

WANG Jing, ZHONG Qiuzhen, LUO Bingxian, WANG Xiao, ZHAO Mingliang, CHENG Yonghong, SHEN Hua. A Dataset of Geomagnetic Kp_{est} Index from Individual Stations (2022–2024) (in Chinese). *Chinese Journal of Space Science*, 2026, 46(2): 548–555. CSTR:32142.14.cjss.2025–0131. DOI:10.11728/cjss2026.02.2025–0131

数据论文

单台站地磁 Kp_{est} 指数数据集 (2022–2024 年)

王 晶¹ 钟秋珍^{1,2} 罗冰显^{1,2} 王 霄¹
赵明亮¹ 程永宏¹ 沈 华¹

1(中国科学院国家空间科学中心 太阳活动与空间天气全国重点实验室 北京 100190)

2(中国科学院大学天文与空间科学学院 北京 101408)

摘 要 2011 年中国科学院国家空间科学中心建立了中国科学院空间环境监测网, 地磁台站分别位于漠河、北京、廊坊、三亚、富克。通过融合处理这 5 个地磁台站磁通门磁力仪 H 分量监测数据, 发展一种可以有效识别地磁规则日变化, 反映地磁扰动季节变化和地方时效应, 并且适合中国地磁台网分布特性的估算地磁指数 Kp_{est} 。本数据集包含 2022–2024 年 5 个地磁台站的地磁指数 Kp_{est} , 能够改变目前官方 Kp 指数发布延迟 2 周无法满足业务需求的现状, 为空间天气预报服务提供数据支撑。

关键词 Kp_{est} 指数, 地磁暴, 空间天气, 磁通门磁力仪

中图分类号 P353.7

数据集基本信息

数据库(集)名称	单台站地磁 Kp_{est} 指数数据集 (2022–2024 年)
数据通信作者	钟秋珍 (zhongqz@nssc.ac.cn)
数据作者	王晶, 钟秋珍, 罗冰显, 王霄, 赵明亮, 程永宏, 沈华
数据时间范围	2022–2024 年
数据空间范围	漠河台站 (53.49°N, 122.34°E); 北京台站 (40.30°N, 116.19°E); 廊坊台站 (39.50°N, 116.70°E); 富克台站 (19.50°N, 109.10°E); 三亚台站 (18.44°N, 108.97°E)
数据分辨率	3 h
数据量	413 KByte
数据格式	*.dat
数据库(集)访问网址	https://doi.org/10.57760/sciencedb.j00187.00105
基金项目	中国科学院前瞻战略科技先导专项 (XDA0470301, XDA15060110), 2025 年度重大科研基础设施国际开放合作定向项目 (2025 YFE0202500)
数据库(集)组成	数据集为 *.dat 文件, 包括的物理量为年、月、日、时, K 指数, Kp_{est} 指数 (时间分辨率为 3 h)

2025-07-31 收到原稿, 2025-12-09 收到修定稿

©The Author(s) 2026. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

A Dataset of Geomagnetic Kp_{est} Index from Individual Stations (2022—2024)

WANG Jing¹ ZHONG Qiuzhen^{1,2} LUO Bingxian^{1,2} WANG Xiao¹
ZHAO Mingliang¹ CHENG Yonghong¹ SHEN Hua¹

1(State Key Laboratory of Solar Activity and Space Weather, National Space Science Center,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

2(School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408)

Abstract The Kp index is a parameter designed to indicate the level of global geomagnetic disturbances originating from the interaction of the solar wind with the magnetosphere. The index is defined at 3-hour intervals and has 28 levels. Kp is a global version of the local K index, which was conceived by Bartels and is commonly used in scientific research of the solar-terrestrial relationship. The continuity of the index over 50 year makes it particularly valuable in studies of solar-cycle variations and other long-term effects on interplanetary and magnetospheric phenomena. For example, Kp has been used in studies of solar wind shock waves, the interplanetary magnetic field, plasma density variations in the magnetosphere, and magnetospheric ULF waves. In addition, the index is widely used as an input to magnetospheric/ionospheric models. For example, the plasmopause is modeled to move closer to the Earth with increasing Kp . The location of substorm injection is modeled to have a similar Kp dependence. The magnetic field model of Tsyganenko has an explicit Kp dependence, and the magnetotail becomes more stretched for higher Kp . These models are used both in scientific research and in monitoring and predicting space weather. In 2011, the National Space Science Center of the Chinese Academy of Sciences established the Chinese Academy of Sciences Space Environment Monitoring Network, which included Mohe, Beijing, Langfang, Sanya, and Fuke stations. A geomagnetic Kp_{est} index, which can effectively identify the day-to-day variation characteristics of the geomagnetic regular daily variation, reflect the seasonal and local time effects of geomagnetic disturbances, and is suitable for the distribution characteristics of China's geomagnetic observatory network, has been developed through the integration and processing of the H -component monitoring data from fluxgate magnetometers at these five geomagnetic observatory stations. This dataset contains the geomagnetic Kp_{est} indices for the five geomagnetic observatory stations from 2022 to 2024. It addresses the current situation where the official Kp index is released with a two-week delay, failing to meet operational requirements, and can provide data support for space weather forecasting services.

