



中华人民共和国国家标准

GB/T 44197—2024

深空探测器行星保护要求

Planetary protection requirements for deep space probe

2024-07-24 发布

2025-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 行星保护任务分类及需求	2
5 行星保护目标与原则	4
6 行星保护技术要求	4
7 行星保护管理要求	7



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会（SAC/TC 425）提出并归口。

本文件起草单位：北京空间飞行器总体设计部、中国空间技术研究院、中国航天标准化研究所、北京卫星环境工程研究所。

本文件主要起草人：温博、徐侃彦、彭兢、张轶男、邹乐洋、泉浩芳、孟凡伟、金晟毅、董捷、张旺军、张宁康。



引 言

“行星保护”是指一系列政策和实践活动，通过在行星探测活动中限制地球生物污染以保护未来科学研究成果，同时也采取措施避免深空探测任务中的返回飞行器对地球生物圈造成有害生物污染。在深空探测活动中，对地外生命是否存在的探索对人类具有十分重要的意义，是各国开展深空探测的主要科学目标之一。为确保科学探测成果的有效性和科学性，防范地外天体与地球之间的生物交叉污染，开展行星保护意义重大。

联合国《外太空条约》的第九条规定了“各缔约国从事研究、探索外层空间时，应避免使其遭受有害的污染，以及避免外来物质对地球环境造成不利影响”；《外太空条约》中第十条、十一条和十二条中的规定与行星保护也有一定的联系。受联合国委托，国际科学理事会（ICSU）的空间研究委员会（COSPAR）负责制定行星保护的有关国际政策。COSPAR针对不同的探测对象和任务形式，规定了不同类别任务的行星保护要求，并在此基础上，结合各国深空探测任务的实际情况，不断发展和完善国际行星保护政策。

本文件参照 COSPAR 的政策要求，结合我国航天器的研制实际，提出深空探测器行星保护要求。本文件的制定可填补我国在行星保护方向顶层标准的空白，为我国开展的深空探测活动提供行星保护相关的规范和指导，便利相关国际交流与合作。



深空探测器行星保护要求

1 范围

本文件规定了深空探测任务的行星保护类别和需求，深空探测器开展行星保护工作的目标、原则，以及深空探测器研制各阶段需开展的行星保护工作项目、技术要求和管理要求。

本文件适用于无人深空探测器研制与在轨运行全周期的行星保护工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 30114（所有部分） 空间科学及其应用术语

3 术语和定义

GB/T 30114（所有部分）界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

目标天体 **targeted body**

作为深空探测器探测目标的行星、矮行星、卫星、小行星与彗星等地外天体。

3.2

行星探测 **planetary exploration**

对太阳系内除地球以外的行星、矮行星、卫星、小行星与彗星以及行星际空间的探测与采样研究活动。

示例：火星探测、太阳系行星探测。

[来源：GB/T 30114.1—2013，3.1.2]

3.3

深空探测器 **deep space probe**

由功能完整的科学仪器和平台组成的，具有明确观测对象和行星探测研究目标的航天器。

3.4

行星保护 **planetary protection**

在航天活动中，通过采取一定预防和控制手段，避免地球和目标天体之间交叉生物污染的活动。

3.5

前向污染控制 **forward contamination prevention**

去向污染预防

在航天活动中，避免因地球生命和其他有机物质引入其他行星而造成污染的保护措施。

[来源：GB/T 30114.5—2014，6.8，有修改]

3.6

返向污染控制 backward contamination prevention

返回污染预防

避免地球及其生物圈因航天器带回地外物质和可能存在的地外生命体而造成污染的防护措施。

[来源：GB/T 30114.5—2014，6.7，有修改]

3.7

限制性返回 restricted Earth return

从可能对地球形成破坏性影响的天体返回，在整个返回阶段需要对直接接触目标天体的所有返回硬件或来自目标天体的未灭菌物质进行密封。

3.8

生物圈 biosphere

地球上由动物、植物和微生物等一切生物有机体组成的系统。

[来源：GB/T 30114.5—2014，8.1]

