

PDS 行星数据系统研究及其应用

杨宏伟, 赵文津, 吴珍汉

中国地质科学院, 北京, 100037

内容提要: PDS 行星数据系统是存储和发布美国 NASA 所有行星探测数据的信息平台, 是行星科学研究和发展的基础。PDS 的标准、存储结构和数据处理流程是由 NASA 协同多个行星研究所和多个大学共同制定, 为行星数据的存储和应用提供重要保障。由此, 对于这些标准的深入研究是了解和应用这些数据的基础。本文从 PDS 建立的科学意义, 及最原始建立的科学目标和科学任务出发, 从底层分析 PDS 数据文档存储结构, 并结合项目组实际使用经验给出最便捷、最实用的数据使用方式及科学软件工具的实际经验。最后, 本文以实际数据为例给出了 PDS 详细的使用流程以及最终处理成果, 并在最后提出了 PDS 的未来发展建议。希望能为我国行星科学家及行星数据库系统平台的建设提供重要参考。同时, PDS 行星数据库系统平台作为更广阔的数据系统平台, 它也为中国行星科学甚至地球科学建设提供重要参考依据。

关键词: PDS 行星数据库; 数据文档存储结构; PDS 工具; PDS 数据处理流程; PDS 未来发展建议

PDS 是用于存储、发布和制定美国 NASA 所有行星探测任务科学探测数据的数据库系统平台, 为全世界行星科学家提供了最新的、高质量的、多学科的行星科学探测数据, 是行星科学研究的重要基础。同时它最初是隶属于美国“行星探测十年发展规划纲要”的具体任务之一, 具有重要的科学价值和科学意义。由于 PDS 本身涉及的研究领域众多且数据存储格式和软件复杂, 因此本文的目的就是要对 PDS 行星数据中重要的数据发布标准和存储格式进行详细分析, 并介绍大量实际经验, 让广大中国行星科学家能够快速了解和认识 PDS 行星数据库的科学意义、数据存储标准和使用方法, 了解数据处理基本流程和思路, 方便对行星数据的使用、搜索和研究等, 从而使得中国众多科学家能够参与到行星科学的研究当中, 并为中国建立自己的国际标准的行星数据做参考。同时希望借助这些宝贵的人类行星探测数据能够指导我国科学家从“比较行星学”的角度认识不同行星的结构演化, 从而重新研究地球的形成和演化过程。

PDS 全称为“Planetary Data System”, 即“行星数据系统”。它是由 NASA 资助并由美国多所大学和研究机构共同建立的对行星探测数据的发布和管

理平台。“PDS 行星数据系统”的科学任务就是对“美国行星探测十年发展规划纲要”中提到的太阳系以内(除地球外的)的所有行星及其卫星以及小行星和彗星的科学探测任务中所有采集的科学数据及相关工程数据进行存储和发布(Committee on the Planetary Science Decadal Survey et al., 2011; Jolliff et al., 2013)。最为重要的是, 为了便于世界范围内不同领域科学家能够方便地、及时地、免费地获取这些数据, PDS 针对众多来自不同领域的科学探测数据提出统一化的行星数据管理标准, 利于全世界不同领域科学家从不同科学角度出发对行星体进行综合研究。PDS 行星数据涉及的科学领域包括了地质学、地球物理学、地球化学、大地测量学、大气学、天体物理学、工程学等。PDS 建立的目标共有 4 个(Arvidson et al., 2013): ① 汇总、出版、发布前沿的文档式行星数据集; ② 与行星任务一起同时进行, 确保采集的数据对 PDS 的兼容性和及时发布; ③ 开发和用于数据集搜集和归档的标准及工具; ④ 为行星共同体提供数据归档和发布方面的专业支持。

截止到 2015 年 05 月 15 日, 火星、月球、金星、水星各等级所有轨道探测数据已经累计约有

注: 本文由中国地质调查局地质调查工作项目(编号: 12120113019100)资助。

收稿时间: 2015-04-17; 改回时间: 2015-10-16; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 杨宏伟, 男, 1982 年生, 博士。现主要从事月球地质科学与地球物理研究工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。Email: yhw1106@163.com。

947TB数据量。为了方便管理这一海量数据以及利于各国科学家的使用,PDS已经建立起了一套统一的较完善的数据参考标准,这包括数据的分类和结点存储模式、数据的文档目录系统、常用数据处理分析软件、数据的快速搜索、数据处理难点和部分解决方案、数据论坛等。这些重要标准对PDS数据的使用至关重要。因为只有对PDS的数据存储标准和数据系统结构有深入的认识,才能快速有效地搜索到所需要的数据集,并利用其提供的科学软件开展科学研究。

目前,我国国内的行星数据库系统主要包括有2个:一个是与美国华盛顿大学(圣路易斯)合作建立的山东大学(威海分校)数据库系统平台(<http://pds.wh.sdu.edu.cn/index.jsp>)。该系统完全是以美国的PDS行星数据库标准为基础,其中数据集包括Clementine、Lunar Prospector和LRO-LOLA的全部数据,并附上部分中文的PDS参考标准,方便国内行星科学家下载和研究。另一个则是中国官方由中国科学院国家天文台月球与深空探测研究部发布的有关我国嫦娥系列探测数据的数据系统平台(<http://moon.bao.ac.cn/>)。其中包括嫦娥系列卫星部分探测数据产品及有关成果数据。其中0级科学数据采用二进制格式,1级和2级数据采用PDS格式,并按照甲级、乙级和普通客户类别(<http://moon.bao.ac.cn/ceweb/datasrv/datareqpolicy.jsp>)分别按照相关申请流程申请下载不同级别数据集。此外,目前可以完全公开下载的数据包括嫦娥1号(250万)、2号(50m)正射影像(DOM)和数字高程DEM分幅数据集(<http://moon.bao.ac.cn/ceweb/datasrv/shapcel.jsp>)。

1 PDS行星数据的发展背景及科学意义

PDS是美国“行星探测十年发展规划纲要”中“研究和分析(R&A)”部分中涉及的内容之一,是整个行星科学发展的数据基础。每十年“美国国家宇航局(NASA, National Aeronautics and Space Administration)”和“美国国家科学基金会(NSF, National Science Foundation)”都要求“国家研究委员会(NRC, National Research Council)”提出一个开展行星科学探索和研究的十年探测计划——“美国行星探测十年发展规划纲要”,即“Visions and Voyages for Planetary Science in the Decade 2013—2022”(最近的一次)。这一纲要是由来自“行

星科学共同体(Planetary Community)”的成员(由NASA及众多科学机构和大学组成)广泛地参与并提出的。由此,PDS行星数据库成为了“纲要”中明确指出的具体的实施任务之一(Committee on the Planetary Science Decadal Survey et al., 2011; Jolliff et al., 2013)。不仅如此,《月球与火星探测科技高层论坛文集》中的国外行星科学家也指出了PDS数据库的建立和使用也是国际科学家对我国深空探测未来发展规划所提出的四条重要建议之一(Wang et al., 2013),同时也是我国亟待考虑建设的任务之一。当前NASA已经批准并正在执行的三大行星科学计划包括:①发现任务(“Discovery”);②新领域(“New Frontiers”)任务;③旗舰任务(“Flagship”);④其他任务等(Committee on the Planetary Science Decadal Survey et al., 2011; Jolliff et al., 2013)。这些探测任务当中所发射的卫星、登陆器(或登陆车)中所搭载的遥感、地球物理、地球化学等多种载荷设备用于实现不同科学目标。这些行星探测任务所涉及的仪器设备繁多,科学领域众多,数据处理过程复杂,因此对于这些众多繁杂的科学数据的存储和发布标准的制定和管理是非常重要的,而这也就是PDS建立的科学目标和科学意义。

在PDS建设之初,NASA就面对了大量由于数据存储格式和文档不全所引发的在数据查找、交流和使用方面的种种困难,这些难题的解决方案成为了后续建立PDS数据库标准的指导方向和经验教训。其中包括了以下几点重要建议(McMahon, 1996):①PDS的建立非常需要科学参与;②需要科学的视角;③保证数据的可用性,包括数据格式、辅助数据、及时发布、验证信息和文档;④合适的设备;⑤结构化的、可移植的、具有完整文档说明的软件;⑥数据存储形式的永久保存性;⑦充足的资金。以上几点就是PDS能够为科学家和公众提供高质量的、可用的行星科学数据产品的重要保证。

因此,对于PDS的标准的分析研究是行星科学研究的基石。要想获得并使用这些行星探测数据就需要对PDS数据库的存储方式进行全面的认识和分析,同时这也是未来建立我国PDS数据库结点的基础。