Dataset Profile

Title	A Dataset of Geomagnetic Kp_{est} index from Individual Stations (2022—2024)
Data Corresponding Author	ZHONG Qiuzhen (zhongqz@nssc.ac.cn)
Data Author (s)	WANG Jing, ZHONG Qiuzhen, LUO Bingxian, WANG Xiao, ZHAO Mingliang, CHENG Yonghong, SHEN Hua
Time Range	2022—2024
Spatial Range	Mohe Station (53.49°N, 122.34°E); Beijing Station (40.30°N, 116.19°E); Langfang Station (39.50°N, 116.70°E); Fuke Station (19.50°N, 109.10°E); Sanya Station (18.44°N, 108.97°E)
Data Resolution	3 h
Data Volume	413 KByte
Data Format	*.dat
Database/Dataset URL	https://doi.org/10.57760/sciencedb.j00187.00105
Source (s) of Funding	Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA0470301, XDA15060110), 2025 Targeted International Open Cooperation Program on Major Research Infrastructures (2025YFE0202500)
Dataset/Database Composition	The dataset is *.dat file, including the physical quantities of year, month, day, hour, K index, Kp index, and the time resolution is 3 h

Key words Kp_{est} index, Geomagnetic storm, Space weather, Fluxgate magnetometer

0 引言

Kp 指数是当前广泛应用的全球地磁活动度量的指数, 用于表征全球地磁活动水平, 称为行星性 (或国际) 3 h 磁情指数^[1]. 该指数在 1949 年 Bartels^[2] 根据全球 13 个选定的亚极光站的局地 3 h 磁情指数 K 指数^[3] 构造而来, 构造 K 指数的 13 个站点位于地磁纬度 $48^\circ-63^\circ$ 附近. Kp 指数计算过程中, 首先对每个站点 3 h 的 K 值进行地磁纬度校正, 随后对校正后的值进行平均, 以生成行星性 Kp 指数. Kp 指数时间精度为 3 h, 共分为 28 个级别: $0_0, 0_+, 1_-, 1_0, 1_+, \dots, 8_-, 8_0, 8_+, 9_-, 9_0$ ^[1]. 其中 Kp 指数数值越大, 表明地球磁场受到来自太阳风暴的扰动越强; 数值越小, 则表明磁场处于较为平静状态. 当 Kp 指数达到 5 或更高时, 表明地磁活动已进入磁暴水平, 这可能对航天、通信和电网等技术系统产生不利影响.

Kp 指数还被广泛应用于各类科学研究中. 例如在电离层研究领域, Kp 指数被用于电离层数值模拟的离子外流参数化研究^[2], 以及极光粒子沉降的参数化研究^[3]. 在磁层物理学中, Kp 指数与其他多项参数存在很好的相关性, 例如等离子体层中的冷等离子体密度^[4,5]、热等离子体粒子密度^[6,7] 以及等离子体层顶的位置^[8]. 一些地球外部磁场的经验模型也将 Kp 指数作为其唯一的输入参数^[9]. Kp 指数还被广泛用于甚低频 (VLF) 波^[10] 与超低频 (ULF) 波振幅的参数化^[11].

Kp 指数在空间天气预报中也发挥着重要作用, 其估算值可作为地磁暴警报的判断依据. 美国空间天气预报中心 (NOAA/SWPC) 的 Takahashi 模式是

Kp 指数估算模型的典型代表^[12]. 该模式以地磁纬度均在 43° 左右的 9 个地磁台站的监测数据为基础, 采用近似官方 Kp 指数的推导过程. 此外, 还有部分 Kp 指数估算模型, 以 L1 点的太阳风参数为输入数据, Wing 等^[13] 采用经验预报、人工智能、物理预报等方法进行计算.

