

深空探测科学目标谱系构建方案探索

刘继忠^{1,2}, 葛平^{1,2}, 康焱^{1,2}, 张天馨^{1,2}, 姜亦宸², 马克², 邵艳利²

(1. 探月与航天工程中心, 北京 100041; 2. 深空探测实验室, 北京 100195)

摘要: 中国深空探测活动正在由技术驱动和科学牵引并举逐步发展到以科学引领为主、牵引技术进步的阶段。面向中国深空探测高质量发展需求, 创新性提出科学目标谱系概念与方案设想。以科学目标为核心, 汇聚深空探测工程、科学、技术、应用大数据, 利用人工智能、云计算等技术, 将相关要素进行有机组织、信息关联和知识挖掘, 建立深空领域“关联成谱, 脉络为系”的大模型, 打造大知识智能平台。借助该平台, 能够充分利用历史数据、立足当前能力, 对深空探测未来的规划发展提供生成式的知识与信息支持, 推动数据驱动的深空研究范式变革。

关键词: 科学目标谱系; 科学牵引; 深空大模型; 数据驱动

中图分类号: V1

文献标识码: A

文章编号: 2096-9287(2024)01-0079-11

DOI: 10.15982/j.issn.2096-9287.2024.20230169

引用格式: 刘继忠, 葛平, 康焱, 等. 深空探测科学目标谱系构建方案探索[J]. 深空探测学报(中英文), 2024, 11(1): 79-89.

Reference format: LIU J Z, GE P, KANG Y, et al. Study on the construction scheme of mega interconnected knowledge systems in deep space exploration[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2024, 11(1): 79-89.

引言

当今世界百年未有之大变局加速演进, 国际环境错综复杂, 围绕科技制高点的竞争空前激烈。深空探测技术创新活跃、科学发现丰富、国际影响显著, 深空疆域事关国家空天权益, 已成为大国科技博弈的“竞技场”^[1]。

中国通过实施月球探测、首次火星探测等科技专项工程, 初步具备了地外天体探测的“绕、落、回”能力^[2-4], 建立了较为完整的深空探测工程体系和科研生态。当前, 中国正在推进更全面、更广泛、更深入的深空探测^[5], 随着探月工程四期和行星探测工程启动研制, 国际月球科研站基本完成国际大科学工程培育^[6-8], 鹊桥通导遥综合星座系统、近地小行星防御演示验证任务稳步推进可行性论证和立项实施^[9-10], 中国深空探测事业正从跟踪模式逐渐向并跑、领跑转变, 逐步进入“无人区”, 对深空领域顶层规划布局的战略性、基础科学研究的前沿性、先进技术的原始创新性、国际合作的开放性等方面提出了更高要求^[11-13]。

面对中国深空探测高质量发展需求, 需要抓住深空探测科学发展和数据革命的历史机遇, 加快开展深空探测科学目标谱系的研究与建设。本文系统阐述深空探测科学目标谱系的概念内涵和应用模式, 旨在通

过科学目标谱系的建设与应用, 引领深空探测新范式, 助力关键技术前瞻布局, 推动空间科学、空间技术和空间应用全面协同发展, 为构建人类命运共同体贡献更多的中国力量和中国智慧。

1 深空探测科学目标谱系

1.1 科学目标谱系的概念

1) 定义

深空探测科学目标谱系是以科学目标为核心, 汇聚深空探测工程、科学、技术、应用大数据, 利用人工智能、自然语言处理、云计算^[14]等技术, 建立深空领域“关联成谱, 脉络为系”的大模型, 形成的能够指导未来任务规划以及支撑空间科学、空间技术、空间应用研究、科学教育普及等的大知识智能平台, 如图1所示。

如图2所示, 科学目标谱系从工程、科学、技术以及教育等多个维度, 将相关要素进行有机组织、信息关联和知识挖掘, 充分利用历史数据积累、立足当前能力、对深空探测未来的规划发展提供生成式的支撑, 牵引关键技术突破, 促进深空探测领域科学、技术与应用的全面协同发展, 旨在实现大数据驱动的深空研究范式变革, 拓展人类的认知空间。

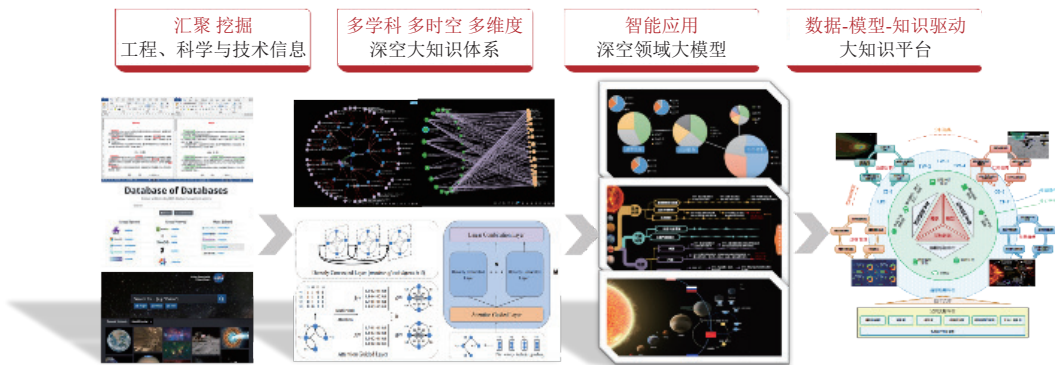


图1 深空探测科学目标谱系概念图

Fig. 1 Concept diagram of MIKSE



图2 深空探测科学目标谱系组成图

Fig. 2 Structure diagram of MIKSE

2) 技术内涵及应用价值

深空探测科学目标谱系的构建围绕深空探测业务流程开展。深空探测业务流程主要涉及“科学主题-科学问题-科学目标-探测对象-任务规划-任务遴选-在轨探测-科学研究-科学成果”等主要过程。面向国家深空探测任务需求，基于深空探测领域的科学主题，梳理关键科学问题，凝练相应的科学目标；通过任务规划对科学目标进行分解，并对任务进行遴选；针对探测任务制定相应的探测方案，构建探测方法模型，包含场/粒子/光学等探测手段，论证载荷动态范围、测量精度、测量时长、定标方法等需求，为建立有效载荷配置需求与科学目标对应关系提供依据，并基于此开展科学载荷的遴选；任务实施后，基于在轨探测数据或返回的样品，利用数据分析或数据反演等手段开展科学研究，得到的科学成果归纳到最初的科学主题，为科学认知和新一轮的探测提供科学牵引。

