

## # 8.1 磁暴

---

强磁暴是最严重的灾害性空间天气

定义：

**磁暴**是指整个地球磁层发生的持续十几小时到几十小时的一种剧烈扰动，其主要特征是在地球的大部分地区，磁场的水平分量显著减小，然后逐渐恢复。

## 磁暴的选取及分类

Storm Size Definitions	K-index
强烈磁暴	9
中烈磁暴	7, 8
中等磁暴	5, 6

## 磁暴的选取及分类

### 磁暴分类

成都理工大学  
CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

■ 按形态分为**急始型磁暴**和**缓始型磁暴**。

典型的急始型大磁暴的发展过程。

#### 初相

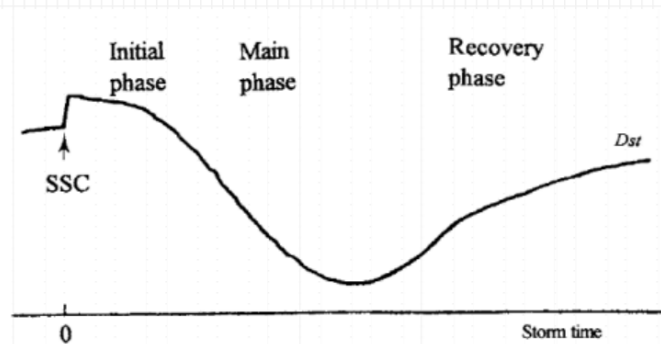
磁场突然增强 (Storm Sudden Commencements, SSC 幅度为20~50 nT), 持续几十分钟到几个小时;

#### 主相

Dst (H分量) 下降100~500 nT (1000 nT), 持续时间为几个小时到半天;