2011 年中国科学院国家空间科学中心整合中国的空间环境地基监测台站和设备, 将 17 个台站 39 套设备进行了业务化, 建立了中国科学院空间环境监测网 (以下简称监测网), 初步实现了对太阳、行星际、地磁、电离层及中高层大气的业务化监测. 目前监测网包括漠河、北京、廊坊、三亚、富克 5 个地磁台站. 本数据集基于监测网 5 个地磁台站的数据, 构建了 2022–2024 年单台站 Kp_{est} 指数, 可以描述中国不同纬度区域的地磁扰动, 提升自主空间环境监测预警能力.

1 数据采集与处理方法

1.1 数据采集方法

构建单台站 Kp_{est} 指数数据集的数据来源于监测网漠河、北京、廊坊、三亚、富克 5 个地磁台站磁通门磁力仪探测的地磁场 H 分量的相对变化, 数据时间分辨率为 1 s, 表 1 中列出了 5 个台站的位置信息.

磁通门磁力仪的结构如图 1 所示, 其主要组成部分包括高导磁芯、激励线圈、感应线圈、交流电源、安培计. 环形磁芯左右半环完全对称, 当外磁场为 0 时, 激励电流在环形闭合磁路左右两半环产生的磁通量完全相等, 因而在感应线圈中产生的感应电压互相抵消而无输出. 当外磁场不为 0 时, 左右半环的磁通量

表 1 监测网 5 个地磁台站位置信息

Table 1 Location information of 5 geomagnetic stations in the monitoring network

序号	台站名称	地理纬度/(°)N	地理经度/(°)E	地磁纬度/(°)N	地磁经度/(°)E
1	漠河	53.49	122.34	43.12	191.37
2	北京	40.30	116.19	29.76	186.85
3	廊坊	39.50	116.70	28.97	187.33
4	富克	19.50	109.10	8.94	180.66
5	三亚	18.44	108.97	7.89	180.54

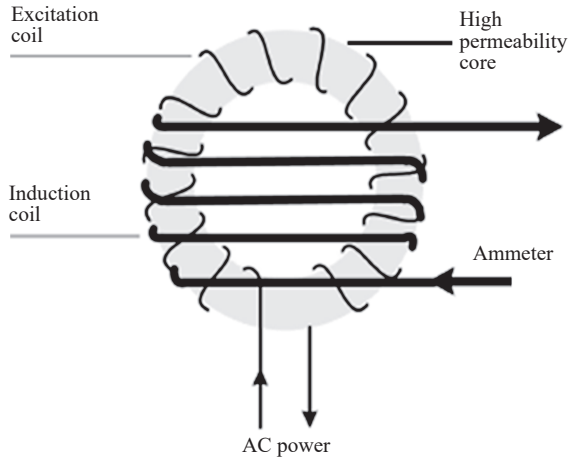


图 1 磁通门磁力仪工作原理

Fig. 1 Working principle diagram of magnetic flux gate magnetometer

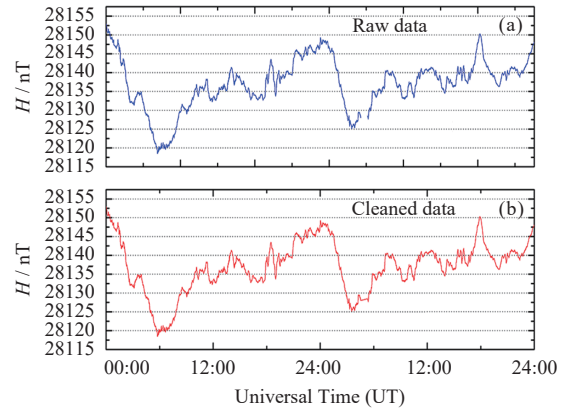
不相等, 则探头三分量磁通门传感器在激励信号作用下, 在输出端产生正比于 H , Z , D 三分量地磁场变化的交变信号, 交变信号经模拟电路的鉴相、反馈、滤波等处理后, 形成对应于地磁场三分量的电压信号。

1.2 原始数据处理方法

首先对地磁监测数据进行质量评估, 判断异常数据和缺省数据, 之后对数据系列里的坏点采用线性插值法进行插值处理。由于仪器问题, 数据中可能夹杂难以识别的非物理点 (跳点), 相邻数据的差值超过 5 nT 时, 该数据即视为坏点。清洗时以 3 h 为一个区间, 对数据 H 分量进行处理。廊坊和富克地磁台站监测数据为秒级数据, 采用地磁台站通用的高斯滤波法将清洗后的地磁秒数据处理成分钟数据。假设要计算第 i 分钟的分钟值 i^{m} [14], 则取 $i^{\text{m}}00^{\text{s}}$ (上角标 m 表示分钟, s 表示秒) 及其前后各 45 s 共 91 s 的秒数据进行高斯滤波计算。计算公式如下:

$$B_i = \sum_{n=-45}^{-1} C_n b_{i-1,60+n} + C_0 b_{i,0} + \sum_{n=1}^{45} C_n b_{i,n}. \quad (1)$$