当前，探测对象日益多元化，从早期的单一目标探测逐步发展到多目标、多天体、多任务综合性探

测；探测内容丰富化，从早期的天体环境和地形地貌探测、物质成分探测，逐步发展到对天体内部结构、物质等探测；探测方式多样化，各航天国家按照飞越、环绕、着陆、巡视、取样返回等方式递进发展。深空探测科学问题、科学目标、探测对象、探测方案、探测数据、科学成果等概念、实体之间存在发展、渊源、追溯、推导、联系、演进等关系更加复杂化。通过系统构建深空探测科学目标谱系，形成深空探测科学问题、科学目标、探测对象、探测方案、探测数据、科学成果等概念、实体及其关系、演化过程和规律的时空知识联合表达形式，将深空探测全流程要素有机结合，在技术层面通过对复杂海量数据的有效加工、处理、整合，转化为数据关系来聚合大量知识，实现知识的快速响应和推理，能够进一步深化对于深空探测全域的认识。

1.2 深空探测科学目标谱系的构建机理及架构

深空探测科学目标谱系包含数据层、模型层和谱系层3个层级，如图3所示，其中，数据是基础，

模型是核心。模型构建可分为3个层次: 本体、知识实例和子谱系。其中, 本体是科学目标谱系的基本概念模型, 通过构建领域本体, 能够对深空探测领域中不同系统的知识梳理关系脉络, 形成深空探测领域全流

程的知识模型。以本体为框架, 对聚集海量多源异构数据, 进行知识融合和知识抽取, 构建深空探测领域知识实例, 并进一步面向应用, 构建支撑科学目标遴选、方案论证、科学研究等的专题子谱系。

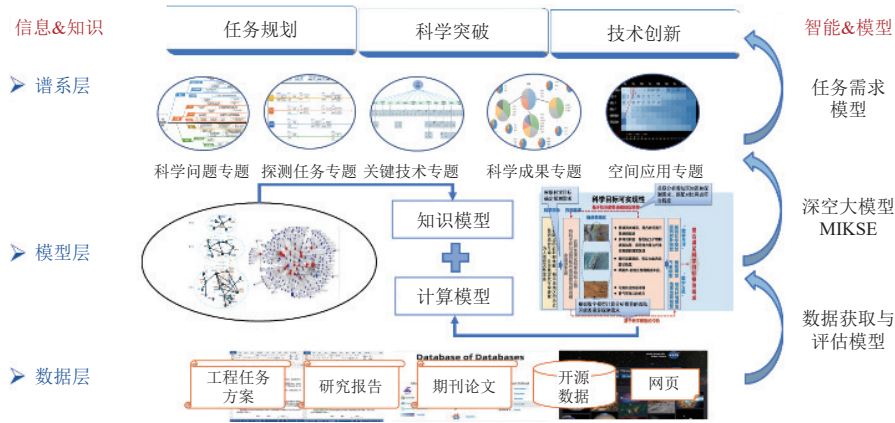


图3 深空探测科学目标谱系架构
Fig. 3 Framework diagram of MIKSE

1) 本体模型

为了表达深空探测领域全流程知识, 首先由领域专家完成深空探测领域知识要素的梳理以及精炼, 从而完成领域概念定义与知识结构定义, 形成科学目标谱系的本体概念层^[15]。概念层中概念实体(节点)是实例实体的抽象表示, 表示为抽象的词, 例如“国家”“探测任务”“科学目标”“探测器”“科学问题”“探测对象”“有效载荷”“方案遴选”等。由于深空探测领域中各大系统知识关系错综复杂, 相互调用, 传统三元组的知识表示方法对多个实体间关系表达能力有限, 进而导致形成知识的推理能力受损, 在科学目标谱系的本体概念层中使用超边^[16]对实体进行连接, 形成超图架构, 如图4所示, 从而提供更为高阶的结构信息。在构建本体概念的基础上进一步对深空探测事件抽象形成事理层^[17], 事理层通常包含一些基本的本体元语言和通用的语义关系, 例如时间、空间、因果关系^[18]等, 这些概念和关系可以用于描述深空探测任务中的时间顺序、地理位置、事件的因果关系等; 事理层与概念层之间的跨层关系表示事理节点与概念层超边之间的关系, 例如, 事理层节点“探测任务”对应于概念层的“探测任务”和“科学目标”, 形成了比实体概念粒度更大的知识单元, 扩充了本体模型对于动态知识的表示能力。

2) 知识实例

在构建科学目标谱系的本体模型之后, 依据模型框架, 对工程任务方案、研究报告、期刊论文、开源

数据、网页等多模态数据, 进行面向任务的数据预处理, 进一步对多模态数据利用人工智能、大模型等前沿优势工具开展领域知识抽取、知识融合等计算处理, 实现科学目标谱系知识实例的构建, 知识实例中实例实体(节点)是具体实体表示。实例层实体之间的边是超边, 例如“中国”开展“火星探测任务”, “科学目标”包含“气候与环境特性研究”“火星表面物质组成研究”“土壤特性与水冰分布研究”“火星形貌与地质特性研究”等。知识实例中实例结点同时与概念层概念实体具有映射关系, 例如, 概念实体“有效载荷”与实例实体“相机”“雷达”“光谱分析仪”“磁强计”之间是映射关系, 完善科学目标谱系知识体系。

在多模态数据知识抽取的过程中面临领域知识封闭性强, 通用的人工智能算法模型抽取效果损失较大的问题。因此需要训练垂直领域内的知识抽取模型, 包括垂直领域的命名实体识别模型以及关系抽取模型^[19]等。其中命名实体识别模型作为知识生成的基础, 对知识的生成质量起到了至关重要的作用, 旨在将文本中的实体定位并分类为预先定义类别, 如“国家”“科学载荷”“科学问题”等。现如今前沿的命名实体识别模型主要采用基于预训练序列编码^[20]模型。

$$p(Y) = p(y_1, y_2, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n p(y_i | w_1, w_2, w_3, \dots, w_i, \dots, w_n)$$

$$y_i = \operatorname{argmax}(s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im})$$

其中: $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ 为句子 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 的标注结果, y_i 为词 w_i 的预测向量中最大值的下标, 以表

