

DOI: 10.13745/j.esf.sf.2021.7.12

月球地质图空间数据库设计

金 铭^{1,2}, 丁孝忠^{1,2,*}, 韩坤英^{1,2}, 刘建忠³, 凌宗成⁴, 许可娟^{1,2}, 庞健峰^{1,2}, 邵天瑞^{1,2}

1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037
2. 中国地质调查局 全国地质编图研究中心, 北京 100037
3. 中国科学院 地球化学研究所 月球与行星科学研究中心, 贵州 贵阳 550081
4. 山东大学 空间科学研究院 山东省光学天文与日地空间环境重点实验室, 山东 威海 264209

JIN Ming^{1,2}, DING Xiaozhong^{1,2,*}, HAN Kunying^{1,2}, LIU Jianzhong³, LING Zongcheng⁴, XU Kejuan^{1,2}, PANG Jianfeng^{1,2}, SHAO Tianrui^{1,2}

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*
2. *National Geological Mapping Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China*
3. *Lunar and Planetary Science Research Center, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China*
4. *Shandong Provincial Key Laboratory of Optical Astronomy and Solar-Terrestrial Environment, Institute of Space Sciences, Shandong University, Weihai 264209, China*

JIN Ming, DING Xiaozhong, HAN Kunying, et al. Design of spatial database for the geological map of the Moon, *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(2): 343-353

Abstract: China is about to complete the compilation of its 1:2.5 million digital geological map of the entire lunar surface. In order to facilitate the storage, management, integration and sharing of the geological map data, it is necessary to build a comprehensive and practicable spatial database. In this paper, the geological spatial database feature classes were catalogued and classified comprehensively through mapping exercise. The feature class contains four main categories—material class, structural class, other special symbols class and annotation class, which are subdivided into 13 subcategories and 40 further subcategories. Extensible classification codes were designed based on this classification scheme. Spatial feature classes are organized and managed using layers. The layer name is formed as follows: the first four bits are the map number, the fifth bit is the scale code, and the following is the abbreviation of the English name of the layer. Each layer is associated with an attribute table. The field name, alias, type, empty or not, length, decimal places and units of all fields in the attribute table were defined and standardized. As an example the structure of the attribute table for crater materials, mare basalts, impact fractures and elevation points are described in detail. The primary key of the attribute table is “Feature_ID”, which is used to uniquely identify an element. The “Feature_ID” is composed of four 14-bit codes: map number, scale bar code, classification code and element sequence code. The database is designed following the principle of scalability so it can be referenced by spatial databases for other map areas or scales. Here, the design of a spatial database for the geological map of von Carmen impact crater is presented. Scientific and practicable database design is the premise of database construction, and it will play an important part in storage management and international sharing of the lunar mapping results.

收稿日期:2021-04-30;修回日期:2021-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41941003);科学技术部科技基础性工作专项(2015FY210500);中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目(J2021);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDY-SSW-DQC028)

作者简介:金 铭(1984—),女,助理研究员,主要从事地质编图与行星遥感研究。E-mail: jinmingjsh@163.com

* 通信作者简介:丁孝忠(1963—),男,研究员,主要从事区域地质与地质编图研究。E-mail: xiaozhongding@sina.com

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘,2022,29(2)

Keywords: spatial database; geologic map of the Moon; table structure; encoding rules

摘要:我国即将完成 1:2 500 000 全月球数字地质图编制,为便于成果数据存储管理和集成共享,需要建立完备合理的空间数据库。本文基于本次编图工作实践,对月球地质图空间数据库要素内容进行了全面整理和归类。月球地质图空间数据库要素包括物质要素、构造要素、其他特殊符号、注记共 4 个大类,在大类基础上细分为 13 个中类及 40 个小类,并据此设计了具有可扩展性的要素分类代码。空间要素采用分层的方式进行组织管理,图层名前 4 位为所属图幅号,第 5 位为比例尺代码,其后为图层英文名称的缩写。每个要素图层与一张属性表关联,对属性表所有字段的字段名称、别名、类型、能否为空、长度、小数位及单位进行了定义和规范。本文选取月表撞击坑坑物质、月海岩石、撞击断裂及高程点要素详细阐述了其属性表结构。属性表主键为“要素标识号”,用于唯一标识某一个图元,其由图幅号、比例尺代码、要素分类代码、图元顺序码四层 14 位层次码构成。数据库设计遵循可扩展原则,特定区域或其他比例尺的月球地质图空间数据库建设也可参照执行,本文以月球冯·卡门撞击坑及邻区地质图为例进行了空间数据库设计。科学合理的数据库设计是数据库建设的前提,将为编图成果存储管理、集成共享与国际合作提供重要支撑。

关键词:空间数据库;月球地质图;库表结构;编码规则

中图分类号:P184.64 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2022)02-0343-0011

0 引言

地质编图是集中体现各种地质研究成果的主要手段,是一项要求严格的系统性工程^[1]。由于地质图是体现一个国家地质研究程度和科学技术水平的主要标志,各个国家及国际地学组织都高度重视^[2-3]。