以下将对PDS数据系统结构进行详细的分析和研究,其中包括数据结点存储结构(第3部分)、实际数据存储格式分析(第4部分)、数据文件分析(第5部分)、PDS科学的科学价值(第6部分)、结合月

球地形数据处理过程分析和建立 PDS 数据处理流程(第 7 部分)。

2 PDS 数据分类及结点存储的研究

PDS 数据存储是按照学科进行分类的,并以结点的形式分别对不同学科数据进行存储和管理(Guinness et al., 1996;郑岩等,2009)。如图 1 所示,PDS 共包括 8 个结点(图中蓝色结点),其中 6 个是科学结点,包括大气结点(Atmosphere Node)、地质科学结点(Geosciences Node)、图像结点(Imaging Node)、行星等离子作用结点(Planetary Plasma Interaction (PPI) Node)、行星环结点(Planetary Rings Node)和小星体结点(Small

Bodies Node (SBN)),另外 2 个是辅助结点,其中包括工程结点(Engineering Node),导航和辅助信息设备结点(Navigation and Ancillary Information Facility (NAIF) Node)。每个结点及相关行星探测数据都是由相关大学和研究机构分别管理和存储。如上所述,对于单独的 PDS 结点来说,虽然只包含一个学科分类,但却包含了不同行星体、不同科学探测任务、不同仪器设备和不同数据类型的数据集。

3 数据文档目录系统的研究

所有的 PDS 行星数据都是按照统一的数据存储类型和目录文档格式进行归档和管理的,这就是

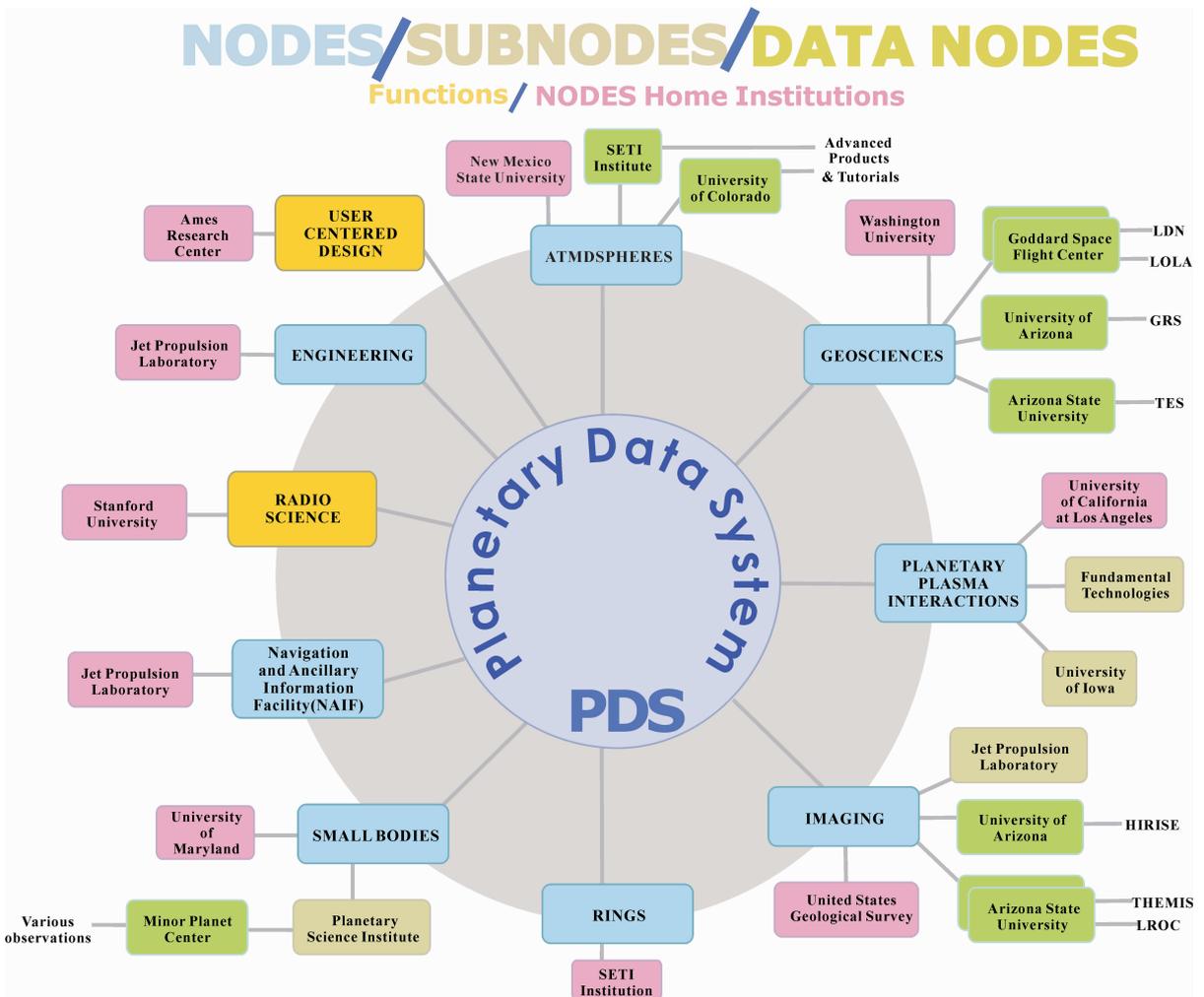


图 1 PDS 结点划分及存储结构(其中蓝色方框表示结点名称;粉红色方框表示结点主要负责机构;绿色表示具体仪器的数据管理分结点;黄褐色表示其他子结点的负责机构;橙色表示其他功能性结点)

(Guinness et al., 1996)

Fig.1 PDS Nodes and Home Institutes (Designations of Nodes in Blue Squares, Home Institutes of Nodes in Pink Squares, Institutes for Instruments and Data Sets of Subnodes in Green Squares; Other Institutes for Subnotes in Khaki Blocks; Other Functional Nodes in Orange Blocks) (<http://pds.jpl.nasa.gov/>) (Guinness et al., 1996)

PDS 数据的文档目录系统。全面和清晰地了解该文档系统是数据查找和数据处理的基础。

PDS 的数据(存储)类型就是指将实际探测数据按照观测数据的种类(如遥感数据、重力数据、激光高程数据、工程数据等)以及数据处理等级来进行划分,并按照 PDS 标准规定的格式进行存储(如图 2 所示)。这种归一化的标准为 PDS 的数据查找和使用提供了方便快捷的手段。下面将分别对这一标准(图 2 中)的数据类型和目录文档格式进行说明。本文在研究 PDS 标准的基础上结合多种类型数据的使用经验对这些数据进行说明,为今后广大科技人员的使用提供实用性的参考信息。

(1)ROOT(主目录):其下的所有文件和数据就是一个卷(Volume)(McMahon, 1996)。有时将相同数据类型的数据放在同一个卷(Volume)下,ROOT(主目录)下有时也包含了几个不同的子数据集(Data 1 和 Data 2 等),如图 2 所示。实际上,数据的 ROOT 目录的名称是与数据本身有关的。例如 LOLA(月球激光高度计)的原始数据的“ROOT”目录的名称实际上就是以 lro-l-lola-2-edr-v1 名称命名的。AAREADME.TXT、ERRATA.TXT、VOLDESC.CAT 三个文件是主目录中的重要文件,包括了数据的发布时间、数据类型名称、采集仪器名称、该数据卷的名称、每个文件目录的概要说明、所有目录结构信息、每个文件夹中所包含数据信

息的概述、PDS 的数据发布的更新、原先数据中的错误及修改说明、数据产品制作人信息等。

(2)CATALOG(数据表单目录):该目录是为其数据集提供概述,其中包括了对科学任务、仪器和数据集信息的较详细描述。其中,mission.cat 文件是对科学任务的描述(包括科学任务目标、所有的载荷设备、飞行运行阶段信息,包括科学采集阶段、飞行扩展阶段等);inst * * *.cat 和 * * *_inst.cat 两类文件是对仪器参数(包括仪器基本原理、采集系统、能源系统、运行时间、角度变化等)的描述;ref.cat 文件是对该数据集中有关仪器成果发布、数据成果发布、数据处理过程等有关的参考文献;person.cat 文件是对所有参与本数据处理的有关科学家的姓名和联系方式的标注;* * *_ds.cat 文件还包括了数据类型及说明、数据覆盖情况、数据处理的基本方法及发表的文章。