#### 恢复相

磁场逐渐向暴前水平恢复, 一般需要2~3天。



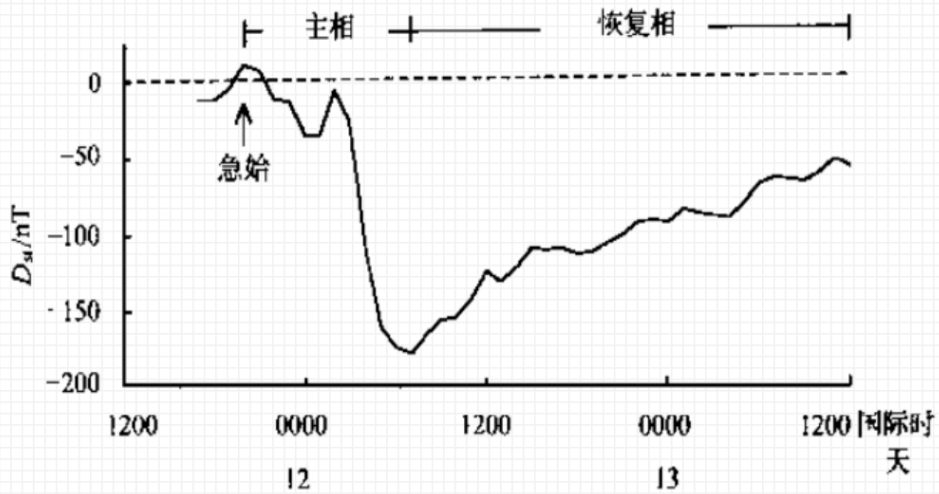
第 14 页

## 磁暴初相SCC

## 初相

初相表示SSC出现后IMF北向的一段时间。  
有人提出，SSC不是磁暴发生的必要条件。  
因此，初相不是磁暴的基本特征。

事实上磁暴唯一的基本要素是环电流的显著发展，即主相。

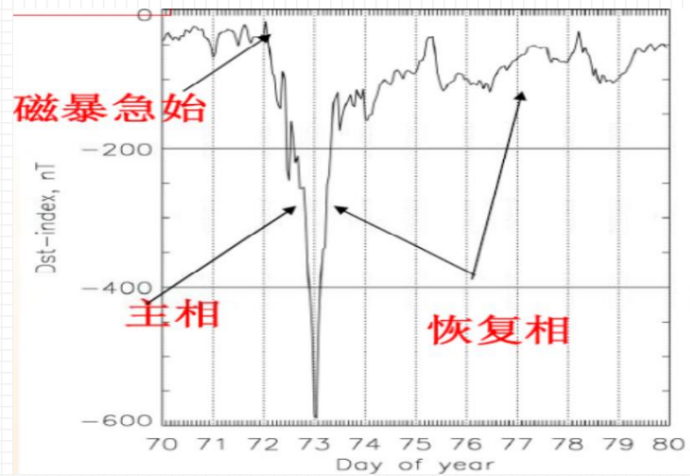


## 磁暴的选取及划分

## 两个恢复阶段：

首先Dst迅速地增加；  
接着是相对缓慢地增加到暴前的水平。

第二个恢复阶段一般需一至数天时间。



1989年3月

## ■ 按是否周期性出现

### □ 重现性磁暴

一般由具有27天周期(接近太阳自转周期)的高速流引起的。多发生在太阳活动周的下降段。

### □ 非重现性磁暴

多发生在太阳活动高年。

表 3.3 第1~22 太阳活动周参数

太阳周	开始 <sup>a</sup>	高峰	结束 <sup>b</sup>	最大黑子数目 <sup>c</sup>	时间长度 (年)	上升 (年)	下降 (年)
1	1755.3.17	61.6.17	66.5.17	86.5	11.25	6.25	5.00
2	1766.6.17	69.9.17	75.5.17	115.8	9.00	3.25	5.75
3	1775.6.17	78.5.17	84.8.17	158.5	9.25	2.92	6.33
4	1784.9.17	88.2.17	98.4.17	141.2	13.67	3.42	10.25
5	1798.5.17	05.2.18	10.7.18	49.2	12.25	6.75	5.50
6	1810.8.18	16.4.18	23.4.18	48.7	12.75	5.67	7.08
7	1823.5.18	29.11.18	33.10.18	71.7	10.50	6.50	4.00
8	1833.11.18	37.3.18	43.6.18	146.9	9.67	3.33	6.33
9	1843.7.18	48.2.18	55.11.18	131.6	12.42	4.58	7.83
10	1855.12.18	60.2.18	67.12.18	97.9	11.25	4.17	7.08
11	1867.3.18	70.8.18	78.11.18	140.5	11.75	3.42	8.33
12	1878.12.18	90.2.18	90.2.18	74.6	11.25	5.00	6.25
13	1890.3.18	01.12.19	01.12.19	87.9	11.83	3.83	8.00
14	1902.1.19	13.7.19	13.7.19	64.2	11.58	4.08	7.50
15	1913.8.19	23.7.19	23.7.19	105.4	10.00	4.00	6.00
16	1923.8.19	33.8.19	33.8.19	78.1	10.08	4.67	5.42
17	1933.9.19	44.1.19	44.1.19	119.2	10.42	3.58	6.83
18	1944.2.19	54.3.19	54.3.19	151.8	10.17	3.25	6.92
19	1954.4.19	64.9.19	64.9.19	201.3	10.50	3.92	6.58
20	1964.10.19	76.5.19	76.5.19	110.6	11.67	4.08	7.58
21	1976.6.19	86.8.19	86.8.19	164.5	10.25	3.50	6.75
22	1986.9.19			158.1	2.83		
平均				113.8	11.02	4.29	6.73

特大磁暴 ( $Dst < 200 \text{ nT}$ )

超强磁暴 ( $Dst < -300 \text{ nT}$ )