随着我国月球探测工程的稳步实施,“嫦娥一号”与“嫦娥二号”获取了大量覆盖全月球的影像数据,随后,有关月球形貌、物质成分及月壤特性等诸多研究成果相继发表^[4-9]。目前,我国正在开展 1:2 500 000 全月球数字地质图编制工作,该工作以“嫦娥一号”全月影像数据为基础,以其他月球探测数据如“月球勘探者号”伽马射线(GRS)数据、Clementine紫外可见光(UV-VIS)数据及月球勘测轨道器数据等为辅助,将全月球划分为 30 个图幅区域,按照统一的制图标准,全面总结、集成国内外月球形貌、物质成分、岩浆活动、地质构造和年代学等研究成果。系列图件的编制是一项多单位协同工作的系统工程,为便于成果数据存储管理和集成共享,必须建立完备合理的空间数据库。

近些年经过一系列月球探测活动,国际上参与探月的国家和研究机构已逐步积累并产生了大量探测数据及科学分析结果,各个国家或组织均开展了行星(月球)地质数据库建设以提供数据共享服务。美国建立了 PDS 行星数据系统,该系统是美国 NASA 所有行星探测任务科学探测数据的数据库系统平台;欧空局针对火星探测数据建立

了行星科学数据归档系统 PSA;日本的航空探测部在青山学院大学建立了 2 级数据归档分发系统,然而其影像数据库处于停运状态;为完成我国探月工程数据的存储与发布,我国建立了探月工程数据发布与信息服务系统。上述数据库系统均是针对探测数据进行存储发布,而地质图等更高等级数据产品是在对探测数据进行后续处理和研究的基础上生产而成。为有效管理和组织地质图数据,并为广大科学家、教育者和公众共享月球探测科学成果,需要建设月球地质图空间数据库及相应的服务系统。因此,建立科学合理的数据库设计方案是必备工作之一。

本文采用科学的分类体系,对月球地质图空间数据库要素进行了系统全面的整理和归类。设计了规范的空间数据库结构,并根据要素分类,设计类别、等级明确的编码规则,以满足我国当前月球地质图空间数据库建库以及数据交换、应用等需求。同时,数据库设计遵循可扩展原则,无论是要素分类、图层命名、编码规则等均可按本文定义的原则或结构进行扩充。其他比例尺或特定区域的月球地质图空间数据库建设也可参照执行。

1 月球地质图空间数据库需求分析

1.1 空间数据库设计的目标与原则

月球地质图空间数据库设计的目标是将月球现实场景要素描述为计算机世界中的空间数据模型,用于指导空间数据库建设并服务于相应的应用系统。空间数据库的设计遵循以下原则:(1)完备性与

可扩展性;(2)数据结构及数据编码的标准性,建立规范化的数据库结构和编码体系;(3)最小冗余度;(4)数据精度的合理性。数据库设计过程中,参照正式颁布的信息分类编码及相关标准,保证空间数据库设计的科学性、规范性。

1.2 要素内容分类

根据目前月球探测及研究的最新成果,月球地质图主要表达各类型构造、物质成分及地质时代等要素内容,是反映月球地质演化历史的重要图件。根据要素从属关系将月球地质图要素类型依次分为3级:大类、中类、小类。分类原则为既反映要素的类型特征,又反映要素的相互关系。若随着对月球研究的深入,识别出更多更细的要素内容,可根据要素从属关系将其归入相应的大类、中类、小类,或在小类基础上进一步划分第四层“细类”。

月球地质图中表现的所有要素分为4个大类,分别是:物质要素、构造要素、其他特殊符号和注记,如图1所示。

物质要素包括坑物质、盆地建造、月海岩石、非月海岩石和特殊岩石5个中类,在此基础上划分为24个小类。坑物质和盆地建造由外动力地质作用形成。月表最明显的特征是小天体撞击月球留下的撞击坑,其中直径大于200 km的撞击坑称为盆地。撞击作用形成撞击坑或盆地构造的同时,形成了具有独特性质的撞击物质,撞击物质可与地球上的“地层”进行类比。根据撞击作用形成的时代,将坑物质划分为哥白尼纪、爱拉托逊纪、晚雨海世、早雨海世、雨海纪未细分、酒海纪、艾肯纪和年代未确定8个小类^[10];将盆地建造划分为雨海纪、酒海纪和艾肯纪3个小类^[11]。岩石类物质要素形成于内动力地质作用过程中,编图中将其划分为月海岩石、非月海岩石和特殊岩石3个类别^[12-15]。月海岩石即月海玄武岩。非月海岩石指高地岩石,此次编图根据最新研究成果将其划分为KREEP岩套、KREEP玄武岩、镁质斜长岩套、亚铁苏长岩套、亚铁斜长岩套、镁质岩套和碱性岩套7个小类。特殊岩石指月表少量存

