



成都理工大学

地球物理学院

# 《地球与空间探测数据处理方法》

## 第一章 地球和空间探测数据简介

---

陶 丹

Email: [adam.tao@hotmail.com](mailto:adam.tao@hotmail.com)

Address: 北翼楼（地物院）5814室



## □ 课程基础

高等数学/线性代数/概率论与数理统计

高级程序语言与程序设计(C)/Matlab 程序设计

## □ 学习目的

1. 掌握IDL可视化分析工具的基础内容，能够独立程序编写并处理地球和空间探测数据。
2. 能够熟悉了解空间探测数据类型及数据文件的存储格式，并能够熟练利用IDL可视化工具来实现空间探测数据的读写、数据格式的转换以及相关可视化分析等。
3. 能够熟练掌握探测数据的坐标变化、数据的平滑处理、滤波、谱分析、相关性分析、拟合、平均值统计、中值及误差分析等方法。

## □ 考核方式

**平时成绩 (40%) + 考试成绩 (60%)**

其中：

平时成绩 (40%)：考勤 (10%) + 大作业/实验报告 (30%)

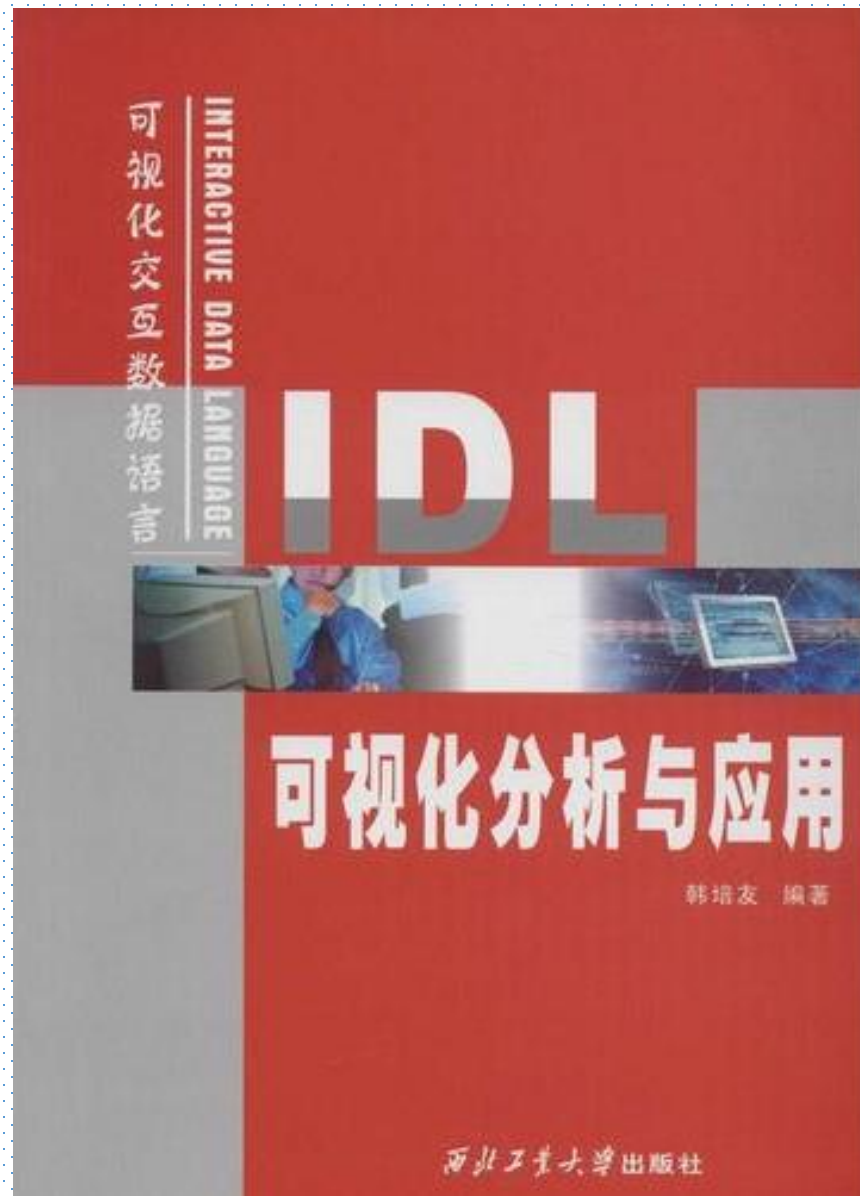
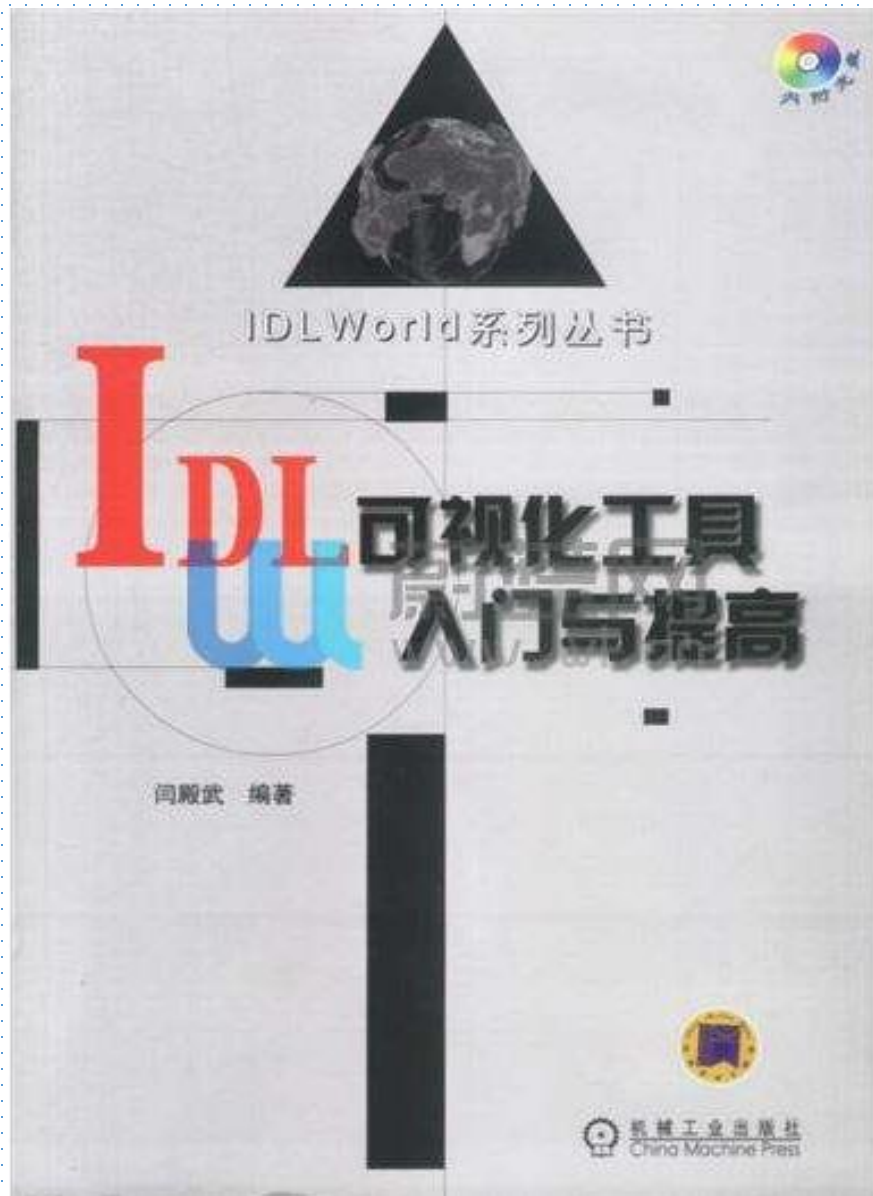
考试成绩 (60%)：期末考试 (60%，闭卷)