其中, B_i 为第 i 分钟的分钟值数据; $b_{i,j}$ 为第 i 分钟第 j 秒的秒数据, i 和 j 的取值范围为 00~59; $C_n = C_{-n}$ 为高斯系数 (共 91 个)。计算 $00^{\text{h}}00^{\text{m}}$ (上角标 h 表示小时) 的分钟数据时, 需要调用前一天的后 45 秒数据参与计算。当 1 min 的 60 个秒数据中缺数 ≥ 10 时, 对应的分钟数据为缺数, 图 2 为北京台站 1 min 数据清洗前后对比。

图 2 2024 年 1 月 30—31 日北京台站地磁 H 分量数据修正前后对比Fig. 2 Comparison of the data of the H component of the geomagnetic field in Beijing station before and after correction on 30—31 Jan. 2024

1.3 Kp_{est} 指数处理方法

美国 SWPC 采用的 Takahashi 模式是以 9 个地磁台站的历史数据为基础估算 Kp 指数的现报模式, 目前在美国空间天气预警中心 (NOAA/SWPC) 日常业务中投入使用, 是判断地磁暴警报的重要依据。FMI 方法是芬兰气象研究所研制的一种算法, 其以 3 天的地磁场 x 和 y 分量分钟值观测数据为数据源, 计算中间一天 K 指数。

这里结合 Takahashi 方法 [15] 与 FMI 方法 [16], 实现一种识别 QDC 并估算 Kp_{est} 指数的新方法 [17], 图 3 为新方法生成 QDC 示例。

得到 QDC 后, 按世界时把每天划分成 8 个 3 h 时段, 对每个时间段用清洗后的分钟数据去除 QDC, 求得 3 h 地磁扰幅。利用地磁扰幅 a_{min} 与 K 指数的转换关系得到单站 K 指数 (见表 2)。 K 指数大小与 3 h 时段扰动幅度有近对数关系 [1]。根据中国地磁台站的地理纬度特性, 采用中国地磁台的 K - a_{min} 对应关系, 得到单站 K 指数。按照国际劳埃德季节将一年划分为 3 个季节, 每天划分为 8 个时段, 对单站 K 指数与国际 Kp 指数用最小二乘拟合方法对 24 个时段进行拟合, 得到不同地方时、不同季节下 K - Kp_{est} 的转换函数 (见图 4), 最终确定 Kp_{est} 指数。

2 数据样本描述

数据集收集了 2022—2024 年单台站 Kp_{est} 指数,

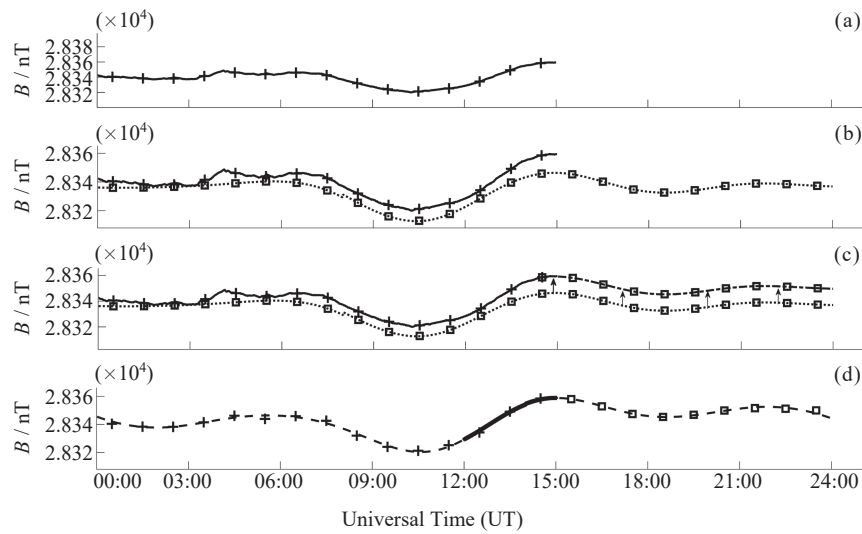


图 3 QDC 生成过程

Fig. 3 Process of QDC generation

表 2 K 指数与地磁扰幅对照

Table 2 Comparison of K index and geomagnetic disturbance amplitude

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a_{\min}/\text{nT}$	0	3	6	12	24	40	70	120	200	300

