引文格式：张德会,张捍卫. 机场跑道磁偏角及年变化率测算方法研究与实践[J]. 地理空间信息, 2024, 22(4): 114-116. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.04.027

# 机场跑道磁偏角及年变化率测算方法研究与实践

张德会[1]，张捍卫[2]
（1. 北京华星勘查新技术有限公司，北京 101102；2. 河南理工大学，河南 焦作 454000）

**摘　要：**为了获取高精度的机场方位基础数据，提高测量精度选择一种中心线偏移测量方案，测量跑道磁偏角以及年度变化率。采用CORS-RTK技术与磁通经纬仪相结合的方法，测算了机场跑道的磁偏角。结合北京首都机场工程实例分析了该方法的可行性，利用RTK高效快速测算真方位角，结合磁通经纬仪测定偏移中心线的磁偏角，进而得到机场跑道线方向的磁偏角，精度优于±6′30″。根据周边44个地磁台站的地磁矢量绝对观测时均值数据，采用NOC分析，得到磁偏角时空变化分量，通过B样条插值和建立曲面样条模型，得到机场跑道基准位置的年变化率为－6′22″。

**关键词：**真方位；磁偏角；GNSS；RTK；磁通仪
**中图分类号：**P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）04-0114-03

# Research and Practice of the Calculation Method of Airport Runway Magnetic Declination and Annual Change Rate

ZHANG Dehui[1], ZHANG Hanwei[2]
(1. Beijing Huaxing Exploration of New Technology Co., Ltd., Beijing 101102, China;
2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** In order to obtain high-precision basic airport azimuth data and improve the measurement accuracy, we selected a centerline offset measurement scheme to calculate the runway magnetic declination and annual change rate. We measured the magnetic declination of airport runway by combining CORS-RTK technology with magnetic flux theodolite. Combining with the project of Beijing Capital Airport, we analyzed the feasibility of this method. Firstly, we used RTK to measure the true azimuth efficiently and quickly, and used magnetic flux theodolite to measure the magnetic declination of offset center line. And then, we obtained the magnetic declination of airport runway line direction. The accuracy was better than ±6′30″. According to the absolute observation time mean value data of geomagnetic vector of 44 geomagnetic stations around, we used NOC analysis to obtain the spatio-temporal variation components of magnetic declination. Through B-spline interpolation and the establishment of surface spline model, the annual change rate of airport runway reference position was -6′22″.

**Key words:** true azimuth, magnetic declination, GNSS, RTK, fluxmeter

磁偏角测量在隧道工程、气象、基础地磁图测量、航海、矿产资源调查、地震预报等方面，也具有十分重要的作用[1-6]。然而，磁偏角的测量极易受到环境的影响，测量过程的技术要求也是非常严苛。文献[7]利用GNSS定位测量结合磁通仪，测量了成都天府国际机场跑道的真方位角、磁方位角，并计算跑道的磁偏角数据。测量方案精心设计，较好地避免了金属堆砌物对磁偏角的影响，测量成果精度较高。文献[8]利用GNSS测量技术与经典的方格网磁偏角测量技术相结合，提高了真方位角的测量精度，建立了磁偏角罗盘校正场，得到了较高精度的磁偏角。文献[9]针对高原特殊条件，以青海机场的磁偏角测量工程项目为研究背景，探讨了对日变、太阳黑子活动等因素对磁偏角测量的影响，为高原磁偏角测量提供了参考。

本文针对首都机场的三条跑道的方位基础数据测量工程实地状况，精心设计了一套该机场跑道磁偏角的测量方案，获得了跑道高精度的磁偏角以及磁差年变率。较好地避免了跑道中电缆、电线及其周边建筑物对磁偏角测量的影响，实现了机场方位基础数据高精度测量，为机场跑道磁偏角测量与校正工作提供指导，为其他磁偏角测量工作提供参考。

## 1　磁偏角与磁差年变化率计算方法

### 1.1　磁偏角测量计算

磁偏角测量主要是根据外磁场方向与传感器磁轴方向正交特性，利用磁通门传感器方向性强的特点结合测

收稿日期：2022-07-16。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（42074002、41931075）。
第一作者简介：张德会（1991—），工程师，研究方向为工程测绘，无人机摄影测量，E-mail：liugch168@163.com。

