



在行星边界框架内对相关行星状况的全面评估

对我们星球状况的科学评估

执行摘要

20
24



Planetary Boundaries
SCIENCE



2024

**Planetary Boundaries
SCIENCE**

致谢

作者: Levke Caesar*, Boris Sakschewski*, Lauren Seaby Andersen, Tim Beringer, Johanna Braun, Donovan Dennis, Dieter Gerten, Adrian Heilemann, Jonas Kaiser, Niklas H. Kitzmann, Sina Loriani, Wolfgang Lucht, Josef Ludescher, Maria Martin, Sabine Mathesius, Anja Paolucci, Sofie te Wierik, Johan Rockström (*本作品的平等贡献者, 并被指定为共同第一作者)

艺术设计与图表绘制: Globaia

感谢 PIK 的多位同事自愿贡献时间与智慧, 协助完成本译文工作, 特此致谢: 田兴帅, 钟佳睿, 刘轶青, 苟睿健, 念达, 田颖琳

编辑: Planetary Boundaries Science (PBScience)



Planetary Boundaries Science 是 2023 年底建立的一个国际科学合作平台, 旨在提供年度行星健康评估报告, 同时稳步推进基础科学研究, 并促进及时而高效的科学交流。PBScience 将通过以下方式完善行星边界评估工作: a) 应用尖端的数据分析技术; b) 利用现有的最新数据集; c) 加强地球系统建模; d) 整合现代传播手段, 增强地球边界理论的公众认知效果。PBScience 将与 Planetary Guardians 密切合作, 致力于提高全球意识, 推动维护行星稳定的实际行动。

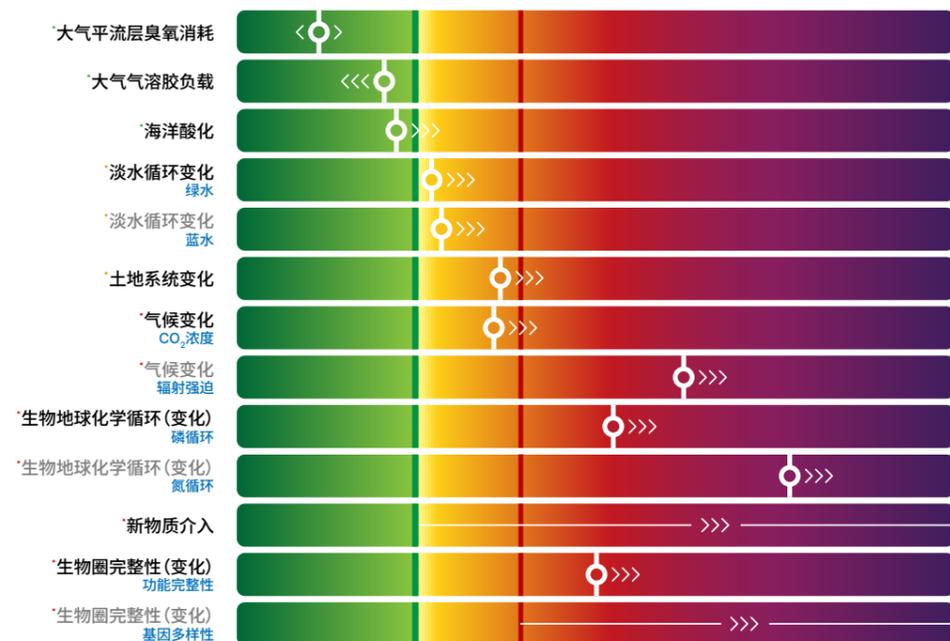
联系方式: PBScience@pik-potsdam.de



© Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK); Member of the Leibniz Association, Telegraphenberg A 31, 14473 Potsdam, Germany; 2024

2024年行星健康检查 - 摘要

这份首次发布的年度报告标志着监测和保护地球稳定性、恢复力及生命支持功能——即我们称之为“行星健康 (Planetary Health)”——的关键一步。我们新近成立并迅速发展的国际科学伙伴关系，名为“行星边界科学 (PBSscience, 也称地球边界科学)”，旨在通过整合新数据和方法来推进行星边界 (PBs) 框架的发展，同时促进创新性的科学交流。



图：行星健康概览 正如血液检查能够提供关于人体健康的见解并识别出需要关注的问题，这份地球健康检查通过评估九个行星边界过程中的十三个控制变量，来报告地球的稳定性和生命支持功能——即我们星球的整体健康状况。2024年的评估显示，九个行星边界中的六个已经被突破：气候变化、生物圈完整性、土地系统变化、淡水循环变化、生物地球化学循环变化以及新物质介入。所有这些边界均显示出不断上升的趋势，表明在不久的将来会进一步被突破。三个行星边界过程仍保持在安全操作空间内：海洋酸化（上升趋势且接近边界）、大气气溶胶负载（全球下降趋势）以及平流层臭氧层消耗（无明显趋势）。

