**ICS XXXXX**

**X XX**

**团体标准**

**T/CGS 001-2021**

基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准

**Technical Standard for Satellite-Based Global Geomagnetic Field Modeling**

**发布 实施**

**中国地球物理学会 发布**

目 次

[前 言 2](#_Toc89847965)

[引 言 3](#_Toc89847966)

[1 范围 4](#_Toc89847967)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc89847968)

[3 术语和定义 4](#_Toc89847969)

4 缩略语 7

[5 数据要求 7](#_Toc89847970)

[6 数据处理 7](#_Toc89847971)

[7 模型建立 9](#_Toc89847972)

[8 模型评估 9](#_Toc89847973)

[附 录 9](#_Toc89847974)

[参考文献 12](#_Toc89847975)

1. 前 言
2. 本文件按照GB/T 1.1－2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构与起草规则》的规定起草。
3. 本文件由中国地球物理学会提出和归口管理。
4. 本文件起草单位：中国地震局地震预测研究所、中国地震局地球物理研究所。
5. 本文件主要起草人：吴迎燕、赵旭东、张素琴。
6. 本文件主要审查人员：XXXXXX。
7. 本文件标准为首次制定。
8. 引 言
9. 编制本文件的目的是规范在建立全球地磁场模型的过程中数据筛选与处理，建模方法选定，保证构建模型的可靠性。

基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准

1 范围

本文件规定了建立全球地磁场模型时应用卫星和地基磁测数据的筛选、数据预处理、建模方法、模型输入输出和模型检验的技术要求。

本文件适用于应用近地磁测卫星和地基磁测数据的全球主磁场和岩石圈磁场模型的建立。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 31160—2014 地磁暴强度等级

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地磁要素 magnetic elements

表示地球磁场方向和大小的物理量。在地磁场观测点直角坐标系（即以观测点为坐标系原点，分别取地理北向、地理东向和垂直向下为x、y和z轴的正向。），地磁场矢量的分量分别为北向分量、东向分量和垂直分量，分别记作X、Y和Z。另外，地磁场的水平分量用H表示，地理北向与磁场水平分量H的夹角为磁偏角，用D表示，地磁场与水平面的夹角为磁倾角，用I表示，以及总强度用F表示。

[地磁学，p.16]

3.2

卫星磁测 satellite magnetic measurements

卫星携带磁场测量设备对全球地磁场进行测量。

3.3

卫星绝对观测标量和矢量数据 absolute scalar & vector measurements of satellite

卫星磁测获得的地磁场总强度和三分量数据。

3.4

地基磁测 ground magnetic measurements

地面某一位置取得的地磁观测资料。

3.5

观测基线值 observed baseline

地面绝对观测仪器测定的地磁场某要素的绝对值与同一时刻该要素的相对记录之间的差值。

3.6

**采用基线值** adopted baseline

根据地基观测基线值的变化趋势，对地基观测基线值进行内插，平滑得到每日基线值的连续变化值。

3.7

相对记录数据 variation recording

地面仪器记录地磁要素相对某一基值的连续变化量。

3.8

绝对观测数据 absolute measurements

地基相对记录数据与地基采用基线值相叠加得到的连续数据。

3.9

主磁场 main field

由地核磁流体发电机过程产生的磁场，约占总磁场的95%。

3.10

岩石圈磁场 [lithosphere](https://fanyi.so.com/?src=onebox" \l "lithosphere" \t "_blank) field

由地壳和上地幔磁性物质产生的磁场，约占总磁场的4%。

[地磁学，p.16]

3. 12

地磁指数 geomagnetic index

描述每一段时间内地磁扰动的总体强度或某类磁扰强度的分级指标。

K指数 K index

时间间隔为3小时的单个台站地磁活动指数。

[GB/T 31160—2014，定义2.8]

Kp指数 Kp index

时间间隔为3小时的全球地磁活动性指数。

由位于地磁纬度47°和63°之间的13个地磁台站的K指数平均而得。

[GB/T 31160—2014，定义2.9]