绘的经纬仪进行测算磁偏角。将磁力仪的磁通门传感器置于零磁场的位置时读取水平度盘的读数，经过一系列计算可获得磁偏角 $\alpha$ 的测量值。利用磁通门传感器经纬仪测量磁偏角的基本计算方法[8]，如公式（1）所示。

$$\alpha = A - A' = A - M \pm 90° \tag{1}$$

式中，$\alpha$ 为磁偏角；$A$ 为真方位角；$A'$ 为磁方位角；$M$ 为垂直磁北的电流零方向。

为了避免测量过程中的误差，需要进行严格的多次重复观测，然后对观测值进行平差计算，得到更精确的磁偏角。

### 1.2　磁差年变率计算

磁偏角年变率的计算是一个比较复杂的过程，基础数据的获取是计算磁偏角年变率的重要基础。首先需要搜集下载中国及周边国家地磁基准台基本台“2015—2021年”地磁矢量绝对观测时均值数据，通过对地磁台站计算观测点10 a静日午夜均值数据。然后对台站覆盖范围内的地磁要素数据进行自然正交分量分解，获得相应的场地时间变化特征、场地空间分布特征、能量分布。再对地磁要素进行样条插值，并建立地磁要素曲面样条模型，计算出空间范围内时间区间[2015.0—2025.0]中的地磁要素绝对数值。根据公式（2）计算年平均变化率。

$$\bar{v} = \frac{M_j - M_i}{N} \tag{2}$$

式中，$i<j$；$N$ 为年差，$N=j-i$。

最后将拟合的计算得到数据按年平均，可以得到所需空间位置处在特定时间段内的地磁场线性年变率。

## 2　工程实例

### 2.1　机场概况

研究区包含整个首都机场，但为了测量工作方便和提高测量精度，划分为机场内和机场外，首都机场3条飞机跑道位置与周边环境，如图1所示。




图1　首都机场位置与周边环境影像图

首都机场内主要为3条跑道及两侧土质区，跑道及其周边地势平坦，卫星信号较好，通视情况良好，但电磁环境复杂，对磁偏角测量干扰因素较多，测量位置及测量时间受限。场外区域为机场围界外靠近跑道区域，作业环境相对复杂，建筑物及树木比较密集，测量点位电磁环境受周边环境影响大，但测量时间不受限制。

### 2.2　跑道测量方案设计

#### 2.2.1　大地坐标测量与真北方位计算

大地坐标测量采用北京市全球卫星定位综合服务系统（CORS系统）网络RTK测量系统进行[10]。在机场周边、跑道两侧土质区及跑道道面上布设站点和后视点共33个，观测等级为一级控制点。RTK采集每点自动观测个数为20个观测值,并应取平均值作为观测结果；经、纬度记录到0.000 01″，平面坐标和高程应记录到0.001 m。测回间的平面坐标分量较差小于20 mm，垂直坐标分量较差小于30 mm，取各测回结果的平均值作为最终观测结果。根据设站点和后视点的CGCS 2000国家大地坐标系大地坐标[11]，以设站点所在中央经线为中央子午线，利用专业坐标转换软件，计算每个设站点至后视点方向的真北方位角。

#### 2.2.2　磁北方位观测方案设计

机场内各种通信设备及导航设施的电磁辐射、跑道结构中大量金属框架以及埋设的电缆电线的电磁辐射，严重影响磁偏角的观测结果。为了避免跑道中电磁辐射干扰，提高磁偏角的测量精度，本文采用了中心线偏移法进行磁偏角的观测。各条跑道观测点布置，如图2所示。

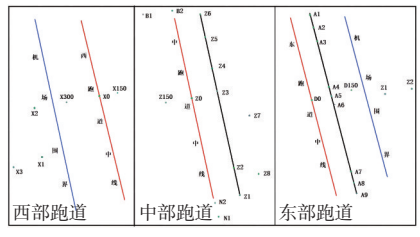



图2　各个跑道磁偏角观测点布置示意图

东跑道全程3 800 m，将中心线向东偏移60 m为土质区域，沿着跑道方向布设9个点（A1–A9），然后在跑道中线的中点处及中点偏东150 m位置布设2个观测点；东跑道中点东侧围界外东西方向分别布置Z1与Z2 2点。观测方案设计为A9–A8观测线（设定A9为测站点，A8为后视点）以此类推，A8–A7，A6–A5，A5–A4，A3–A2，A2–A1，D0–D150，D150–D0，Z1–Z2，观测9组数据。中跑道全长3 800 m，在中跑道中线中点和西偏150 m土质区内布置Z0和Z150，在中跑道中线东侧土质区内，沿跑道方向，从南到北分别布

置Z1到Z6，由于中跑道观测环境复杂，磁偏角的观测会产生较大误差，在观测现场临时加设2个点位分别为Z7、Z8。观测方案设计为：Z0–Z150、Z150–Z0、Z5–Z6、Z3–Z4、Z2–Z1、Z8–Z1、B1–B2、B2–B1、N1–N2，观测9组数据。西跑道全长3 300 m，在西跑道中线中点和东西两侧150 m土质区内布设X0、X150以及X300。在西跑道控制区西侧围界外土质区内分别布置X1、X2、X3。观测方案设计为：X300–X0、X0–X150、X150–X0、X1–X2、X1–X3，观测5组数据。