3.9

芽孢 endospore

内生孢子

逆境条件下，某些细菌在细胞内形成的一种圆形或椭圆形、含水量低、抗逆性强的休眠体。

注：芽孢并非繁殖体，在环境适宜条件下重新发芽成正常营养细胞。

[来源：GB/T 30114.5—2014，6.16，有修改]

3.10

微生物负荷 bioburden

在行星保护活动中，被测试的单位材料、产品或航天器上承载芽孢总数。

3.11

微生物检测 bioassay

在行星保护活动中，通过适当的取样技术来获取微生物样本并用于评估关注件微生物种类数量的活动，检测结果关注芽孢数量。

3.12

灭菌 sterilization

在行星保护活动中，能够有效减少关注件微生物负荷，使关注件的表面生物负荷与相应行星保护要求一致的过程。

3.13

微生物负荷消减 bioburden reduction

在行星保护活动中，控制及减少航天器上的细菌芽孢数量。

3.14

二次污染防护 recontamination prevention

在行星保护活动中，避免关注件在微生物负荷消减后再次污染的防护措施。

4 行星保护任务分类及需求

行星保护任务分类及需求见表1。其中，IV类任务针对火星探测又分为不探测火星生命的着陆任务、研究火星生命的着陆任务和到达火星特定区域的探测任务等3个亚类，见表2。针对木星、木卫二和土卫二的行星保护类别定义可参照火星探测任务，根据工程和科学需求进行亚类划分。

表 1 行星保护任务分类及需求

任务分类	任务目标	任务形式	目标天体	行星保护需求
I	任务目标不直接涉及生命起源或化学演化过程	飞越、环绕、着陆	部分未分化的小行星，木卫一，其他待定天体	仅需文档说明，证明该类任务是 I 类任务
II	探测目标与化学演化过程或生命起源有关，但航天器造成污染概率很低，不会影响后续探测	飞越、环绕、着陆	金星、月球、彗星、碳质球粒陨石小行星、木星、土星、天王星、海王星、木卫三/四、土卫六、海卫一、冥王星、柯伊伯带天体，其他待定天体	仅需文档说明，简要记录受控撞击概率和污染控制措施，其中月球着陆任务需形成有机物清单
III	非直接接触目标天体，探测目标与生命起源或化学演化过程关系密切，航天器造成污染概率较大，可能危及后续探测任务	飞越、环绕	火星、木卫二、土卫二，其他待定天体	撞击规避和微生物污染控制，包括：洁净间总装、微生物负荷消减、轨道设计与控制
IV	直接接触目标天体，探测目标与生命起源或化学演化过程关系密切，航天器造成污染概率较大，可能危及后续探测任务	着陆	火星、木卫二、土卫二，其他待定天体	撞击规避和微生物污染控制，包括：洁净间总装、微生物负荷消减、轨道设计与控制、有机物存档
V	所有返回地球的深空探测任务	返回地球	非限制性返回：金星、月球，其他待定天体	前向污染控制：防护措施参照按目标天体和任务形式确定的行星保护分类。 反向污染控制：无需采取防护措施
			限制性返回：火星、木卫二，其他待定天体	前向污染控制：防护措施等同于 IV b 类（见表 2）任务。 反向污染控制：采取严格的防护措施保护地球生物圈的安全，包括：对返回样品进行地外生命检测和生物风险评估；对接触目标天体的返回硬件应灭菌；返回样品未经灭菌前应保持密封状态

表 2 IV 类任务的亚类及需求

任务分类	任务目标	行星保护需求
IV a	不携带生命探测载荷	微生物密度小于每平方米 300 个芽孢，微生物总量小于 3×10^5 个芽孢
IV b	探测火星生命	满足以下要求之一： a) 整个着陆系统微生物总量小于 30 个芽孢的水平； b) 生命探测相关的子系统微生物负荷总量小于 30 个芽孢的水平，同时具备防止生命探测相关子系统被探测器其他子系统污染的技术