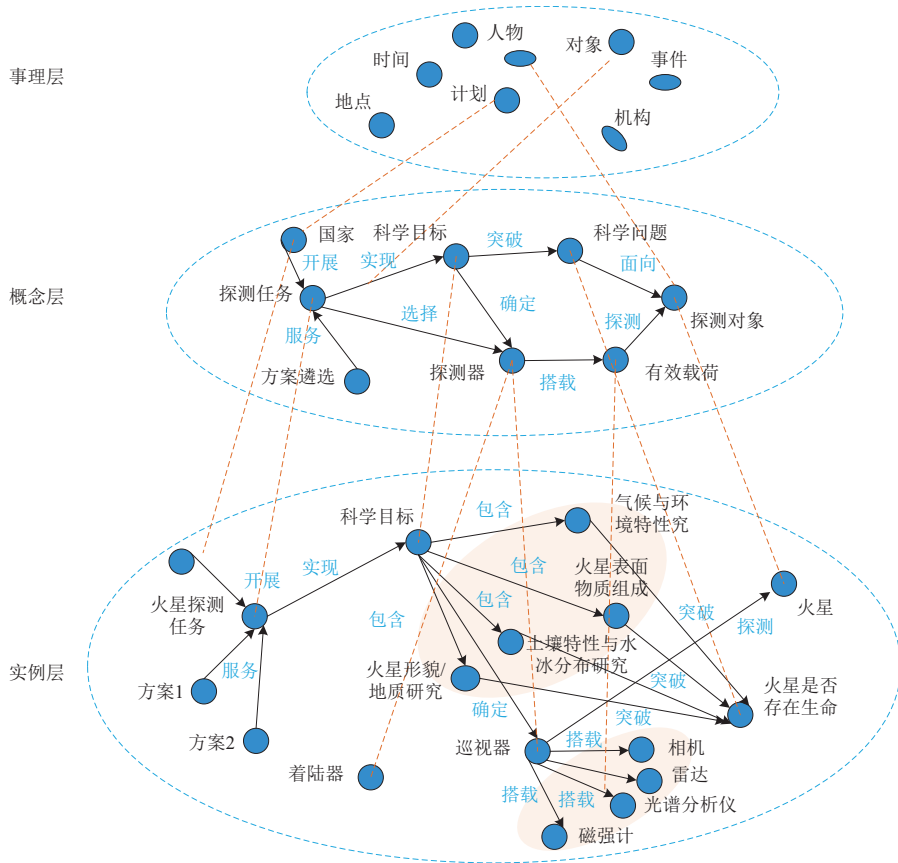


图4 火星探测知识超图架构

Fig. 4 knowledge supergraph architecture for Mars exploration

示该字符标注的分类结果。在该模型中，任意字符的标注结果与句子文本中所有出现的字符都有关系，以此充分考虑文本上下文关系，得到更为准确的预测结果。

在完成知识抽取等相关工作后可进一步对科学目标谱系的本体模型进行验证，利用实际数据和观测结果与本体模型框架进行要素对比，对本体模型表示能力进行优化补充，以确保其准确性和实用性。这种验证方式可以促使本体在不断迭代和完善中得到进一步的发展和应⤵用。迭代方式如图5所示。

3) 专题子谱系

专题子谱系是瞄准深空探测任务应用需求，从知识图谱中分析节点（如科学目标、探测任务、关键技术、国家、有效载荷等）和节点之间的关系（如连接、依赖等），使用层次结构、分类结构以及其它适合的组⤵织方式对知识图谱的知识结构进行进一步凝练，从不同的侧重角度梳理脉络，提取并形成专用的知识体系及相关的表达形式。目前初步设计了科学主题、任务及流程、有效载荷、关键技术以及科学成果专题子谱系，如图6所示。

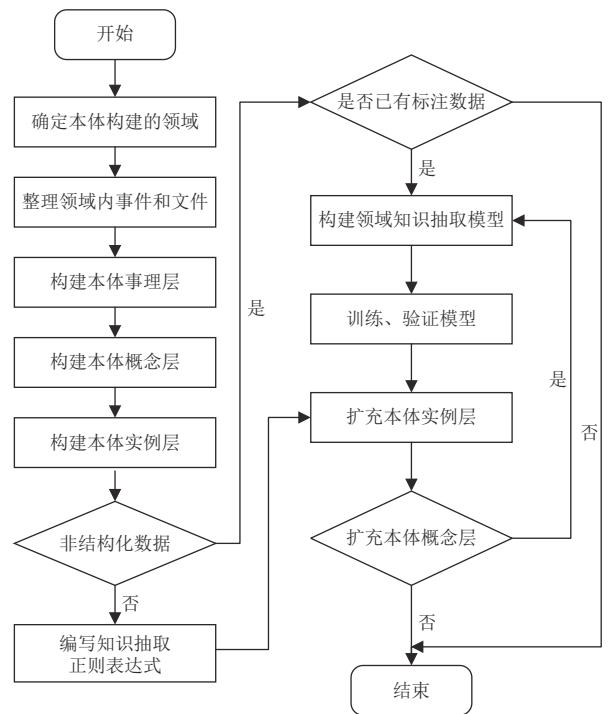


图5 科学目标谱系本体构建迭代流程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of iterative process for constructing the ontology of scientific goal lineage