### 2.3 数据分析与测量成果计算

#### 2.3.1 磁偏角数据分析与计算

为了提高观测精度，必须对观测值进行分析和取舍，避免粗差对测量结果的干扰[12]。首先将观测数据中明显与其他观测数据偏差较大的观测数据予以剔除，计算剩余观测数据的算数平均值，将超过2倍中误差的观测值剔除。将与算术平均值相差超过±12′以上的观测值予以剔除，重新计算算术平均值，整理后得到各跑道的有效观测数据与计算成果。

东跑道观测了9组磁偏角数据，其中有4组观测值不符合要求剔除，得到的5组数据，经计算得到磁偏角算数平均值为–*°*0′55″，标准偏差为±4′24.8″；中跑道观测了9组磁偏角数据，其中有5组观测值不符合要求剔除，得到的4组合格观测数据，经计算得到磁偏角算数平均值为–*°*9′47″，标准偏差为±6′16.1″；西跑道观测了9组磁偏角数据，其中有4组观测值不符合要求剔除，得到的5组数据，经计算得到磁偏角算数平均值为–*°*1′17″，标准偏差为±2′6.6″。根据监测点的地理位置将机场中央跑道中点作为基准点，为磁偏角年变化率提供计算数据。

#### 2.3.2 磁偏角年变化率计算

本项目的基础数据下载了中国境内昌黎台（CHL）、长春台（CNH）等共32个地磁基准台基本台“2015–2021年”地磁矢量绝对观测时均值数据；同时下载了周边国家AAA、ABG、PHU等共12个境外地磁台站“2015–2021年”地磁矢量绝对观测时均值数据，所使用的数据为绝对观测时均值（地磁要素为D/Z/H/F）。

通过对上述各地磁台站计算数据点10 d静日午夜均值数据，对位于–10°~55°N范围、70°~150°E范围内的地磁要素D/H/Z数据进行自然正交分量方法[13]（NOC）分析，获得相应的场地时间变化特征$V_i(t)$、场地空间分布特征$U_i(t)$以及能量分布$\Lambda_i$（$i$=1、2、3）。其中$V_1$、$V_2$、$V_3$能够较充分地表现空间、时间范围内的地磁场时间变化。对地磁要素D/H/Z的$V_1$、$V_2$、$V_3$进行B–样条插值，并建立地磁要素D/H/Z的$U_1$、$U_2$、$U_3$的曲面样条模型，即可计算出空间范围[–10°~55°N、70°~150°E]内、时间区间[2015.0–2025.0]中的地磁要素D/F/H的绝对数值。根据公式（2）计算得到北京首都国际机场基准点的“2022—2025年”磁偏角预测平均年变率数值为–6′22″。

## 3 结 语

高精度的磁偏角以及磁差年变化率是飞机起降导航的重要保证，也是机场运营重要的任务。通过北京首都机场工程实例分析，观测得到了较高精度磁偏角，精度优于–6′30″，这对于机场运营以及飞机安全导航具有非常重要的意义。根据收集的44个地磁台站的绝对观测值，建立曲面插值模型得到了2022—2025年磁偏角平均年变化率为–6′22″，得到了北京首都高精度的机场方位基础数据，为首都机场飞机安全起降提供了重要的方位保证。

## 参考文献

[1] 王晓美. 地磁场相对变化观测技术研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所,2019

[2] 戴中东,孟良,项伟,等. 机场磁偏角测量和地磁场模型计算的比较研究[J]. 测绘通报,2021(增刊):261-264

[3] 顾春雷,顾左文,张毅,等. 地磁矢量观测在民用航空领域中的应用[C]//第九届中国国际地球电磁学术讨论会论文集,2009

[4] 张策. 自动化地磁偏角倾角绝对测量仪关键技术研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所,2020

[5] 孙建军. 基于遗传算法的地磁匹配导航应用[J]. 地理空间信息,2017,15(6):26-27

[6] 朱晓江. 基于GPS基线向量计算机场跑道真方位角[J]. 全球定位系统,2014,39(4):91-93

[7] 吴亚东,徐洪兵,崔同建,等. 跑道真方位及磁方位测量方法研究与实践[J]. 城市勘测,2021(6):135-138

[8] 陈铭达,车德福. 机场罗盘校正场磁偏角测量方法的研究[J]. 测绘工程,2021,30(6):65-68

[9] 康义武,刘峰. 青海高原机场建设中磁偏角的测量探讨[J]. 青海国土经略,2013(4):49-50

[10] 袁曼飞,谢忠俍. 基于CORS的网络RTK测量精度分析及影响因素研究[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(7):31-33

[11] 丁建勋,李秀龙,马德富. 珠海市北斗CORS网络RTK实测分析[J]. 地理空间信息,2016,14(6):68-71

[12] 徐一艳,罗苏惠,高宗耀. 一种基于磁传感器测量值计算磁偏角、磁倾角的方法[J]. 弹箭与制导学,2022(9):1-4

[13] 陈斌. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究,2011,34(4):466-469