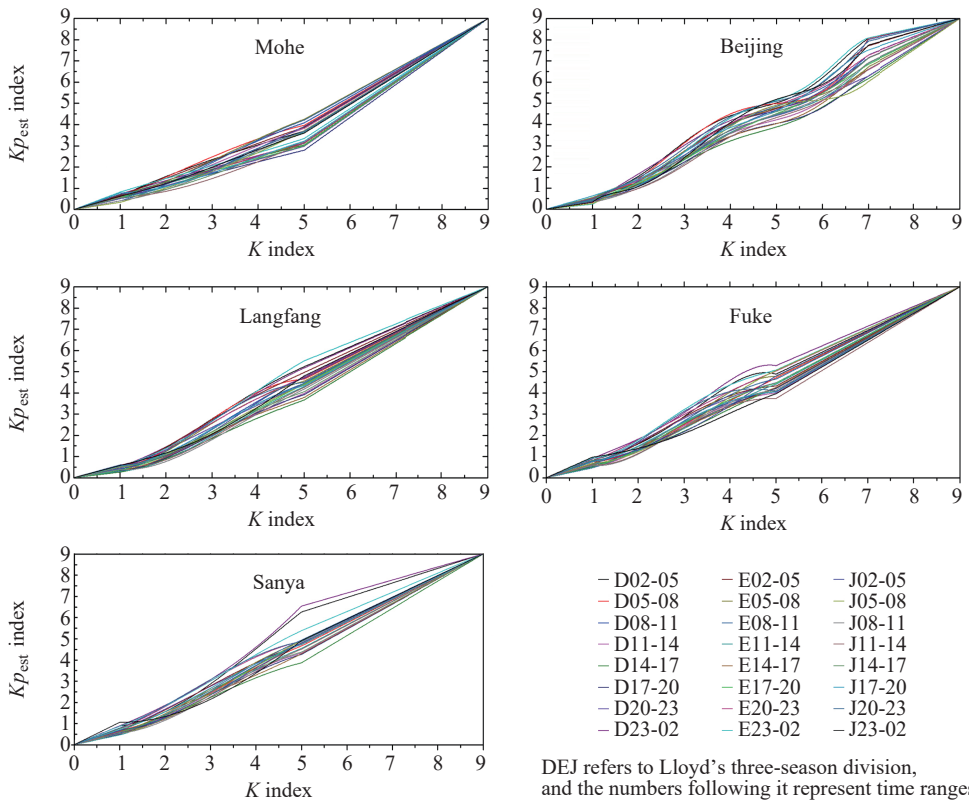


图 4 5 个台站 K 与 Kp_{est} 转换系数

Fig. 4 Conversion coefficients of K to Kp_{est} for 5 stations

表 3 Kp_{est} 指数数据记录格式
Table 3 Kp_{est} index data recording format

列	参数	格式	值域	无效填充值
1	年、月、日、时	A10	—	—
2	漠河台站 K 指数	I1	0~9	NaN
3	漠河台站 Kp_{est} 指数	F3.1	0~9	NaN
4	北京台站 K 指数	I1	0~9	NaN
5	北京台站 Kp_{est} 指数	F3.1	0~9	NaN
6	廊坊台站 K 指数	I1	0~9	NaN
7	廊坊台站 Kp_{est} 指数	F3.1	0~9	NaN
8	三亚台站 K 指数	I1	0~9	NaN
9	三亚台站 Kp_{est} 指数	F3.1	0~9	NaN
10	富克台站 K 指数	I1	0~9	NaN
11	富克台站 Kp_{est} 指数	F3.1	0~9	NaN

