"	±0.76"	2001-11-21(22)
24	5	M _{S2}	168°22'39.29"	±0.76"	2001-11-21(22)
25	6	7 [#]	172°32'47.48"	±0.76"	2001-11-21(22)
26	6	M _{E1}	96°08'40.46"	±0.76"	2001-11-21(22)
27	6	M _{E2}	96°55'36.21"	±0.76"	2001-11-21(22)
28	6	M _{S1}	167°58'08.62"	±0.76"	2001-11-21(22)
29	6	M _{S2}	168°20'58.75"	±0.76"	2001-11-21(22)
30	7	1 [#]	0°58'15.15"	±0.76"	2001-11-21(22)
31	7	3 [#]	357°02'28.82"	±0.76"	2001-11-21(22)
32	7	4 [#]	356°14'35.16"	±0.76"	2001-11-21(22)
33	7	5 [#]	353°05'25.34"	±0.76"	2001-11-21(22)
34	7	6 [#]	352°32'47.48"	±0.76"	2001-11-21(22)
35	7	M _{E1}	86°39'19.47"	±0.76"	2001-11-21(22)
36	7	M _{E2}	91°41'20.72"	±0.76"	2001-11-21(22)
37	7	M _{S1}	166°14'02.83"	±0.76"	2001-11-21(22)
38	7	M _{S2}	167°48'33.40"	±0.76"	2001-11-21(22)

4 测量精度评估

4.1 观测次数与误差关系

对一个被测定的物理量, 究竟重复测量多少次比较合适? 根据误差理论, 算术均方差 δ_A 与数列均方差 δ 存在下列关系:

$$\delta_A = \delta / (n^{1/2}) \tag{5}$$

由表 2 可见, 当 $n = 4$ 时, δ_A 减少到 1/2 倍; 当 $n = 9$ 时, δ_A 减少到 1/3 倍; 而当 n 增加到 10 ~ 20 以后, δ_A 已无明显改善. 因此, 本测量所采用 5 测回为 1 组, 对北极星共观测 6 组的测量程序可确保观测结果的准确性.

表 2 观测次数与观测精度的关系

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	50	100
$\delta / (n^{1/2})$	1. 00	0. 71	0. 58	0. 50	0. 45	0. 41	0. 38	0. 35	0. 33	0. 32	0. 22	0. 18	0. 14	0. 10

4.2 实际观测精度

本次只在 2[#]、7[#]墩直接测定标志方位角, 其它各墩的方位角系通过几何转换的方法而得, 因此 2[#]、7[#]墩至标志方位角的标准偏差可以代表其它各墩位的观测精度. 求总体参数的标准偏差公式:

$$\sigma_x = (\sum x^2 - nx^2/n)^{1/2} \tag{6}$$

式中 x 表示样本; n 为样本数. 按公式(6)即可得到表 1、表 3 和表 4 中的标准偏差 0. 76"和 1. 70".

为了进一步验证单次测量结果的可靠性, 我们在 21、22 和 22、25 日夜间, 相同的仪器条件下对 2[#]、7[#]墩的标志方位角进行了复测. 复测结果 7[#]墩差 0. 26", 2[#]墩差 9. 99"(见表 3、表 4).

表 3 静海台 7[#]墩至 1[#]墩初始方位角 A_{7-1} 测定结果

观测时间	组别						均值	标准 偏差
	1	2	3	4	5	6		
			$A_{7-1} = 0^{\circ}58' + 15.86''$					
2001-11-21	15. 86"	13. 44"	15. 27"	17. 08"	14. 87"	15. 17"	15. 28"	±1. 09"
2001-11-22	15. 26"	14. 81"	14. 50"	14. 91"	14. 77"	15. 84"	15. 02"	±0. 43"
							15. 15"	±0. 76"
差值							0. 26"	

表 4 静海台 2[#]墩至南标初始方位角 $A_{2-M_{SI}}$ 测定结果

观测时间	组别						均值	标准 偏差
	1	2	3	4	5	6		
			$A_{2-M_{SI}} = 169^{\circ}59' + 46.49''$					
2001-11-22	46. 49"	45. 27"	47. 10"	51. 29"	50. 92"	49. 90"	48. 50"	±2. 31"
2001-11-25	38. 58"	37. 72"	40. 87"	38. 04"	37. 93"	37. 93"	38. 51"	±1. 09"
							43. 50	±1. 70"
差值							9. 99"	

由表 3、4 可以看出除 2[#]墩复测结果的测量误差超出 6"以外, 其它各墩位的观测误差明显高于《地磁数字化的观测技术规范》规定≤6"的指标, 其测量精度相当于二、三等天文方位角的精度要求(二等 $\sigma_x < \pm 1. 0''$, 三等 $\sigma_x < \pm 5''$), 它足以满足地磁偏角测量精度的要求.

5 问题与建议

(1) 表 4 显示 2[#]墩于 22 日与 25 日的方位角测值相差 9. 99", 其可能原因是受当时天气(冷)、照明不

善等因素影响. 可待天气转暖后的适当时间对 2[#]墩进行复测.

静海台利用现代水泥杆作为方位标志, 其优点为经济实用, 但最大缺点是易受日照、气温等气象因素的影响而发生形变, 致使偏角基线值全年有可能产生 0.5' 至 0.8' 的漂移量. 据此计算在 300 m 处水泥杆顶部将会产生 43.6~69.8 mm 的变化幅度. 建议借“十五”台站改造的机会将水泥杆标志改建成塔式标志, 以确保其稳定性.

[参考文献]

- [1] 周锦屏, 黄蔚北, 程安龙, 等. 北京地磁台天文方位角测量及误差分析[J]. 地震地磁观测与研究, 1997, 18(6): 73—79.
- [2] 中国地震局. 地震及前兆数字观测技术规范(电磁观测)(试行)[M]. 北京: 地震出版社, 2001. 69—70.
- [3] 金麟孙编著. 仪器计量误差理论[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 45—83.

MEASUREMENT OF ASTRONOMIC AZIMUTH ANGLE IN JINGHAI STATION AND ITS QUALITY EVALUATION

XU Xue-gong¹, SHONG Xian-qi¹, ZHOU Jin-ping²

(1. *Seismological Bureau of Tianjin, Tianjin 300201, China*; 2. *Institute of Geophysics, CSB, Beijing 100081, China*)

Abstract: In order to adapt to the observational condition of magnetic declination and inclination with the high resolution and precision magnetograph, the azimuths among 7 measurement platforms and 4 azimuth marks in reconstructed Jinghai station, Seismological Bureau of Tianjing, are precisely measured by using classical astro-geodetic method, and 38 parameters with average error $\pm 1.2''$ are gained. After the measurements, 7 sets of instrument can be used at same time in all-weather.

Key words: Geomagnetism; Astronomic azimuth angle; Measurement; Quality evaluation