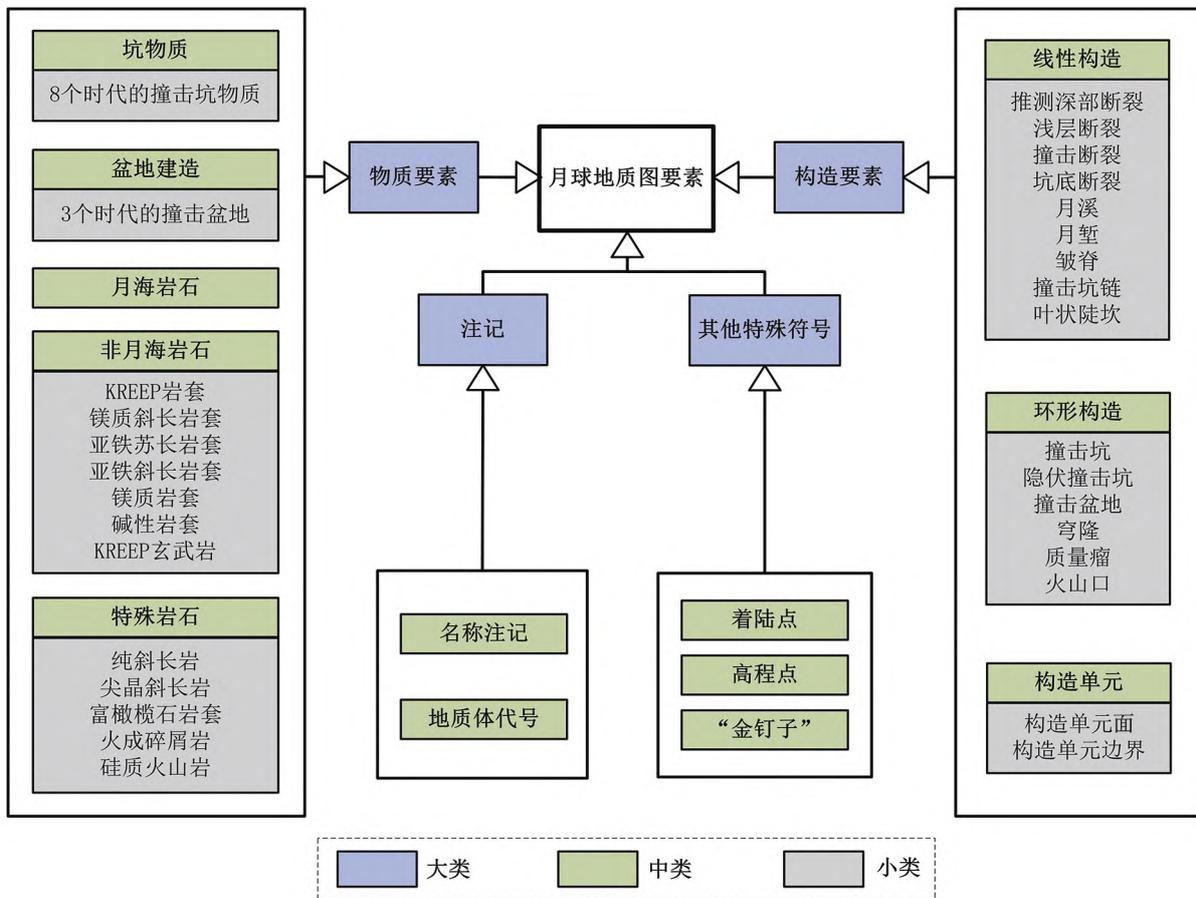


图1 月球地质图空间数据库要素分类及要素之间关系

Fig.1 Classification and relationships between the lunar geological map spatial database feature classes

在岩石类型,包括纯斜长岩、尖晶斜长岩、富橄橄榄石岩套、火成碎屑岩和硅质火山岩 5 个小类。

构造要素分为线性构造、环形构造和构造单元 3 个中类^[16-20],在此基础上划分为 17 个小类。线性构造包括外动力地质作用形成的撞击断裂、撞击坑链及内动力地质作用形成的推测深部断裂、浅层断裂、坑底断裂、月溪、月堑、皱脊和叶状陡坎 9 个小类;环形构造包括形成于外动力地质作用过程的撞击坑、隐伏撞击坑、撞击盆地和形成于内动力地质作用过程的穹隆、火山口、质量瘤 6 个小类;构造单元包括以面状表示的构造单元和以线状表示的构造单元边界。

其他特殊符号指的是探测器着陆点、高程点和“金钉子”3 种不便归类的由点状符号表示的要素类别。

注记包括名称注记和地质体代号 2 个类别。仅物质要素大类中的要素内容具有地质体代号注记。人类自 17 世纪 50 年代开始对月表地貌进行命名,迄今已命名的月球地貌包括撞击坑、撞击盆地、月海、月溪、探测器着陆点等;名称注记包括上述内容。

1.3 要素分类代码

根据月球地质图要素分类情况,按照《信息分类和编码的基本原则与方法》^[21],并参考国家标准《基础地理信息要素分类与代码》^[22](GB/T 13923—2006),要素分类代码采用 4 位十进制数字层次码组成,分别按数字顺序排列为大类、中类和小类。代码结构留有适当的扩充余地。具体代码结构如图 2。

第 1 位为大类码;

第 2 位为中类码,在大类基础上细分形成的要素类;

第 3~4 位为小类码,在中类基础上细分形成的要素类。

月球地质图数据库各类要素的代码见表 1。当表 1 提供的要素类型仍不能满足分类需要时,可按上述原则进行扩充。

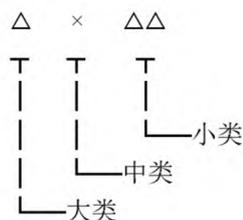


图 2 要素分类代码结构图

Fig.2 Structure diagram of feature class code

2 月球地质图空间数据库结构

2.1 月球地质图分幅方案

美国地质调查局在 2002 年行星地质编图年会上提出将全月划分为 30 个图幅区域进行 1:2 500 000 月球地质图编制的计划,然而其进程缓慢。在我国 1:2 500 000 月球地质图编制工作中,沿用该图幅划分方案(图 3)。赤道附近采用墨卡托投影,南北纬 30°~65°采用兰伯特投影,两极地区采用极坐标投影。月球地质图空间数据库由 30 个分幅图与全月地质图的空间数据组成,以图幅为单位进行存储管理。