(3)INDEX(数据索引目录):包含了该数据集中所有实际探测数据文件的清单。主要包括三个文件: INDXINFO.TXT、INDEX.TAB 和 INDEX.LBL。其中 INDEX.TAB 文件是所有实际探测数据的目录清单(如图 3),而该文件中每列信息的说明则需要参考具有相同文件名、后缀为 LBL 的文件。

(4)DOCUMENT(文档目录):包含了数据使用和处理过程中的重要参数信息及详细说明文档,其

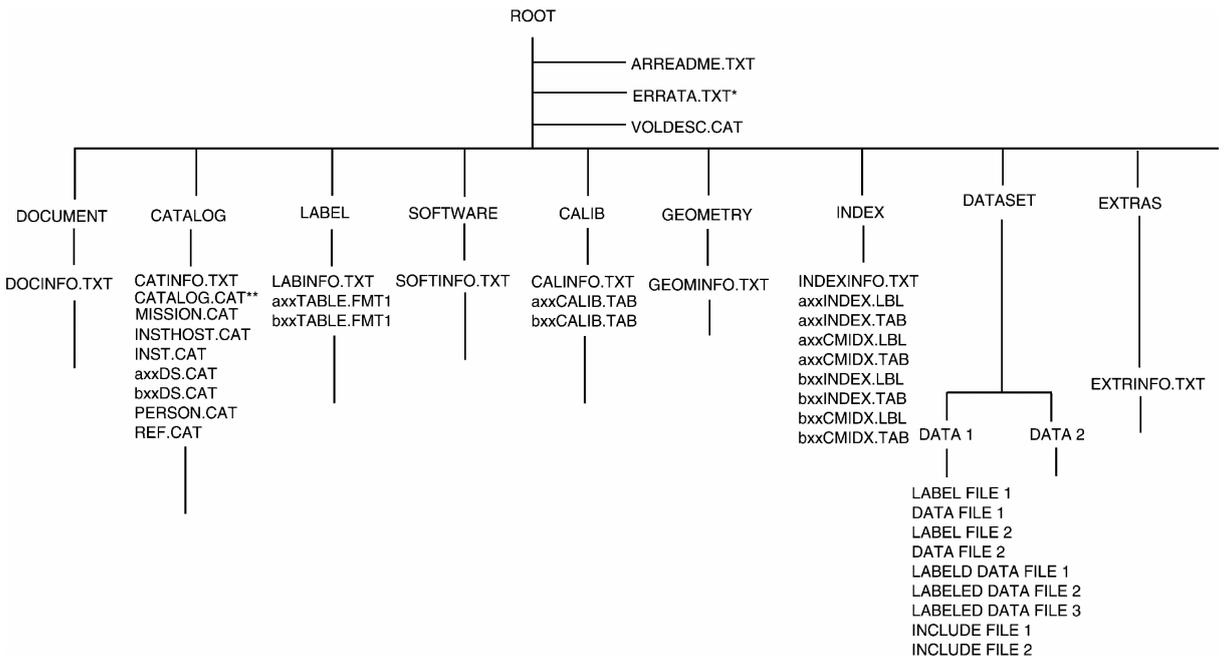


图 2 PDS 数据文档存储目录结构

Fig. 2 PDS Data Sets and Documentation Organization

```

"GRAIL_1001", "RSDMAP/", "GGGRX_0660PM_ANOM_L320.LBL", "GGGRX_0660PM_ANOM_L320.IMG", "RSDMAP", "V03", 2013-247T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "SHADR/", "GGGRX_0660PM_SHA.LBL", "GGGRX_0660PM_SHA.TAB", "SHADR", "V03", 2013-247T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "SHBDR/", "GGGRX_0660PM_SHE_L50.LBL", "GGGRX_0660PM_SHE_L50.DAT", "SHBDR", "V03", 2013-247T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "RSDMAP/", "JGGRX_0660B_ANOM_L320.LBL", "JGGRX_0660B_ANOM_L320.IMG", "RSDMAP", "V03", 2013-036T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "SHADR/", "JGGRX_0660B_SHA.LBL", "JGGRX_0660B_SHA.TAB", "SHADR", "V03", 2013-036T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "SHADR/", "JGGRX_0420A_SHA.LBL", "JGGRX_0420A_SHA.TAB", "SHADR", "V03", 2013-036T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00
"GRAIL_1001", "SHBDR/", "JGGRX_0660B_SHE_L50.LBL", "JGGRX_0660B_SHE_L50.DAT", "SHBDR", "V03", 2013-157T00:00:00, 2012-061T16:28:00, 2012-150T16:36:00

```

图 3 GRAIL 数据中 index.tab(科学数据目录清单)文件的内容

Fig. 3 Contents of index.tab (lists in table of data sets) file for GRAIL data

中包括了科学任务目标、卫星载荷及其物理原理、仪器探测频段的覆盖范围和精度、仪器噪声、数据采集精度的影响因素和具体指标、数据处理中涉及的空间和时间坐标系统的选择、有关探测数据的信息(探测时间、频率、采样间隔、信号强度、数据精度等)及相关参考文献。该目录所包含的重要文件: * * * SIS 文件(其中后缀为 .LBL、.HTM、.PDF 后缀名的文件),即软件接口参数,文件包括了对具体数据探测原理、精度和数据处理接口参数的详细说明(Neumann et al., 2009, 2010; Kahan, 2013; Murchie et al., 2012; Hecht et al., 2008; Reid et al., 2010)。

(5) DATA(探测数据或数据产品目录):该目录所包含就是最重要的数据产品了。根据数据类型的不同,该目录的名称和存储位置也将有所变化。这些数据产品文件通常包括了二进制存储的(如 .IMG、.TAB 格式的文件等)主体数据文件和同名的 .LBL 文件。.LBL 文件是对与其同名的数据产品文件的存储格式的说明,是数据处理的重要信息。此外,某些数据的存储格式还需要参考 LABEL(标签目录)中的 .fmt 类型的文件。

(6) 其他目录信息:① CALIB(Calibration 数据校正目录):该目录包含了与“原始数据”处理和仪器参数有关的校正文件,如 LOLA 仪器中 calibrpt 文件(后缀为 .pdf 和 .lbl)是对探测器的标定、激光计性能参数、激光发射器和接收器的参数说明文件(Riris et al., 2010); 又如在 Mini-RF 数据中的校正文件 minirf_calibration 文件(后缀为 .pdf 和 .lbl)(Neish, 2012)是关于雷达信号幅值和相位校正方法的公式说明。② EXTRA(扩展目录):包含了由数据集制作者所提供的比较重要的额外信息,如数据处理参数、某些常用软件在处理该数据时的一些特定参数、较高等级数据的处理信息等;③ GEOMETRY(几何学目录):包含了特殊的 SPICE 核心文件和软件包,专门用于数据的轨道导航和轨道几何校正;④ SOFTWARE(软件目录):这个目录提供了由数据发布者提供的数据转换的软件或简单的数据处理程序。

4 数据产品的研究

在 PDS 标准中,按照处理等级来划分可以包括以下类型的数据:EDR(Raw Data Products-Level 0)0 级数据产品,直接来自于仪器的、消除了信号传输干扰的原始数据产品(与仪器研制和校正有关);CDR(Calibrated Data Products-Level 1)1 级数据产品,是经过校正和重新采样的科学数据产品(如遥感设备的不同频段光谱数据、激光设备的返回时间数据、重力设备的卫星轨道数据,这个等级的产品是最常用的科学数据产品;RDR、GDR、SHADR(Derived Data Products-Level 2)2 级数据产品,包括了已经建立的图件数据产品等。

如果按照数据产品文件的文件类型来划分,包括了 TABLE、IMAGE、SPREADSHEET 等二进制或 TEXT 等文本类型(JPL, 2009)。尽管不同数据产品的学科分类、科学任务、载荷仪器和数据等级不同,但是它们的数据产品文件的文件类型基本都是相同的,且主要包括以上这四种。

(1) TABLE 数据文件(后缀为 .tab 或 .dat):以时间顺序存储和记录的科学数据文件就是 TABLE(表格)数据文件。该文件不仅包含了某时间点上与采集数据有关的数据信息(如主动源仪器发射时间、仪器增益、噪声等),还包含了同一时刻的轨道空间坐标、仪器角度等信息,由此形成了一个以时间为顺序的表格数据文件。如,LOLA 的 EDR、RDR 数据文件为 .dat 的二进制文件;LOLA 的 SHADR 数据文件是 .tab 的 ASCII 数据文件。

(2) IMAGE 数据文件(后缀为 .img):按照经纬度顺序存储的科学数据文件,也是二进制数据文件。通常遥感影像、地形等数据多为 IMAGE 格式的文件。该文件是按照经纬的顺序以网格形式进行存储的,而每个数据点的经纬度信息则需要参考同名的 .LBL 文件。如 LOLA-GDR、M³-L1B、L2 等数据都是如此。