**行星际磁场** interplanetary magntic field

进入行星际空间的太阳等离子体携带的磁场B。

[空间科学词典，p.113]

行星际磁场北向分量 （IMF Bz）north component of interplanetary magnetic field

指向地磁北的行星际磁场分量Z，北向为正。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

F：地磁场总强度（total intensity）；

X：地磁场X分量（north component）；

Y：地磁场Y分量（east component）；

Z：地磁场Z分量（vertical intensity）。

[空间科学词典，p.55]

5 数据要求

5.1卫星地磁数据

卫星高度观测到的地磁场绝对观测数据，包括地磁要素X，Y，Z和地磁场总强度F；以及行星际磁场北向分量IMF Bz的观测数据。

5.2地基地磁数据

地面固定台站、流动测点以及海洋磁测的地磁场绝对观测数据，包括地磁要素X，Y，Z和地磁场总强度F；以及和地磁活动Kp指数数据。

6 数据处理

6.1 筛选

数据筛选需同时满足以下条件：检查并去除观测数据中大于3倍均方差的~~无效~~数据；选择IMF Bz≥0且Kp<2时间段的磁场观测数据；当地理纬度在[-55，55]范围，选择地方时[23：00，05：00]的数据。

6.2 预处理

6.2.1有效性处理

对大于90分钟的长时间出现无效记录的地磁观测数据进行剔除，对短时间的无效数据通过插值进行处理。

6.2.2 数据分量转换

如果地磁数据为H、D、Z三分量，需将这些数据转化为观测点直角坐标系下的X、Y、Z三分量数据 。

6.2.3 数据的地方时转化

将地磁观测数据从世界时向地方时进行转化。

6.2.4 地磁台站数据的权重归算

通过设定权重函数减小地基观测空间分布不均匀产生的模型误差。可以从设定固定值、突出局部特征以及考虑整体分布特征几个方面设置权重系数，通过对比分析确定适用于所建模型的权重系数。

6.2.5 卫星数据的高度归算

在应用卫星数据时，需要将卫星观测数据归算到地面高度。应用球谐分析、空间延拓等方法对卫星数据进行建模，将模型中高度参数设定为地球半径，将卫星数据由飞行高度归算到地球表面。

7 模型建立

7.1 模型输入

以位置、时间为输入参数，位置宜用地理纬度、地理经度、高程作为模型的输入参数。

7.2 建模方法

选取合适的基函数，通过数值计算将处理后的卫星和地基磁测数据参数化，应用数学表达式，描述主磁场和岩石圈磁场在全球范围任意位置处的磁场要素值。可以采用球谐分析方法，按附录描述进行采用。

7.3 模型输出

输出全球范围某一位置处主磁场和岩石圈磁场的各地磁要素的数值，可以为全部地磁要素，也可以为其中某几个地磁要素。

8 模型评估

1. 根据建立模型的数据源、建模方法、模型结果的误差分析，评估模型的误差和适用范围。

附 录

（方法性附录）

球谐分析建模方法

* + 1. 快速傅里叶变换

1. 快速傅里叶变换 (FFT) 可以将随经度变化的一系列地磁活动表示成正弦函数和余弦函数的级数形式。即
2. 
3. 其中，为在经度上等距的个抽样时间中第处的样本值,*m*为次数，为第处样本的地理经度，,分别为正弦函数和余弦函数的系数，通过对观测数据进行FFT变换可以求解此系数。
   * 1. 求缔合勒让德系数
4. 在球坐标系下，地磁场的标量位满足拉普拉斯方程。如果已知地球表面或近地空间足够点上的地磁要素观测值，则可以用最小二乘法求出缔合勒让德系数。地磁场三分量的勒让德表达式为：
5. 
6. 
7. 
8. 其中，是地理余纬度，是地理经度。为阶数，是阶次缔合勒让德函数，它是余纬的准正弦函数。
9.  
10.  
11.  
12.  把 , 和 定义为、、的基函数，基函数可通过求勒让德多项式而得到。，，，，，分别为快速傅里叶变换后各地磁要素正弦函数和余弦函数的系数。通过在已求得，，，，，和基函数的基础上，求出缔合勒让德系数、、、。
    * 1. 求解高斯系数
13. 根据球谐分析理论，内源场高斯系数****，****和外源场高斯系数****，****与缔合勒让德系数有如下关系：
14. 
15. 
16. 
17. 
18. 求解得到的内源场高斯系数****，****即为主磁场与岩石圈磁场的高斯系数。