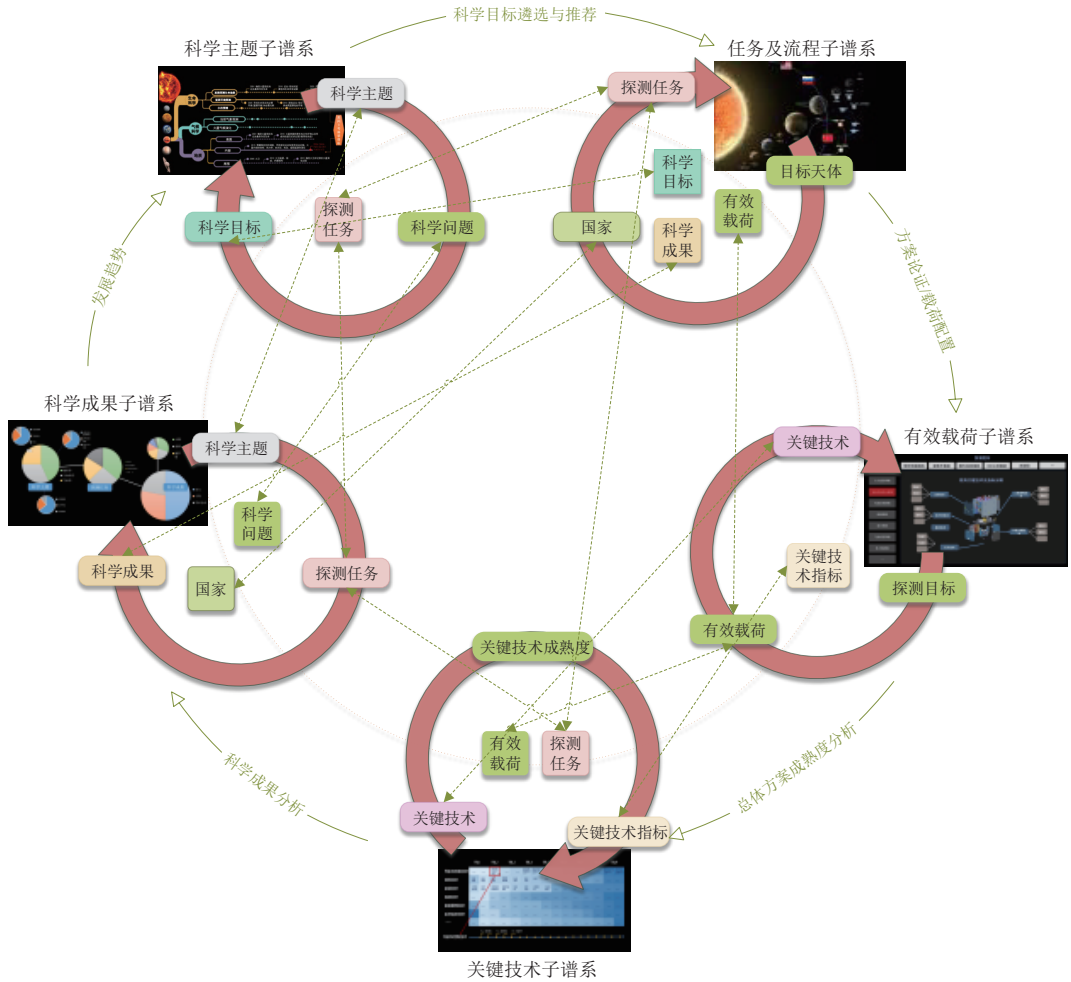


图 6 子谱系关系拓扑图

Fig. 6 Relationship topology diagram

科学主题子谱系以深空探测科学主题发展为主线, 通过探测任务的科学目标, 通过智能算法自动生成各个科学主题下科学问题的研究进展, 辅助理解科学主题演进的发展。任务及流程子谱系以对不同天体探测的发展为主线, 生成各个国家针对各个天体的探测任务, 辅助理解各个国家针对不同天体的探测和认知程度。有效载荷子谱系以探测目标, 如物质成分、电磁场探测等为主线, 生成不同探测目标需要的有效载荷。关键技术成熟度子谱系以导航和控制技术、测控技术、能源技术、探测技术、数据管理技术等关键技术为主线, 生成关键技术各核心指标的当前水平及成熟程度。科学成果子谱系以科学主题为主线, 生成历次开展的深空探测任务取得的里程碑科学成果。

子谱系之间通过各自脉络中的探测任务、科学目标、有效载荷、国家、科学问题、关键技术指标等对象进行关联, 用于科学目标遴选与推荐支持、任务方案论证辅助分析、总体方案成熟度辅助分析、有效载

荷配置支持、科学成果分析等主要应用, 并能够支持着陆区选址等典型任务场景的辅助分析, 为同期论证、教育培训等功能提供数据和信息支撑。

4) 应用系统构建

科学目标谱系通过应用系统承载其方法、技术与工具。深空探测科学目标谱系应用系统以开放式、可拓展、智能化为原则, 按照“3个支撑平台、3类核心中台、5种应用模式、N个任务支撑”的思路开展建设, 如图7所示。

3个支撑平台包括公共支撑平台、谱系应用平台和大知识智能平台, 支撑平台中集成了基础数据库、知识库、模型库, 面向各类用户进行应用支撑。核心中台是指数据、模型和基础数据核心以及数据感知中台、知识图谱中台和业务分析中台。数据感知中台主要负责原始数据的采集、数据预处理、数据处理等主要业务; 知识图谱中台主要实现原始数据的标注、知识抽取、知识图谱融合、知识推理等主要业务; 业务

分析中台主要负责对所构建的知识库进行挖掘应用,构建各类子谱系,并基于子谱系开展科学目标推荐与遴选、有效载荷配置、任务方案分析、关键技术成熟度分析、科学成果分析等应用。“4种应用”是指业务

分析、汇报会商、国际合作与科普展示、过程管理4种主要应用。“N个任务支撑”是指系统要支持“天问二号”“天问三号”“天问四号”和“嫦娥六号”“嫦娥七号”“嫦娥八号”等任务以及后续深空探测任务的应用。