(3) SPREADSHEET 数据文件(后缀为 .csv):该文件是按照数据采集和记录的顺序存储科学数据的。不同于时间顺序记录的 TABLE 数据文件,该

文件中数据记录的采样间隔不是等时的,如,Mini-RF 中的/HOUSEKEEPING 中的数据。

(4)其他数据文件:以上是主要的数据存储格式,但是由于探测仪器的差异还有很多其他格式数据文件,包括后缀为 .asc 或 .txt 的 TEXT 数据文件,如 LRO 雷达数据中提供了有关卫星轨道校正及推进器的数据信息;LOLA-GDR 数据为 jp2 的图像数据文件,Mini-RF 的部分数据为 csv 文件等。这些数据文件都需要参考对应文件名的 LBL 格式说明文件。

5 PDS 常用科学分析软件工具的研究

为了能够更快捷地进行数据查找和数据处理工作,PDS 结点针对不同科学用途共提供了 42 个常用科学分析软件工具,包括行星探测任务中所有光谱数据的集成网站;火星或月球登陆车的探测路径及在此期间所做的科学实验数据集;遥感数据集显示工具;行星地质图数据集等。下面将按照其科学意义对其中重要的工具软件进行说明。

(1)Orbital Data Explorer(ODE)“轨道数据搜索器”:是一个限于“轨道数据”的搜索、显示和下载的工具,包含了水星、金星、火星和月球四个行星体内的所有 PDS 数据集。对于刚刚接触 PDS 数据库或想要快速查找某一特定数据时可以使用这个工具。该搜索器可以按照探测任务、仪器、数据等级,行星体的地理坐标等功能进行相关数据搜索,并能显示数据集目录结构,同时还提供关于该数据集在行星表面的覆盖情况或地理坐标。相比较前面提到的详细而繁杂的数据集文档系统来说,该工具简洁明了且提供很多实用搜索工具,但是对于如 Apollo、火星登陆车等的这种行星表面的“非轨道”数据或某些涉及数据处理中的重要参数文件或说明文档仍然需要借助上述详细的数据文档结构进行更深入地查找。

(2)Analyst's Notebook“分析师手册”:是“着陆任务数据集”的搜索和查找工具。该工具是对火星和月球登陆任务的数据集汇总,包含的任务有月球 Apollo 系列任务和撞击月球的 LCROSS 任务;火星的“凤凰号”、“机遇号”、“精神号”和最近发射的“好奇号”火星登陆器或登陆车的任务数据。其中的内容涉及登陆任务的巡航路线图及点位信息;每个科学工作点的地质背景信息、仪器采集或布设情况;工作点的野外地质记录;仪器采集的数据集及相关文档信息。

(3)PDS Geosciences Spectral Library 和 ASU Spectral Library(PDS 地质科学和 ASU 光谱库):提供了基于实验室的、地球陨石的以及月球采样返回的和火星登陆点实地测量的矿物、岩石、土壤等共 1228 个标本(截止到 2013-12-27)的标准光谱数据,用于卫星载荷定标和样品研究。光谱信息涉及反射光谱、发射光谱、拉曼光谱、X 射线荧光光谱、X 射线衍射谱、LIBS 和电子(粒子)探针、热红外等标准光谱数据,以及碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐、氧化物等 15 种矿物的光谱数据。

(4)欧空局行星数据网站(ESA Data Access):是欧空局(ESA)的行星数据库网站,其中有 Mars Express“火星快车”(火星轨道卫星)、SMART-1(月球轨道卫星)、Venus Express“金星快车”(金星轨道卫星)等欧空局行星探测科学任务及探测数据(ESA Planetary Science Archive,2013)。

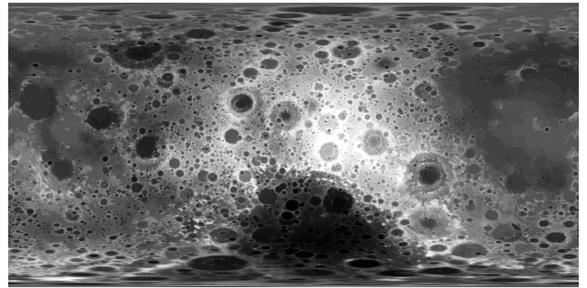


图 4 NASA-View 显示的 LOLA-GDR 数据文件 ldem_16. img(地形数据)

Fig. 4 Image Displayed by NASA View Tool of ldem_16. img, one of LOLA GDR Data

(5)常用科学软件包:① NASA View:是由 NASA 开发的专门用来读取 IMAGE 文件和 TABLE 文件并以图件形式显示的软件(如图 4 所示)。但是该软件包在后期数据处理及功能方面却受到很多限制;② SPICE Toolkit Software:是由美国 NASA 的 NAIF(Navigation and Ancillary Information Facility“导航与辅助信息机构”)开发,用于计算和建立飞行器空间几何学信息,从而规划仪器探测和解释科学观测。SPICE(Folkner et al., 2009)包括了飞行器的空间位置、轨道信息、仪器向角等空间几何学数据以及用于计算空间位置的软件系统。该软件用于几乎所有与仪器角度和飞行器轨道相关的数据处理过程中。

(6)与月球有关的科学分析工具:① Kaguya (SELENE) Data Archive:提供了日本月球轨道卫星 Kaguya(SELENE)所有载荷的数据集,包括了激

光高度计、卫星轨道、中继卫星和 VLBI、伽玛能谱、月球雷达、X 射线荧光光谱仪、带点粒子能谱仪等 13 台仪器的科学数据 (<http://l2db.selene.darts.isas.jaxa.jp/index.html.en>); ② LPI Lunar and Planetary Science and Exploration Website: 提供大量关于月球科学研究的多任务、多仪器、多种类的探测数据 (<http://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/>); 还包括 Apollo 时代以及月球陨石样品的矿物学、地球化学等方面的实验数据; Apollo 研究成果以及未来参考登陆点研究方案等学术报告; 基于早期月球任务数据所建立的月球地质和地形图件, 局部地区能达到 1:5000 的地质图件 (Geologic Atlas of the Moon, 2013; Tanaka et al., 2010), 如图 5 所示; 还包括了 LPI (Lunar and Planetary Institute “月球与行星研究所”) 举办的一年一度的由世界顶级科学家参与的

国际行星大会——“月球与行星科学大会 Lunar and Planetary Science Conference”的重要科学成果。这些都是对 PDS 数据库的重要补充。

(7) 与火星有关的科学分析工具

① 火星高精度数字地形和影像图 (HiRISE Extended Search 和 Mars HiRISE Hi-Resolution Topography) HiRISE 是 2005 年发射的 Mars Reconnaissance Orbiter “火星勘查轨道号” 搭载的精度达到 0.25~0.5m 分辨率的高精度相机。利用 HiRISE 得到的高精度影像建立了火星表面众多地形地貌图片以及高精度数字地形图 (DTM)。至今 (2015-05-06) 为止已经搜集了 38477 张 50cm 分辨率的高精度火星表面照片和 247 张 1m 分辨率的 DTM 图片 (如图 6 所示)。② 火星 CRISM 数据建立的表面矿物识别数据链接 (Interactive CRISM Map 和 CRISM Analysis Toolkit)。CRISM 也是该

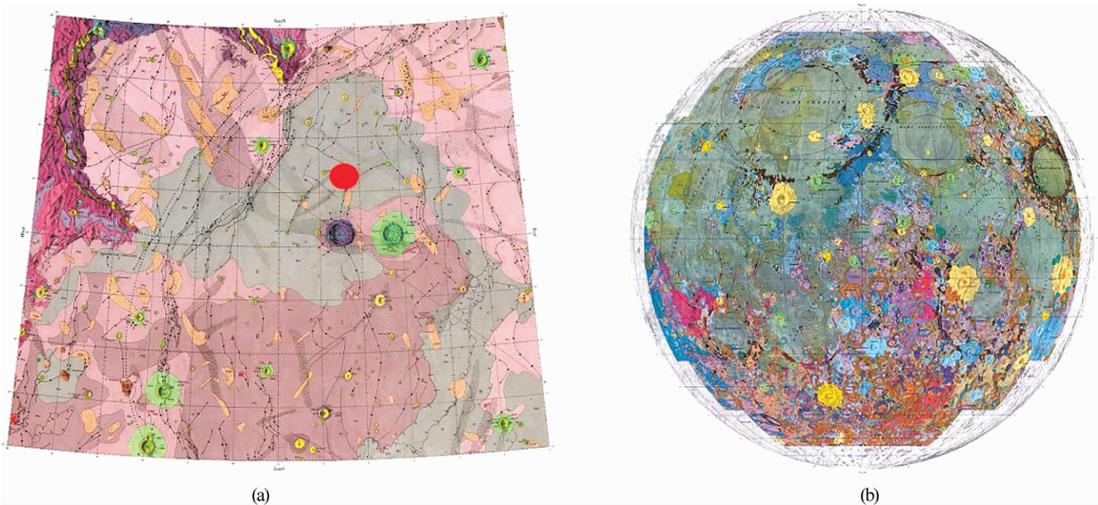


图 5 月球虹湾地区地质图(a 图, 红点表示嫦娥三号着陆位置)和月球正面地质图(b 图) (Geologic Atlas of the Moon, 2013)

