

## 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第六次评估报告 (AR6) 第三工作组报告《减缓气候变化》 中涉及人工干预太阳辐射的简报

2022年4月4日, IPCC AR6 第三工作组 (WG-III) 报告<sup>i</sup> (以下简称“《报告》”) 正式发布。《报告》聚焦减缓气候变化, 对减少温室气体排放以及从大气中移除温室气体等方法进行了评估。本简报第一部分总结了《报告》对人工干预太阳辐射 (SRM) 的评估<sup>ii</sup>, 第二部分是卡内基气候治理倡议 (C2G) 总结的一些关键政策影响。<sup>iii</sup> 《AR6 综合报告》计划在 2022 年 9 月发布, 其中涵盖三份工作小组报告的主要发现。

### 第一部分: 《报告》中关于 SRM 的主要研究结果摘要

[《报告》](#) 在不同地方对 SRM 及相关信息进行了介绍, 但这些内容未包含在《决策者摘要》中。其中, 《报告》第 14 章“跨工作组第 4 方框部分: 人工干预太阳辐射 (SRM)” 和“14.4.5.1 人工干预太阳辐射和相关风险的全球治理”部分提供了对 SRM 方法的详细评估。[《技术摘要》](#) 也提到了 SRM。第一部分包含对这些信息的摘录。

#### 《技术摘要》

《技术摘要》提到了国际合作未能解决与 SRM 相关的跨界问题。

*“在追求可持续发展和公平的背景下, 要确保减缓措施与升温幅度控制在远低于 2° C 的水平内这一目标保持一致, 就需要在几个关键方面加强国际合作 (高置信度)。 (……) 国际合作已经开始, 但迄今为止未能充分解决与人工干预太阳辐射和二氧化碳移除相关的跨界问题。” {14.2、14.3、14.4、14.5、14.6, 第 14 章中跨工作组第 4 方框部分}*

#### 科学技术评估底报告

科学技术评估深入研究了 SRM 作为一种潜在的气候响应方案所存在的潜在风险和收益, 以及相关的全球治理考虑因素。

第 3 章有一部分阐述了部门排放策略和实现净零的时间计划, 其中表示, “在减缓路径方面, 只有少数研究探讨了人工干预太阳辐射 (SRM), 通常侧重于平流层气溶胶注入。这些研究发现, 即使 SRM 可以使用, 也需要采取大力度的减缓措施, 才能将升温幅度限制在指定水平内。SRM 可能会减少一些气候影响、降低峰值温度、节约减缓成本, 并为完成减缓目标留足更多时间; 然而, SRM 并未解决海洋酸化问题, 并可能为作物产量、经济、人类健康或生态系统带来风险。SRM 也存在很大的不确定性, 包括成本和风险的不确定性, 这可能会大幅改变模拟路径所使用的 SRM 的量。此外, 国际合作的程度会影响 SRM 在情景中部署的量, 而行动不协调会导致 SRM 部署规模扩大, 进而引发更大的

SRM 风险/影响。将研究和治理相融合需要全方位考虑社会层面的选择和后果。”

#### 跨工作组第 4 方框部分：人工干预太阳辐射 (SRM)

跨工作组方框部分（也包含在《第二工作组报告》中）“评估了 SRM 提议、它们对减少或增加气候风险的潜在影响，以及可能带来的其他风险（在 IPCC AR6 1.2.1.1 风险定义中归类为气候变化响应风险），以及相关的认知、道德和治理问题。” {CWGB SRM} 下面列举了一些关键发现，这些也是“跨工作组第 4 方框部分”涵盖的几个方面（斜体字是直接引用的内容） {CWGB SRM}：