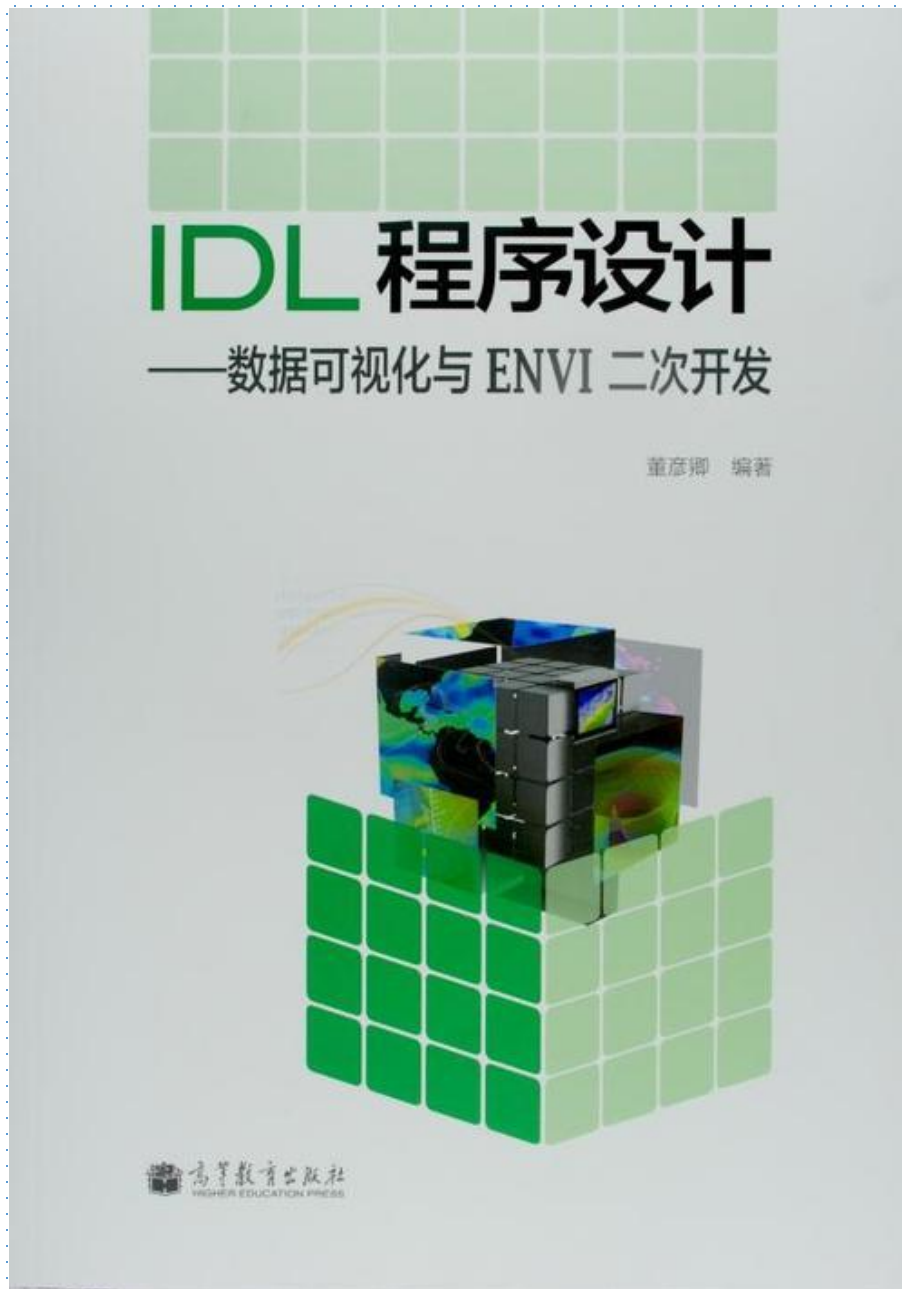


- 《IDL可视化工具入门与提高》，闫殿武编著，机械工业出版社，2003.
- 《IDL可视化分析与应用》，韩培友编著，西北工业大学出版社，2006.
- 《IDL程序设计—数据可视化与ENVI二次开发》，董彦卿编著，高等教育出版社，2012.



