

《空间风暴物理学：从太阳表面到地球》评介

■ 李伟光 侯美亭

空间天气属于日地物理学的范畴，它描述了可能干扰或危害空间和地面技术系统以及人类健康的太阳、太阳风、地球磁层和电离层等不同要素的时空变化情形。空间风暴是空间天气最强烈、最具破坏性的表现形式。

从20世纪90年代开始，空间天气受到了越来越多的关注。空间天气研究得到重视的一个关键原因是，人们逐渐认识到，太空中的大量技术系统以及人类自身很容易受到恶劣空间天气条件的干扰。事实上，面对辐射环境，日趋小型化、复杂化的现代技术系统比以前变得更加敏感。同时，现代社会越来越依赖空间基础设施。因此，充分理解空间天气的物理基础，是十分必要的。

虽然在过去几年里出版了大量关于空间风暴的研究和评论文章，但始终没有全面系统介绍从太阳表面到地球的一系列物理过程的专著。为弥补这一空白，Springer出版社于2011年出版了芬兰赫尔辛基大学Hannu E. J. Koskinen教授编著的《空间风暴物理学：从太阳表面到地球》(Physics of Space Storms: From the Solar Surface to the Earth)一书。本书的读者对象是熟悉基础等离子体物理，并具备了经典物理学知识的空间物理、空间天气的研究者。本书涵盖了太阳大气中的风暴、太阳风、磁层和电离层风暴等不同主题。在保证本书内容的合理性的同时，作者尽可能使用了那些已经给出大量分析和定量描述的材料。由于对空间天气预测具有重要价值，空间等离子体物理的研究也在不断推动。本书也特别关注了许多关于空间等离子体物理的重要问题。

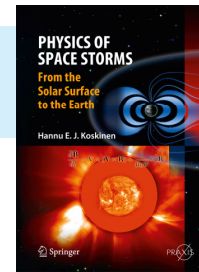
本书共分为三个部分。第一部分即第1章“日地之间的风暴旅

行”，内容较多，概述了日地之间空间天气的发生环境和各种空间天气现象。熟悉太阳、太阳风、磁层和电离层等基本物理知识的读者可以跳过本章。

本书第二部分用7个章节的篇幅介绍了空间等离子体物理的知识。虽然这部分是以解释的方式编写的，但需要读者已经掌握一定的基本等离子体物理学知识。第2章简要介绍了等离子体物理学的基本概念和一些电动力学、统计物理学工具。第3章回顾了绝热不变量，介绍了单粒子在偶极场、电流片以及时变电场中的运动。第4章从介绍冷等离子体波的概念开始，以无线电波在电离层中传播为例，讨论了WKB近似下的波在非均匀介质中的传播。

第5章论述了Vlasov理论，从Landau解法延伸到均匀磁化等离子体中波的模式。第6章阐述了磁流体力学(magnetohydrodynamics, MHD)的有关内容，与其他等离子体物理著作相比，本章更多的重点放在了场向电流上，因为它们在太阳大气、太阳风、磁层和电离层耦合中是非常重要的。第7章介绍了空间等离子体不稳定性的有关知识，如自由能量源和稳定性判据以及几个重要空间风暴的不稳定性研究。第8章专门讨论了其他不稳定态的磁重联和撕裂模，磁重联的微物理机制和基本特征是空间物理学的重要组成部分。

本书的一个主要目的是建立基本等离子体物理学和现代空间风暴研究之间的桥梁，这也是本书第三部分的主要内容。本书第二部分与第三部分的转变没有明确的界定。在某种意义上，第8章中已经开始涉及第三部分的内容。从第三部分开始，本书关注了空间天气研究中的关键问题。第9章讨论了等离子体的辐



Springer, 2011年出版

射和散射，包括了等离子体运动导致的辐射以及在等离子体内发生的主要散射过程。第10章，探讨了利用第3章中介绍的绝热不变量研究空间等离子体输运和扩散的有关问题。激波是空间等离子体中的重要现象，也是空间风暴中尺度最大、变化最显著的结构之一，第11章讨论了日地空间中激波的形成和加速等问题。

本书最后探讨了太阳—地球系统中的空间风暴现象。第12章介绍了太阳表面及太阳风中各种爆发现象。第13章描述了磁层暴、亚暴及其产生因素。由于内磁层的风暴现象非常有趣且过程复杂，将其单独列在了第14章。空间风暴对大气的影 响，以及空间风暴对地面上感应电流的影响在本书的结尾部分即第15章进行了简要讨论。

日地之间存在着种类繁多的现象，有大量不同的理论、模型来解释这些现象。选择以太阳为中心还是以地球为中心开展论述是比较困难的。太阳大气层，尤其是日冕层，比地球大气层的变化更加猛烈。太阳几乎是日地系统中所有空间风暴的驱动因子。这些事实表明应当以太阳为中心来看空间风暴。另一方面，人类生活在地球上，处理空间风暴带来的影响显得更为重要。本书的选择是以地球为中心，但比传统磁层物理学著作更强调了整个空间风暴的因果序列。

(作者单位：李伟光，海南省气候中心；侯美亭，中国气象局气象干部培训学院)