

国际地磁参考场在中国大陆地区的误差分析

王亶文

中国地震局地球物理研究所 北京 100081

中国科学院空间天气开放研究实验室 北京 100080

摘 要 IGRF(国际地磁参考场)是有关地球主磁场与长期变化的模型,IGRF 的误差主要来源于:忽略外源场、球谐级数的截断、台站分布的不均匀、测量、忽略地壳磁异常场等。分析我国大陆地区 IGRF 的误差,有利于我国地磁研究人员在工作中合理地应用 IGRF 资料。如果不计磁异常与环境干扰都比较大的北京台 29 个基准台的 IGRF 的误差(均方根差)为 146.9nT。

关键词 国际地磁参考场 误差分析 中国大陆

文章编号 0001-5733(2003)02-0171-04 中图分类号 P318 收稿日期 2001-11-01 2002-11-06 收修定稿

ANALYSIS OF THE INTERNATIONAL GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD ERROR IN THE CHINA CONTINENT

WANG DANWEN

Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China

Lab. of Space Weather, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract IGRF(International Geomagnetic Reference Field) are the models of geomagnetic main field and secular variation. The IGRF errors are from neglecting external field, truncation level of the spherical harmonic series, observatory distribution, measurement, and neglecting the crust geomagnetic anomalies. Analyzing the IGRF error in China continent region is useful for using the IGRF data. If excluding Beijing observatory where there are great disturbances and geomagnetic anomaly, the root-mean-square error of IGRF for 29 main observatories is 146.9nT.

Key words International Geomagnetic Reference Field, Error analysis, China continent region.

1 引 言

自从 Gauss 把球谐分析方法引进地磁学并建立地磁场的数学描述以来,地磁学得到了极大的发展,地磁学由纯观测学科变成既观测又研究的学科。国际地磁参考场(IGRF)是有关地球主磁场与长期变化的模型。1968 年 IAGA(国际地磁与高空物理学协会)利用全球地磁资料的高斯分析,给出第一代国际

地磁参考场(IGRF)^[1]。后来, IAGA 有一个专门小组在进行以 5 年为间隔的 IGRF 研究,到目前为止,已有 21 个 IGRF(1900~2000)资料供研究使用。地磁场起源是爱因斯坦提出的世界性的科学难题之一。IGRF 的研究与制作,使得全面研究地磁场长期变化成为可能,长期变化的研究结果又是研究深部电导率的基础,是估计液核磁流体特征速度的根据,进而使地磁场起源中最有希望的发电机理论得到较大发展。

基金项目 95 重大国家自然科学基金项目(49990453) 国家杰出青年基金项目(49925412) 中国地震局地球物理研究所论著 03AC1001。

作者简介 王亶文,男,1945 年生,1968 年毕业于北京师范大学物理系,1981 年于中国科学院研究生院获硕士学位。研究员,中国科学院研究生院兼职教授。主要从事地磁学研究,及某些空间物理和震磁关系的研究。E-mail: wangtan-03@163.com

在 20 世纪 80 年代, IAGA 组织一些学者分析过 IGRF 的误差^[2], 主要方法是计算模型值与台站测量值之差。当时由于我国还没有与 IAGA 交换台站资料, IAGA 在研制 IGRF 时缺乏我国大陆地区的资料, 从而误差偏大, 而且没有系统研究分析这一问题。现在, 台站资料交流广泛, 误差应有所减少, 系统分析 IGRF 在我国地区的误差已成为必要。本文以

1998 年为例,研究 IGRF 在我国大陆地区的误差,并同时考察 IGRF 中的长期变化模型.