Time	Mohe	Beijing	Langfang	Sanya	Fuke
2022010100	2 1	2 1	2 1.3	1 0.7	1 0.7
2022010103	3 3	3 2.7	3 2.7	3 3	3 3
2022010106	4 3.7	3 3.3	3 3.3	3 2.7	3 2.7
2022010109	3 2.3	3 2	3 2	2 1.7	2 1.7
2022010112	3 2	2 1.3	2 1.7	2 1.3	2 1
2022010115	3 1.7	2 1.3	2 1.3	1 0.7	2 1
2022010118	3 3	3 2	3 2	1 0.7	1 0.7
2022010121	4 4	3 3	3 3	2 1.3	2 1.3
2022010200	1 0.7	1 0.7	1 1	2 1	2 1.3
2022010203	2 2	2 1.3	2 1.3	3 2.7	3 2.3
2022010206	2 2	3 2.7	3 2.7	2 1	2 1
2022010209	2 1	1 1	2 1	2 1.3	2 1
2022010212	3 2	2 1.3	2 1.3	2 1.7	2 1.7
2022010215	2 1.7	2 1.7	2 1.7	2 1	2 1.3
2022010218	4 4	4 3.7	4 3.3	3 3	3 3
2022010221	3 3.7	3 2.7	3 2.7	2 2	2 2
2022010300	4 4.7	3 3.7	3 3.7	3 2.7	3 2.7
2022010303	3 2.3	2 2	2 2	2 2	2 2.3

图 5 Kp_{est} 指数文件示例

Fig. 5 Kp_{est} index file

文件名为 Kp_{est} index.dat, 总数据量为 413 KByte, 表 3 列出了数据记录格式. 文件是以行列形式存储的具体数据, 每一行记录一条数据, 共包括 11 列, 图 5 为数据文件示例. 第 1 列为年、月、日、时数据, 第 2~3 列为漠河台站 K 与 Kp_{est} 指数, 第 4~5 列为北京台站 K 与 Kp_{est} 指数, 第 6~7 列为廊坊台站 K 与 Kp_{est} 指数, 第 8~9 列为三亚台站 K 与 Kp_{est} 指数, 第 10~11 列为富克台站 K 与 Kp_{est} 指数. 各列数据间以空格 (X) 间隔. 完整的数据记录格式如下:

(A10)(3X)(I1)(2X)(F3.1)(2X)(I1)(2X)(F3.1)(2X)(I1)(2X)(F3.1)(2X)(I1)(2X)(F3.1)(2X)(I1)(2X)(F3.1).

3 数据质量控制与评估

3.1 Kp_{est} 指数误差分析

数据集是基于监测网地磁台站监测数据计算得到的单台站 Kp_{est} 指数, 5 个台站分别分布于中国区域的高、中、低纬度, 可以反映不同纬度的地磁扰动强度. 其中北京与廊坊台站纬度接近, 富克与三亚台站纬度接近, 对地磁扰动的响应等级接近, 因此当一个台站 Kp_{est} 数据缺失时, 可以参考另一个台站的 Kp_{est} 指数. 地磁 Kp 指数的有效范围为 0~9, 当数据在此范围内视为有效数据, 若超出此范围, 视为无效数据, 用 NaN 表示. 数据质量方面, 当地磁设备故障导致计算所需原始数据缺失达到一天以上, 则计算 Kp_{est} 指数不可信, 用 NaN 表示. 数据集 Kp_{est} 指数与国际 Kp 指数一致, 时间精度为 3 h, 共分为 28 个级别: 0₀, 0₊, 1₋, 1₀, 1₊, ..., 8₀, 8₊, 9₋, 9₀.

将数据集与国际 Kp 指数在地磁平静 ($Kp = 0 \sim 3$), 地磁微扰 ($Kp = 4$), 小地磁暴 ($Kp = 5$), 中等地磁暴 ($Kp = 6$), 大地磁暴 ($Kp = 7, 8$), 特大地磁暴 ($Kp = 9$) 不同地磁扰动程度下进行对比. 分析发现, 本数据集与国际地磁 Kp 指数对不同等级地磁扰动的响应均基本一致 (见图 6). 同时, 将数据集 Kp_{est} 指数与国际 Kp 指数进行绝对误差分析, 由图 7 可以看出, 5 个台站 Kp_{est} 指数与官方 Kp 指数的差值基本分布在 ± 2 区间内, 这证明了该数据集可信度高.

