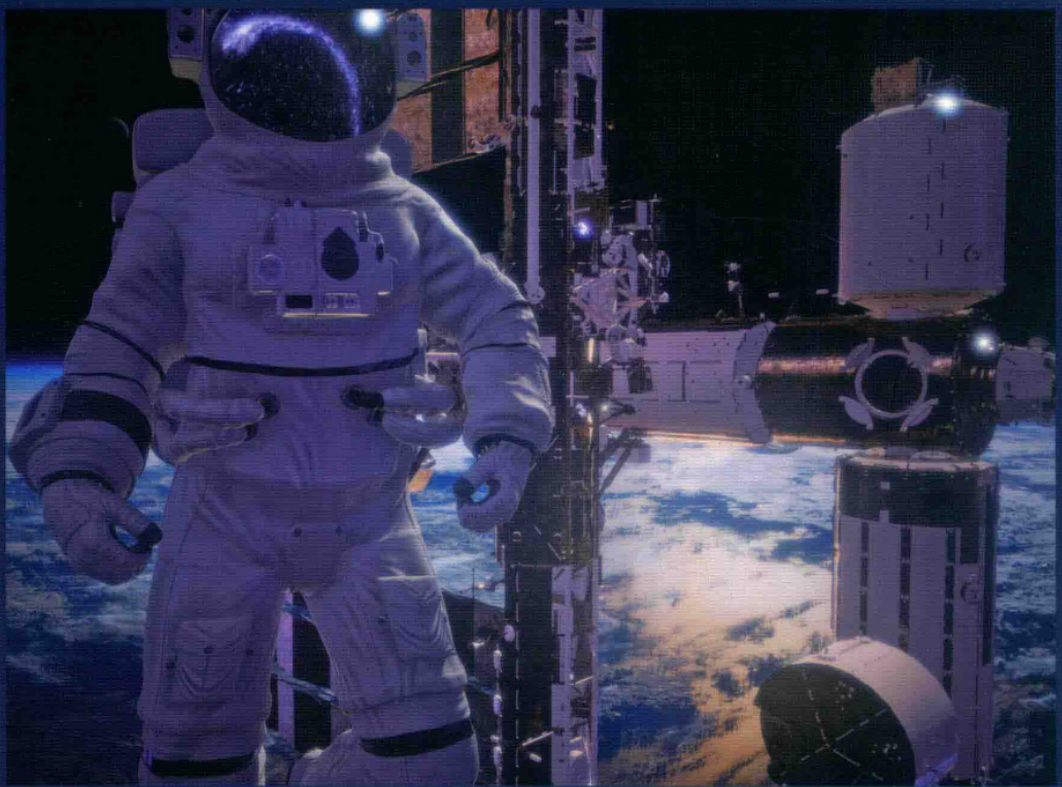


NASA航天员中心健康保障能力

Health Care Capacity of NASA Astronaut Center

[美] 杰弗里·卡恩（Jeffrey Kahn）
[美] 凯瑟琳·T. 利弗曼（Catharyn T. Liverman） 编
[美] 玛格丽特 A. 麦考伊（Margaret A. McCoy）
高 峰 陈 欣 吴大蔚 编译

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

版权专有　侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

NASA 航天员中心健康保障能力 /（美）杰弗里·卡恩，（美）凯瑟琳·T. 利弗曼，（美）玛格丽特·A. 麦考伊编；高峰，陈欣，吴大蔚编译. --北京：北京理工大学出版社，2021.7

书名原文: Health Standards for Long Duration and Exploration Spaceflight: Ethics Principles, Responsibilities, and Decision Framework