## 参考书目

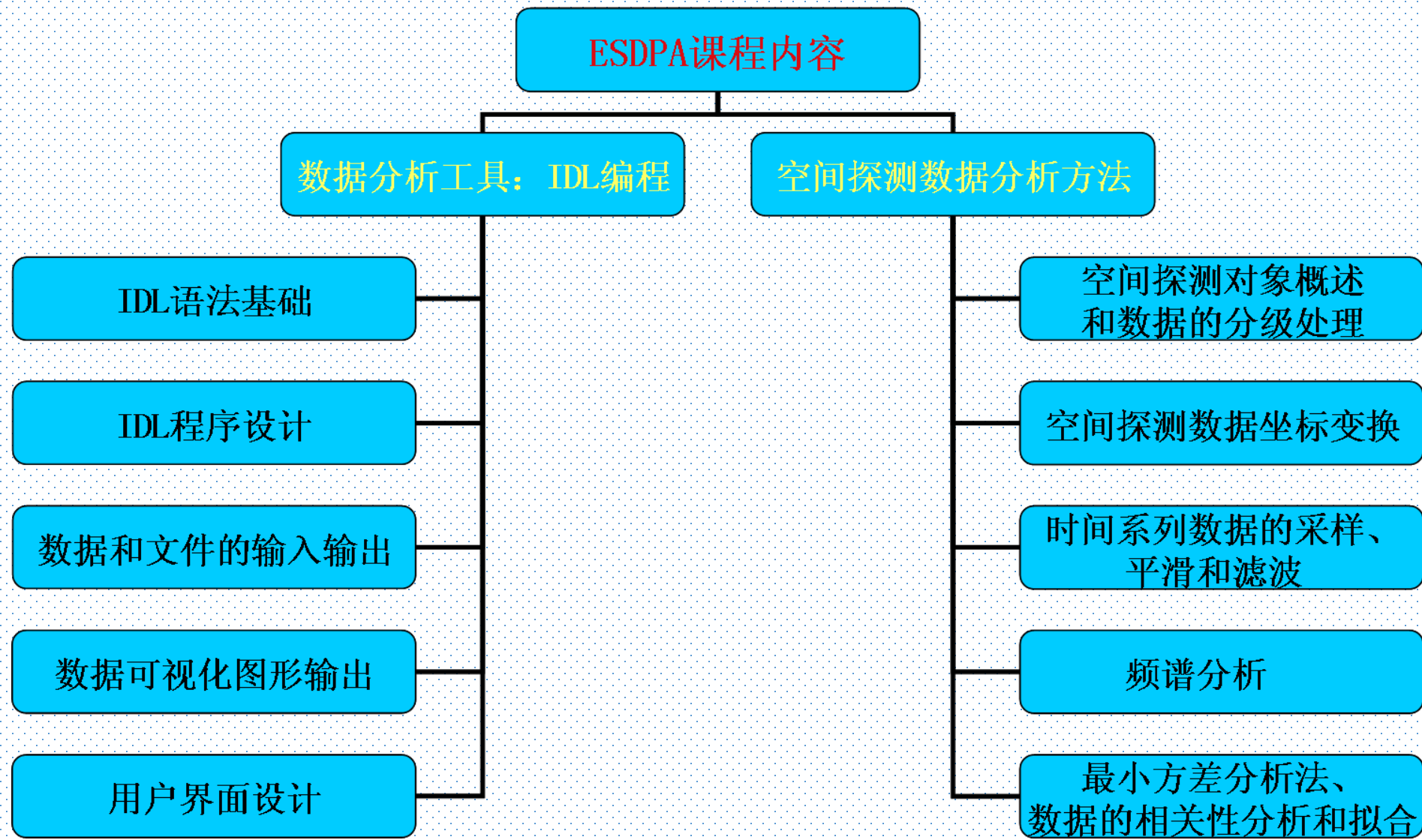








## 地球与空间探测数据处理方法课程架构



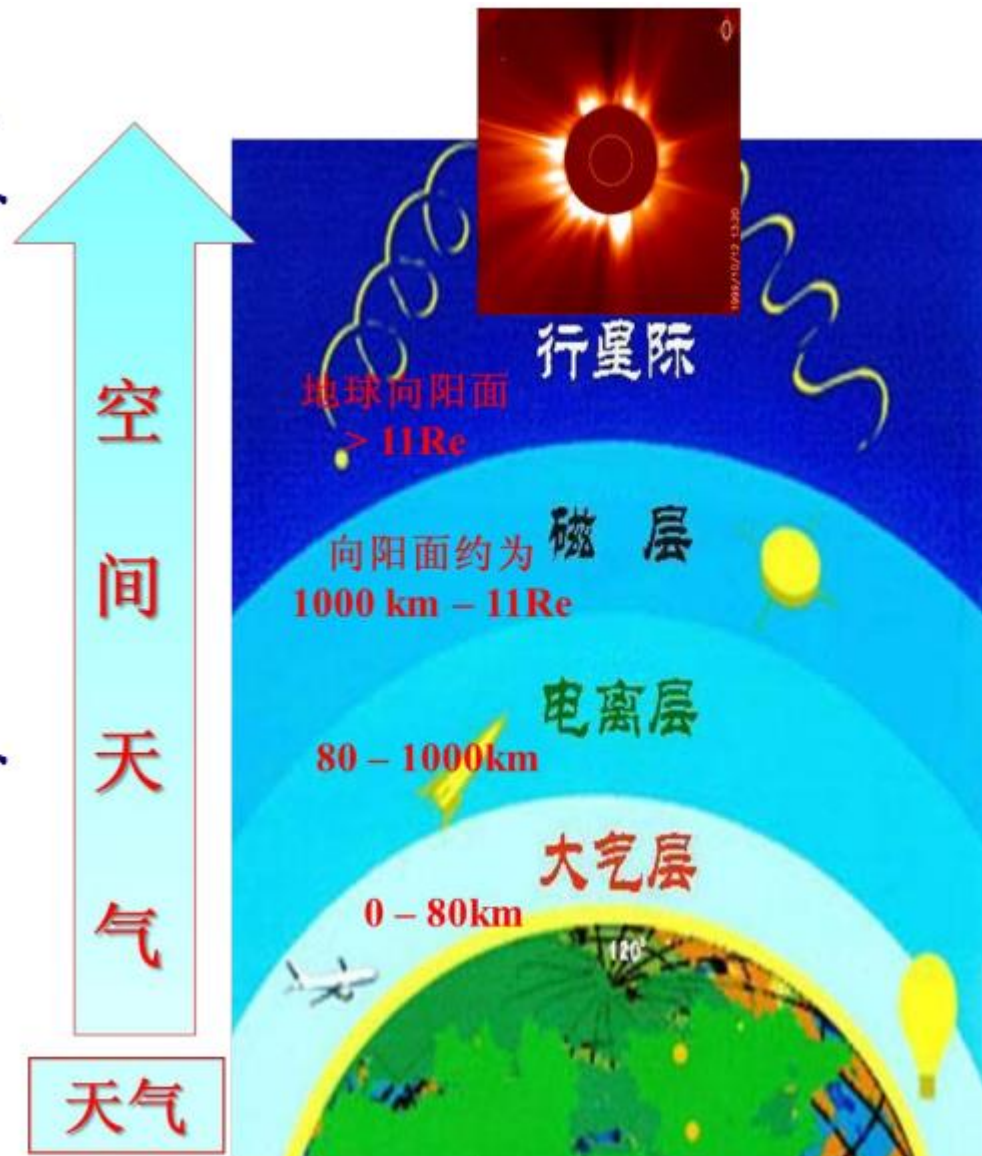


# 一、地球到日球层空间的分层结构

从地球表面到太阳表面大致可以分为五块区域：地球大气层、电离层、磁层、行星际空间和太阳大气层（光球层、色球层和日冕层）。

太阳到地球的平均距离约为1AU（AU为天文单位，1AU=1.496亿公里）。

**空间“不空”：**从地球表面到太阳大气层充满着各种中性原子、分子、电磁场、等离子体（中性成分电离产生）、电磁波、静电波、高能粒子、小行星、流星体、空间碎片、以及暗物质和反物质等等。