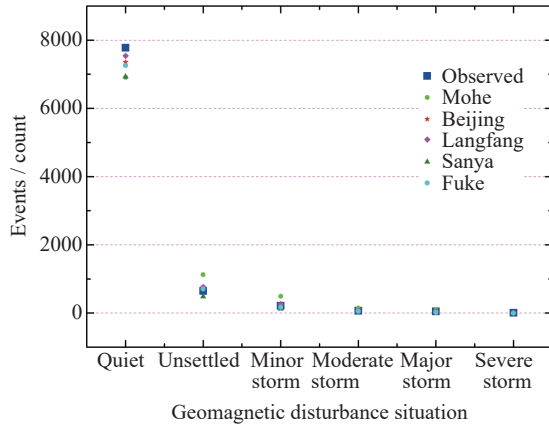
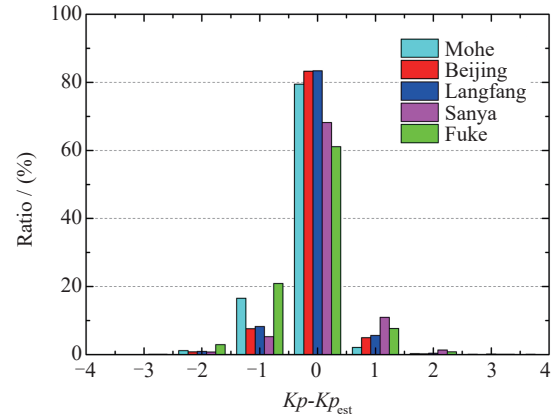
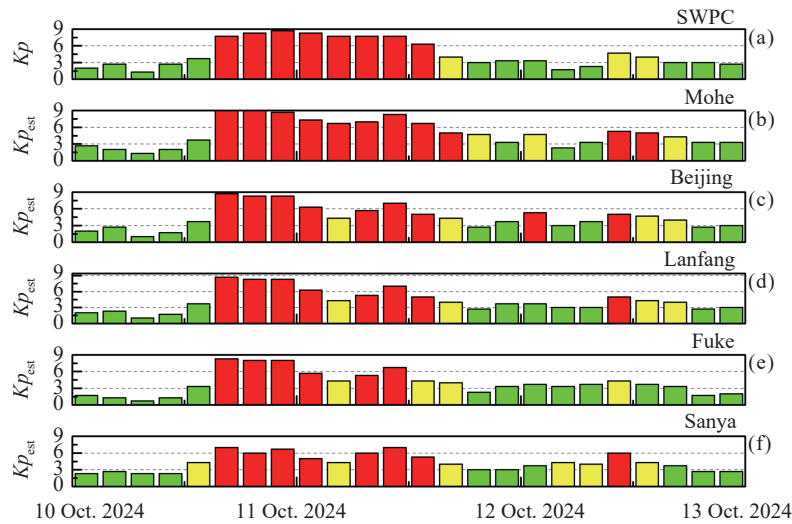


图6 不同地磁扰动下的数据集响应

Fig. 6 Dataset response under different geomagnetic disturbances

图7 5个台站 Kp_{est} 指数与官方 Kp 指数差值分布Fig. 7 Differences distribution between the Kp_{est} indices of 5 stations and the official Kp index图8 2024年10月10–13日5个台站 Kp_{est} 指数与官方 Kp 指数的对比Fig. 8 Comparison of the Kp_{est} index of 5 stations with the official Kp index during 10–13 October 2024

3.2 2024年10月10–11日强磁暴响应

数据集时间范围为2022–2024年, 涵盖了第25太阳活动周的高年和低年, 可以较好地反映太阳爆发活动对地磁场的影响. 2024年是太阳活动高年, 太阳爆发活动频繁, 10月9日在日面爆发了一个X1.8级大耀斑, 引起第25太阳活动周最强质子事件, 同时, 伴随的日冕物质抛射(CME)引起了10–11日地磁发生强烈扰动, Kp 指数最大值为9, 大于8的时长为9 h. 5个单台站 Kp_{est} 指数均对此次磁暴有响应. 由于高纬度台站地磁扰动要高于低纬度台站, 因此磁暴期间漠河台站 Kp_{est} 指数要大于低纬度台站 Kp_{est} 指数. 漠河台站 Kp_{est} 指数最大值达到9, 其大

于8的时长为9 h; 北京和廊坊台站 Kp_{est} 指数最大值达到9, 其大于8的时长为9 h; 富克和三亚台站 Kp_{est} 指数最高值分别达到8₊和7₀ (见图8).

综上所述, 可以看出单台站 Kp_{est} 指数数据集的数据来源、数据质量、相关精度、数据加工、覆盖范围等均具有较高的可靠性与应用价值, 可为空间环境保护提供重要技术支撑, 对于提升中国自主地磁暴警报能力具有重要的应用前景.

4 数据使用方法与建议

2022–2024年, 单台站 Kp_{est} 指数数据集涵盖了

第 25 太阳活动周的高年, 可用于分析太阳爆发活动对不同纬度的地磁扰动, 同时可为空间天气模式提供数据输入参数.

致谢 感谢河北廊坊台站、海南富克台站和中国科学院地质与地球物理研究所对地磁监测设备的日常维护.