ISBN 978-7-5763-0130-4

Ⅰ. ①N…　Ⅱ. ①杰…　②凯…　③玛…　④高…　⑤陈…　⑥吴…　Ⅲ. ①航空航天医学－介绍－美国　Ⅳ. ①R85

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2021）第 156711 号

北京市版权局著作权合同登记号　图字：01-2021-3278

This is a translation of Health Standards for Long Duration and Exploration Spaceflight: Ethics Principles, Responsibilities, and Decision Framework, Institute of Medicine; Board on Health Sciences Policy; Committee on Ethics Principles and Guidelines for Health Standards for Long Duration and Exploration Spaceflights; Jeffrey Kahn, Catharyn T. Liverman, and Margaret A. McCoy, Editors 2014 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司
社　　址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号
邮　　编 / 100081
电　　话 /（010）68914775（总编室）
　　（010）82562903（教材售后服务热线）
　　（010）68944723（其他图书服务热线）
网　　址 / http://www.bitpress.com.cn
经　　销 / 全国各地新华书店
印　　刷 / 三河市华骏印务包装有限公司
开　　本 / 710 毫米×1000 毫米　1/16
印　　张 / 10.25
字　　数 / 146 千字
版　　次 / 2021 年 7 月第 1 版　2021 年 7 月第 1 次印刷
定　　价 / 65.00 元

责任编辑 / 刘　派
文案编辑 / 国　珊
责任校对 / 周瑞红
责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

编译委员会

主　编　高　峰　陈　欣　吴大蔚

编　委（按姓氏笔画排序）：

邢　雷　李伟刚　余　斐　邹鹏飞

宋　尧　陈金盾　周　鹏　董卫军

管春磊　翟志宏　潘津津

译者序

当人类还处于蒙昧时期，就开始渴望宇宙的奥秘。载人航天就是一项有“人”参与的，探索、开发和利用太空的飞天壮举，也是一个国家政治、经济、科学技术发展的集中体现。中国载人航天走过了坎坷而独特的发展历程，取得了举世瞩目的伟大成就。中国空间站在轨稳定运行、航天员长期在轨值守，标志着我国探索浩瀚宇宙进入了全新阶段。

“人”是载人航天工程的最关注的焦点和核心，保障航天员在轨安全、健康和高效工作是载人航天的一项基本技术。随着人类更长时间飞行、向更深太空迈进，航天员面临的健康风险越来越大，包括潜在的短期健康问题、长期健康问题、系统和行为表现等问题，而且太空的未知因素使得长期载人航天飞行的健康保障异常复杂。这不仅需要先进的航天生物医学工程技术、航天重力生理技术、航天营养与食品技术、航天实施医学技术等协同保障支持，也需要高效的健康风险评判与领导决策管理。

从事航天员健康保障技术理论研究与工程实践的团队，编译了《NASA 航天员中心健康保障能力》，本书详细介绍了 NASA 在当前健康标准背景下实行的风险管理过程、相关的法规政策示例、飞行任务中健康决策管理的基本准则与责任机制等内容。书中介绍的技术管理模式与实践经验，对完善我国航天员健康保障能力体系具有积极的借鉴意义。

编　者

目　录

绪论 …… 1

第 1 章　概述 …… 10

1.1　工作内容 …… 11
1.2　委员会职责 …… 14
1.3　任务说明书 …… 15
1.4　国家科学院的相关工作 …… 17
1.5　本书的结构 …… 17
参考文献 …… 18

第 2 章　NASA 风险管理和健康标准 …… 19

2.1　NASA 的风险管理流程 …… 19
2.2　健康标准 …… 25
2.2.1　航天飞行的健康标准 …… 26
2.2.2　NASA 健康标准：航天员健康（2007） …… 27
2.2.3　制定和更新 NASA 的健康标准 …… 31
2.2.4　NASA 的任务成员选择和医疗认证标准 …… 32
2.3　总结与建议 …… 33
参考文献 …… 34