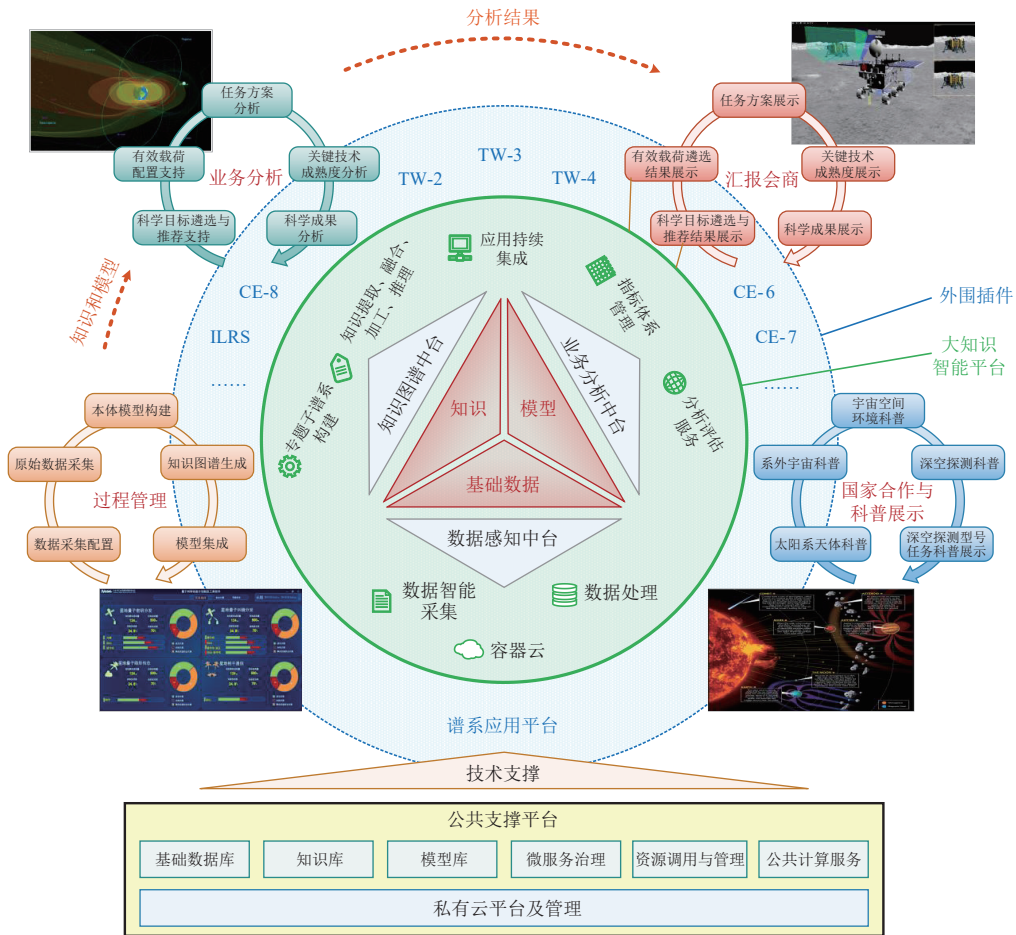


图7 深空探测科学目标谱系应用系统构建思路

Fig. 7 Application system construction ideas of MIKSE

2 科学目标谱系的初步应用实践

2.1 科学目标谱系支持的典型应用

基于深空探测科学目标子谱系的应用,主要使用模型和知识相结合的方法,通过调用、关联单个或者多个子谱系提取脉络信息,实现基于深空探测领域知识的分析,并结合相关计算模型和智能化大模型,实现更深层次的应用。科学目标推荐与遴选、任务方案论证辅助分析、总体方案成熟度辅助分析、有效载荷配置支持以及着陆区选址辅助分析等几个典型应用与子谱系的关联如图8所示。

1) 科学目标推荐与遴选支持

科学目标推荐支持科学技术人员基于确定的探测器、探测载荷、飞行轨道等信息,在保证实现既定科

学目标的前提下,推荐挖掘可能实现的潜在科学目标。探测器在轨期间,除了原定的科学目标,系统推荐其他有能力探测到的科学目标。从两方面入手,基于载荷的科学目标推荐和基于区域的科学目标推荐,并且考虑不同科学目标的优先级。

科学目标遴选支持科学技术人员对科学目标的科学价值、原创性、紧迫性以及科学目标可行性进行分析评价。科学价值分析支持用户输入科学目标,通过基于语义理解的文本相似度匹配算法,推荐出相似科学目标,并通过知识图谱知识检索匹配生成提供科学目标的提出时间、具体描述、所属探测任务、探测对象与现象、探测机理以及解决的科学问题、验证的技术,根据检索生成的数据结点,专家可以根据以上知识信息对选定科学目标的六个维度,是否发现新现

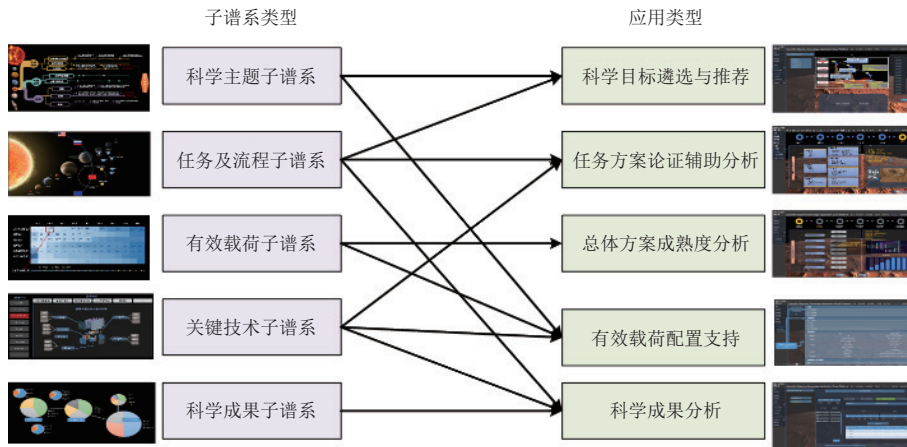


图 8 子谱系与应用关系示意图
Fig. 8 Relationship diagram of knowledge systems and application

象、是否提出新的机理、是否验证重要技术、是否解决重大科学问题、科学目标原创性以及紧迫性进行评价。

2) 任务方案论证辅助分析

基于用户输入的科学目标和有效载荷信息, 推荐出历史相似任务方案, 以任务方案总体设计的流程为依据, 构建一个涵盖各个系统工作内容的任务方案指标体系, 根据科学目标和有效载荷信息, 使用任务多方案推荐算法, 推荐历史任务方案。对比不同方案分析其可行性、风险和优劣, 评估任务有效性以及优化任务分配, 遴选出可供参考的初样/正样任务设计方案。

3) 总体方案成熟度辅助分析

基于对各大系统的指标体系构建, 将任务方案总体目标按照阶段或载荷分解为关键技术, 包括导航与控制技术、测控技术、推进技术、能源技术、科学探测技术、数据管理技术、采样技术以及返回技术等, 然后通过关键技术的成熟度分析结合专家评价输出总体方案成熟度结果。

4) 有效载荷配置支持

基于探测目标, 生成载荷需求, 输出匹配的有效载荷结果。对于当前技术可实现的载荷, 生成载荷方案; 对于当前技术手段暂时无法实现的载荷, 进行入库管理, 等关键技术突破后支持后续任务。

5) 科学成果评估分析

基于探测任务, 输出该任务产出的科学成果对相关科学领域的贡献评估结果。通过对专利、论文、获奖等具体科学成果建模, 从科学成果对科学目标的验证程度、科学成果对重要技术的验证程度以及科学成果对下一步探测任务的指导价值3个方面, 结合专家评价情况, 量化评估相关科学领域的贡献评估结果。