Fig. 5 Geological Map of Sinus Iridum (a, Landing Site of ChangE-3 Rover in Red Spot) and of Nearside of the Moon (b) (Geologic Atlas of the Moon, 2013)

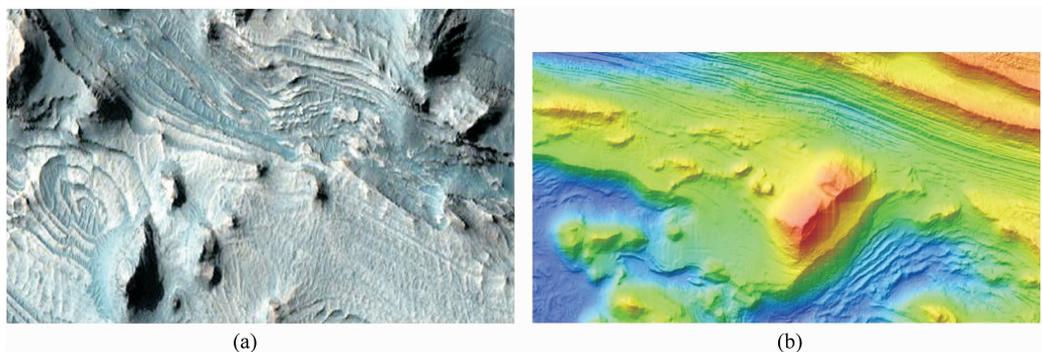


图 6 火星高清照片: Candor Chasma (6.5°S, 283.1°E) 地区出露岩层 (a) 和对应的 DEM 图 (b)

Fig. 6 High Resoluton Images of the Mars: Layered Structural Stratum near Candor Chasma (Lat -6.5°, Long 283.1°) (a) and its DEM map (b) (<http://www.uahirise.org/katalogos.php>; <http://hirise.lpl.arizona.edu/dtm/>)

卫星搭载的精度达到 18m 分辨率的用于探测火星表面矿物,尤其是水成矿物的光谱仪。这两个链接提供了全球 CRISM 图件(最小比例尺为 150 万)和分析该数据的软件。③火星遥感图件数据集(ASU THEMIS Global Data Sets 和 THEMIS Data Distribution Website)。前者提供了利用 2001 年发射的 Mars Odyssey 卫星搭载的 THEMIS 热辐射成像系统、1996 年发射的 MGS 卫星的 MOLA 数据和 TES 数据以及 19 世纪 70 年代发射的 Viking 卫星 IRTM(红外热成像仪)数据建立的火星热辐射、地形、热惯量、反照率等全球图件,用于分析赤铁矿、含 K 长石、斜长石、高 Ca 辉石、低 Ca 辉石、橄榄石、石英等火星表面矿物丰度。

6 PDS 数据处理流程及月球地形数据处理的研究

结合上面所有提到的 PDS 数据存储结构及工具和软件信息并以月球 LOLA 数据为例,阐述实际 PDS 数据产品使用经验和数据处理流程,建立高精度月球地形图。

Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)“月球勘查轨道号”卫星是 2009 年由 NASA 发射探测月球极区水冰、建立高精度月形图和月表矿物成分的月球轨道卫星。LOLA 就是 LRO 搭载的高精度激光高度计,利用单激光发射,五点反射接收的方式(Neumann et al., 2011; Zuber et al., 2010),建立 5m 间隔的高精度激光高程数据。截止到 2011 年,LOLA 仪器在月球表面已经采集到 50 多亿个激光点(Zuber et al., 2012)。我们在此选择 GDR 等级的数据(<http://geo.pds.nasa.gov/default.htm>)。本数据中 SOFTWARE/所包含的 NASA-View 就是用可以用来简单处理其中的 GDR 数据的,但为了应用高精度的数据,上述软件的功能受到了限制。此时需要参考上面详细的数据格式说明进行数据读取和数据转换得到能够识别和应用的月表高程数据。为了应用最高精度(1/1024)的数据除了以上数据转换外,还需要考虑大数据量处理所带来的一系列问题,此时普通的 Windows 下的软件根本无法实现,需要考虑 Linux 或 Unix 系统下以及能够处理大量数据以及对数据进行地理投影转换并建立具有科学使用价值的全月或局部投影图件的众多软件和处理技术。这些才是发挥 PDS 数据优势的最重要的技术环节。根据以上说明,现建立处理 LOLA 数据的基本流程(如图 7 所示)。根据以上数据处理思

路结合实际处理经验建立了高精度全月 Schmid 投影图(图 7 所示):

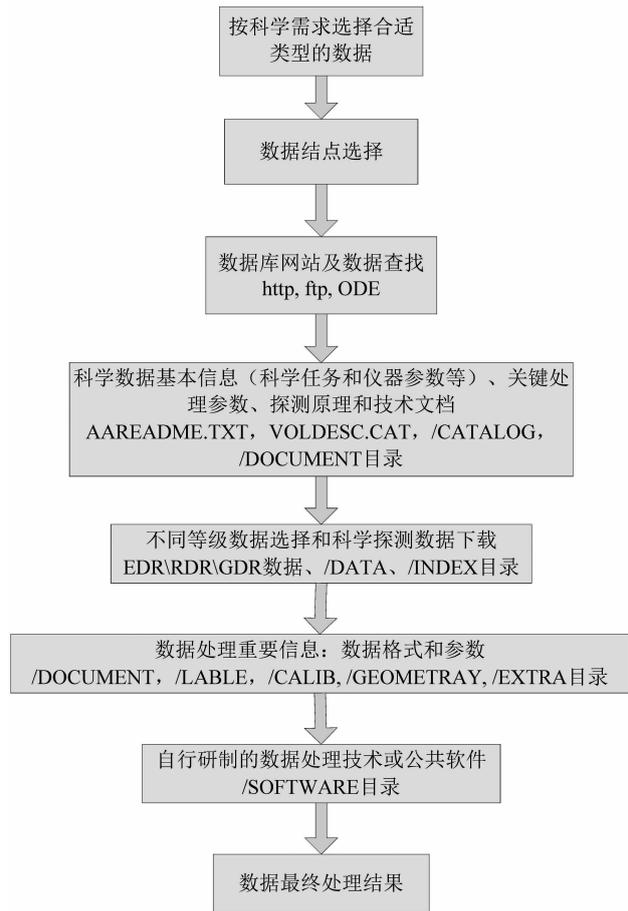


图 7 PDS 数据处理流程及数据文档结构的应用

Fig. 7 Flow Chart to process of PDS data, and application of its documentation

从图 8 中截取的区域中(图 9)可以看出,由于精度的提高(对比图 4),可以明显地看到月球表面位于亚平宁山脉附近的一条深沟(N7°, E13°)。在这张高精度图中,其他许多地方都能够找到这些类似构造。这些信息对于月球地形地貌分析非常重要。因此独立处理技术才是发挥高精度 PDS 数据最重要的技术环节。

7 PDS 数据库未来建设与改进建议的探讨

尽管 PDS 本身所提供的数据存储和发布的标准已经渐趋完善,然而在今后亟待发展的就是为专门领域的研究提供专业的、高精度的、复合信息的数据或图件平台,而不仅是像 PDS 一样的仅仅是数据本身。这主要从以下几个方面进行论述。