第 3 章　健康风险 …… 38

3.1　任务执行风险 …… 38
3.2　视力损伤 …… 39

需要全本请访问 www.ertongbook.com

3.2.1 概述和风险确定 ……40
3.2.2 风险管理：临床实践指南、监督和研究 ……41
3.2.3 个体差异问题 ……42
3.2.4 健康标准和风险概况 ……42
3.2.5 长期太空探索的问题 ……42
3.3 行为健康与表现风险 ……43
3.3.1 概述与风险确定 ……43
3.3.2 风险管理：对策与研究 ……44
3.3.3 NASA 人类研究计划的研究空白行为健康和表现风险 ……45
3.3.4 团队差异风险 ……45
3.3.5 睡眠和认知风险 ……46
3.3.6 个体差异问题 ……47
3.3.7 健康标准与风险概况 ……47
3.3.8 长期太空探索的问题 ……48
3.4 骨质脱钙 ……49
3.4.1 概述与风险识别 ……49
3.4.2 风险管理：对策与研究 ……49
3.4.3 个人差异问题 ……50
3.4.4 健康标准和风险概况 ……50
3.4.5 长期太空探索的问题 ……51
3.5 辐射接触 ……52
3.5.1 概况与风险识别 ……52
3.5.2 关于辐射限值的选定报告概述 ……52
3.5.3 风险管理：研究、接触极限、监测和对策 ……54
3.5.4 健康标准和风险概况 ……55
3.5.5 个体差异问题 ……56
3.5.6 长期太空探索的问题 ……57
3.6 总结 ……59
参考文献 ……59

第 4 章　人类航天和地面活动的风险接受能力与责任 ····· 69

4.1　工作场所风险管理 ····· 70
4.1.1　OSHA 和 NASA 对工作场所风险的管理 ····· 71
4.1.2　健康标准 ····· 72
4.1.3　监测和监控计划 ····· 75
4.1.4　其他职责 ····· 76
4.2　人类参与研究的风险管理 ····· 76
4.2.1　人类参与研究的规定 ····· 77
4.3　陌生环境中的风险管理 ····· 79
4.4　高风险活动中的风险管理 ····· 81
4.5　影响风险接受水平决策的因素 ····· 82
4.5.1　影响风险评估和接受度的因素 ····· 83
4.6　总结 ····· 86
参考文献 ····· 87

第 5 章　关于道德准则的建议 ····· 94

5.1　概述 ····· 96
5.2　避免伤害 ····· 98
5.2.1　解决避免伤害的不确定性 ····· 99
5.2.2　将道德准则置于背景之下 ····· 100
5.2.3　专注于航天领域的原理 ····· 101
5.3　提供利益 ····· 102
5.3.1　将道德准则置于背景之下 ····· 102
5.3.2　专注于航天领域的道德准则 ····· 103
5.4　风险和利益之间的有利平衡 ····· 103
5.4.1　将道德准则置于背景之下 ····· 105
5.4.2　专注于航天领域的道德准则 ····· 105
5.5　尊重自主的原则 ····· 107
5.5.1　将道德准则置于背景之中 ····· 107

5.5.2 将道德准则置于航天背景中 …… 109
5.6 公平性 …… 110
5.6.1 将道德准则置于特定背景中 …… 111
5.6.2 将道德准则置于航天背景中 …… 111
5.7 忠诚度 …… 112
5.7.1 将道德准则置于特定背景中 …… 113
5.7.2 将道德准则置于航天背景中 …… 113
5.8 建议 …… 114
参考文献 …… 114

第 6 章 对道德准则和决策框架的建议 …… 119

6.1 长期太空探索任务的道德责任 …… 119
6.1.1 知情决策 …… 120
6.1.2 持续学习 …… 122
6.1.3 独立建议 …… 124
6.2 透明度 …… 125
6.3 基于道德准则的决策框架 …… 126
6.3.1 一级：关于健康标准限值的决定 …… 127
6.3.2 决策框架——一级：关于无法满足现有健康标准的任务的决定 …… 128
6.3.3 二级：关于特定任务的决定 …… 130
6.3.4 决策框架——二级：关于特定任务的决定 …… 131
6.3.5 三级：任务成员选择及航天员个人参与任务的决定 …… 131
6.3.6 决策框架——三级：关于机组成员选择及个人航天员参与的决定 …… 132
6.4 结束语 …… 133
参考文献 …… 133

