

中华人民共和国国家军用标准

FL 1650

GJB 10983-2023

地球静止轨道高能粒子辐射探测数据 在轨交叉定标方法

Method for on-orbit cross calibration of high energy particle
radiation observation data in geostationary orbit

2023-07-17 发布

2023-10-01 实施



中央军委装备发展部 颁布

前 言

本标准由战略支援部队航天系统部装备部提出。

本标准起草单位：中国科学院国家空间科学中心。

本标准主要起草人：杨晓超、孙越强、荆 涛、申冬梅、张坤毅、沈国红、张 鑫、李 伟、王春琴、张红梅、郭剑川、刘政利。

地球静止轨道高能粒子辐射探测数据在轨交叉定标方法

1 范围

本标准规定了地球静止轨道上高能电子、高能质子探测数据在轨交叉定标的条件、步骤和数据处理方法。

本标准适用于地球静止轨道上高能电子(>100keV)和高能质子(>1MeV)探测数据的在轨交叉定标。轨道倾角小于5°的地球同步轨道高能电子(>100keV)和高能质子(>1MeV)探测数据在轨交叉定标可参考使用。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 32452 航天器空间环境术语

GB/T 30114.2-2014 空间科学及其应用术语

3 术语和定义

GB/T 32452 和 GB/T 30114.2-2014 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 L^* 坐标 L^* coordinate

物理量 L^* 形成的坐标。

L^* 定义如式(1):

$$L^* = \frac{2\pi M}{\Phi} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

π ——圆周率;

M ——地磁偶极场的磁矩, $A \cdot m^2$;

Φ ——地球辐射带捕获粒子漂移轨道内的磁通量, Wb。

3.2 污染数据 contamination data

空间高能电子导致的高能质子通量数据。

4 定标原理

在特定空间环境状态下,指定坐标种类和坐标区间上,统计分析同类粒子通量的参照观测数据和被定标观测数据,得到参照数据和被定标数据之间的定量对应关系。

5 定标条件

5.1 空间环境要求

5.1.1 高能电子定标环境

地磁场宁静 ($K_p \leq 2$), 无太阳能量粒子事件发生。

5.1.2 高能质子定标环境

一级及以上太阳能量粒子事件暴发期(即地球静止轨道上能量大于10MeV的高能质子通量在15min

内超过 $10\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

5.2 被定标数据要求

5.2.1 数据量

进行高能电子在轨交叉定标时，用于定标的的数据量应达到或超过被定标载荷三个月的观测数据总量。高能质子在轨交叉定标时，用于定标的的数据应为定标载荷对两次及以上太阳能量粒子事件的完整观测数据。

5.2.2 数据预处理

在轨交叉定标前，卫星下行的定标载荷原始观测数据应经过数据预处理过程，转换为高能电子、质子通量数据，并剔除数据中的重复数据和数据误码。

5.3 参照数据要求

5.3.1 数据选择

宜选用在轨的科学卫星和业务卫星，如范艾伦探测器 (Van Allen Probe) 和美国地球静止轨道气象系列卫星 (GOES)。

5.3.2 数据量

参照数据具有与被定标数据相匹配的数据量。

5.3.3 选择条件

当有与被定标数据同期的同类科学卫星数据时，选择科学卫星数据作为参照数据；当无适合的科学卫星数据时，选择国际同行业认可度高，且与被定标数据同期的同类系列业务卫星数据作为参照数据。

5.4 定标时间

探测器入轨开机后，当空间环境、被定标数据和参照数据满足定标条件要求时。

5.5 坐标系

高能电子和高能质子探测数据在轨交叉定标分别在如下坐标系下进行：

- a) 高能电子：选择 L^* 坐标系；
- b) 高能质子：选择世界时时间坐标系。

5.6 地磁场模型要求

地磁场模型选择要求如下：

- a) 地磁内源场模型：选用国际地磁场参考模型 (IGRF)，采用与被定标数据时间相匹配的模型系数；
- b) 地磁外源场模型：当满足 Tsyganenko[2002]模型输入数据需求时选用 Tsyganenko[2002]模型；当不满足 Tsyganenko[2002]模型输入数据需求时，可用 Tsyganenko[1996]或 Ostapenko & Maltsev[1997]模型。