(1) 同类数据产品的联合处理(Integrated

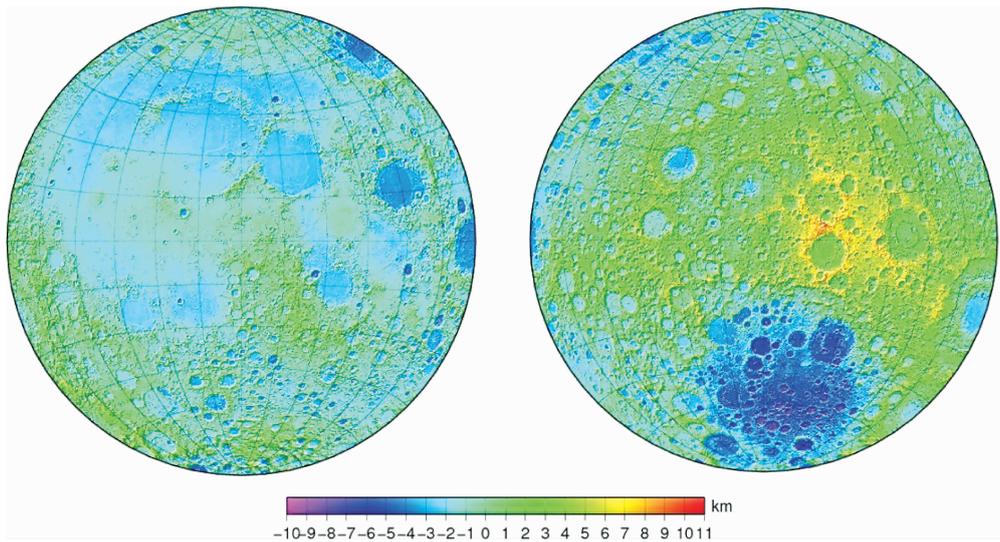


图 8 全月球地形 Schmid 投影图

Fig. 8 Topography in globe of the Moon in Schmid Projection

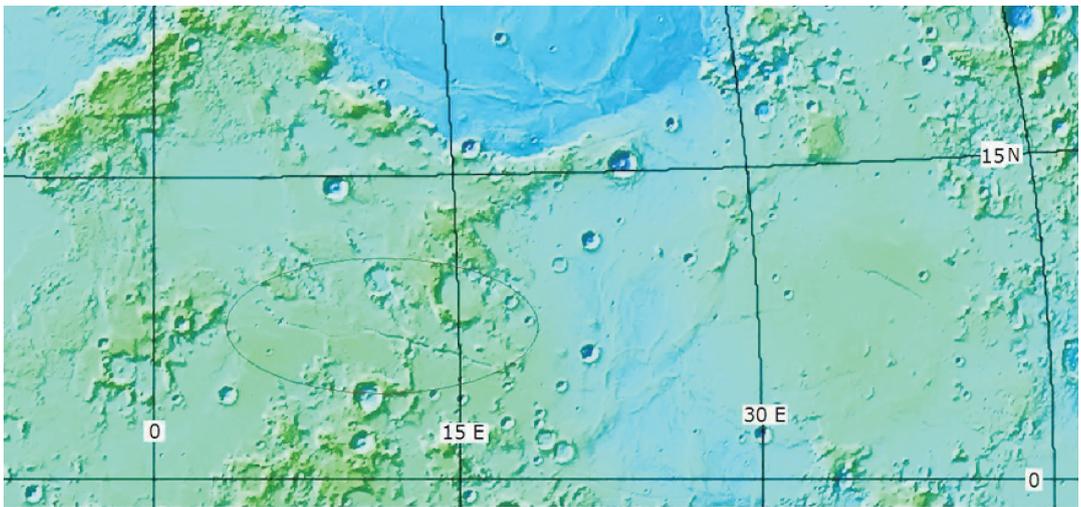


图 9 月球雨海以南深断裂的出露

Fig. 9 Deep Crack over the South of Mare Imbrium Easily Seen from the High Resolution Map

Processing of Similar and/or Different Types of Data Products)

如何将最新探测数据与历史探测数据相融合是利用 PDS 数据库建立高精度、可靠的行星图件并获取地质信息的基础。尽管后期任务较前期任务在探测精度和覆盖率上有较大的改进,但是不同时期的探测数据都为行星探测提供不同层面的信息。这主要表现为以下两个方面:第一,同一区域相同频段不同精度的数据需要联合处理。例如,LRO 任务中针对地形影像的探测提供了可见光频段范围内不同的广角相机 WAC 和窄角高精度的 NAC 数据的融合问题。尽管 NAC 能够提供至今最高精度(0.5m 分辨率)光学影像数据,但是由于其可视范围较小,需

要大大延长探测任务才能保证全月覆盖,这一问题在月球赤道处尤为明显。此时就需要利用 NAC 的高精度数据与 WAC 数据在同一探测区域进行校正和补充,从而建立全月高精度影像图件。再者,1994 年 Clementine 任务的 UVVIS 数据与 2009 年 Chandrayaan-1 任务的 M³ 数据都是为获得月表矿物分布进行的光谱探测,但是后者能提供更高的光谱分辨率和空间分辨率。如何针对 M³ 及 UVVIS 数据来建立更宽光谱频段范围的高精度月表矿物成分是值得深入研究的。尽管激光高度计能为行星探测提供最高精度的地形数据,但是其本身探测技术的局限性,导致其探测数据都是局限于某个探测点。因此,不同历史探测任务所提供的不同精度以及不

同位置的激光高度数据可以进行相互补充与矫正,并提高单位面积内的激光探测点的覆盖率。

第二,同一科学目标不同探测方法的结合。为了获得某一区域甚至是全月表面的矿物分布特征,不同探测任务采用不同的光学频段及不同探测方法进行月表探测。USGS 就是利用 20 世纪 60 年代的 Lunar Orbiter 系列卫星所获得的全月反照率的数据特征对月表进行矿物识别和地质填图的。然而,随着后续任务多光谱、高光谱仪器的研制及特征光谱数据的研究,将矿物的识别从可见光扩展到了近红外和紫外光谱频段的范围内,尤其可以探测到某些深成矿物的分布特征,如橄榄石、尖晶石等(Isaacson et al., 2011; Pieters et al., 2011)。此外,高精度地形数据的建立也是个很好的例子。由于激光高度数据可以很好地提供探测点与月球几何中心的距离数据,因此要想建立高精度地形图件,除了处理利用上面提到的高精度影像数据外还要利用高精度的激光高度数据来为这些影像数据提供约束。

尽管不同任务提供了不同方式和不同精度的探测数据,然而这些数据从不同角度为行星探测科学目标提供了重要信息,如何最大化地利用这些探测数据是未来建设新的 PDS 科学图件库的基础。

(2) 数据产品的二次开发 (Secondary Development of Data Products)

正如上面所述,有效地利用所有的探测数据能够建立高精度的、可靠的行星图件。然而,这些图件

只是限于元素、矿物、地形影像、地形高程、重力异常等某一方面的数据产品或地质信息,要想对行星地质结构及演化有所认识更需要对这些信息进行再次研究与二次开发,建立有关地形地貌图件、行星地质图、行星构造图件以及月球内部结构等信息的数据库或图件。

(3) 不同学科数据的联合应用 (Integrated Application of Varied of Data Products)

虽然,PDS 所提供的行星探测数据量非常庞大,但是其所涉及的学科领域对于行星本身的结构和演化的研究还是非常有限的。这是因为,其中的遥感数据限制于行星表面的元素和矿物分布特性,无法与深部物质结构建立关系;重力数据的多解性需要借助地质、地球物理等其他深部资料来提供额外约束,然而这方面的数据却又很少;返回的样品局限于有限区域范围的特殊地质背景条件下所形成的矿物和岩石样本,其适用范围及可信度还需要多方面的考证。基于诸多原因,为了能够更好地开展行星研究,非常需要将不同类型、不同学科领域的探测数据进行联合分析和对比。

这正如 Lucey et al. (1998, 2000) 通过分析 Apollo 15 返回样品中的玄武岩成分鉴别出了月球上独有的 KREEP 型玄武岩成分,并将这一成分的光谱特征作为未来遥感数据识别和划分月球表面 KREEP 岩的重要标志性特征,并建立了月球风暴洋地区 KREEP 岩的分布区域。又例如,在月球极区水冰探测的过程中,不同科学小组分别利用月球