## 二、空间科学的定义与范畴

太阳是地球空间的光和热的能量源泉，同时一些爆发性的太阳活动（譬如日冕物质抛射（CME）、共转相互作用区（CIR）、太阳高能质子事件等）也可造成地球空间的磁暴、亚暴和高能粒子暴事件，从而影响人类的航空航天活动、通信和电网等。因此，日地空间的扰动现象也成为空间天气。

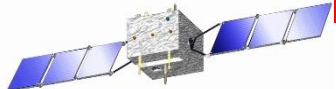
### 空间科学的范畴

空间科学就是一门以空间探测和空间试验为基础的多学科交叉的科学。主要研究空间各种物理过程的发生发展过程、以及各种空间环境和空间天气扰动对人类活动的影响等。

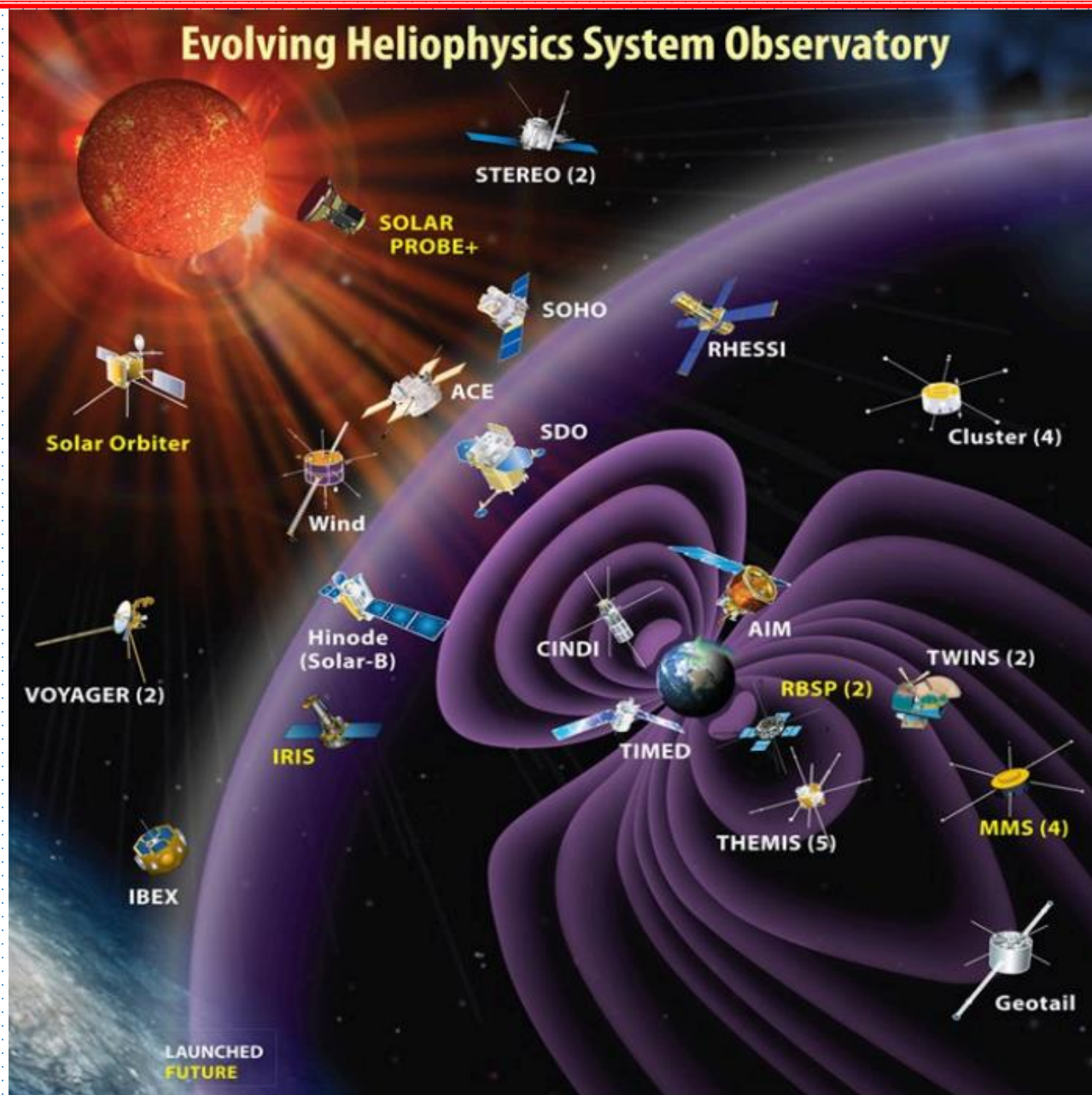
空间物理  
空间天气  
空间环境  
空间探测  
空间通信  
远程控制  
空间材料  
空间生命  
空间医学  
空间能源