- “SRM 与减排和二氧化碳移除等减缓气候变化的方法有所不同，SRM 通过改变地球的辐射收支，进行对气候变化问题的一种‘遮掩’，并非解决问题的根源即大气中温室气体浓度的增加。“研究文献普遍认为，在应对气候变化风险方面，SRM 不能作为应对气候变化的主要对策，充其量只是全球实现持续净零或净负二氧化碳排放水平的一个补充。（详见方框部分关于“人工干预太阳辐射方案提议”）
- “在努力实现《巴黎协定》全球长期温控目标的背景下，SRM 部署存在不同的假设情景”，表现为“SRM 收益、副作用的不同程度和分布。”……“有部分观点认为，要确保到 2100 年实现《巴黎协定》的温控目标，如果实施减排和二氧化碳移除还不够，可能 SRM 就是唯一的选择”。（详见方框部分“哪些情景”）
- 最近研究表明，优化后的 SRM 策略从概念上看可以实现多个气候目标。然而，SRM 这种方法给人类和生态系统带来了一系列新风险，包括对作物、人类健康、生物多样性的风险，以及给国际合作与和平带来的风险。部分由于研究不足的原因，这种方法给作物产量、经济、人类健康或生态系统带来的风险还不是非常清楚，而对于 SRM 降低气候变化风险的潜力，也存在巨大的不确定性和知识缺口。（本段是从多个段落里整理出来的。有关详细信息，请参见方框部分“SRM 给人类和自然系统的风险以及降低风险的潜力”）
- “大多数[关于公众认知的]研究仅限于西方社会，但也有一些例外。研究一再发现，受访者对 SRM 基本没有了解。”（详见方框部分“公众认知”）
- “有人担心公开讨论、研究和潜在部署平流层气溶胶注入 (SAI) 技术等做法可能引发‘道德风险’，也许会阻碍正在实施和未来继续推进的减缓措施，但实证根据有限，而且其主要还停留在个体层面，而不是社会层面”……“对于研究和户外实验是否会为最终部署形成“滑坡谬误”，从而导致锁定长期实施 SRM，或是后期可以通过有效监管来防止不利结果的出现，文献的一致性较低。”……“参与 SRM 研究的主要是发达国家的少数专家，要让不同国家和地区的人们参与进来，可以做的还很多……”（详见方框部分“道德”）

- “目前还没有专门的、正式的国际 SRM 治理框架来规范研究、开发、演示或部署等行为……”和“……缺乏有力和正式的 SRM 治理会带来风险。”“如果能同步推进 SRM 治理和研究，就有可能合理开发 SRM 技术，确保公众广泛参与和政治合法性，并防止与各种情景下的潜在风险和危害。”（详见方框部分“研究和部署治理”）。