2.2 空间要素组织管理

空间要素采用分层的方法进行组织管理,详见表 2。不同图幅的同一图层要素,其几何特征一致。图层名以图幅号进行区分,具体为:前 4 位为所属图幅号(图 3);第 5 位为比例尺代码,Z 代表 1:2 500 000;第 6 位为下划线;其后为图层英文名称的缩写,缩写词之间用下划线分隔。单词缩写主要遵循以下规则:(1)取单词的第一个音节,并自辅音之后省略,例如,Crater 缩写为 Cra。缩写后的英文长度不超过 4 个字符。(2)英文名称长度不超过 4 个字符时,直接取其全拼。(3)坑物质及盆地建造类别取多个单词的第一个字母组合。(4)对于具有约定俗成缩写的名词不使用单词缩写,如“金钉子”采用 GSSP。

2.3 属性表结构设计

每个空间要素图层均有一张属性表与其对应,用于存储空间要素的基本属性。针对每个要素图层,创建与其对应的属性表结构。属性表结构对某一图层的所有字段进行定义和规范,包括字段名称、别名、类型、能否为空、长度、小数位及单位。所有空间要素图层的属性表前 2 个字段均为要素标识号(Feature_ID)、要素分类代码(Feature_T),要素分类代码引用表 1,要素标识号编码规则见 2.4 节。要素标识号作为所有属性表的主关键字,用于唯一标识表中的每一行。

本文选取月表大量存在的坑物质、月海岩石、一种线状构造(撞击断裂)及高程点要素,详细阐述其属性表结构,其余要素图层的属性表结构不再赘述。

以坑物质要素为例,表 3 列出了适用于所有时代坑物质图层的属性表结构,对每个坑物质要素图

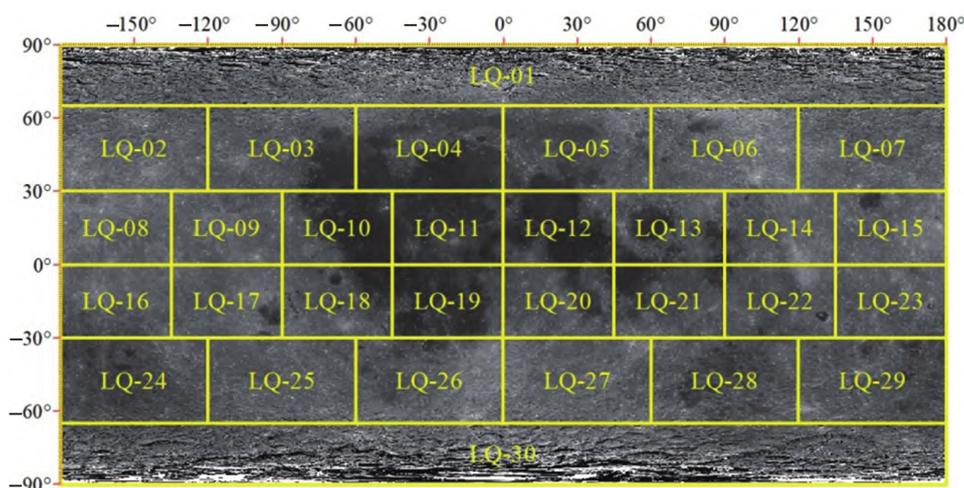


图 3 月球地质编图分幅方案(底图为嫦娥一号 CCD 影像)

Fig.3 Division scheme of lunar geological mapping (the base map is Chang'E-1 CCD image)

表 1 月球地质图数据库要素分类代码表

Table 1 Feature class codes used in the lunar geological map spatial database

分类代码	要素名称	分类代码	要素名称
1000	物质要素	2000	构造要素
1100	坑物质	2100	环形构造
1101	哥白尼纪坑物质	2101	撞击坑
1102	爱拉托逊纪坑物质	2102	隐伏撞击坑
1103	晚雨海世坑物质	2103	撞击盆地
1104	早雨海世坑物质	2104	穹隆
1105	雨海纪末细分坑物质	2105	火山口
1106	酒海纪坑物质	2106	质量瘤
1107	艾肯纪坑物质	2200	线性构造
1108	年代未确定坑物质	2201	浅层断裂
1200	盆地建造	2202	推测深部断裂
1201	雨海纪盆地建造	2203	坑底断裂
1202	酒海纪盆地建造	2204	撞击断裂
1203	艾肯纪盆地建造	2205	撞击坑链
1300	月海玄武岩	2206	月溪
1400	非月海岩石	2207	月堑
1401	KREEP 岩套	2208	皱脊
1402	KREEP 玄武岩	2209	叶状陡坎
1403	镁质斜长岩套	2300	构造单元
1404	亚铁斜长岩套	2301	构造单元面
1405	亚铁斜长岩套	2302	构造单元边界
1406	镁质岩套	3000	其他特殊符号
1407	碱性岩套	3100	着陆点
1500	特殊岩石	3200	高程点
1501	纯斜长岩	3300	“金钉子”
1502	尖晶斜长岩	9000	注记
1503	富橄榄石岩套	9100	名称注记
1504	火成碎屑岩	9200	地质体代号
1505	硅质火山岩		