、 、 、 、 、 、





### 三、地球和空间探测对象概述





### 三、地球和空间探测对象概述

#### ●地球探测：

地磁场（磁强计FGM）、地电场测量和宇宙射线探测等。主要研究它们和地震的关系、地磁活动情况、以及地磁活动和空间电流体系或太阳活动的关系等。

#### ●空间对地观测：

军事侦察、地质水文勘察、灾害监测（洪水、台风/海啸、火山爆发和地震等）、农业监测、环境监测、海洋监测和冰川变化等等。

**主要观测手段有：**机载或卫星搭载的照相机成像和微波遥感技术。



### 三、地球和空间探测对象概述

#### ● 地球空间探测：

- 1、**低高度大气层测量：**中性气体成分 ( $H$ 、 $O$ 、 $He$ 、 $N_2$ 、 $O_2$ 等) 密度、温度、气压分布、臭氧变化、中性风的测量；
- 2、**电离层探测：**各种等离子体成分 ( $H^+$ 、 $O^+$ 、 $He^+$ 、 $e^-$ 等) 密度、温度和速度，电磁场、电导率、电流、电磁波或静电波、以及极光的观测等；
- 3、**磁层探测：**包括等离子体层、环电流和辐射带、极尖区、尾瓣、磁尾中性片和等离子体片等不同区域中的电磁场、电流、等离子体（密度、温度和速度）、高能粒子（高能电子和质子）的通量和各种波动等。

**主要的探测手段有：**激光雷达、探空火箭/气球、卫星有效载荷（譬如朗缪尔探针、磁强计、电场测量仪、高能粒子望远镜等等）。

#### ● 小行星、流星体和空间碎片探测：危害空间飞行器和航天员生命。



## 四、深空和星际探测对象概述

### ●深空和星际探测：

主要探测地球磁层以外的外太空行星际物质、其他行星乃至整个宇宙的物质组成。譬如：探测太阳风等离子体密度、温度、太阳风流速、流压（动压）、行星际磁场大小和三分量、地外行星中的矿物、水和外太空生命的探测、黑洞、暗物质和反物质等等。