参考文献

- [1] XU Wenyao. Physics of Electromagnetic Phenomena of the Earth[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2009 (徐文耀. 地球电磁现象物理学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009)
- [2] WELLING D T, ANDRÉ M, DANDOURAS I, *et al.* The earth: plasma sources, losses, and transport processes[J]. *Space Science Reviews*, 2015, **192**(1/2/3/4): 145-208
- [3] EMERY B A, COUMANS V, EVANS D S, *et al.* Seasonal, Kp , solar wind, and solar flux variations in long-term single-pass satellite estimates of electron and ion auroral hemispheric power[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2008, **113**(A6): A06311
- [4] GOLDSTEIN J, DE PASCUALE S, KLETZING C, *et al.* Simulation of Van Allen probes plasmopause encounters[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2014, **119**(9): 7464-7484
- [5] PIERRARD V, GOLDSTEIN J, ANDRÉ N, *et al.* Recent progress in physics-based models of the plasmasphere[J]. *Space Science Reviews*, 2009, **145**(1/2): 193-229
- [6] DENTON M H, HENDERSON M G, JORDANOVA V K, *et al.* An improved empirical model of electron and ion fluxes at geosynchronous orbit based on upstream solar wind conditions[J]. *Space Weather*, 2016, **14**(7): 511-523
- [7] KORTH H, THOMSEN M F, BOROVSKY J E, *et al.* Plasma sheet access to geosynchronous orbit[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 1999, **104**(A11): 25047-25061
- [8] CARPENTER D L, ANDERSON R R. An ISEE/whistler model of equatorial electron density in the magnetosphere[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 1992, **97**(A2): 1097-1108
- [9] TSYGANENKO N A. A magnetospheric magnetic field model with a warped tail current sheet[J]. *Planetary and Space Science*, 1989, **37**(1): 5-20
- [10] AGAPITOV O V, ARTEMYEV A V, MOURENAS D, *et al.* Empirical model of lower band chorus wave distribution in the outer radiation belt[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2015, **120**(12): 10425-10442
- [11] ORLOVA K, SPASOJEVIC M, SHPRITS Y. Activity-dependent global model of electron loss inside the plasmasphere[J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, **41**(11): 3744-3751
- [12] WANG Geng. Algorithm for Nowcast of Kp Index and A Model for Forecast of Global K Index Distribution[D]. Beijing: Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, 2015 (王庚. 地磁 Kp 指数现报模式及全球 K 指数分布预报模式 [D]. 北京: 中国科学院研究生院 (空间科学与应用研究中心), 2015)
- [13] WING S, JOHNSON J R, JEN J, *et al.* Kp forecast models[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2005, **110**(A4): A04203
- [14] WANG Xiaomen, TENG Yuntian, MA Jiemei, *et al.* Geomagnetic vector field observation data consistency correction method: CN, 201810101718.8[P]. 2025-07-31 (王晓美, 滕云田, 马洁美, 等. 地磁矢量场观测数据一致性校正方法: 中国, 201810101718.8[P]. 2025-07-31)
- [15] TAKAHASHI K, TOTH B A, OLSON J V. An automated procedure for near-real-time Kp estimates[J]. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2001, **106**(A10): 21017-21032
- [16] BITTERLY M, MENVIELLE M, BITTERLY J, *et al.* A comparison between computer derived (FMI method) and hand-scaled K indices at Port-aux-français and Port Alfred French observatories[C]//Proceedings of the VIth International Workshop on Geomagnetic Instruments, Data Acquisition and Processing. Bruxelles: Académie Royale de Belgique, 1997: 136-143
- [17] WANG Geng, LUO Bingxian, LIU Siqing, *et al.* An improved algorithm for nowcast of Kp index[J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2016, **36**(2): 153-166 (王庚, 罗冰显, 刘四清, 等. 一种改进的 Kp 指数现报模式 [J]. 空间科学学报, 2016, **36**(2): 153-166)

作者简介



王 晶 女, 1978 年 12 月出生于辽宁省抚顺市, 现为中国科学院国家空间科学中心副研究员, 主要研究方向为空间环境监测数据应用、空间环境指数建模等。
E-mail: jwang@nssc.ac.cn



钟秋珍 (通信作者) 女, 1974 年 8 月出生于河南省唐河县, 现为中国科学院国家空间科学中心研究员、硕士研究生导师, 主要研究方向为空间环境预报方法与模型。
E-mail: zhongqz@nssc.ac.cn