表 2 图层内容、命名及几何特征
Table 2 Layer contents, names and geometrical characteristics

类别	图层内容	图层内容英文表述	图层命名	几何特征
坑物质	哥白尼纪坑物质	Copernican Crater Materials	△△△△×_Ccm	Polygon
	爱拉托逊纪坑物质	Eratosthenian Crater Materials	△△△△×_Ecm	Polygon
	晚雨海世坑物质	Late Imbrian Crater Materials	△△△△×_LIcm	Polygon
	早雨海世坑物质	Early Imbrian Crater Materials	△△△△×_EIcm	Polygon
	雨海纪未细分坑物质	Undivided Imbrian Crater Materials	△△△△×_UIcm	Polygon
	酒海纪坑物质	Nectarian Crater Materials	△△△△×_Ncm	Polygon
	艾肯纪坑物质	Aitkenian Crater Materials	△△△△×_Acm	Polygon
	未划分时代坑物质	Undivided Crater Materials	△△△△×_Ucm	Polygon
盆地建造	雨海纪盆地建造	Imbrian Basin Formations	△△△△×_Ibf	Polygon
	酒海纪盆地建造	Nectarian Basin Formations	△△△△×_Nbf	Polygon
	艾肯纪盆地建造	Aitkenian Basin Formations	△△△△×_Abf	Polygon
月海岩石	月海玄武岩	Mare Basalts	△△△△×_Mar_Bas	Polygon
非月海岩石	KREEP 岩套	KREEP Rock	△△△△×_KRE_Roc	Polygon
	KREEP 玄武岩	KREEP Basalt	△△△△×_KRE_Bas	Point
	镁质斜长岩套	Magnesian Anorthosite	△△△△×_Mag_Ano	Polygon
	亚铁苏长岩套	Ferroan Norite	△△△△×_Fer_Nor	Polygon
	亚铁斜长岩套	Ferroan Anorthosite	△△△△×_Fer_Ano	Polygon
	镁质岩套	Mg-Suite	△△△△×_Mg_Sui	Point
	碱性岩套	Alkali Suite	△△△△×_Alk_Sui	Point
	特殊岩石	纯斜长岩	Pure Anorthosite	△△△△×_Pur_Ano
尖晶斜长岩		Spinel Anorthosite	△△△△×_Spi_Ano	Point
富橄榄石岩套		Olivine Outcrop	△△△△×_Oli_Out	Point
火成碎屑岩		Pyroclastic Deposits	△△△△×_Pyr_Dep	Polygon
硅质火山岩		Silicic Rock	△△△△×_Sil_Roc	Polygon
环状构造	撞击坑	Crater	△△△△×_Cra	Line
	撞击盆地	Impact Basin	△△△△×_Imp_Bas	Line
	穹隆	Dome	△△△△×_Dome	Line
	火山口	Volcano	△△△△×_Vol	Point
	质量瘤	Mascon	△△△△×_Mas	Point
线状构造	浅层断裂	ShallowFault	△△△△×_Sha_Fau	Line
	深部断裂	DeepFault	△△△△×_Deep_Fau	Line
	坑底断裂	Crater-Floor Fracture	△△△△×_Cra-Flo_Fra	Line
	撞击断裂	Impact Fault	△△△△×_Imp_Fau	Line
	撞击坑链	Impact Chain	△△△△×_Imp_Cha	Line
	月溪	Rille	△△△△×_Ril	Line
	月堑	Lunar Graben	△△△△×_Lun_Gra	Line
	皱脊	Wrinkle Ridge	△△△△×_Wri_Rid	Line
	叶状陡坎	Lobate Scarp	△△△△×_Lob_Sca	Line
点状符号	撞击坑中心点	Crater Point	△△△△×_Cra_Poi	Point
	盆地中心点	Basin Point	△△△△×_Bas_Poi	Point
	着陆点	Landing Points	△△△△×_Lan_Poi	Point
	高程点	Elevation Points	△△△△×_Ele_Poi	Point
注记	名称注记	Character Annotation	△△△△×_Cha_Ann	Annotation
	地质体代号	Geological Body	△△△△×_Geo_Bod	Annotation

表 3 坑物质图层属性表(适用于所有时代坑物质)

Table 3 Attribute table of crater materials layer (applicable to crater materials of all eras)

序号	字段名称	别名	字段类型	能(Y)否(N)为空	长度	小数位	单位
1	Feature_ID	要素标识号	字符型	N	12		
2	Feature_T	要素分类代码	字符型	N	4		
3	C_Name	中文名称	字符型	Y	50		
4	E_Name	英文名称	字符型	Y	50		
5	Quadrangle	所属图幅	字符型	N	10		
6	Class	坑物质类型	字符型	N	50		
7	Geobody	地质体代号	字符型	N	50		
8	Area	坑物质面积	浮点型	N	50	4	km ²
9	In_Peri	内周长	浮点型	Y	20	4	km
10	Out_Peri	外周长	浮点型	Y	20	4	km
11	Rou_15	粗糙度 1	浮点型	N	20	4	m ⁻¹
12	Rou_230	粗糙度 2	浮点型	N	20	4	m ⁻¹
13	Rou_460	粗糙度 3	浮点型	N	20	4	m ⁻¹
14	Rou_920	粗糙度 4	浮点型	N	20	4	m ⁻¹
15	Rou_1800	粗糙度 5	浮点型	N	20	4	m ⁻¹
16	RA	岩石丰度	浮点型	N	20	2	%
17	ST	月壤温度	浮点型	N	20	2	K
18	F_Desc	特征描述	字符型	Y	500		