附录 …… 137

附录 A　会议议程 …… 137

A.1　长期太空探索任务健康标准的道德准则和指导委员会 …… 137

A.2　长期太空探索任务健康标准的道德准则和指导委员会 …… 138

附录 B　委员会简介 …… 142

绪　论

自美国载人航天项目设立以来，美国的载人航天已从搭载一人在特定轨道飞行发展到与许多国家的合作伙伴一起在国际空间站（International Space Station，ISS）探索宇宙空间。事实上，载人航天项目的所有任务阶段，包括地面训练、飞行器测试、发射、飞行和着陆都有很大的风险。长期太空探索的健康风险包括短期健康问题（如太阳风暴期间急性辐射接触引起的恶心或疲劳、受伤、视力模糊），以及由于数月或数年飞行所导致的长期健康问题（如辐射诱发的癌症、骨瘤）。长期的太空探索（包括在国际空间站的长期停留或对小行星或火星的探索任务）可能会使航天员面临超出现行健康标准所允许的已知水平的风险，以及各种特征不清、不确定、不可预见的风险。

美国国家航空航天局（NASA）要求美国医学研究所（IOM）制定一个道德准则框架，并在“现有健康标准无法完全满足”或基于现有证据（见 1.任务说明书）无法制定适当的健康标准时，确定用于指导健康标准决策的原则。长期太空探索健康标准的道德准则和指导委员会（简称委员会）没有被要求审查 NASA 的风险管理程序。

1. 任务说明书

NASA 正在规划低地球轨道（LEO）以外的长期太空探索任务。IOM 的委员会将进行一项研究，以审查与执行这些任务的工作人员的健康标准相关的政策和道德问题。委员会将考虑现有的健康标准，并为 LEO 以外的任务制定新的健康标准。这些健康标准将会对未知的、不确定的或超出当前 NASA 风险标准的潜在风险和工作条件进行限制。NASA 正努力寻找一个在现有健康标准无法满足或因知识水平有限无法制定合理的健康标准时，可以用来完善现有健康标准的道德准则和决策框架。作为

审议的一部分，委员会将考虑并回应NASA提出的选择，并进而提供自己的选择。考虑到这项任务对NASA的长期重要性，委员会的报告将详细说明所有建议的支持理由。

需要考虑的问题包括以下两部分。

（1）在进行太空探索性任务时，实行现有健康标准（《NASA载人航天标准》第1卷和第2卷中对此已有定义）以及在必要时制定健康标准，应考虑哪些因素？

① 当暴露的风险不确定、未知或可能超出现行的健康标准时，制定和实施载人航天的健康和安全标准应考虑哪些道德因素？

② 对于任务风险，什么样的知情同意的健康标准是合理的？在这样的条件下，知情同意程序的道德准则限制是什么？在传达与健康风险相关的不确定性时，应采用什么原则？

③ 当潜在风险或已暴露风险不能为人所完全了解，或已暴露风险可能超出现行标准时，应设立怎样的标准才能更好地保护个人？

④ 是否所有航天员和航天飞行机组成员都应受到相同的风险保护或是否应考虑潜在的个体差异？一套健康标准是否就足以满足整个航天工作人员的需要，或者是否还需要解决已知或未知的风险差异以提供统一的保护标准？

（2）是否有其他可供NASA制定政策参考的具有未知风险（或风险超出现行标准）情形的模型与案例？这些模型和案例又是什么样的呢？

为了回应任务说明，IOM成立了长期太空探索健康标准的道德准则和指导委员会。本报告提供了委员会关于道德准则、责任和决策框架的建议，以指导有关长期太空探索健康标准应用的决策。这些建议大都是针对NASA已经考虑的或正在实施的健康标准而给出的。但是，采用这些被建议的道德准则、责任以及决策框架不仅会引入新的流程和责任，还可能会改变现有组成部分的运作环境。