持续的、强的**南向IMF**是形成磁暴的主相的关键因素。

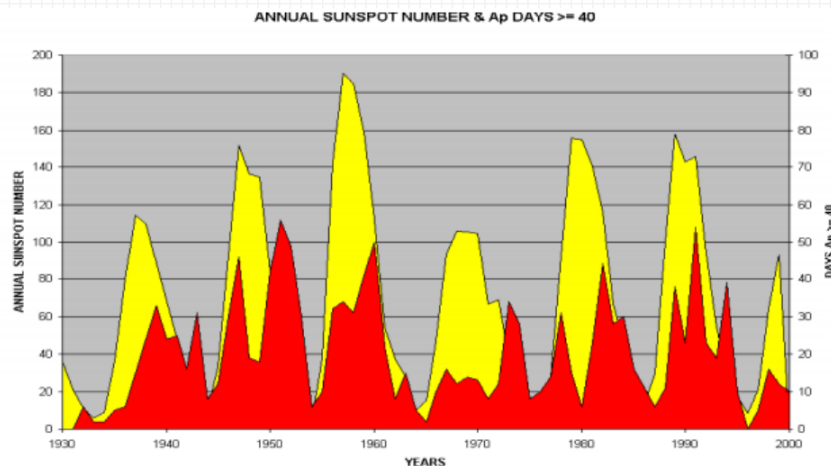
## 磁暴的行星际起源

虽然磁暴的发生都与南向磁场有关，但是，具有南向磁场的行星际结构却有很多：



### 磁暴的行星际起源

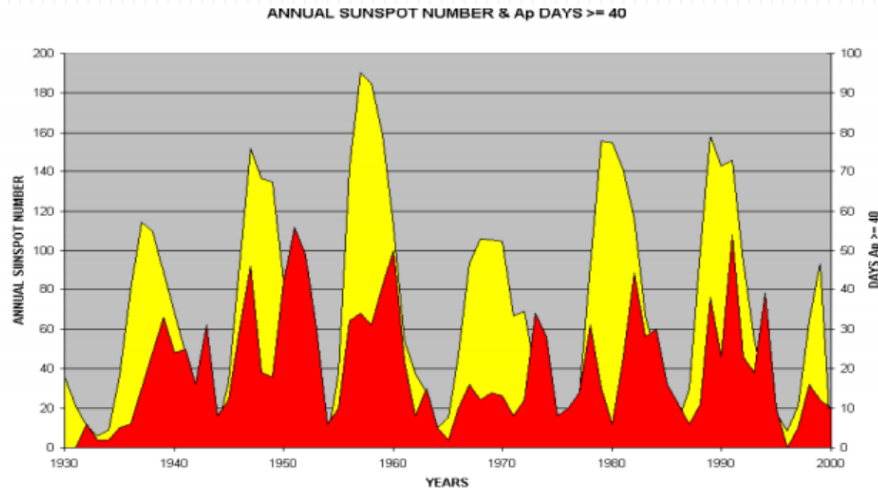
成都理工大  
CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



在**太阳活动低年**，

- 约10%的时间处在与CME相关的瞬时结构中；
- 地磁扰动显著减弱；
- 大磁暴 ( $Dst_{min} < -100$  nT) 很少；
- 大部分是由共转流相互作用区 (**CIR**) 引起的中等程度的重现性地磁暴；
- 共转流磁场的南向分量具有强的波动性，磁暴主相较弱并呈现出典型的不规则性。

——



在**太阳活动高年**,

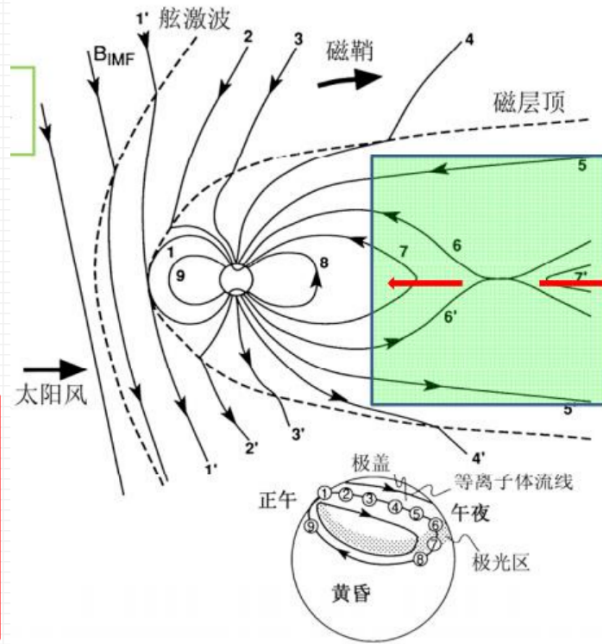
- 大约有30%的时间处在与CME相关的瞬时结构中 [Richardson 2002];
- 此时, 地磁扰动的程度显著增强, 大磁暴产生较频繁;
- CME (特别是磁云) [Klein and Burlaga, 1982] 和激波后的鞘区 [Tsurutani et al., 1988; Tsurutani and Gonzalez, 1997] 成为引起地磁暴的主要行星际源。