**主要的探测手段有：**射电望远镜、飞船/卫星的有效载荷。

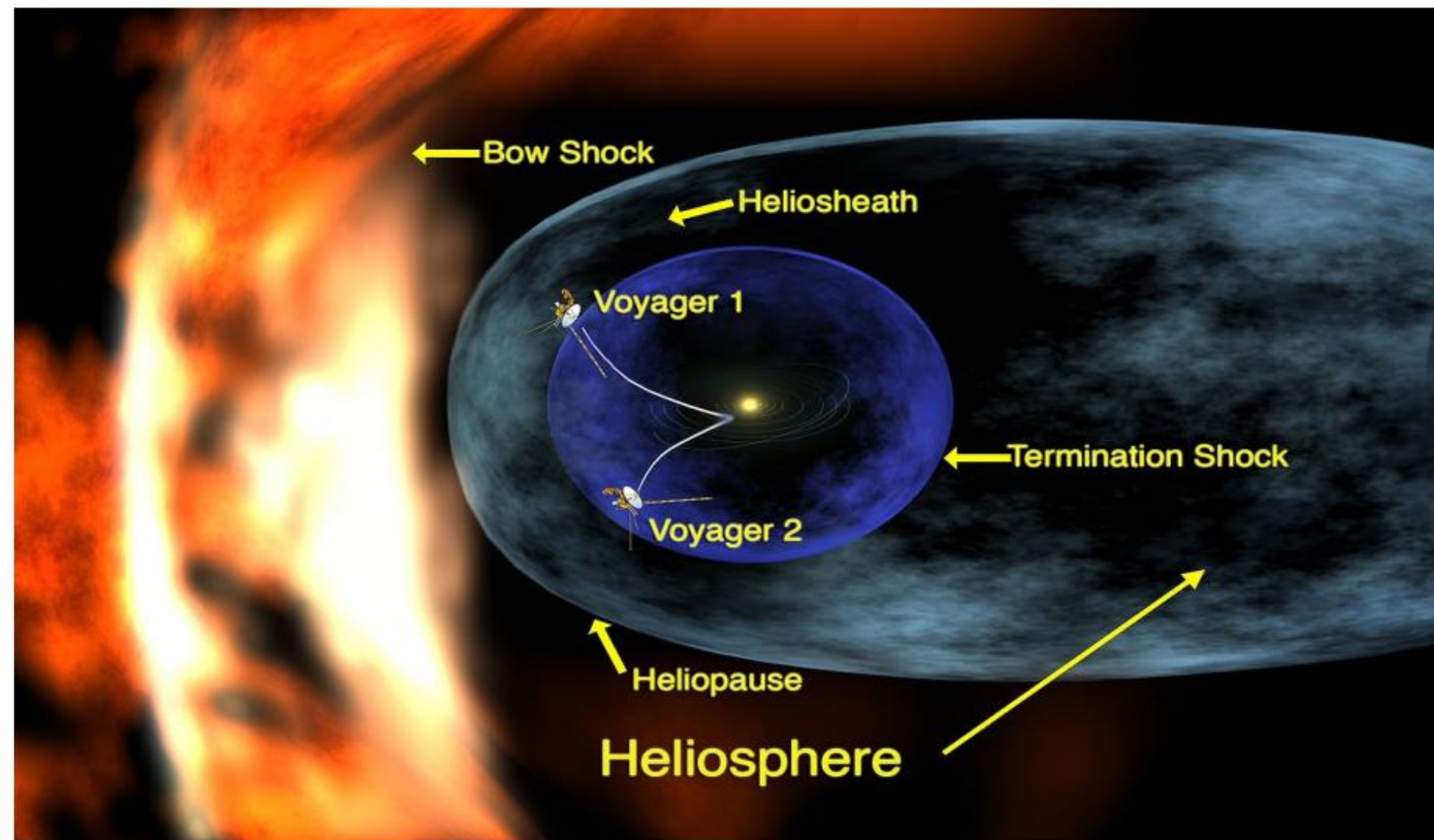
目前，飞离地球最远的卫星是美国1977年发射的旅行者1号和2号探测器，它经过木星和土星时通过引力弹弓效应获得加速。

**旅行者1号于2012年8月25日飞出日球层进入星际空间。**





## 四、深空和星际探测对象概述



从太阳表面到日球层顶（即太阳风层顶）的距离大约为121AU (180亿公里)。



## 五、空间探测数据类型

通常的卫星探测数据可分为三类：

- ◆ **科学数据：**是指有效载荷的探测数据及其导出数据。采用空间数据系统咨询委员会（CCSDS: Consultative Committee for Space Data Systems）格式。
- ◆ **工程参数：**又称housekeeping数据，是有效载荷各仪器设备工作时的各种状态数据或参数。包括卫星载荷温度和极化方式、载荷的电压电流值、通断电状态和数据质量说明等参数。
- ◆ **辅助数据：**是关于数据产品的描述文件或使用说明文件，包括任务和卫星事件描述文字、卫星的轨道根数（轨道号）、轨道参数（位置和速度、地理经纬度、地方时、地磁经纬度、地磁地方时、地磁参数、不变纬度、太阳位置等）和地球磁场模型值等。辅助数据对用户顺利使用数据产品是十分重要的。

**DMT: 10836\_0 (升轨) / 20565\_1 (降轨)**



## 六、空间探测数据处理

### 工程化数据产品处理和科学应用分析处理

#### ◆ 工程化数据产品处理：

涉及卫星各种有效载荷的不同观测数据、仪器工作参数以及各类辅助数据下传到地面系统后到被测物理量生成的全过程中的数据处理。

#### ◆ 科学应用分析处理：

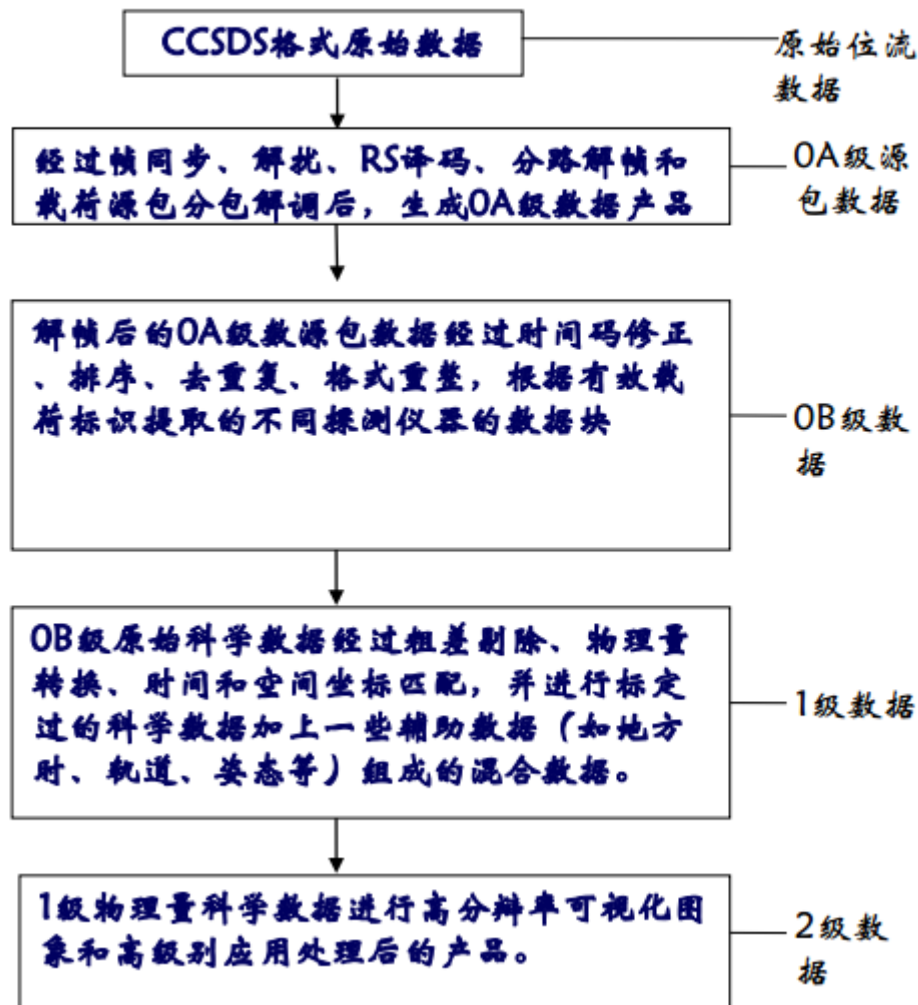
主要指对已经通过工程化处理生成的物理量数据进行进一步的应用和分析所做的数据处理。包括：数据坐标转化、新物理量的导出/计算、统计分析（数据的相关性分析、概率和误差分析）、数据的平滑、滤波、谱分析和数据可视化等等。