2. 载人航天的健康标准

使用健康标准来保护从事特定类型工作或活动的个人并非只有太空探索领域一个。整个职业环境都会使用健康标准来保护工人并指导设计、

需要全本请访问 www.ertongbook.com

研究和工程工作以及其他目的。委员会审查了各种高风险的职业和活动，并确定了一些共同因素（如风险的类型和严重程度，潜在风险和利益的类型和分布，活动目的，以及独立监督的存在），以辅助审议。但是，委员会无法确定现有道德准则和决策框架是否可用于长期太空探索健康标准决策。

作为负责实施和评估各项航天任务的联邦机构，NASA 利用多种策略解决与航天相关的健康风险，其中包括工程、设计、任务规划、基础和临床研究、监视和医疗监测、预防和治疗对策，以及健康标准。对于 NASA 航天员的健康标准，重点考虑了飞行前、飞行中和飞行后这三方面的问题，即适用的职业标准、允许的暴露限制和允许的结果限制。此外，NASA 还拥有与人为因素、适居性和环境健康相关的健康标准。如果载人航天任务不能满足当前的健康标准或存在修正信息不足，委员会确定和审查的选项是：① 放宽 NASA 的健康标准；② 建立更宽松的“长期太空探索项目的健康标准”；③ 在获得新的保护技术和战略或可用于标准修正的数据之前，将这些任务视为例外情况。依据本报告中的道德准则和责任进行评估时，委员会发现前两个选项是不可接受的。

委员会发现放宽当前的健康标准，以允许特定的长期探索任务在道德准则上是不可接受的。目前，NASA 政策概述了启动新的健康标准或修订当前健康标准所需的行政流程和批准级别。NASA 的健康标准是“建立在最佳的科学和临床证据以及运行经验”上的。此外，对健康标准的审查通常可以每 5 年进行一次，但如果最新研究数据和临床结果表明健康标准需要更新，这种审查则可以随时进行。一般来说，在既定过程之外修改健康标准以满足长期太空探索任务的时间点可被任意设定。

第二种选择是针对长期太空探索任务建立一套独立的健康标准，而对于其他任务则维持当前健康标准。这种方法可能需要在长期允许的风险和太空探索任务中设定一个更宽松的上限，不过，以现有数据和知识几乎不可能量化这些上限的条件。委员会认为，该方法在长期太空探索任务比一般任务应具有更高的可接受风险和不确定性水平方面缺乏明确和令人信服的理由。

在排除了修改现有标准或制定单独标准的选项之后，委员会认为，

在长期太空探索载人航天的背景下，唯一符合道德标准的选择就是针对长期太空探索任务，给现有健康标准设一个特例。委员会认为，对于健康标准的特例应按逐个任务的方式加以考虑，并在道德准则和决策框架被推荐之后，在非常有限的情况下对之进行使用。

在决定风险水平是否可以不满足当前 NASA 的健康标准时，重要的是要看目前的健康标准是否反映了与航天相关的人类健康和安全风险的最相关和最新证据。虽然 NASA 有正式的健康标准来启动和修订政策，但委员会认为应该向公众提供有关决策标准、过程以及道德准则应用的更多信息。

建议 1：扩大启动和修订健康标准的政策

NASA 应确保对有关健康标准政策做出详细说明，确定可以启动制定或修订健康标准的条件或情况（及相关优先事项），并明确说明这些政策为何与本报告中所阐述的道德准则完全一致。

3. 道德准则

几个世纪以来，哲学家们一直在争论西方在道德准则和政治哲学方面的主要理论的相对优缺点：功利主义，基于职责的方法，基于道德准则的理论等。一种可以成功避免单一伦理理论需要的方法是关注中层原则，而不是其所属的理论或其衍生理论。事实证明，当被要求使用这种方法寻找那些具有挑战性的道德准则问题的共同点时，由具有不同专业背景的个人组成的专家组取得了非常大的成功，这些道德准则问题都在公共政策背景下获得了最佳的处理。这是因为委员会采用了一种基于道德准则的方法，以确认其可访问性和适用性。