注:Class 字段填写坑物质的亚类,中央峰物质、坑底物质、坑壁物质、连续溅射物、不连续溅射物。

斑,描述其英文名称、所属图幅、坑物质类型、地质体代号、内外周长、粗糙度、岩石丰度、月壤温度等多方面的属性特征。

表 4 列出了月海玄武岩图层的属性表结构,对每个月海玄武岩要素图斑,描述其所属图幅、岩石类型、地质体代号、面积、月海单元及各种模式年龄等特征。

撞击断裂由陨石撞击月表形成,在撞击坑内广泛存在。表 5 为撞击断裂图层的属性表结构,对每条撞击断裂,描述其英文名称、所属图幅、长度、所属时代、端点经纬度、所属构造区等特征。

表 6 为高程点图层的属性表结构,高程点的属性表用于存储月表重要点位的中英文名称、所属图幅、经纬度及高程等信息。

表 4 月海玄武岩图层属性表

Table 4 Attribute table of lunar mare basalt layer

序号	字段名称	别名	字段类型	能(Y)否(N)为空	长度	小数位	单位
1	Feature_ID	要素标识号	字符型	N	12		
2	Feature_T	要素分类代码	字符型	N	4		
3	Quadrangle	所属图幅	字符型	N	10		
4 ^①	Class	岩石类型	字符型	N	50		
5	Geobody	地质体代号	字符型	N	50		
6	Area	面积	浮点型	N	50	4	km ²
7 ^②	Unit	月海单元	字符型	Y	10		
8 ^③	ModelAge1	模式年龄 1	字符型	Y	15		Ga
9 ^④	ModelAge2	模式年龄 2	字符型	Y	15		Ga
10 ^⑤	ModelAge3	模式年龄 3	字符型	Y	15		Ga

注:①—Class 字段填写根据钛含量对月海玄武岩划分的亚类:极低钛玄武岩、低钛玄武岩、中钛玄武岩、高钛玄武岩、极高钛玄武岩和未划分玄武岩;②—Unit 字段填写不同期次月海熔岩流单元代号;③—ModelAge1 字段填写基于地基望远镜、Lunar Orbiter、Galileo 和 Clementine 数据、Neukum 产率函数和 Neukum 年代函数的月海单元模式年龄;④—ModelAge2 字段填写基于 Kaguya 数据、Neukum 产率函数和 Neukum 年代函数的月海单元模式年龄;⑤—ModelAge3 字段填写基于 Kaguya 数据、Ivanov 产率函数和 Wagner 年代函数的月海单元模式年龄。

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘,2022,29(2)

表 5 撞击断裂图层属性表
Table 5 Attribute table of impact fault layer

序号	字段名称	别名	字段类型	能(Y)否(N)为空	长度	小数位	单位
1	Feature_ID	要素标识号	字符型	N	12		
2	Feature_T	要素分类代码	字符型	N	4		
3	C_Name	中文名称	字符型	Y	50		
4	E_Name	英文名称	字符型	Y	50		
5	Quadrangle	所属图幅	字符型	N	10		
6	Length	长度	浮点型	N	15	4	km
7	Era	时代	字符型	Y	15		
8	EndP1_Lon	端点 1 经度	浮点型	N	15	4	°
9	EndP1_Lat	端点 1 纬度	浮点型	N	15	4	°
10	EndP2_Lon	端点 2 经度	浮点型	N	15	4	°
11	EndP2_Lat	端点 2 纬度	浮点型	N	15	4	°
12 ^①	Tec_Unit	所属构造区	字符型	N	50		
13 ^②	F_Desc	特征描述	字符型	Y	500		

注:①—Tec_Unit 字段填写图元所在构造区:北部平原构造区、巨型月海构造区、月陆高地构造区、月海—月陆过渡构造区、南部山岭构造区和南极艾肯构造区;②—F_Desc 字段填写图元所表达要素的其他特征,包括但不限于构造的判别依据、作用力方向、组合关系和相对位置等。

表 6 高程点图层属性表
Table 6 Attribute table of elevation point layer

序号	字段名称	别名	字段类型	能(Y)否(N)为空	长度	小数位	单位
1	Feature_ID	要素标识号	字符型	N	12		
2	Feature_T	要素分类代码	字符型	N	4		
3	C_Name	中文名称	字符型	Y	50		
4	E_Name	英文名称	字符型	Y	50		
5	Quadrangle	所属图幅	字符型	N	10		
6	Lon	中心经度	浮点型	N	15	4	°
7	Lat	中心纬度	浮点型	N	15	4	°
8	Elevation	中心高程	浮点型	N	15	4	km

2.4 要素标识号编码规则

属性表中的要素标识号用于唯一地标识某一个图元。根据 GB/T 7027 规定的《信息分类和编码的基本原则与方法》^[21],要素标识号(FEATURE_ID)采用四层 14 位层次码结构,由图幅号、比例尺代码、要素分类代码、图元顺序码组成,具体如图 4。

字符说明如下:

第 1~4 位为要素所属图幅的图幅号,详见图 3;

第 5 位为比例尺代码,Z 代表 1:2 500 000;