表 2 IV 类任务的亚类及需求（续）

任务分类	任务目标	行星保护需求
IV c	探测火星特殊区域 ^a	满足以下要求之一。 a) 如果着陆位点在特殊区域之内，整个着陆系统的微生物总量应小于30个芽孢的水平。 b) 如果通过移动工具到达特殊区域，则应满足以下要求之一： 1) 整个着陆系统的微生物总量小于30个芽孢； 2) 直接接触特殊区域的子系统微生物总量小于30个芽孢，同时具备防止该子系统被探测器其他子系统污染的技术
^a 火星上某些地球微生物很可能可进行自我复制繁殖的环境或火星生命有可能在一定程度上可存活的环境（基于当前对地球生命极限的研究判定）。		

5 行星保护目标与原则

5.1 行星保护目标

行星保护的目标如下：

- a) 避免地球生命和有机材料污染其他天体，避免影响当前和未来相关科学探测结果的准确性和有效性；
- b) 避免探测目标天体返回的物质和可能存在的地外生命体污染地球及危及地球生物圈的安全，避免影响返回样品的研究结果的准确性和有效性。

5.2 行星保护原则

深空探测器的行星保护遵循以下原则。

- a) 行星保护基于当前科学认知水平开展。
- b) 行星保护工作与深空探测工程项目管理、工程技术活动相协调。
- c) 前向行星保护以保护当前及未来的科学探测成果为首要关切。
- d) 反向行星保护以保护地球生物圈安全为首要关切。除非有其他明确的证明，否则对行星保护 V 类限制性返回任务采集的样品一律加以控制，并视为具有潜在危险。
- e) 在航天器研制与在轨运行的全周期实施行星保护。
- f) 所有深空探测器需根据目标天体、探测形式和任务目标进行行星保护任务类别划分，并根据所属类别的需求开展行星保护工作。



6 行星保护技术要求

6.1 论证阶段行星保护要求

深空探测器论证阶段的行星保护要求如下：

- a) 探测器研制方应与任务提出方协调明确探测任务的科学目标，明确科学目标是否包含探测地外生命；
- b) 对探测任务的行星保护类别进行初步划分；
- c) 探测器研制方应在论证阶段提出行星保护所需的资源；
- d) 探测器研制方的项目可行性分析中应包含行星保护目标的实现性和实施可行性分析；

e) 对于V类限制性返回任务，返回样品接收实验室应与探测器项目同步开展论证。

6.2 方案设计阶段行星保护要求

深空探测器方案设计阶段的行星保护要求如下。

- a) 在探测器初步设计方案形成后正式明确行星保护类别，形成行星保护类别分析报告。
- b) 探测器方案设计应包含行星保护需求分析与行星保护初步实施设计。
- c) 探测器原材料的选择，应确保原材料至少能适应一种典型的灭菌方法。
- d) 提出行星保护专用地面设备的配置需求，开展行星保护专用设备研制或采购，包括但不限于微生物采样检测设备、微生物消杀灭菌设备、二次污染防治设备等。
- e) 进行轨道设计时，应确保Ⅲ类和Ⅳ类任务的轨道器撞击目标天体的概率在进入环绕目标天体轨道的前20年内小于1%，20年~50年内小于5%；应确保运载火箭的任何部分在发射后50年内撞击目标天体的概率小于 10^{-4} 。
- f) 对于V类限制性返回任务，满足以下要求。
 - 1) 通过对返回样品的双向密封封装设计，确保返回样品在任务的全周期处于隔离密封状态，避免返回样品污染地球环境，同时避免地球环境破坏返回样品的原始状态。样品在探测器中的系统性漏率应不大于 $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。探测器系统密封可通过样品容器密封、多层柔性密封、外部隔离密封等多层次密封手段综合实现。
 - 2) 在目标天体样品采集、封装、转移和返回环节，应通过阻断与目标天体接触链的设计，确保除样品容器外，其他与目标天体环境直接或间接接触且未经有效灭菌的飞行硬件均不应返回地球。探测器系统可采用多层密封、隔离和阻断设计保证接触链的切断。
 - 3) 对于V类限制性返回任务，样品密封封装装置的方案设计应保证足够的结构强度，即使在再入地球大气过程中发生故障、返回器着陆时发生结构破坏等“硬着陆”情况下，也不会造成密封封装装置的破损和地外天体样品外漏。