6 定标程序

6.1 高能电子定标程序

6.1.1 定标流程

定标流程如图 1 所示。

6.1.2 步骤

具体定标步骤如下：

- a) 计算被定标数据和参照数据采样点的 L^* 坐标值，具体方法见 3.1；
- b) 遴选出被定标数据和参照数据中具有相同 L^* 坐标值的数据样本；
- c) 分析遴选出的数据样本，得到被定标数据和参照数据的线性关系，具体方法见 7.1.2；
- d) 根据交叉定标结果，设计得到被定标数据的系统偏差修正方法。

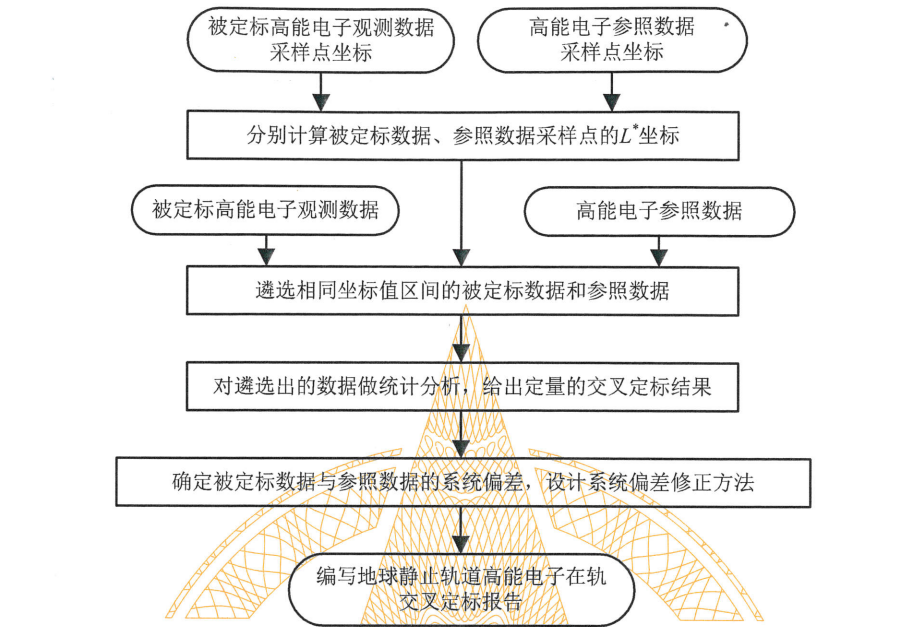


图1 地球静止轨道高能电子观测数据在轨交叉定标流程

6.2 高能质子定标程序

6.2.1 定标流程

定标流程如图2所示。

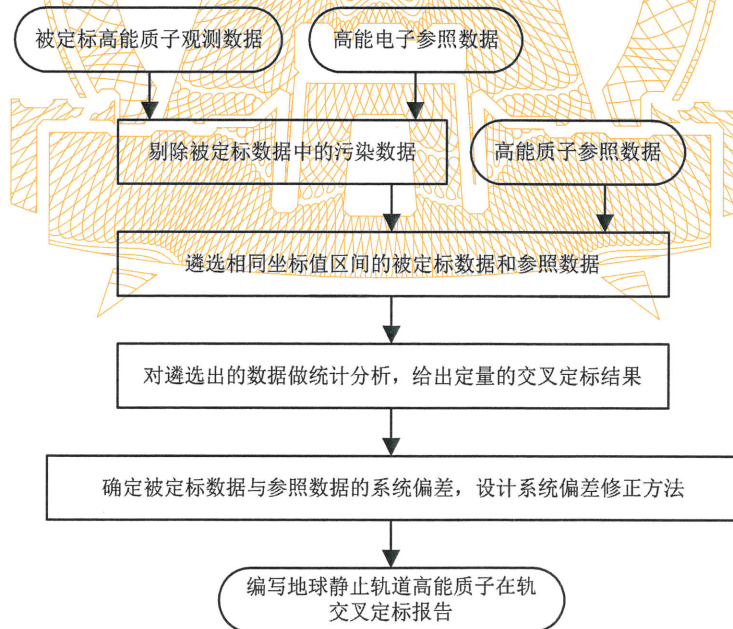


图2 地球静止轨道高能质子观测数据在轨交叉定标流程

6.2.2 步骤

具体定标步骤如下：

- a) 根据高能电子参照数据，剔除高能质子被定标数据中的污染数据，形成供后续工作使用的被定标数据集，具体方法见7.2.1；
- b) 遴选出具有相同世界时的被定标数据和参照数据样本；