参考文献

1. 中国空间科学学会.空间科学词典[M]. 北京：科学出版社，1987
2. 徐文耀. 地磁学[M]. 北京 地震出版社.2003
3. 徐文耀, 孙炜等. 1900-2000年地球主磁场的本征模分析.地球物理学报, 1998; 41 (1) : 1-9
4. 徐文耀, 白春华, 康国发. 地壳磁异常的全球模型. 地球物理学进展, 2008; 23: 641-651
5. Sabaka, T. J. , Nils, O. , Tyler, R. H. , & Alexey, K. . (2014). Cm5, a pre-swarm comprehensive geomagnetic field model derived from over 12 yr of champ, rsted, sac-c and observatory data. Geophysical Journal International(3), 1596-1626.
6. Maus, S. , Rother, M. , Stolle, C. , Mai, W. , Choi, S. , & H Lühr, et al. (2013). Third generation of the potsdam magnetic model of the earth (pomme). Geochem.geophys.geosyst, 7(7).
7. Benoît. S. (2012). INTERMAGNET TECHNICAL REFERENCE MANUAL. V.4.6. https://www.intermagnet.org/
8. Finlay, C.C., Kloss, C., Olsen, N. et al. (2020).The CHAOS-7 geomagnetic field model and observed changes in the South Atlantic Anomaly. Earth Planets Space 72, 156

**团体标准《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》编制说明**

（征求意见稿）

1. **一、工作简况**

**1、 任务来源**

我国首颗地球物理卫星-电磁监测试验星ZH1(01）于2018年2月成功发射入轨；经过三年多的稳定运行已经积累了大量地球物理场数据。卫星数据团队经过三年多的技术发展和积累在数据分析处理方面也已达国际先进水平。在卫星成功发射后，国家灾害防治研究院（原地震局地壳研究所）联合中国地震局地震预测所、地球物理所、地震研究所、地震台网中心、中科院地质与地球物理所、中南大学、华中科技大学等单位申请了科技部重点研究计划项目《地球物理探测卫星数据分析处理技术与地震预测应用研究》。其中第四课题主要负责全球地球物理场精细建模技术的研发，同时在项目结束前完成基于卫星数据的全球电离层建模技术标准、全球地磁场建模技术标准以及全球时变重力场建模技术标准等三个标准的征求意见稿撰写工作。本标准是基于卫星数据构建全球主磁场和岩石圈磁场模型过程中形成的技术标准。计划完成时间为2021年。由中国地球物理学会团体标准工作委员会（团标委）归口。计划完成时间为2021年。

**2、 主要工作过程**

（1）计划下达后，由中国地震局地震预测研究所和中国地震局地球物理研究所担任主要编制工作，成立标准编制工作组，确定工作方案，提出进度安排。标准编制工作组对国内外全球地磁场建模技术的现状与发展情况进行了全面调研，同时广泛搜集和检索了国内外全球地磁场建模的技术资料，并参考GB/T 18039.0-2000《电磁环境的分类》等相关标准，经过大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验，全面地总结和归纳，于2021年9月下旬形成《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》（草案稿）；

（2）2021年10月8日～10月9日，由中国地球物理学会组织召开了《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》编制工作组会议。来自产、学、研、用的20余名专家对《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》（草案稿）逐条进行了细致、深入的讨论，提出修改意见。会后标准编制工作组对与会专家提出的意见进行多次研讨和认真修改，于2021年10月15日形成了征求意见稿初稿，报至标委会。