## 六、空间探测数据处理

根据数据处理的不同程度又可以把空间探测数据分为不同的级别：

### 数据分级处理流程







## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

### ● OA级数据文件的命名规则为：

DEMETER-IAP

DMT\_N0\_1139\_107190\_20060707\_040234\_20060707\_042359.DAT

<Satellite\_Name>\_<Level\_Nmuber>\_<Instrument\_id>\_<Orbit\_Number>  
\_<Start\_date>\_<End\_date>.DAT or TXT

OMNI2\_H0\_MRG1HR\_080417-080522.txt

- <Satellite\_Name>通常采用卫星名称汉语拼音或英文名称首字母组成的大写简写形式；
- <Instrument\_id>: 探测仪器的名称缩写或数据产品特定编号；
- <Level\_Nmuber>: **N0**；
- <Orbit\_Number>: 轨道号；
- <Start\_date>: 第一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss” ；
- <End\_date>: 最后一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss” 。

- 数据文件可以存储为无格式的二进制文件和有格式的十进制（ASCII码）文件（“.Dat”或“.TXT”），CDF文件和HDF文件等。

例如Demeter卫星数据 <http://demeter.cnrs-orleans.fr/>

<https://sipad-cdpp.cnes.fr/>



## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

### ● 时间修正处理和OB级数据文件生成

由于星地时差和数据采集时刻与时标添加时刻的不一致，需要对载荷源包中所打的采集时间码进行修正。时间校时文件由卫星测控中心提供，其产生频率由实际的时间偏移量和载荷所要求的时间处理精度决定。一般情况下，数据采集时刻与时标添加时刻的差值是常数 $\Delta t$ 。

星上时 $T_S$ 、地面时 $T_G$ 和时差 $\Delta T$ 间关系为：

$$T_G = T_S - \Delta T。$$

由于广义相对论效应（即引力对距离减小），所以卫星上时钟变快。

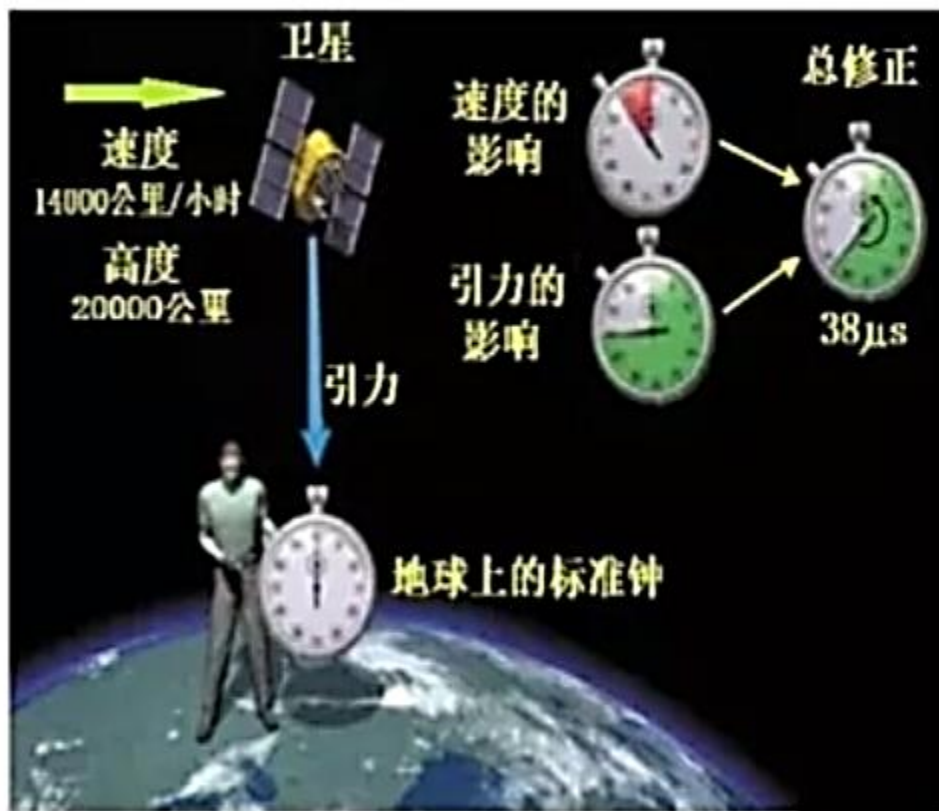
数据的准确时间应为： $T_G - \Delta t$ 。

OB级数据文件的命名规则和OA级的相同。数据内容并不包括轨道信息。二级数据处理需要给出《日志文件》、《错误数据文件》、《质量报告》和Quickview图象。



## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

卫星上时钟变快原因：



速度对时钟的影响  
时间膨胀 更慢  
(狭义相对论)

$$T_1 = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

引力对时钟的影响  
引力更弱的地方更快  
(广义相对论)

$$T_2 = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 R}}}$$

$M$  地球质量

$$T_1 = 7 \text{ 微秒}$$

$G$  引力常数



$$T_2 = 45 \text{ 微秒}$$

$R$  地球半径

$c$  光速

$$T_2 - T_1 = 38 \text{ 微秒}$$



## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

1级数据产品是由0b级数据经过粗差剔除、物理量转换、时间和空间坐标匹配，生成具有物理含义的数据，并对科学载荷数据进行定标处理，生成标准的数据产品。物理量转换模型和定标参数由载荷研制部门和应用部门共同商定后提供。不同探测仪器的测量值的物理量导出方法不同。