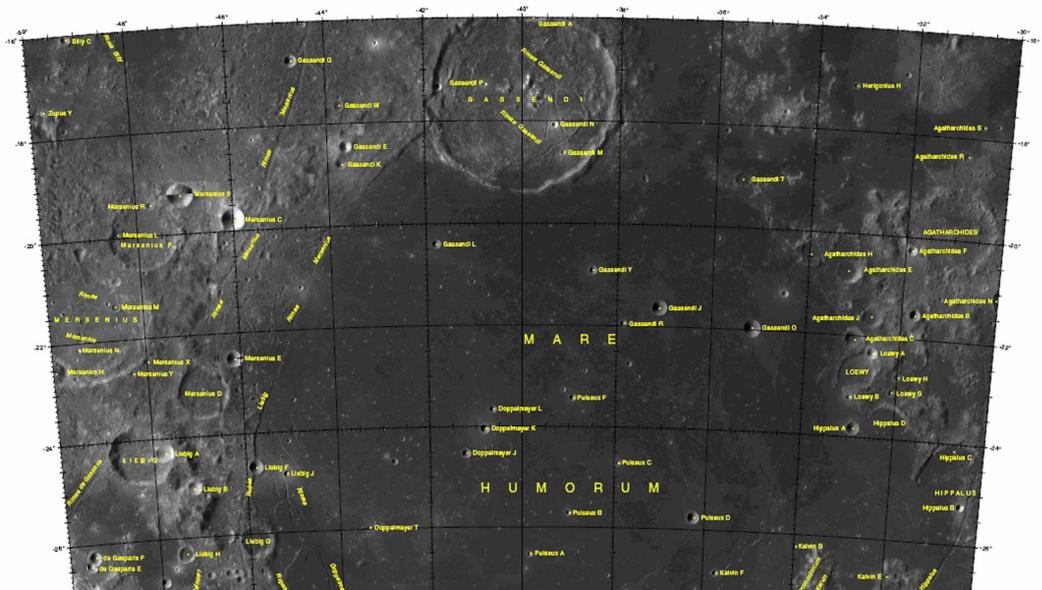


图 10 月球湿海地形影像及名称标识(<http://planetarynames.wr.usgs.gov/>)

Fig. 10 Image of Mare Humorum and nomenclature(<http://planetarynames.wr.usgs.gov/>)

极区光照条件、温度测量、羟基、氢原子、雷达、撞击溅射物成分识别等多种数据和探测方法对水冰存在的可能性及其分布特征进行了多学科的研究和分析工作。这些工作都需要不同学科领域、不同类型探测数据的联合分析和综合处理才能实现。

(4) 行星坐标系统和地名标识 (Planetary Reference Frame and Nomenclature)

行星坐标系统和地名标识都是由 IAU (International Astronomical Union 国际天文学协会) 负责实施的。其中,行星坐标系统的精确标定,不仅涉及到行星本身的天文学参数,更涉及到行星地质图件及地质研究的准确性(Archinal et al., 2010)。日本与美国对于月球地形的探测结果主要就是由于坐标系统上的差异,导致全月地形高程起伏存在 1 km 的差别 (Araki et al., 2009; Smith et al., 2010)。IAU 负责的行星坐标系统标定包括行星、行星的卫星、小行星、彗星及矮行星的系统坐标的精确测定。

地名的标识是利用地表遥感探测数据对于不同星体上的不同地貌构造特征进行了分类标注并定义国际名称。月球上就标示了 18 种具有不同地貌或构造特征的地质体的名称,其中包括月海、月坑、月坑链、月溪、月谷、月槽、月山、月脊等。今后的月球图件及地质体的研究和标识随时需要不断改进行星坐标系统数据及补充最新地质体名称。

(5) 数据软件的开发及数据产品的转化 (Development of Data Processing Software & their Relative Science Products)

PDS 行星数据库发布的数据产品的级别是多种多样的。PDS 中所提供的常用软件和工具是针对较高等级数据产品进行识别、读取以及图件转化的。然而要建立高精度行星图件,原始级别的数据处理过程及方法是非常重要的。针对原始级别数据处理要更多地涉及探测仪器的基本原理、仪器参数校正、去噪、滤波、解算所需要的地质物理参数、区域选取、建立图件等一系列的处理过程。基于这些处理流程所建立的数据处理流程及开发的软件是今后建立 PDS 数据处理的一个重要的拓展方向。另一方面,对于大多数的行星遥感数据,一些商业软件提供了对于某些数据格式文件的处理流程及工具,例如 ENVI、Geomatics 遥感软件。如何将 PDS 行星数据格式的标准与商业软件的数据格式相结合是处理和转化 PDS 行星数据的重要方面。

(6) 大型数据库及多结点管理及其技术实现的

建议 (Construction and Management of Large Data Base)

仅仅类地行星的 PDS 数据就已经达到了接近 1PB 的数量级。为了提供这些数据的快速查找、索引列表、图件展示等数据库处理工作,大型或超大型数据库的建立及数据库管理是为今后行星数据库建设的最大难题。除了稳定的系统平台、大型数据库管理系统的选择、超高速网络设备等基本问题外,这种数量级的数据的多结点存储、管理及查找成为了制约整个数据平台系统的最大问题,例如如何对数据进行分布式存储和管理、如何在多服务器结点进行联合快速查找、如何根据用户要求提供任意指定区域范围内的图件拼接与显示等功能。

为了适应海量数据库的网络数据存储、搜索和传输,PDS 在新数据库标准 (PDS4) 中将采用 XML 语言对海量行星数据库脚本进行编辑和改写 (Guinness et al., 2015)。XML 语言是基于网络的大型数据库标识语言,主要用于网络上的大型数据库传输、数据存储和数据搜索 (Evjen et al., 2007)。不仅如此,还提出了针对 PDS 海量数据检索功能的初步研究和实现 (杜钢虎, 2010)。

(7) 我国行星数据结点建设的建议 (Advices for China Planetary Data System)

本文的开头介绍了有关当前我国行星数据库平台的情况,对比来看我国行星数据库系统平台刚刚建立,急需利用 PDS 建立的发展经验完善并升华我国行星数据库系统平台。首先,建议由专门的仪器研发部门建立原始数据管理平台,并负责原始数据发布和仪器参数定标工作及参数公布。其数据存储的标准可借鉴 PDS 行星数据发布标准 (JPL, 1995, 2008, 2009); 第二,将不同等级的数据产品由统一的部门进行标准化审核并存储在不同的结点上。将不同等级数据存储在不同的数据结点上能够减轻集中大型数据管理所带来的负荷; 第三,更高等级数据产品 (如地质图件系列、大地测量图件系列) 可由专门的部门进行后续的数据处理和研究工作以及这些新数据和图件的发布工作,如行星地质图件就是专门由美国地质调查局和美国月球与行星研究所对已经建立的遥感信息进行二次处理并发布的,包括行星表面地质图、地形地貌图等; 第四,对这些分布在不同结点的数据库进行统筹管理,建立统一的分布式数据管理平台,从而为科学家提供统一的、综合的数据搜索和分析平台; 第五,将最新的科学探测成果以生动的方式对公众开展科普教育,让公众了解

当前最新的行星探测科学成果、科学意义以及对未来产业的促进作用。

8 结论

PDS 行星数据库是行星科学研究的基础,研究 PDS 行星数据标准和使用方法才是应用行星科学数据建立行星科学研究重要基石。本文结合上述 PDS 详细的数据结点存储结构分析、数据存储格式分析、数据文件分析、PDS 软件的研究以及结合月球地形数据处理过程分析和数据处理流程可以很好对 PDS 进行深入的认识和了解,方便中国科学家对于行星数据的获取和研究工作,尤其是“地质科学结点”列出了所有与行星地质有关的数据软件工具和链接数据库,方便查找所需的地质数据信息,同时提供了从多科学和比较行星学的角度研究行星结构和演化的过程及未来对 PDS 行星数据库建设的建议。希望本文能够为广大中国行星科学家和我国行星数据共享平台及与之类似的地球科学数据共享平台的建设提供重要参考。

致谢:在本文的修改工作中,特别感谢山东大学(威海分校)凌宗成教授和国土资源部航遥中心闫柏琨教授对本文提出的修改意见和指导性工作,其中本小组项目与山东大学(威海分校)长期合作,且作为国内唯一与国际合作的 PDS 结点为我国行星科学家第一时间获取和使用行星探测数据提供了部分接口和中文标准。

参 考 文 献

郑岩,邹自明,佟继周,马文臻. 2009. 行星科学数据系统(PDS)标准规范的研究. *E-Science*, 2009(1):42~49.

杜钢虎. 2010. 面向 PDS 数据的检索技术研究. 国防科学技术大学 2010 硕士论文.

凌宗成,张江,Wang A-lian,张鹏,夏利东,塞木伟. 2009. 山东大学威海 PDS 实验室简介. 见:探月与地学研究会议文集,北京:地质出版社,249~254.

Jolliff B L, Squyres S. 2013. 美国 2013~2022 年十年行星科学的设想与安排. 见:月球与火星探测科技高层论坛文集. 北京:地质出版社,28~37.

Wang A-lian, Jolliff B L, Grant J, Bell J, Wiczorek M 2013. 外国专家对中国深空探测研究的 4 点建议(原文和译文). 月球与火星探测科技高层论坛文集. 北京:地质出版社,21~27.