2 IGRF 在我国大陆地区的误差

为了研究我国大陆地区的 IGRF 误差,本文采用中国地震局地磁学科中心管理的基本地磁台网的

表1 本文所用的台站与1998年地磁总强度测量值 F_0 、计算值 F_c 和误差 ΔF

Table 1 The using observatories ,the observed value F_o , the calculated value F_c and the error ΔF

地磁台站	代号	$\lambda(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	H/m	F_{ϕ}/nT	F_{ψ}/nT	$\Delta F/\text{nT}$
满 洲 里	MZL	117.4	49.6	682	58281.0	58586	- 305
德 都	DED	126.1	48.6	258	56549.2	56643	- 93.8
乌鲁木齐	WMQ	87.7	43.8	970	56271.5	56105	166.5
长 春	CNH	125.2	44.0	203		54758	—
喀 什	KSH	76.0	39.5	1321	52768.3	52420	348.3
呼和浩特	HHH	111.6	40.8	1169	55654.8	55384	270.8
北 京	BJI	116.2	40.0	69	55214.8	54441	773.8
嘉 峪	JYG	98.2	39.8	1680	55215.5	55127	88.5
昌 黎	CHL	119.0	39.7	18	53719.6	53828	- 108.4
大 连	DLG	121.5	39.0	143	52941.8	52970	- 28.2
静 海	JIH	116.9	38.9	3		53746	—
银 川	YCB	106.3	38.5	1100		54511	—
太 原	TAY	112.5	37.7	770		53642	—
红 山	LYH	114.7	37.4	37	53099.8	53234	- 134.2
格 尔 木	GLM	94.9	36.4	2802	53252.8	53070	182.8
泰 安	TAA	117.1	36.3	249	52238.0	52261	- 23
兰 州	LZH	103.8	36.1	1560	53216.8	53218	- 1.2
郑 州	ZZH	113.6	34.6	200	51738.9	51770	- 31.1
天 水	TSY	105.9	34.6	1160	52232.8	52322	- 89.2
乾 陵	QIX	108.2	34.6	893	52154.0	52226	- 72
蒙 城	MCH	116.5	33.4	54		50686	—
南 京	NAJ	118.8	32.0	39	49935.6	49500	435.6
崇 明	COM	121.6	31.6	3	48888.1	48750	138.1
佘 山	SSH	121.2	31.1	100	48563.2	48537	26.2
成 都	CDP	103.7	31.0	653	50313.0	50269	44
杭 州	HZC	120.1	30.2	50	48164.3	48226	- 61.7
武 汉	WHN	114.6	30.5	42	49303.6	49249	54.6
拉 萨	LSA	91.0	29.6	3655	49193.0	48903	290
重 庆	COQ	106.6	29.4	266	49397.4	49259	138.4
西 昌	XIC	102.2	27.8	1560	48446.1	48378	68.1
邵 阳	SYG	111.5	27.2	226	47684.9	47657	27.9
贵 阳	GYX	106.8	26.6	1064	47675.9	47601	74.9
泉 州	QZH	118.6	24.9	10		45514	—
通 海	THJ	102.7	24.0	1820	46352.8	46241	111.8
广 州	GZH	113.3	23.1	11		45244	—
邕 宁	YON	108.5	22.8	70	45469.7	45467	2.7
琼 中	QCZ	109.8	19.0	227	43536.9	43583	- 46.1
均方根差 r_{rms}							202.29

1998 年的地磁场总强度 F 的年均值(称为实测值 F_o)。利用 1995. 0 年代的 IGRF 主磁场模型与长期变化模型外推 1998 年的 F 年均值,称其为计算值 F_c 。 F_o 与 F_c 之差即为本文所称的误差 ΔF (见表 1)。各台站 IGRF 误差列于表 1。其中以北京台 IGRF 误差最大,高达 773. 8nT。考察了有关情况,发现北京台地处地磁异常区,误差大与此有很大关系。泉州台由于环境中新出现致命干扰,工作极不正常,目前正在准备迁台址,1998 年无记录。广州台也因迁址记录有所中断等。因此,37 台站中只用了 30 个台站的资料。30 台站的均方根差(rms)为 202. 29nT。如果把北京台除外,则为 146. 9nT。表 1 中同时列出了各台站的地理经度 λ 、地理纬度 φ 和海拔高度 H 。

3 误差分析

IGRF 是主磁场(包括长期变化)的高斯分析(球谐分析)。在确定 IGRF 系数时使用以上台站及其他的测量资料,这些资料包括主磁场、变化磁场和地壳磁异常。因此 IGRF 误差主要包括忽略外源场所引起的误差、球谐级数的截断误差、全球台站分布的不均匀所引起的误差、测量误差、忽略区域性磁异常引起的误差等。