建议 2：将道德准则应用于健康标准制定和实施

NASA 应在制定和实施长期太空探索载人航天的健康标准中应用以下道德准则。

（1）避免伤害——该原则包括防止伤害，谨慎行事以及消除或减轻所发生的伤害。因此，NASA 应该穷尽所有可行的措施，以最大限度地降低航天员长期太空飞行的风险，包括通过风险预防和缓解方法解决不确定性，这些方法包括安全边际，以及允许逐步接受风险的持续学习

机制。

（2）有益——为他人提供福利的原则。NASA 应在其决策中考虑特定任务的潜在利益，包括其科学和技术重要性，以及潜在的受益者，其中包括当前和未来的航天员以及所有的人类社会成员。

（3）风险和利益的有利平衡——在风险损害和潜在利益之间寻求有利并被接受的平衡原则。在授权开展长期探索任务以及批准特定任务时，NASA 应利用现有的科学证据，系统地评估风险和收益以及各自的不确定性，并确保收益足以超过风险。

（4）尊重自治——确保个人既享有自决权又拥有这一权利的行使权。NASA 应确保航天员能够尽可能在参与拟议任务的个人决策中行使自治权，他们拥有关于拟议任务的风险和利益的所有可用信息，并且在整个太空探索任务过程中有权了解最新的信息。

（5）公平——这一原则要求平等对待所有的航天员，公平分配负担和利益，并创造和遵循公平程序。NASA 围绕任务做出的决策应明确解决公平问题，包括任务的风险和收益分配、成员选择以及太空探索任务后对航天员的保护。

（6）忠诚——这一原则承认为社会利益做出个人牺牲会产生社会责任。考虑到航天员在参与危险任务时所承受的风险，NASA 应尊重义务的相互关系，并确保航天员的健康得到有效保护，该保护不仅限于太空探索任务期间，包括在返回地球后为航天员提供终身医疗保健。

4. 基于道德准则的责任

根据道德准则制定的具体责任应适用于从事特定活动的个人和组织。NASA 作为雇主，一个负责创新和探索的联邦机构，一个科研赞助商和国际伙伴，有道德义务承担并实行建议 2 中所陈述的道德准则。具体而言，道德准则需要被纳入关于风险是否超出现行健康标准允许范围内的决策中，这样的话，就要确定从事道德准则上可接受的长期太空探索性任务时需要满足的工作条件必须满足哪些条件才能参与道德上可接受的长期太空探索性任务。这些决策会进一步地受到成本、时间、技术可行性等限制条件的影响。

建议 3：实施道德责任

NASA 应认可以下与长期太空探索健康标准相关的道德责任的政策或程序：

（1）向航天员充分告知长期太空探索任务的风险，并确保知情决策过程充分且适当。

（2）坚持持续学习策略（包括健康监测和数据收集），以确保健康标准能随着时间的推移有所发展和改进，并通过在长期太空探索任务之前、期间和之后的数据以及从其他相关来源获得的数据来获取信息。

（3）征求对任意允许特定任务不必达到 NASA 健康标准或修改健康标准的决定的独立建议。

（4）以程序上透明、公平和及时的方式，与所有利益相关者（如航天员和广大公众）沟通任何有关健康标准的决定、相关的理由和可能的影响（包括伤害类型、严重程度和概率估计），为公众参与提供充分的机会。

（5）尽可能为参与长期太空探索任务的工作人员提供平等机会。例如，工作人员选择的公平性意味着 NASA 应接受人口风险中的一些群体差异，以便创造参与任务的平等机会，并基于对人口的风险评估采取措施适应个体差异，确保该差异不会危及任务操作。