已突破安全行星边界水平的六个过程为：



一、气候变化：大气中二氧化碳 (CO₂) 水平已达到1500万年以来的最高点，全球辐射强迫 (radiative forcing) 持续上升，伴随着自20世纪末以来全球变暖趋势的加速。目前，全球平均气温已经比地球上人类文明出现以来任何时期都要高。



二、生物圈完整性变化：全球基因多样性和功能完整性的丧失（以生态系统可用能量衡量）均已超出安全水平，并且仍在加速，尤其是在土地使用强度大的地区。生物圈完整性大幅下降引发了对地球生物圈正在失去其韧性、适应性以及缓解多种压力（包括其他行星边界的越界）能力的担忧。



三、土地系统变化：由于土地使用和日益严重的气候变化，在过去的几十年间，全球和区域性主要森林生态区的森林面积都在稳步减少。大多数地区已经处于高风险区，远远超出了安全边界，而另一些地区（例如温带和热带美洲）最近才刚刚超出安全水平。



四、淡水循环变化：自19世纪末以来，局部径流和土壤湿度偏差已经显著增加，并在20世纪初超过了相应的行星边界。全球淡水和陆地水系统的变化和不稳定性的加剧，表明人们对水资源管理和环境稳定性的担忧日益增加。



五、生物地球化学循环变化：农业中磷和氮的使用已超出安全边界，导致了重大生态变化。突破这一边界已造成了严重的环境影响，例如水污染、富营养化、有害藻类爆发以及淡水和海洋生态系统中的“死区”。这一问题不仅长期存在于工业化国家，也逐渐成为发展中国地区的一个重要关注问题。



六、新物质介入：全球范围内引入的人造物质数量庞大，如合成化学品、塑料和转基因生物。然而，其中很大一部分的环境影响仍未得到测试。这表明该边界可能已经被突破，尽管确切的数据尚不明确。人造物质可能会破坏关键的地球系统过程（例如，氯氟碳化物 (CFCs) 对臭氧层的破坏）、损害生态系统（例如，杀虫剂导致昆虫和传粉者种群的显著下降），并导致环境中长期的、可能不可逆的变化，包括土壤和水体的污染以及自然栖息地的改变。

术语表

Term in English	Translation	Explanation
Planetary Boundary / Boundaries	行星边界 (也称地球边界)	类似全新世的安全操作空间外边界, 定义了人类在不对环境造成重大干扰情况下可安全操作的极限。
Safe Operating Space	安全操作空间 (也称安全运行空间)	允许人类世代发展和繁荣的地球系统状态, 条件与全新世相似。
Zone of Increasing Risk	风险增加区	跨越边界会将我们的星球推入“风险增加区”, 随着边界持续被突破, 发生损害的可能性也会增大。
High-Risk Zone	高风险区	在该区域, 各项条件显著偏离安全水平, 极有可能导致严重、潜在不可逆的环境影响。
Whole Earth Approach	整体地球方法	整体性视角, 将地球视为一个深度互联的系统——由密集交互的部分组成的网络。这种方法强调, 在评估人类行为时, 须综合考虑地球的所有方面(或边界)。例如, 只有在保持生物圈完整的情况下, 才能成功应对气候变化
Control Variable	控制变量	用于评估行星边界过程状态或条件的代表性指标。通常, 每个行星边界使用1-2个控制变量来监测和评估其状态。
Planetary Health Check	行星健康检查	在行星边界框架内对相关行星状况的全面评估
Climate Change	气候变化	地球辐射平衡的改变——例如, 由于大气中温室气体的积累
(Change in) Biosphere Integrity	生物圈完整性(变化)	生物体和生态系统的多样性、范围和健康状况下降
Land System Change	土地系统变化	自然景观的改变, 例如由于森林砍伐和城市化
Freshwater Change	淡水循环变化	全球水循环的变化
(Modification of) Biogeochemical flows	生物地球化学循环(变化)	全球氮磷营养循环受到的干扰
Ocean Acidification	海洋酸化	由于吸收大气中的二氧化碳, 海水酸度增加(pH值降低)的现象
Atmospheric Aerosol Loading	大气气溶胶负载	人类活动或自然来源导致的空气中颗粒物增加
Stratospheric Ozone Depletion	大气平流层臭氧消耗	主要由人造化学物质导致的高层大气中臭氧层变薄

尽管海洋酸化已接近突破其边界, 以下三个行星边界过程仍处于安全操作空间内:



七、海洋酸化: 海洋酸化正在接近临界阈值, 伴随着表面文石饱和度的显著下降, 尤其是在北冰洋和南大洋等高纬度地区。这些地区对海洋碳泵和全球养分循环至关重要, 它支撑着海洋生产力、生物多样性和全球渔业。不断加剧的酸化对海洋生态系统的威胁日益严重, 特别是那些依赖碳酸钙形成外壳的生物。



八、大气气溶胶负载: 南北半球之间的气溶胶光学深度差异正在缩小, 表明大气气溶胶负载正在向更安全的水平推进, 尽管一些地区的模式显示出相反的趋势。气溶胶通过反射阳光回到太空和改变云的形成, 进而影响地球的能量平衡。这影响了全球和区域气候系统, 包括温度调节、降水模式和太阳能分布。管理气溶胶水平对于维持地球气候系统的稳定性至关重要, 并防止可能扰乱天气模式和生态系统的变化。