6.3 初样研制阶段行星保护要求

深空探测器初样研制阶段的行星保护要求如下。

- a) 在初样研制阶段对正样产品将经历的研制过程与环境中的微生物污染源和污染风险进行评估与分析，定期监测初样产品微生物负荷水平，积累数据。
- b) 根据深空探测任务的任务性质和科学目标，对探测器行星保护关键产品进行识别。
- c) 在初样产品上对正样产品拟采取的行星保护措施进行适应性验证，为正样研制阶段的行星保护工作提供支撑。必要时，可投产关键产品的行星保护试验件用于行星保护实施验证。
- d) 应制定洁净操作规程，对参与飞行硬件操作的人员进行洁净操作培训与演练。
- e) 对除探测器系统外的其他工程系统提出行星保护接口要求，纳入系统间接口文件。
- f) 应在初样研制阶段提出对分系统和单机的行星保护要求。
- g) 制定正样研制阶段探测器行星保护工作实施方案。

6.4 正样研制阶段行星保护要求

深空探测器正样研制阶段的行星保护要求如下。

- a) 正样研制阶段应对密封容器漏率等设计指标进行符合性确认，确保行星保护相关探测器设计指标符合要求。
- b) 正样研制阶段探测器的总装至少应保证10万级洁净环境，对于Ⅳ类及Ⅴ类限制性返回任务，应根据任务的行星保护需求，选取万级、千级、百级等更高级别的局部洁净环境进行总装和测试操作，并采取必要的微生物控制方法来减少微生物负荷。

- c) 在探测器正样器总装和测试过程中,应定期对表面微生物进行检测,采样数量和频率应满足微生物负荷评估与数据统计要求,并根据发射前最终检测的结果评估探测器的微生物负荷。
- d) 正样研制阶段应定期对探测器进行微生物负荷消减操作,通过表面清洁和灭菌等手段减少探测器的微生物负荷,所采用的清洁和灭菌技术应不影响航天器产品的功能和性能,经研制方确认后方可实施。
- e) 对识别的探测器行星保护关键产品,应采取二次污染防治措施,在微生物负荷消减措施执行后维持表面清洁水平,避免微生物负荷水平上升。
- f) 参与总装的人员应执行洁净操作规程,包括但不限于穿洁净防护服、遵守洁净操作纪律、使用灭菌处理过的工具和洁净设备、佩戴无菌手套操作并定期更换手套和定期清洁维护洁净环境等。
- g) 所有接触探测器的地面支持设备、地面测试设备、检验工具与操作工具,应通过定期微生物消减和微生物检测操作,使其微生物负荷水平与探测器相当。
- h) 探测器运输环节应采用带有微生物控制功能的包装箱。
- i) 对探测器的有机物使用情况进行记录和留样:
 - 1) 对于所有发射的硬件,超过1 kg的有机材料应存档记录;
 - 2) 对于用量超过25 kg的有机材料,除存档记录以外,还应保留50 g的样品,保存期限应大于发射后50年。
- j) 对于立项后直接进入正样研制阶段的深空探测器,应在任务立项后对正样研制阶段行星保护目标进行确定,对所需的保证资源进行检查,资源不足时应进行补充工作。



6.5 发射、在轨及回收阶段行星保护要求

深空探测器发射、在轨及回收阶段的行星保护要求如下。

- a) 涉及探测器、发射场、运载火箭三方操作的环节,应采取二次污染控制措施,保证清洁操作,防止微生物污染。
- b) 对发射场、运载火箭系统的行星保护实施进行监测,确保其环境和操作满足探测器的微生物控制要求。
- c) 根据实际探测器飞行情况定期更新撞击概率评估结果。
- d) 对发射后与行星保护有关的关键环节实施进行监测,定期评估行星保护目标的实现情况。关键环节包括但不限于:
 - 1) 轨道控制与修正;
 - 2) 目标天体捕获;
 - 3) 进入、下降和着陆;
 - 4) 目标天体表面活动;
 - 5) 目标天体轨道交会对接;
 - 6) 地外天体样品转移与密封;
 - 7) 地球再入返回;
 - 8) 探测器拓展任务。
- e) 在探测器寿命末期进行的运行终止处置应按规定的流程和作业文件,考虑行星保护约束,进行污染概率分析。
- f) 返回任务的样品密封封装装置回收后应放入专用密封容器内,在运输过程中妥善保管。
- g) 返回任务的密封封装装置应在能维持样品的原始状态的环境中开启,以确保地外天体样品的科学价值。
- h) V类限制性返回任务中,探测器还应满足以下要求。
 - 1) 制定再入回收过程的故障预案,确保再入过程探测器故障模式下,地外天体样品的完整性