DEMETER-IAP

1级数据文件的命名规则为：

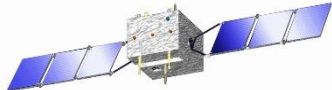
DMT\_N1\_1139\_107190\_20060707\_040234\_20060707\_042359.DAT

<Satellite\_Name>\_<Level\_Nmuber>\_<Instrument\_id>\_<Start\_date>  
\_<End\_date>.DAT

- <Satellite\_Name>通常采用卫星名称汉语拼音或英文名称首字母组成的大写简写形式；
- <Instrument\_id>: 探测仪器的名称缩写或数据产品特定编号；
- <Level\_Nmuber>: N1；
- <Start\_date>: 第一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss”；
- <End\_date>: 最后一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss”。

由于1级科学数据文件中已经包含了卫星的轨道号和具体的轨道信息（位置和速度、地理经纬度、地方时、地磁经纬度、地磁地方时、地磁参数、不变纬度、太阳位置等），所以数据文件名上不再显示轨道号了。用户只需选择所需时间段就可以打包下载到相应的科学数据和辅助数据。





## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

# Level 1

The data files are named as:

DMT\_N1\_<apid>\_<start\_date>\_<end\_date>.DAT

- <apid>: data identifier;
- <start\_date>: date of the first data sample as "yyyymmdd\_hhmnss";
- <end\_date>: date of the last data sample as "yyyymmdd\_hhmnss".

The orbit number is not given in the filename since the file can have more than one half-orbit.

APID	Experiment	Data type	Data description	Mode
1129	ICE	ULFe "WF"	Waveforms of three electric field components in the ULF range	Burst and Survey
1130	ICE	ELFe "WF"	Waveforms of three electric field components in the ELF range	Burst
1131	ICE	VLFe "WF"	Waveform of one electric field component in the VLF range	Burst
1132	ICE	VLFe "SP"	Spectra of one electric field component in the VLF range	Burst and Survey
1133	ICE	HFe "WF"	Waveform of one electric field component in the HF range	Burst
1134	ICE	HFe "SP"	Spectra of one electric field component in the HF range	Burst and Survey
1135	IMSC	ELFb "WF"	Waveforms of three magnetic field components in the ELF range	Burst
1136	IMSC	VLFB "WF"	Waveform of one magnetic field component in the VLF range	Burst
1137	IMSC	VLFB "SP"	Spectra of one magnetic field component in the VLF range	Burst and Survey
1138	RNF		Detection results of the neural network	Burst and Survey
1139	IAP		Data of IAP experiment	Burst
1140	IAP		Data of IAP experiment	Survey
1141	IDP		Data of IDP experiment	Burst
1142	IDP		Data of IDP experiment	Survey
1143	ISL		Data of ISL experiment	Burst
1144	ISL		Data of ISL experiment	Survey

Table N1-1. List of level-1 data identifiers.



## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

2级数据产品是指对1级标定数据的高分辨率成图处理后的产品。在数据中心通过网络提供了专用软件供用户按所需时间段自行画出高精度数据图片和进行图片保存的操作。

(1) 2级数据文件的命名规则为：

**<Satellite\_Name>\_<Level\_Nmuber>\_<Instrument\_id>\_<Start\_date>\_<End\_date>.DAT**

- <Satellite\_Name>通常采用卫星名称汉语拼音或英文名称首字母组成的大写简写形式;
- <Instrument\_id>: 探测仪器的名称缩写或数据产品特定编号;
- <Level\_Nmuber>: N2;
- <Start\_date>: 第一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss” ;
- <End\_date>: 最后一个数据的采样日期 “yyyymmdd\_hhmnss” 。



## 七、空间探测数据的命名规则与存储格式

2级图象名为：

**<Satellite\_Name> \_<Start\_date> \_<End\_date> \_<Version\_Number>.PS**

- <Satellite\_Name>通常采用卫星名称汉语拼音或英文名称首字母组成的大写简写形式;
- <Start\_date>: 开始的采样日期“yyyymmdd\_hhmnss”;
- <End\_date>: 最后的采样的日期 “yyyymmdd\_hhmnss” ;
- <Version\_Number>: 由V和图片生成日期 “yyyymmddhhmnss” 组成。



## 八、空间科学数据的获取途径

- 通过开放的数据网络获取所需科学数据：

最近几十年所有卫星或地面探测的空间物理数据（低精度）可以从美国航空航天局的开放数据网络获得：

[http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/istp\\_public/](http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/istp_public/)

地磁数据网址：

Kp、Dst、AE指数等：<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>

地磁台站数据

[http://www.space.dtu.dk/English/Research/Scientific\\_data\\_and\\_models/Magnetic\\_Ground\\_Stations.aspx](http://www.space.dtu.dk/English/Research/Scientific_data_and_models/Magnetic_Ground_Stations.aspx)

也可以通过专门的卫星项目门户网站获取：

譬如<http://vanallenprobes.jhuapl.edu/>

<http://cdhf5.bnsc.rl.ac.uk/cdms/>

- 高精度的科学数据需要联系首席科学家 (PI) 获取。

譬如对高频波的分析。





成都理工大学

CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

演示完毕

Thank You