6) 着陆区选址辅助分析

基于科学目标, 匹配相应探测需求, 输出满足表

面环境约束、科学条件约束和工程约束的着陆区二/三维地图。通过外部输入遥感、地形地貌、气象等数据, 软件关联历次任务信息, 在此基础上, 调用相关计算分析模型, 对表面环境约束、科学约束以及工程约束进行分析, 实现对着陆区域的筛选和排序, 择优选择着陆区。

2.2 “科学目标推荐支持”典型应用

以科学目标推荐支持为范例, 介绍一类典型应用的算法和流程。首先, 根据已输入的科学目标, $D_{\text{科学目标}} = \{d_1, d_2, d_3, \dots\}$, 在已有的知识库中进行完全匹配或者相似度匹配, 知识库主要来源于科学主题子谱系和有效载荷子谱系。完全匹配即根据输入的科学目标在知识库中做直接查询, 直接与输入的科学目标进行匹配。相似度匹配会根据输入的科学目标的关键词去知识库中进行相似度匹配, 匹配查询出相似度较高的科学目标, 即在所有的科学目标集合中做短文本相似度匹配, 采用基于Bert^[21]的中文预训练模型, 对知识库中所有的科学目标文本进行向量特征化, 再根据输入的科学目标的向量, 在知识库中做文本逐一匹配, 计算向量余弦相似度的方法, 通过设置阈值和 $\text{hit}@k$ (即选择相似度最高的前 k 个目标) 生成额外相似的推荐科学目标。

$$D_{\text{科学目标}} = \{d_1, d_2, d_3, d_4 \dots\} \in S_{\text{知识库}}$$

根据知识库匹配生成的科学目标, 在科学主题子谱系和科学载荷子谱系中做直接查询, 采用基于图数据库查询语句, 查询出关联的载荷信息, 根据探测载荷与科学目标的对应关系, 做进一步查询, 推荐出载荷对应的科学目标, 生成推荐科学目标集合。

$$D_{\text{已知科学目标}} \supset Z_{\text{载荷}} \supset D_{\text{可能科学目标}}$$

根据探测器从发射到在火星着陆的全轨迹以及途经区域地理空间信息特征来进行关联科学目标。如图9所示,调用外部轨道计算模型和覆盖计算模型,确

定探测器飞行途经的轨迹过程,过程可能包括轨道转移、飞行、环绕、着陆等过程。在各个区域内,探测器所探测的对象根据区域变化会发生变化。

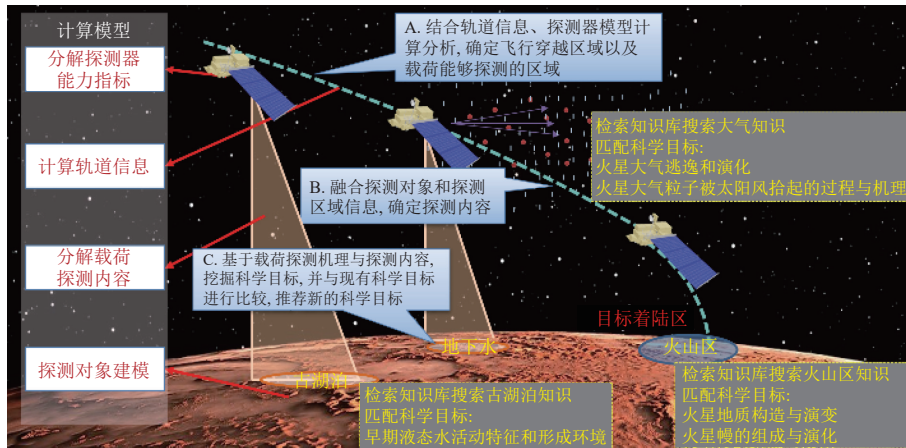


图9 基于穿越与覆盖区域的科学目标关联图

Fig. 9 Scientific target correlation map based on traversal and coverage areas

通过对以上关键过程分解得到 $P_{\text{过程}} = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$ 。通过关键技术子谱系,采用模糊查询的方式,即基于关键词的正则化图查询语句,查询出每个过程会采用的关键技术,此时通过图查询语句查询出关键技术直接关系的物质成分和对象。包括地理空间信息,物理、化学、地质信息等对。信息集合 $Q_n = \{M_1, M_2, M_3, \dots\}$ 。将科学目标按照关键主题来建模,采用LDA(潜在Dirichlet分配)^[22]建模方式。对科学目标主题确定建模后,利用所得信息集合 Q_n 对所有的科学目标做命中查询,这里采用近似向量判断,即判断信息集合的关键词与单个科学目标的主题进行余弦相似度,通过设置阈值和 $\text{hit}@k$ (即选择相似度最高的前 k 个目标)生成额外相似的推荐科学目标。

基于提出和系统推荐的科学目标,调用科学价值辅助分析算法、原创性和紧迫性分析算法、科学目标可行性分析算法,推算出各个因素的大致得分,也能够根据科学目标子谱系提取出科学目标的提出时间、具体描述、所属探测任务、探测对象与现象、探测机理以及解决的科学问题、验证的技术等相关信息,辅助专家去修改核验得分情况。当这几种因素有相互作用情况,在不同的任务情况下权重占比可能会有所差异。因此在确定不同指标的权重时,可选用层次分析法,确定同级别之间指标的相互重要性关系,专家根据任务情况,将上述几类因素进行权重比较,生成这五类因数的权重比重。最后,通过人机结合的方式,输出最终的科学目标推荐结果。

3 未来发展建议

在建设规划中,以“科学引领融合创新体系构建分布实施 边建边用开放共享”为指导思想,将科学目标谱系总体发展路线划分为“三步走”:2022—2024年,开展平台建设与重点突破,完成计划平台初步建设;2025—2026年,开展谱系深化与应用赋能,形成科学目标谱系智慧平台;2027年后,建立国际深空探测科学目标谱系委员会,构建形成国际协同大科学平台,整体发展路线如图10所示。在任务的各个节点,同步支撑探月工程(探月工程四期,ILRS等),行星探测工程等。