以北京台地磁北向分量 X 为例分析 IGRF 计算值与实测值的偏差与时间的关系(图 1)。1960 年到 1990 年的 30 年间,计算值 X_c 与实测值 X_o 曲线明

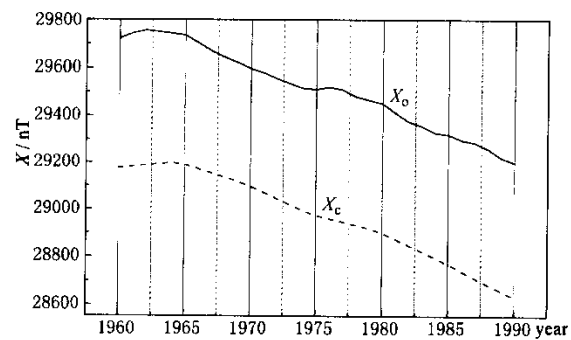


图 1 北京台地磁分量 X 的 IGRF 计算值与实测值在 1960 ~ 1990 年间的变化特征
图中实曲线为实测值,虚曲线为计算值。
Fig.1 The variation character between 1960 and 1990 of IGRF calculated and observed of X values in Beijing observation

显相关,说明模型偏差几乎不随时间变化。

3.1 忽略外源场所引起的误差

在地表与电离层底部之间的自由空间,地磁势 W 满足 Laplace 方程

$$\nabla^2 W = 0,$$

在球极坐标系中,Laplace 方程的通解为

$$W(r, \theta, \lambda, t) = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda) + \left(\frac{r}{a} \right)^n (g_{nc}^m(t) \cos m\lambda + h_{nc}^m \sin m\lambda) \right] P_n^m(\cos \theta) \right\}$$

其中 g 、 h 为高斯系数,其右下角标中的 e 代表外源场, i 代表内源场。 W 为地磁势, a 为地球平均半径, P_n^m 为 Schmidt 半标准化缔合勒让德函数, r 为球极坐标系的径向距离, λ 为地理经度, θ 为余纬, n 、 m 分别球谐函数的阶与次。由于外源场仅占整体的万分之几到千分之几^[3],所以在研究主磁场的 IGRF 时可以忽略外源场,即采用台站的年均值(其实包括内外源场两部分),使问题简化。但是,尽管外源场相对来说很小,也有几到几十 nT(因为总场为 $5 \sim 6 \times 10^4$ nT)。这就是忽略外源场所引起的误差。

3.2 球谐级数的截断误差

主磁场高斯分析的球谐级数收敛快, $n=1$ 的项(偶极子)占 80 毫~85 毫,保证了理论完备的高斯分析可以用于地磁场的实际分析。IAGA 研制的 I-GRF 保留到 $n=10$,认为 10 阶的球谐级数基本上可以表示来源于地核的主磁场。但是,很明显,IGRF 的误差中包含有截断误差。被截去的部分中的高阶部分代表地壳区域性磁异常。北京台的 IGRF 误差大,与北京地区有明显的磁异常相一致。

3.3 全球台站分布的不均匀所引起的误差

对地磁场进行高斯分析时,实际上采用的是离散的数据,是离散球谐分析。高斯系数的误差与离散球谐函数的正交性有关,而离散球谐函数的正交性取决于测点分布的均匀性^[4]。全球台站分布的不均匀性将引起高斯系数的误差,也给 IGRF 带来误差。

3.4 测量误差

测量误差包括台站所用仪器的误差,测量人员的操作误差,台站的区域代表性过小所带来的误差等。其中最后一种也是区域性磁异常所引起的误差。测量在这里包括所采用的台站的测量,也包括近年所采用的卫星磁测等。卫星磁测资料只有推到地面才能用,采用何种电离层模型将决定误差的大小。另外,台站以外的资料都不是年均值,将这些资

料求年均值、与台站年均值一起作为定 IGRF 系数的资料,也会产生一定的误差。

3.5 忽略区域性磁异常所引起的误差

地磁台站所在的地区地壳磁异常将直接产生误差。地磁场是由三部分组成:源在地核的主磁场,源在电离层、磁层等高空的变化磁场,地壳磁场^[5]。把台站等实测资料当作主磁场资料,除了前面所说的忽略外源场会引起误差外,忽略地壳磁异常自然也会给 IGRF 带来误差。