和可追溯性。

- 2) 在经风险评估后证明样品对地球不具有生物风险之前，地外天体样品保持严格密闭状态。
- 3) 回收着陆场具备对返回器进行隔离密封的能力。地面回收人员对返回器的处置在生物防护下进行，避免人员接触式操作，宜尽可能采用自动化回收处置方法替代人的操作。

7 行星保护管理要求

7.1 基本要求

通过行星保护实施管理，确保以下工作顺利完成：

- a) 探测器研制方应与用户和其他系统明确管理接口，配置行星保护所需资源；
- b) 在探测器研制初期应根据用户要求对行星保护各专业做出统筹安排；
- c) 行星保护各专业活动的输入应一致、完整，且与探测器研制进度一致；
- d) 行星保护各专业活动应按照探测器研制进度完成行星保护工作计划中的任务；
- e) 行星保护各专业活动的输出应一致、完整，且按探测器研制进度交付；
- f) 探测器研制阶段划分与第6章中研制阶段划分不一致时，可根据实际研制阶段对行星保护工作内容进行筛选，结果应满足任务行星保护类别的要求；
- g) 监督分承制方的行星保护活动实施；
- h) 通过评审确保行星保护实施效果满足要求。

7.2 组织机构要求

行星保护工作应由专门的组织机构进行管理和实施，对人员应进行技术培训。具体要求包括：

- a) 行星保护的实施应由探测工程任务组织方组织成立或授权专门的机构或队伍负责；
- b) 行星保护的监督和评估应由除探测器研制方和科学研究方外有资质的第三方权威机构承担，第三方权威机构应为经探测工程任务组织方认证的生物技术专门机构；
- c) 对深空探测器研制人员应进行行星保护知识培训，接触器上产品的操作人员应取得行星保护培训证书，方可持证上岗。

7.3 评审要求

应以评审的形式进行阶段性审核和监督，确保行星保护工作的质量。评审要求如下。

- a) 在探测器方案设计阶段，策划行星保护技术评审工作，确定评审项目、时机，统一纳入探测器研制计划。按规定组织完成技术评审，并对评审中提出的问题和实施闭环管理。
- b) 对Ⅲ类、Ⅳ类和Ⅴ类限制性返回任务，应召开评审会以确保行星保护工作正确得到实施。
- c) 行星保护评审会可结合项目评审或其他技术评审进行。

7.4 数据控制要求

应对行星保护数据进行控制，确保行星保护记录的准确性和有效性。数据控制要求如下。

- a) 现场使用的文件应是现行有效的，无效或作废的文件和数据有明确标识，防止被误用。
- b) 微生物检测、清洁与消杀过程数据记录应清晰明确。各研制阶段数据应按资料管理要求进行归档管理，方便查询、分析和总结。
- c) 应按质量管理规定对行星保护相关数据包进行管理，并确保数据包中所有文件和记录的完整性和有效性。

7.5 文档要求

应对行星保护的文档进行管理，确保行星保护记录的完整性和可追溯性。文档管理要求如下：

- a) 应根据任务类别在方案设计阶段策划各阶段文档要求，形成文档需求清单；
- b) 建立并保持完整的归档记录，用于提供完成所有行星保护专业任务的客观证据；
- c) 应识别需要行星保护负责人批准或会签的文档；
- d) 应在研制阶段定期或不定期地总结行星保护工作计划和工作项目的执行与进展情况，作为探测器研制情况的一部分纳入探测器研制情况文件。