2022年,中国发布《中国航天推动构建新型空间探索与创新全球伙伴关系的行动声明》,倡议建立国际深空探测学会,联合各国、国际科研机构 and 学术组织,共同打造深空探测领域学术交流、人才培养与合作平台。为响应倡议,国内相关单位和组织已开展筹建工作,旨在探索宇宙未知,推动科技进步,深化国际合作,服务人类文明。国际深空探测科学目标谱系委员会可作为国际深空探测学会的分支机构,联合各国和国际组织汇聚科技英才,激励科学发现,繁荣学术交流,推动打造国际合作新平台。

深空探测科学目标谱系将聚焦深空探测科学引领、科学技术工程融合创新等高质量发展需求,面向深空探测任务全过程全场景,高质量汇聚全球深空科学大数据资源,系统构建多学科领域、多时空尺度、多维度、多模态深空科学目标谱系大知识体系。科学目标谱系的构建具有以下意义。

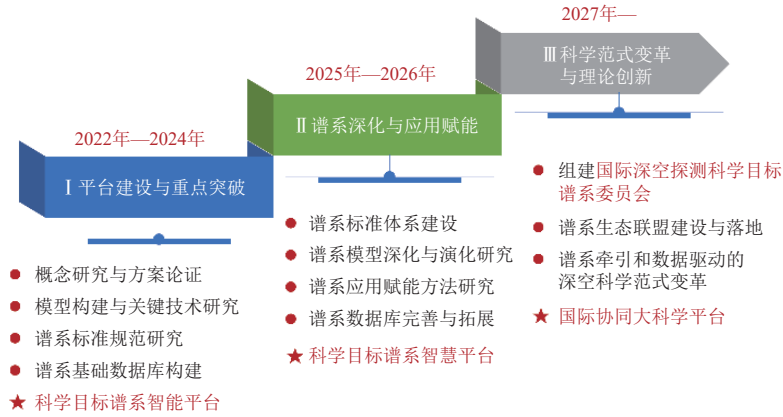


图 10 科学目标谱系发展路线
Fig. 10 Development route of MISKE

1) 指导深空探测顶层规划。深空探测科学目标谱系立足中国已有基础, 在梳理国内外深空探测能力基础上, 将月球及月球以远的太阳系全域探测所涉及到的科学问题、科学目标、探测原理和探测数据有机结合, 形成完备的深空探测大资源平台, 有助于从全局、从整体构建科学目标, 统筹遴选科学任务, 实现科学目标连续性和系统性规划, 带动任务论证范式变革, 科学引领任务实施。

2) 支撑关键技术前瞻布局。通过构建科学目标谱系, 有助于系统性了解中国深空探测工程技术水平, 分析中国深空探测相关技术现状, 支持研判与国际水平相比总体落后、国内尚属空白和尚无布局的瓶颈技术, 明确深空探测技术的空白和落后方面, 例如部分有效载荷尚无法自行研制、能力性能指标相比国际水平落后等, 指明中国后续深空探测技术难点, 助力关键技术前瞻布局。

3) 促进深空科学引领效应。通过深入和准确地分析深空探测科学成果现状和科学目标发展趋势, 有助于发掘和瞄准重大前沿科学问题, 提高探测任务在科学成果方面的创新性和引领性; 结合大数据+人工智能驱动的应用, 进一步提升数据应用水平和增值效益, 带动空间天文、日球层物理、行星科学、空间地球科学等相关任务和数据的交叉融合, 促进新发现、新理论与新问题的产生, 实现从“已知的知识”到“已知的未知”, 发现“未知的未知”, 拓展人类认知空间。

4) 促进深空领域国际合作。中国将以科学目标谱系大协同平台作为沟通桥梁, 坚持重大科学任务的国家属性和国际合作开放性并举, 支持革新深空科学组织管理模式, 开展跨国跨学科交流合作, 协同构建深空探测科学目标谱系, 共同开展科技资源多元协作支撑的数据共享研究、协同论证等, 实现与其他国家/组

织的广泛合作并形成互补机制, 构建以中国主导, 国际深空领域专家深度参与的全球深空探测命运共同体, 在提升国际合作的深度与广度的同时, 提升中国深空探测领域话语权。

参 考 文 献

[1] 刘继忠, 胡朝斌, 庞涪川, 等. 深空探测发展战略研究[J]. *中国科学: 技术科学*, 2020, 50(9): 1126-1139.
LIU J Z, HU C B, PANG F C, et al. Strategy of deep space exploration[J]. *Scientia Sinica Technologica*, 2020, 50(9): 1126-1139.

[2] 吴伟仁, 刘继忠, 唐玉华, 等. 中国探月工程[J]. *深空探测学报(中英文)*, 2019, 6(5): 405-416.
WU W R, LIU J Z, TANG Y H, et al. China lunar exploration program[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2019, 6(5): 405-416.

[3] 于登云, 马继楠. 中国深空探测进展与展望[J]. *前瞻科技*, 2022, 1(01): 17-27.
YU D Y, MA J N. Progress and prospect of deep space exploration in China[J]. *Science and Technology Foresight*, 2022, 1(1): 17-27.

[4] 李春来, 刘建军, 耿言, 等. 中国首次火星探测任务科学目标与有效载荷配置[J]. *深空探测学报(中英文)*, 2018, 5(5): 406-413.
LI C L, LIU J J, GENG Y, et al. Scientific objectives and payload configuration of China's first Mars exploration mission[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(5): 406-413.

[5] 葛平, 张天馨, 康焱, 等. 2021年深空探测进展与展望[J]. *中国航天*, 2022(2): 9-19.
GE P, ZHANG T X, KANG Y, et al. Progress and prospects of deep space exploration in 2021[J]. *Aerospace China*, 2022(2): 9-19.

[6] 张荣桥. “天问”一号开启我国行星探测新征程[J]. *中国航天*, 2021(6): 9-10.
ZHANG R Q. Tianwen-1 launches a new journey of planetary exploration in China[J]. *Aerospace China*, 2021(6): 9-10.

[7] 张荣桥, 黄江川, 赫荣伟, 等. 小行星探测发展综述[J]. *深空探测学报(中英文)*, 2019, 6(5): 417-423, 455.
ZHANG R Q, HUANG J C, HE R W, et al. The development overview of asteroid exploration[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2019, 6(5): 417-423, 455.