第 6~9 位为要素分类代码,采用本标准表 2 规定的 4 位字符码;

第 10~14 位为要素标识号顺序码,采用 5 位数数码,从 00001 开始编号,码值:00001~99999。

例如:1:2 500 000LQ01 幅哥白尼纪坑物质第 65 号要素图元,其要素标识号为:LQ01Z110100065。

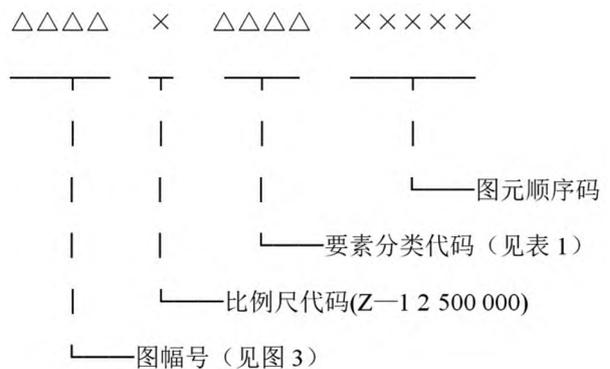


图 4 要素标识号编码结构图

Fig.4 Coding structure diagram of field Feature_ID

3 月球典型区域地质图空间数据库结构设计示例

上文主要结合我国近几年开展的 1:2 500 000 月球地质编图实践,进行月球地质图空间数据库设计。由于数据库设计遵循可扩展原则,特定区域或其他比例尺的月球地质图空间数据库建设也可参照执行。本节以月球冯·卡门撞击坑区域地质图为例,参照上文进行月球地质图空间数据库结构设计。

2019 年 1 月,我国嫦娥四号探测器成功着陆在月球背面冯·卡门撞击坑内,实现了人类探测器首次月背软着陆。冯·卡门撞击坑直径 186.35 km,深度约 3 km,中心经纬度为 44.45°S,176.25°E,形成于艾肯纪(4.20~3.92 Ga),具有中央峰、坑底、坑壁和连续溅射物特征。图 5 为基于嫦娥一号 CCD 与 IIM 影像数据编制的冯·卡门撞击坑及邻区地质图示例。图中各个时代的撞击坑物质均有出现,而大型盆地建造仅在冯·卡门撞击坑南部有一个艾肯纪盆地的少量盆缘物质出露,图幅东北部分布少量酒海纪盆地的溅射物建造。区域内广泛分布亚铁苏长岩,在撞击盆地的盆底部位和多个撞击坑坑底均充填有月海玄武岩,主要是低钛玄武岩和极低钛玄武岩。芬森撞击坑、阿尔德撞击坑的坑壁位置分布有大量撞击断裂。冯·卡门撞击坑内发育有 1 处火山口和 1 处质量瘤构造。另外,图中还发育有少量的撞击坑链、浅层断裂及皱脊等线性构造。

冯·卡门撞击坑区及邻区地质图包含的要素类为表 1 所列要素的子集,要素几何特征同表 1;由于该地质图不进行分幅,图层命名规则中前 4 位的图幅号改为冯·卡门英文 Von karman 的缩写 Vonk,第 5 位为比例尺代码,第 6 位为下划线,其后为图层英文名称的缩写,缩写方式同表 2。表 7 详细描述了冯·卡门撞击坑区域地质图图层内容、图层命名及几何特征等信息。

冯·卡门撞击坑区域地质图各要素图层的属性表结构设计可直接参照 2.3 节,根据图内要素内容可对属性表字段进行适当删减。

针对冯·卡门撞击坑区域地质图空间数据,本文在处理器(CPU)主频 1 G、内存 2 G、硬盘 250 G 的硬件环境及 Windows7 版本操作系统、Oracle 11

表 7 月球冯·卡门撞击坑及邻区地质图空间要素组织管理方式

Table 7 Organization and management modes of geological map spatial feature classes for Von Karman impact crater and adjacent areas

类别	图层内容	图层命名	几何特征	
坑物质	哥白尼纪坑物质	VonkZ_Ccm	Polygon	
	爱拉托逊纪坑物质	VonkZ_Ecm	Polygon	
	晚雨海世坑物质	VonkZ_LIcm	Polygon	
	早雨海世坑物质	VonkZ_EIcm	Polygon	
	雨海纪未细分坑物质	VonkZ_UIcm	Polygon	
	酒海纪坑物质	VonkZ_Ncm	Polygon	
	艾肯纪坑物质	VonkZ_Acm	Polygon	
	未划分时代坑物质	VonkZ_Ucm	Polygon	
盆地建造	艾肯纪盆地建造	VonkZ_Abf	Polygon	
	酒海纪盆地建造	VonkZ_Nbf	Polygon	
月海岩石	月海玄武岩	VonkZ_Mar_Bas	Polygon	
非月海岩石	亚铁苏长岩套	VonkZ_Fer_Nor	Polygon	
特殊岩石	纯斜长岩	VonkZ_Pur_Ano	Point	
	撞击坑	VonkZ_Cra	Line	
	隐伏撞击坑	VonkZ_Bur_Cra	Line	
	环形构造	撞击盆地	VonkZ_Imp_Bas	Line
		穹隆	VonkZ_Dome	Line
	火山口	VonkZ_Vol_Yen	Point	
	质量瘤	VonkZ_Mas	Point	
线性构造	浅层断裂	VonkZ_Sha_Fau	Line	
	撞击断裂	VonkZ_Imp_Fau	Line	
	撞击坑链	VonkZ_Imp_Cha	Line	
	皱脊	VonkZ_Wri_Rid	Line	
其他特殊符号	着陆点	VonkZ_Lan_Poi	Point	
	高程点	VonkZ_Ele_Pt	Point	
注记	名称注记	VonkZ_Cha_Ann	Annotation	
	地质体代号	VonkZ_Geo_Bod	Annotation	