Araki H, Tazawa S, Noda H, Ishihara Y, Goosens S, Sasaki S, Kawano N, Kamiya I, Otake H, Oberst J, and Shum C. 2009. Lunar Global Shape and Pole Topography Derived from Kaguya-LALT Laser Altimetry. *Science* 323(5916): 897~900.

Archinal B A, A'Hearn M F, Bowell E, Conrad A, Consolmagno G J, Courtin R, Fukushima T, Hestroffer D, Hilton J L,

Krasinsky G A, Neumann G., Oberst J, Sidelann P K, Stooke P, Tholen D J, Thomas P C, Willimas I P, 2010. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements. *Celest Mech Dyn Astr, Special Report*.

Arvidson R E, Slavney S 2013. PDS background. St Louise: PDS Geosciences Node. [2013-12-27]. <http://geo.pds.nasa.gov/about/background.html>

Committee on the Planetary Science Decadal Survey, Space Studies Board (SSB), Division on Engineering and Physical Sciences (DEPS), National Research Council. 2011. *Vision and Voyages for Planetary Science in the Decade 2013 ~ 2022*. Washington DC: The National Academies Press.

Evjen B, Sharkey K, Thangarathinam T, Kay M, Vernet A, Ferguson S, 2007. *Professional XML*, Birmingham: Wrox Publisher.

ESA Planetary Science Archive, 2013. Paris: European Space Agency. [2013-12-27]. <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA&page=ftpAccess>.

Folkner W M, Williams J G, and Boggst D H, 2009. The Planetary and Lunar Ephemeris DE 421, IPN Progress Report 42~178.

Geologic Atlas of the Moon, 2013. Lunar and Planetary Institute, US; Universities Space Research Association(USRA). [2013-12-27]. <http://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/usgs/>.

Guinness E A, Arvidson R E and Slavney S, 1996. The Planetary Data System Geosciences Node. *Planetary Space Science*, 44 (1): 13~22.

Guinness E A and Gordon M K, 2015. The Planetary Data System New Geometry Metadata Model, Secondary Planetary Data Workshop, #7027.

Hecht M, Slavney S, Stanboli A, Zamani P, 2008. Phoenix Project, Software Interface Specification (SIS), MECA Non-imaging Experiment Data Record (EDR). JPL D-33230. California: California Institute of Technology.

Isaacson P J, Pieters C M, Besse S, Clark R N, Head J W, Klima R L, Mustard J F, Petro N E, Staid M I, Sunshine J M, Taylor L A, Thaisen K G and Tompkins S, 2011. Remote compositional analysis of lunar olivine-rich lithologies with Moon Mineralogy Mapping (M^3) spectra. *Journal of Geophysical Research*, 116, E00G11.

Jet Propulsion Laboratory (JPL), 1995. Planetary Data System Data Preparation Workbook v3. 1. JPL D-7669, Part 1. California: JPL California Institute of Technology.

Jet Propulsion Laboratory (JPL), 2008. Planetary Science Data Dictionary Document, Jet Propulsion Laboratory. JPL D-7116. California: JPL California Institute of Technology.

Jet Propulsion Laboratory (JPL), 2009. Planetary Data System Standards Reference v3.8. JPL D-7669, Part 2. California: JPL California Institute of Technology.

Kahan D, 2013. GRAIL Data Product Software Interface Specification v1. 5. JPL D-76383. California: California

- Institute of Technology.
- Lucey P G, Blewett D T, Hawke B R, 1998. Mapping the FeO and TiO₂ content of the Lunar Surface with Multispectral Imagery. *Journal of Geophysical Research*, 103(E2): 3679~3699.
- Lucey P G, Blewett D T, Jolliff B L, 2000. Lunar Iron and Titanium Abundance Algorithms Based on Final Processing Clementine UVVIS Images. *Journal of Geophysical Research*, 105(E8), 20297~20305.
- Memahon S K, 1996. Overview of the Planetary Data System. *Planetary and Space Science*, 44(1): 3~12.
- Murchie S, Guinness E, Slavney S, 2012. Mars Reconnaissance Orbiter, CRISM Data Product Software Interface Specification Version 1.3.7.1. US: JHU/APL & Washington University in St. Louise.
- Neish C, 2012. Mini-RF Calibration. [2013-12-27]. http://pds-geosciences.wustl.edu/lro/lro-1-mrflro-2_3_5-bistatic-v1/lromrf_2xxx/calib/minirf_calibration.pdf.
- Neumann G A, Smith D E, Scott S, Slavney S, Grayzek E, 2009. Lunar Reconnaissance Orbiter, Lunar Orbiter Laser Altimeter, Experiment Data Record and Software Interface Specification v2.4. US: LOLA Science Team, NASA Goddard Space Flight Center, MD.
- Neumann G. A, Smith D E, Scott S, Slavney S, Grayzek E, 2010. Lunar Reconnaissance Orbiter, Lunar Orbiter Laser Altimeter, Reduced Data Record and Derived Products, Software Interface Specification v2.53. US: LOLA Science Team, NASA Goddard Space Flight Center, MD. Planetary Data System(PDS) official website, <http://pds.jpl.nasa.gov/>
- Pieters C M, Besse S, Boardman J, Buratti B, Cheek L, Clark R. N, Combe J P, Dhingra D, Goswami J N, Green R O, Head J W, Isaacson P, Klima R, Gramer G, Lundeen S, Malaret E, Mccord T, Mustard J, Nettles J, Petro N, C Runyon. , Staid M, Sunshine J, Taylor L A, Thaisen K, Tompkins S and Whitten J, 2011. Mg-Spinel lithology: A new rock type on the lunar farside. *Journal of Geophysical Research*, 116(E6), E00G08.
- Reid M, Bussey B, Winters H, Lavallee D B, Slavney S, and Acton C, 2010. PDS Archive Volume Software Interface Specification (SIS) For Mini-RF Advanced Technologies - Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO). US: Mini-RF program, JPL.
- Riris H, Cavanaugh J, Neumann G, Saylor R S, Bartels A, 2010. Lunar Reconnaissance Orbiter Project Calibration Document for the Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) Instrument Revision-2. US: Goddard Space Flight Center, Maryland, NASA.
- Smith D E, Zuber M T, Neumann G A, Lemoine F G, Mazarico E, Torrence M H, Mccarry J F, Rowlands D D, Head III J W, Duxbury T H, Aharonson O, Lucey P G, Robinson M S, Barnouin O S, Cavanaugh J F, Sun X, Liiva P, Mao D, Smith J C, and Bartels A E, 2010. Initial Observations from the Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA), *Geophysical Research Letters*, 37(18): L18204.
- Tanaka K L, Skinner J A, Hare Jr and T M, 2010. Planetary Geologic Mapping Handbook. U. S. Geological Survey.
- Zuber M T, Head J M, Smith D E, Neumann G A, Mazarico E, Torrence M H, Aharonson O, Tye A R, Fassett C I, Rosenburg M A, and Melosh H J, 2012. Constraints on the volatile distribution within Shackleton crater at the lunar south pole. *Nature*, 486: 378~382.
- Zuber M T, Smith D E, Zellar R S, Neumann G A, Sun X L, Katz R B, Kleyner I, Matuszeski A, Mccarry J F, Ott M N, Ramos-Izquierdo L A, Rowlands D D, Torrence M H, and Zagwodezki T W, 2010. The Lunar Reconnaissance Orbiter Laser Ranging Investigation. *Space Science Review*, 150(1~4): 63~80.

Research on Planetary Data System and Application

YANG Hongwei, ZHAO Wenjin, WU Zhenhan

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Planetary Data System (PDS), a platform to archive and distribute all planetary data sets by NASA, is fundamental to research and developments on planetary science. Standards, data organizations, processing program of the PDS, which were jointly established by planetary institutions and universities, have become a footstone for storage and application of THE PDS. Accordingly, the profound research on these standards is a basis of understanding and applying these data sets. Starting from the PDS science significance and its initial goals and missions, this study analyzes especially PDS storage structures and then presents the most convenient and practical data application methods and practical experiences regarding to usage of software and tools. At last, this study illustrates the procedure of data processing and results through a real example and proposes consideration for future developments of the PDS, in hope of providing an important reference for Chinese planetary scientists to construct the similar planetary data system platform. Meanwhile, the PDS, as a more comprehensive data system platform, will provide an important basis for construction of China's Earth science data system.

Key words: PDS (Planetary Data System); data archive organization; PDS tools; flow of PDS data processing; proposal of PDS future development