- c) 统计分析遴选出的数据样本，得到被定标数据和参照数据的线性关系，具体方法见 7.2.2;
- d) 根据交叉定标结果，设计得到被定标数据的系统偏差修正方法。

7 数据处理

7.1 高能电子数据处理

7.1.1 L^* 坐标计算

采用优选出的地磁场模型，计算 L^* 坐标，计算公式见式(1)。

7.1.2 交叉比较方法

以两天为时间步长，将被定标电子通量数据和参照电子通量数据划分成基本比较单元。在每个基本比较单元内，根据 L^* 坐标值进行被定标数据和参照数据匹配，形成两个“一一对应”的电子通量数据集。对两个相互对应的数据集，进行形如式(2)的一阶线性拟合，得到被定标数据与参照数据之间的系统偏差参数：

$$F'_e = s_e \times F_e + i_e \dots\dots\dots (2)$$

式中：

F'_e ——修正后的高能电子通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

s_e ——一阶线性关系的斜率；

F_e ——被定标电子通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

i_e ——一阶线性关系的截距， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

s_e 和 i_e 即为高能电子被定标数据与参照数据之间的系统偏差参数。

7.2 高能质子数据处理

7.2.1 剔除污染数据方法

剔除污染数据的方法如下：

- a) 根据高能质子探测器物理设计和物理仿真，得到污染高能质子被定标数据的电子能量范围，并确定质子探测器对电子污染的响应函数，根据电子通量参照数据，反演被定标质子通量观测数据中电子污染导致的通量，如式(3)所示：

$$F_{ec} = g(F_{E_{ec}}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

F_{ec} ——被定标质子通量数据中电子污染导致的通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

g ——高能质子探测器对电子污染的响应函数；

$F_{E_{ec}}$ ——能够对被定标质子通量数据产生污染的电子的通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

E_{ec} ——污染被定标高能质子观测数据的电子的能量，MeV。

- b) 依据反演得到的电子污染通量数据，剔除高能质子被定标数据中的污染数据，如式(4)所示：

$$F'_p = F_p - F_{ec} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

F'_p ——剔除电子污染后的被定标高能质子通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

F_p ——被定标的高能质子通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

F_{ec} ——被定标数据中由于电子污染导致的通量， $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

7.2.2 交叉比较方法

在同一次太阳能量粒子事件中，根据采样时间进行被定标质子通量数据和参照质子通量数据匹配，形成两个“一一对应”的质子通量数据集。对两个相互对应的数据集，进行形如式(5)的一阶线性拟合，得到被定标数据与参照数据之间的系统偏差参数：

$$F_p'' = s_p \times F_p' + i_p \dots\dots\dots (5)$$

式中:

F_p'' ——修正后的高能质子通量, $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;

s_p ——一阶线性关系的斜率;

F_p' ——剔除电子污染后的质子通量, $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;

i_p ——一阶线性关系的截距, $\text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

s_p 和 i_p 即为高能质子通量待定标数据与参照数据之间的系统偏差参数。

8 定标报告

根据具体在轨交叉定标过程和结果, 编写《地球静止轨道高能电子/质子观测数据在轨交叉定标报告》, 定标报告内容如下:

- a) 定标对象;
- b) 定标目的;
- c) 探测器工作原理;
- d) 定标条件(描述被定标数据、参照数据、坐标系、磁场模型选用和定标环境等);
- e) 定标过程(叙述在轨交叉定标各步骤及数据处理过程);
- f) 定标结果(给出系统偏差参数和系统偏差修正公式)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 军 用 标 准
地 球 静 止 轨 道 高 能 粒 子 辐 射 探 测 数 据
在 轨 交 叉 定 标 方 法
GJB 10983—2023

*

国 家 军 用 标 准 出 版 发 行 部 出 版
(北 京 东 外 京 顺 路 7 号)
国 家 军 用 标 准 出 版 发 行 部 印 刷 车 间 印 刷
国 家 军 用 标 准 出 版 发 行 部 发 行
版 权 专 有 不 得 翻 印

*

开 本 880×1230 1/16 印 张 3/4 字 数 17 千 字
2023 年 9 月 第 1 版 2023 年 9 月 第 1 次 印 刷

*

军 标 出 字 第 15442 号