（6）为航天员提供终身医疗保健及长期健康检查服务以保护其健康，同时，支持对健康标准的持续评估，提高任务安全性，降低航天员当前和未来所面临的风险。

（7）制定并使用适当且能够充分保护航天员健康数据的政策。

5. 基于道德准则的决策框架

在评估无法满足当前健康标准的长期太空探索任务时，NASA 可以通过三个步骤构建决策框架来促进决策规划（见 6.决策框架）。

第一个也是最广泛的决策（级别 1）是，明确任何不太可能符合当前健康标准的任务是否符合道德规范。如果 NASA 决定不符合现有健康标准的任务是不可接受的，则必须推迟此类任务，直到有关风险或不确定性的新知识可用或风险缓解策略可用为止。

如果 NASA 决定现有健康标准的特例在道德准则上是可以接受的，那么 NASA 必须要确定应该采用什么过程和标准将该任务判定为特例。根据所确定的道德准则，特例审查请求的健康标准包括拟议任务应满足以下要求：

- 预计会有极高的社会价值；
- 有很强的时间紧迫感；
- 预计有可以广泛分享的利益；
- 相对实现任务目标的替代方法来说是合理的；
- 确定不能满足现有的健康和安全标准；
- 致力于减少伤害和持续学习；
- 拥有严格的同意程序，以确保航天员充分了解风险和未知因素，达到知情决策的标准，并做出自愿决定；
- 为航天员提供医疗保健和健康监测（飞行前、飞行中、飞行后）。

在道德准则上可被接受的授予例外的过程一般是建立在事实基础上的，透明且会征求独立的建议。委员会强调，只有极少数情况才能认为是特例，与此同时应增加 NASA 和社会的责任。

第二级决策（级别 2）是确定某一不可能达到现行健康标准的特定任务是否在道德上可以接受。这需要评估任务是否满足级别 1 所述的条件。尽管级别 1 可能是 NASA 的一次性决定，会影响所有的长期任务和探索任务，但级别 2 的决定将根据任务逐个做出。

一旦一个特殊的任务在道德准则上被认定为可接受，则第三级决策（级别 3）就涉及根据任务所需的技能和专业知识、航天员的身体敏感性、个人风险因素（如果已知）和航天员的参与知情权来确定该太空探索任务的所有成员。

建议 4：采用基于道德准则的决策框架

NASA 应根据相关的道德准则，并通过基于道德准则的三级决策框架履行相应的责任。

- **级别 1：关于允许航天员面临的健康和安全风险超过健康标准允许的风险的决定；**
- **级别 2：关于执行具体任务的决定；**

- **级别3：关于航天员个人参与和任务人员组成的决定。**

6. 决策框架

级别1：关于不符合健康标准的任务的决定

决策点：NASA是否应该执行：不符合健康标准、在没有适用标准的情况下涉及重大风险和涉及较大的不确定性，以致NASA不能排除前两个可能性的太空任务？

如果是这样，应该使用什么标准去确保特殊的任务可以被允许？

道德准则和应用：避免伤害、有利、可接受的风险—利益平衡、忠诚、决策透明、致力于持续学习、决策程序公平性。

道德责任示例：确保已采取一切可行的措施，将航天员的风险降低到可能达到的最低水平。

- 检查所有最小化风险的方法，包括实现任务目标的替代方法；
- 评估并传达利益；
- 确定并传达执行任务的时间紧迫性；
- 彻底监测和研究太空探索任务期间和之后的健康影响，以了解当前和未来的任务；
- 通过获得医疗保健记录、纵向随访和预防性筛查等方法确保当前和未来航天员的未来健康。

级别2：关于具体任务的决定

决策点：给可能不符合现有健康标准的任务授权后，特定的长期任务和/或太空探索任务在道德上是否可以被接受？

道德准则和应用：避免伤害、可接受的风险—利益平衡、决策透明、致力于持续学习、决策程序公平性。

道德准则示例：

- 遵守既定和透明的标准；
- 共享风险升级决策和策略；
- 持续输入独立的信息以促进健康标准的升级和完善；
- 在任务期间和任务后，实施强有力的职业健康监测和数据收集计划；

需要全本请访问 www.ertongbook.com