[8] 裴照宇, 刘继忠, 王倩, 等. 月球探测进展与国际月球科研站[J]. *科学*

- 通报, 2020, 65(24): 2577-2586.
- PEI Z Y, LIU J Z, WANG Q, et al. Overview of lunar exploration and International Lunar Research Station[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(24): 2577-2586.
- [9] 张焜, 顾征, 韩承志. 小行星撞击防御任务分析与设计[J]. 深空探测学报(中英文), 2023, 10(4): 387-396.
- ZHANG H, GU Z, HAN C Z. Analysis and design of asteroid impact defense mission[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2023, 10(4): 387-396.
- [10] 刘慧根, 赵海斌, 周济林. 近地小天体调查、防御与开发[J]. *科学通报*, 2020, 65(9): 757-763.
- LIU H G, ZHAO H B, ZHOU J L. Survey, defence and resource development of NEO[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(9): 757-763.
- [11] 刘继忠, 尚海滨, 刘勇, 等. 深空探测全域轨迹优化设计平台研究与实现[J]. 宇航学报, 2023, 44(7): 998-1007.
- LIU J Z, SHANG H B, LIU Y, et al. Global trajectory optimization design platform for deep space exploration[J]. *Journal of Astronautics*, 2023, 44(7): 998-1007.
- [12] 关锋, 葛平, 邵艳丽, 等. 基于MBSE的月球科研站任务分析[J]. 航空工程进展, 2023, 14(3): 84-99.
- GUAN F, GE P, SHAO Y L, et al. Mission analysis of lunar scientific research station based on MBSE[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2023, 14(3): 84-99.
- [13] 关锋, 葛平, 周国栋, 等. MBSE发展趋势与中国探月工程并行协同论证[J]. *空间科学学报*, 2022, 42(2): 183-190.
- GUAN F, GE P, ZHOU G D, et al. Development trend of MBSE and investigation of concurrent collaborative demonstration for Chinese lunar exploration program[J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2022, 42(2): 183-190.
- [14] 秦涛, 杜尚恒, 常元元, 等. ChatGPT工作原理、关键技术及未来发展趋势[J]. 西安交通大学学报, 2024(1): 1-11.
- QIN T, DU S H, CHANG Y Y, et al. Running principles, key technologies and developing trends of ChatGPT[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2024(1): 1-11.
- [15] 周毅, 刘峥, 粟小青, 等. 融合多层次数据的问答知识图谱本体模型构建[J]. 图书情报工作, 2022, 66(5): 8.
- ZHOU Y, LIU Z, SU X Q, et al. Ontology model construction question-answering knowledge graph integrating multi-level data[J]. *Library And Information Service*, 2022, 66(5): 8.
- [16] 田玲, 张谨川, 张晋豪, 等. 知识图谱综述——表示, 构建, 推理与知识超图理论[J]. 计算机应用, 2021, 41(8): 26.
- TIAN L, ZHANG J C, ZHANG J H, et al. Knowledge graph survey: representation, construction, reasoning and knowledge hypergraph theory[J]. *Journal of Computer Applications*, 2021, 41(8): 26.
- [17] 丁效, 吴婷婷, 杜理等. 基于双曲空间的事理图谱增强的因果推理方法及系统: 中国, 202210131870[P]. 2023-10-22.
- [18] LI Z, DING X, LIU T. Constructing narrative event evolutionary graph for script event prediction[C]//Proceedings of the 27th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Stockholm, Sweden: [s. n.], 2018: 4201-4207.
- [19] SINGH N, AGGARWAL S. Review on knowledge extraction using classifier[J]. *International Journal for Scientific Research and Development*, 2014, 6(2): 415-417.
- [20] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need[C]//Advances in Neural Information Processing Systems. Long Beach, CA, USA: Curran Associates Inc., 2017.
- [21] DELVIN J, CHANG M W, LEE K, et al. Bert: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding[C]//Proceedings of NAACL-HLT. Minneapolis: Association for Computational Linguistics, 2019.
- [22] BLEI D M, NG A Y, JORDAN M I. Latent dirichlet allocation[J]. *Journal of Machine Learning Research*, 2003(3): 993-1022.
- 作者简介:
刘继忠(1966-), 男, 研究员, 国际宇航科学院院士, “天问三号”任务总设计师, 主要研究方向: 飞行器设计、运载火箭总体及控制、月球与火星探测总体设计及关键技术。
 通信地址: 北京市海淀区东冉北街9号(100195)
 电话: (010)88432018
 E-mail: jizhong2024@163.com
张天馨(1993-), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 月球与火星探测总体设计、月球空间磁场及等离子体环境、月球着陆区选址。**本文通信作者**。
 通信地址: 北京市海淀区东冉北街9号(100195)
 电话: (010)88432526
 E-mail: zhangtianxin21@126.com

Study on the Construction Scheme of Mega Interconnected Knowledge Systems in Deep Space Exploration

LIU Jizhong^{1,2}, GE Ping^{1,2}, KANG Yan^{1,2}, ZHANG Tianxin^{1,2}, JIANG Yichen², MA Ke², SHAO Yanli²

(1. Lunar Exploration and Space Engineering Center, Beijing 100041, China;

2. Deep Space Exploration Laboratory, Beijing 100195, China)

Abstract: China's deep space exploration has gradually developed from technology and science-driven to the stage dominated by science, leading to technological advances. Under our demand for high-quality development in deep space exploration, the Mega Interconnected Knowledge System in Deep Space Exploration (MIKSE) was innovatively proposed with its concept and scheme conceiving. Centering around the scientific goals, deep space exploration engineering, science, technology, and big data in the application were collected, techniques including artificial intelligence and cloud computing were utilized to perform organic organization, information association, and knowledge mining on relevant elements, a large model with genealogical associations and networks of connections was built, and an intelligent big knowledge platform was established. With the help of this platform, historical data and its current capabilities can be fully utilized to support generative knowledge and information for the future planning and development of deep space exploration and promote the paradigm shift of data-driven deep space research.

Keywords: mega interconnected knowledge systems; scientific leading; large model in deep space exploration; data driving

Highlights:

- The program of MIKSE is designed.
- MIKSE can be applied to support the planning and verification of missions, selection of scientific objectives, configuration of effective payloads, in-orbit operation, and scientific research in the field of deep space exploration.
- MIKSE will promote the comprehensive and coordinated development of space science, technology and applications, and help form a new pattern of innovation with independence, collaboration and openness in the field of deep space exploration.

[责任编辑: 宋宏, 英文审校: 宋利辉]