3.6 中国大陆地区 IGRF 误差分析

将中国大陆地区 IGRF 误差画成等值图(图 2)。北京台的误差高达 773.8nT。除了磁异常外,1996 年后,由于周围环境的恶化所引起的干扰变化也是一个重要原因。

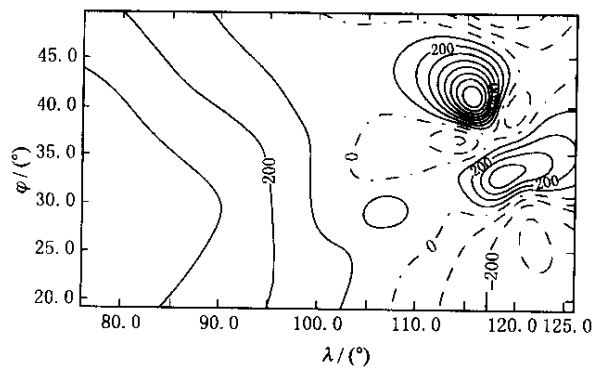


图 2 中国大陆地区 IGRF 误差等值图
(图中等值线间隔为 100nT)

Fig.2 The equivalence map of IGRF error
in the China continent

中国大陆地区 IGRF 误差略大于全球平均水平 (90nT)^[6]。我国大陆东部地区误差多负值,在这些

地区,模型所描述的主磁场比实测场还要大,而西部地区较正常。

4 讨 论

在利用 IGRF 弥补台站空白时,应该考虑 IGRF 误差。在我国大陆地区,如果不计磁异常与环境干扰都比较大的北京台,29 个基准台的 IGRF 的误差(均方根差)为 146.9 nT,与中国地磁图的误差近似。可见,在这方面还有许多工作需要努力去做。

感谢中国地震局地磁学科中心提供了本文所用的所有台站资料。

参考文献

- [1] IAGA Commission 2 Working Group 4. International Geomagnetic Reference Field 1965.0. *J. Geophys. Res.*, 1969, **74** 4407 ~ 4408
- [2] WU Wenjing, BAI Tongxia, FENG Changhua. Evaluations of candidate DGRF 1945, 1950, 1955 and 1960 models, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1987, **48** 344 ~ 349
- [3] 傅承义, 陈运泰, 祁贵仲. 地球物理基础. 北京: 科学出版社, 1985. 109 ~ 119
FU Chengyi, CHEN Yuntai, QI Guizhong. Introduction of Geophysics (in Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 109 ~ 119
- [4] 吴文京, 祁贵仲. 地球磁场的高斯分析理论. 中国科学, 1983, **B12** 746 ~ 832
WU Wenjing, QI Guizhong. Gauss Analysis of Geomagnetic Field (in Chinese). *China Science*, 1983, **B12** 746 ~ 832
- [5] J. A. Jacobs. Geomagnetism. London: Academic Press, 1987. Vol. 1, 249 ~ 250
- [6] Irina A Burdelnaya, Sergey V Filippov, Vadim P Golovkov, et al. Regional orthogonal models of the geomagnetic field changes over the Far East, *Earth Planets Space*, 1999, **51** 287 ~ 296

作者: [王宣文](#)
作者单位: [中国地震局地球物理研究所, 北京, 100081; 中国科学院空间天气开放研究实验室, 北京, 100080](#)
刊名: [地球物理学报](#) **ISTIC** **SCI** **PKU**
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS](#)
年, 卷(期): 2003, 46 (2)
被引用次数: 16次

参考文献(6条)

1. IAGA Commission 2 Working Group 4 [International Geomagnetic Reference Field 1965 0 1969](#)
2. WU Wenjing;BAI Tongxia;FENG Changhua [Evaluations of candidate DGRF 1945 1950 1955 and 1960 models](#) [外文期刊] 1987
3. 傅承义;陈运泰;祁贵仲 [地球物理基础](#) 1985
4. 吴文京;祁贵仲 [地球磁场的高斯分析理论](#) 1983
5. J A Jacobs [Geomagnetism](#) 1987
6. Irina A Burdelnaya;Sergey V Filippov;Vadim P Golovkov [Regional orthogonal models of the geomagnetic field changes over the Far East](#) [外文期刊] 1999