数据库的软件环境下进行了效率分析。结果显示,数据入库时间 ≤ 1 s,数据检索响应时间 ≤ 0.5 s,统计分析响应时间 ≤ 0.5 s,数据出库时间 ≤ 1 s。

4 结语

2020 年 4 月,美国地质调查局发布了新一轮 1:500 万全月地质图,这项工作是在 2013 年发布的 6 幅 1:5 000 000 比例尺月球地质图原始数据的基础上进行更新改造和无缝接图处理得到的一份全月球地质图,形成了一套新的数据信息资源,但其基本内容没有太多变化。我国即将完成的 1:2 500 000 全月地质图将是目前国际上最大比例尺的新一代全

月球数字地质图,编研结合,对月球撞击盆地进行重点研究。建立具有自主知识产权的统一完备的月球地质图空间数据库建库规范是我国月球编图工作的重要组成部分。在这一工作中,本文首次对全月球地质要素进行了系统全面的梳理及科学规范的分编编码,有利于成果数据集成管理和发布共享;同时,以此为契机,为我国月球地质图空间数据库建设建立一套统一的规范,促进月球科学研究的集成共享和“数字月球”建设,也为未来开展系统性的行星地质编图工作奠定了基础。

参考文献

- [1] 范本贤,张庆合,剧远景,等. 中国区域地质志空间数据库结构设计[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(6): 720-726.
- [2] 李廷栋. 国际地质编图现状及发展趋势[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 206-211.
- [3] 李廷栋,丁伟翠,郑宁,等. 博览群图提升地质制图的科学技术水平[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(6): 711-719, 726.
- [4] 凌宗成,张江,刘建忠,等. 嫦娥一号干涉成像光谱仪数据再校正与全月铁钛元素反演[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 87-98.
- [5] 孟治国,陈圣波, EDWARD MATTHEW O J, 等. 基于嫦娥一号卫星微波辐射计数据的月球 Cabeus 撞击坑水冰含量研究[J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2010, 40(11): 1363-1369.
- [6] 丁孝忠,韩坤英,韩同林,等. 月球虹湾幅(LQ-4)地质图的编制[J]. 地学前缘, 2012, 19(6): 15-27.
- [7] 朱永超,郑永春,邹永廖. 月球表面“冷点”和“热区”研究: 嫦娥二号微波亮温数据分析[J]. 矿物学报, 2016, 36(2): 231-240.
- [8] 邱凯昌,刘斌,刘召芹,等. 月球遥感制图回顾与展望[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1230-1242.
- [9] 籍进柱,刘建忠,郭弟均,等. 云海撞击盆地的恢复及其地质演化研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 127-134.
- [10] 丁孝忠,王梁,郭弟均,等. 月球哥白尼纪地层特征与地质演化研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 10-18.
- [11] 刘建忠,籍进柱,郭弟均,等. 月球云海地区 1:2 500 000 地质图编研进展[C]//中国矿物岩石地球化学学会第九次全国会员代表大会暨第 16 届学术年会论文集. 西安, 2017: 1145-1146.
- [12] 凌宗成,刘建忠,张江,等. 基于“嫦娥一号”干涉成像光谱仪数据的月球岩石类型填图: 以月球雨海—冷海地区(LQ-4)为例[J]. 地学前缘, 2014, 21(6): 107-120.
- [13] CHEN J, LING Z, LI B, et al. Abundance and distribution of radioelements in lunar terranes: results of Chang' E-1 gamma ray spectrometer data[J]. Advances in Space Research, 2016, 57: 919-927.
- [14] 张江,凌宗成,李勃,等. 月球 Reiner Gamma 漩涡地区物质的光度行为及分类[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 113-118.
- [15] 陈剑,凌宗成,李勃,等. 嫦娥二号 γ 谱数据反演月表 Fe 元素分布[J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2016, 46(2): 59-66.
- [16] 王庆龙,刘建忠,郭弟均,等. 月球雨海盆地多环结构的厘定及其深部构造研究[J]. 地学前缘, 2018, 25(1): 297-313.
- [17] 刘建忠,郭弟均,籍进柱,等. 月球的构造格架及其演化差异[J]. 深空探测学报, 2015, 2(1): 75-79.
- [18] 王杰,曾佐勋,岳宗玉,等. 月球主要构造特征: 嫦娥一号月球影像初步研究[J]. 空间科学学报, 2011, 31(4): 482-491.
- [19] 陆天启,陈圣波,朱凯. 基于 GRAIL 重力数据的月球深部断裂识别和空间分布研究[J]. 地球物理学报, 2019, 62(8): 2835-2844.
- [20] 罗林,刘建忠,张莉,等. 月球线性构造分类体系研究[J]. 岩石学报, 2017, 33(10): 3285-3301.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 信息分类和编码的基本原则与方法: GB/T 7027—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 基础地理信息要素分类与代码: GB/T 13923—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.