九、平流层臭氧层损耗: 臭氧层恢复已趋于停滞, 且趋势不一, 南极臭氧空洞的修复仍面临着持续挑战。平流层臭氧层在保护地球免受过量紫外线(UV)辐射方面发挥着至关重要的作用。这种保护对维持地球生物系统的完整性至关重要, 因为紫外线辐射会损害浮游植物, 扰乱海洋生态系统, 并改变陆地植物的生长——这些都是全球食物网和碳循环的基础要素。稳定和恢复臭氧层对于保护这些相互关联的地球系统过程至关重要。

新时代

人类已经在气候稳定和地球系统具有韧性的时期内繁荣发展了10,000多年, 这期间先进技术和文化得以发展。然而, 正如报告所显示的, 我们正在进入一个危险的新时代, 该时代以行星边界持续被突破并日益严重为标志, 例如更频繁的极端天气事件、野火、植物生产力下降和水资源短缺等。全球人口的持续增长让这些挑战更加复杂, 我们必须应对前所未有的困难。除了这些紧迫的担忧外, 更深层次的威胁是地球系统的韧性逐渐减弱。随着我们接近并可能跨越关键的临界点(tipping point), 这些缓慢的变化可能不会导致突然的转变, 但可能会触发不可逆转的趋势, 例如海平面的加速上升以及自我加强的路径, 这将使我们进一步远离对人类生活至关重要的稳定、类似全新世的条件。

行星过程的相互关联意味着解决其中一个问题(例如将全球变暖限制在1.5°C以内)需要同时应对所有问题。这种整体方法虽然艰巨, 但提供了将负担转化为可持续发展机会的潜力。扭转当前推动系统走向转折点的多个因素, 可以产生保护和增强韧性的协同效应。立即开展协调一致的全球行动, 包括政府、企业和民间社会的参与, 对于恢复所有行星边界的安全操作空间并确保人类与地球的繁荣未来至关重要。

前进的道路

在不久的将来, PBScience计划与不断扩大的合作伙伴网络合作, 建立一个更广泛的“行星边界倡议(PBI)”。该倡议旨在利用行星边界框架作为一种科学核算系统, 提供决策支持, 通过指导政策、激发创新和推动变革, 引导全球发展重回到安全操作空间。

为实现这一目标, 行星健康检查(PHC)将发挥核心作用。首先, 通过每年发布年度报告来更新行星边界科学及人类通向安全边界的进展。该方法包括引入新的控制变量, 重点关注人与系统的交互, 利用AI分析推动地球系统模拟模型, 并开发实时更新的数据仪表盘, 以指导投资决策和安全路径。“行星边界倡议”还强调公众意识和科学理解的重要性, 并有一个传播团队致力于使这些见解得到广泛传播。

Introduction of Novel Entities	新物质介入	新物质介入包括合成化学品和物质,人为释放的放射性材料,以及对进化过程的人为干预,例如转基因生物(GMOs)和其他直接改变进化的方式。
CO ₂ concentration	CO ₂ 浓度	大气中的二氧化碳浓度
Radiative Forcing	辐射强迫	对大气顶部能量平衡变化的直接测量,反映地球气候系统中增加或减少的能量。这涵盖所有影响地球能量平衡的人类活动:二氧化碳排放、其他温室气体(如甲烷、氧化亚氮)、气溶胶和土地利用变化。
Phosphorus Cycle	磷循环	磷是一种对植物生长至关重要的养分,以肥料的形式施用于农田。“磷循环”涵盖了自然界中将磷在植物、动物、土壤、岩石和水体之间转移的所有过程。
Nitrogen Cycle	氮循环	氮是一种对植物生长至关重要的养分,以肥料的形式施用于农田。“氮循环”涵盖了自然界中所有将氮在植物、动物、土壤、水体和大气之间转移的过程。
Green Water	绿水	植物可利用的淡水,即土壤水分
Blue Water	蓝水	存在于湖泊、河流和水库中的淡水
Functional Integrity	功能完整性	地球上生命的运行,以自然界通过光合作用吸收的能量来衡量(“生态系统生产力”)。它以人类活动(例如农业、林业和城市化)改变生态系统生产力以及通过收获供人类使用和消费的产品来提取能量的程度来衡量
Genetic Diversity	基因多样性	地球生命的多样性,以濒临灭绝的物种数量来衡量
Tipping Point	临界点	系统的临界阈值,超过该阈值,系统变化就会自我延续,导致重大、广泛、通常突发且往往不可逆转的影响。
Tipping Element	临界要素	地球系统中可能会超过临界点的组成部分,将导致地球状态发生重大且往往不可逆转的变化。例如冰盖、洋流或大规模生态系统。
Drivers of Transgression	越界驱动因子	导致超越或突破行星边界(PB)的人类活动,使地球系统被推离其安全运行空间。例如化石燃料燃烧、森林砍伐和污染。