本文读者也读过(5条)

1. [王文](#) [国际地磁参考场在我国地磁基础研究中的应用](#) [期刊论文] - [国际地震动态](#) 2002 (5)
2. [魏自刚](#). [徐文耀](#) [地磁场的漂移运动和强度变化](#) [期刊论文] - [地球物理学报](#) 2001, 44 (4)
3. [魏自刚](#). [徐文耀](#) [地磁场西漂的纬度变化和频散特征](#) [期刊论文] - [科学通报](#) 2001, 46 (18)
4. [李忠亮](#). [边少锋](#). Li Zhongliang. Bian Shaofeng [世界地磁模型WMM2010及其应用](#) [期刊论文] - [舰船电子工程](#) 2011, 31 (2)
5. [王宣文](#). WANG Tan-wen [IGRF在地磁研究中的应用](#) [期刊论文] - [地球物理学进展](#) 2005, 20 (2)

引证文献(16条)

1. [袁立新](#) [地电荷的电容结构发电机制研究](#) [期刊论文] - [吉林师范大学学报: 自然科学版](#) 2012 (1)
2. [刘睿](#). [王常虹](#). [李葆华](#) [利用地磁/星光观测角度的飞行器自主导航方法](#) [期刊论文] - [红外与激光工程](#) 2011 (2)
3. [王常虹](#). [刘睿](#). [李葆华](#) [基于Unscented Kalman滤波的飞行器天文/地磁自主导航算法研究](#) [期刊论文] - [中国惯性技术学报](#) 2010 (5)
4. [张素琴](#). [杨冬梅](#). [李琪](#). [赵永芬](#) [中国部分地磁台站年均值与IGRF模型一致性分析](#) [期刊论文] - [地震地磁观测与研究](#) 2008 (2)
5. [陈瑞](#). [满家刚](#) [巡航导弹地磁匹配精度需求分析](#) [期刊论文] - [现代防御技术](#) 2008 (2)
6. [王康](#). [申文斌](#) [一种建立地磁场模型的方法及试验检验](#) [期刊论文] - [测绘信息与工程](#) 2007 (6)
7. [郭英](#). [程鹏飞](#). [吕洪标](#) [基于GPS信号和Klobuchar电离层模型反演地磁北极](#) [期刊论文] - [大地测量与地球动力学](#) 2011 (3)
8. [施桂国](#). [周军](#). [葛致磊](#) [基于无迹卡尔曼滤波的巡航导弹地磁自主导航方法](#) [期刊论文] - [兵工学报](#) 2008 (9)
9. [冯彦](#). [孙涵](#). [蒋勇](#). [毛飞](#) [20世纪中国地区主磁场变化研究](#) [期刊论文] - [地震学报](#) 2013 (6)

10. [杨云涛](#), [石志勇](#), [吕建刚](#), [关贞珍](#) [适于地磁导航的高精度区域地磁场建模研究](#)[期刊论文]-[兵工学报](#) 2009(3)
11. [郭英](#), [程鹏飞](#), [吕洪标](#), [纪冬华](#) [利用GPS数据与Klobuchar模型估计地磁北极](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2012(4)
12. [杨云涛](#), [石志勇](#), [关贞珍](#), [李豫泽](#) [地磁场在导航定位系统中的应用](#)[期刊论文]-[中国惯性技术学报](#) 2007(6)
13. [徐文耀](#), [魏自刚](#), [夏国辉](#) [2000年中国地区地磁场长期变化的区域特征](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2005(3)
14. [陈斌](#), [顾左文](#), [高金田](#), [袁浩浩](#), [狄传芝](#) [IGRF-11描述的2005-2010年中国地区地磁长期变化及其误差分析](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2012(2)
15. [郝燕玲](#), [赵亚凤](#), [胡峻峰](#) [地磁匹配用于水下载体导航的初步分析](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2008(2)
16. [王宣文](#) [IGRF在地磁研究中的应用](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2005(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_dqwlxb200302006.aspx