（3）2021年10月10日至11月24日，两家主编单位对初稿初评专家意见逐条进行认真研究和修改，讨论形成征求意见稿初稿第二版本，报至标委会，开始征求意见。

1. **二、标准编制原则和主要内容**

**1、标准编制原则**

1. 贯彻我国相关的法律法规和强制性国家标准，与我国现行标准协调一致。
2. 满足行业发展需求，提升标准技术水平，适应行业发展需要。
3. 积极向国际标准靠拢，力求做到标准内容的先进性。
4. 编写格式符合GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准文件的结构和起草规则》。
5. 标准的编制注重科学性、准确性，同时要在不违背原则的前提下，保留行业内已流行的某些提法。

**2、标准主要内容**

本项目为新制定标准，将主要包括如下章节内容：

首先是前言、规范性引用文件、术语和定义的介绍；

第1章为全球地磁场建模的数据要求，包括卫星数据和地基数据；

第2章为全球地磁场建模的数据处理，包括数据筛选、数据有效性处理、数据格式统一、数据地方时转换、地基数据的权重处理和卫星数据的高度归算处理等；

第3章为模型建立，包括数据输入输出，球谐方法建模和模型误差估计等内容；

第4章为模型评估。

最后一部分为辅助信息，包括附录和主要参考文献。

**3、解决的主要问题**

本标准为全球地磁场建模技术规范，具有国际间领域通用性，兼容现有的地磁场建模技术方法和方案；本规范不同于目前正在编订的行业或企业标准，以不同行业和企业采用的卫星-地面地磁场观测数据处理、全球地磁场建模技术要点为核心；不同行业或企业的技术规范或标准应是在此标准的基础上，针对具体行业应用和企业运行的更为具体、细化的标准。

**三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果**

本标准所形成的技术规范将适用于地磁及空间物理科研及应用领域、航空航天地磁导航应用部门等对科学研究、公共服务应用需求关于全球主磁场和岩石圈磁场建模，侧重点在于一般性、共性技术参数和流程的描述，但适当兼顾不同领域特殊需求的描述和技术规定。

1. **四、与国际、国外同类标准水平的对比情况**

本标准为新制定标准，在编制过程中对全球地磁场建模技术相关的国际或国外技术方法和标准进行了收集和了解以做借鉴参考，参考的标准主要有：

GB/T 18039.1－2000 电磁环境的分类

GB/T 18207.1－2008 防震减灾术语 第1部分：基本术语

GB/T 19531.2－2004 地震台站观测环境技术要求 第2部分：电磁观测

DB/T 37－2010 地震台网设计技术要求-地磁观测网

QX/T 239-2014 地磁活动水平分级

QX/T 562-2020 周地磁活动整体水平分级

1. **五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本标准力求与其他现行国家标准的有关要求相协调，兼顾标准的可操作性和对产品要求的全面性。经分析，本标准与现行相关法律、法规、规章无不协调之处，且贯彻了我国的有关法律、法规和强制性国家标准，符合国标委《国家标准管理办法》等规章的规定。

1. **六、重大分歧意见的处理经过和依据**

本标准编制过程中无重大分歧意见。

1. **七、标准性质的建议说明**

建议本标准作为推荐性团体标准发布。

1. **八、贯彻国家标准的要求和措施建议**

建议本标准发布之日起6个月后实施。

1. **九、废止现行有关标准的建议**

本标准为新制定标准，无废止相关标准的建议。

1. **十、其他应予说明的事项**

无。

团体标准《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》编制工作组

2021年11月26日

**中国地球物理学会团体标准《基于卫星数据的全球地磁场建模技术标准》征求意见稿**

**征求意见反馈表**

共 页 第 页 填表日期： 年 月 日

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 专家姓名  （请手签） | |  | 联系电话 |  |
| 工作单位 | |  | 电子邮箱 |  |
| 序号 | 章条号 | 意见内容 | | 理由 |
| 1 |  |  | |  |
| 2 |  |  | |  |
| 3 |  |  | |  |
| …… |  |  | |  |

注：请务必于2021年12月25日前返回，如无意见，亦应回复“无意见”。