第 24 讲

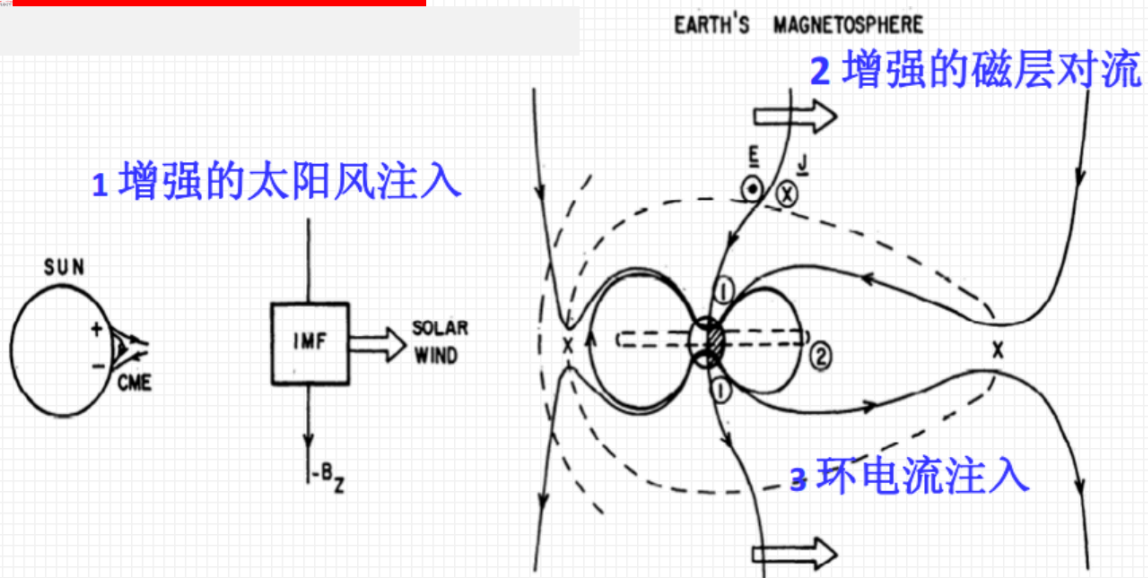
## 磁暴发生的物理过程

一小部分撞击向阳面磁层顶的太阳风，通过行星际磁场与地球固有磁场的**磁力线重联**（粘滞作用），可使质量、能量和磁通量进入磁层。

- 部分进入向阳面磁层顶的太阳风能量直接转移给高纬电离层。
- 其余的能量转移给磁尾，暂时把能量以动能和磁场能的形式贮藏起来。



第 27 页



在太阳风能量传输和贮藏期间，磁场顶被扩展了，磁尾被拉伸（拖曳），被拉伸（拖曳）的磁尾会突然崩塌，松弛成近似偶极场。这种磁力线脉冲的崩塌被称为偶极化，触发过程不十分清楚。偶极化期间，等离子体片的粒子获得能量然后向地球方向注入到环电流区域。贮藏在磁尾的太阳风能量通过粒子注入转移给环电流。

第 28 页





磁暴主相是指H分量迅速降低的阶段。  
引起H分量迅速降低的主要因素在于增强的环电流的形成。



辐射带中能量为 $\sim 100\text{keV}$ 到 $\sim \text{MeV}$ 相对论电子通量  
增强事件，通常发生在磁暴期间。

突发型电子暴

滞后型电子暴

# 电离层扰动



- 太阳风和地球磁层粒子不断沉降进入电离层/高层大气;
- 电离层等离子体持续不断向外流出, 进入磁层乃至磁鞘; 外流离子的成分有较轻的低能热离子(如 $H^+$ ,  $He^+$ ), 也有高能轻离子和重离子(如 $O^+$ ,  $NO^+$ ,  $O_2^+$ 等).

在磁暴期间电离层受到强烈的扰动, 称为电离层暴。

**电离层暴可能为正暴或负暴**

与电离层外流、磁暴的暴时环电流变化、极区能量注入及磁层电离层电之间的耦合有关。

在磁暴期间F区扰动强烈, 不遵循正常形态规律, 使信道条件和适用频率的选择都遇到困难。

## 热层爆



由于高纬焦耳加热和赤道环电流高能离子沉降等影响：

- 热层大气加热膨胀、上升并全球对流，富含较重分子的大气被带到较高的高度上，使源区大气密度和成分发生很大的变化；
- 在大气环流的共同作用下，这种变化被带到非源区的其它高度和经纬度上，引起全球热层大气密度和成分的时空分布发生变化。

这种变化最显著的作用是  
电离层F区大气密度上升，有时也产生大气密度波和空洞。

## 磁暴发生的物理过程



- 磁暴是主要是由位于地心距( $3-4 R_E$ ) 处的**环电流增强**产生的。
- 长时间足够强的**行星际对流电场(南向场)**的存在, 是导致环电流增强的原因。
- **环电流中起源于电离层的氧离子显著增多**可能是产生强磁暴的主要因素。
- 但对**环电流离子的加速**(非绝热, 波粒相互作用)和**注入**(部分环电流, 磁尾等离子体片 $H^+$ )**过程**还不清楚。
- 电离层**氧离子的上行、加速和注入过程**已成为急待解决的问题。
- **磁暴与亚暴的关系**也是磁暴机理研究和磁暴预报的基本问题。