#### 第 14 章第 14.4.5.1 节：SRM 与相关风险的全球治理

《报告》第 14 章里有一节专门讨论了 SRM 和相关风险的全球治理。

- “文献中所说的人工干预太阳辐射也称为‘太阳地球工程’，是指有意干预地球的短波辐射收支，例如将更多阳光反射回太空，以减少变暖。截止目前已经提出了几个 SRM 方法，包括平流层气溶胶注入 (SAI)、海洋云增亮 (MCB)、人工干预地表反照率和调整海面反照率 (OAC)。人们已经开始在气候风险管理策略的大框架内，探索将 SRM 作为一种潜在应对方案，包括将 SRM 作为减排、二氧化碳移除和适应的补充，例如作为一项临时措施来减缓变暖速度或解决升温超标。对 SRM 潜在收益和风险的评估仍然主要依赖于计算机模拟工作及其基础情景假设。”
- “平流层气溶胶干预 (SAI) 是研究最多的一种 SRM 方法，对国际治理提出了重大挑战，因为它有可能以相对较低的直接成本展开单方面或小团体单方面部署，同时相比任何其他气候政策措施，能够更快改变全球平均温度。受部署系统设计的影响，地球物理层面的收益和不利影响可能分布不均。意识感觉的局部损害可能会加剧地缘政治冲突，这不仅取决于哪些国家参与了部署，还有一个原因是可能立即将气候影响归因于检测到的 SAI 部署。在部署不协调或研究不足的情况下，由意识感觉到的气候紧急状态引发的少数国家的部署可能会造成国际紧张局势。另一个风险是 SAI 活动突然终止后温度迅速升高。”
- “关于 SAI 的国家级甚至次国家级治理有改善空间，比方说对研究（注意区分室内与户外研究的区别）和公众参与的治理。SAI 的国际治理仍面临挑战，即如果综合制度架构设计得太早，对于之后的政治、制度、地球物理和技术发展而言，有可能限制过多或者过于宽松。人们对治理的看法不一，有想要加以限制的，也有支持研究和潜在部署的；除了这两种极端观点外，还有人建议作者强调预防性措施的可操作性，即在科学共识、影响评估和治理问题达到具体标准之前不要展开部署。很多学者建议治理工作应该与相应的 SRM 技术共同推进，而治理至少要比研究、开发、演示和潜在部署提前一步落实。随着建模工作者越来越注重证明 SAI 可以通过哪些方式来帮助最大限度地减少气候变化对发展中国家的影响，SRM 治理文献已经开始将 SAI 对全球公平的影响纳为考虑因素。”
- “鉴于 SRM 提议的风险和潜在收益存在很大差异，而且这一技术的大规模部署也存在很高的风险性，因此针对短期的预期治理或适应性治理也有了各种具体提案。很多作者提出了广泛的治理原则；主要可以归纳为以下四点：(1) 防范潜在的风险和损害；(2) 能够对科学知识进行适当的研究和开发；(3) 为公

众和专家提供相关信息，调动他们的参与积极性，使未来的任何研究或政策制定做到合法化；(4) 确保 SRM 仅作为更广泛的、以减缓为中心的气候变化响应组合的一部分。关于国际制度规范化的方案包括正式融入现有的联合国机构，如联合国气候变化框架公约 (UNFCCC) 或生物多样性公约 (CBD)、组织专门的但不太正式的全球论坛，以及俱乐部治理模式等。近年来还出现了关注 SRM 治理的跨国非国家行为者，主要是专家网络和非政府组织。”

- “尽管一些多边协议，例如《生物多样性公约》、《联合国海洋法公约》、《禁用改变环境技术公约》或《保护臭氧层维也纳公约》及其《蒙特利尔议定书》包含了适用于 SRM 的规定，但就 SRM 还没有出台针对性的国际法律。”
- 最后，表 14.4 “国际合作对部门减缓工作的影响”指出眼下缺少应对 SRM 风险和收益的合作机制，并指出“国际合作可以采用更明确的策略来解决与二氧化碳移除 (CDR) 和太阳辐射管理 (SRM) 相关的跨界问题。”

## 第二部分：C2G 分析和潜在政策影响

这一部分根据《报告》所提出的新发现，列举了 C2G 分析中对于 SRM 的治理“具有参考意义的潜在问题。

- **知识缺口** - 《报告》指出，虽然 SRM 也许能够作为主要气候应对方案（即减缓和适应）的一种补充，抵消变暖和缓解一些气候危害，但人们对 SRM 降低风险或导致新风险的潜力仍然知之甚少。决策者可以考虑是否以及如何加强对 SRM 的了解并填补相关的知识缺口，以便未来在可能展开进一步讨论或做出决策时握有足够的数据和信息，同时有效解决与道德风险有关的问题。加强对有关 SRM 风险和影响的跨学科知识的积累有助于为风险比较分析提供重要信息，这种风险比较指的是在未来世界超过公认的升温目标或全球气候关键临界点的情况下，比较部署或不部署 SRM 的相对风险。这种风险比较分析对决策者来说可能会变得越来越重要。这种分析还可以为加强 SRM 相关治理提供重要的信息依据。
- **研究治理** - 《报告》强调，SRM 研究虽取得了进展，但仍然不足，同时也缺少正式的国际研究治理，这些是导致研究和部署之间界限模糊的户外实验面临特殊挑战的因素。决策者可以考虑围绕此类研究专门实行更正式的国际治理措施的重要性，以及如何在实践中落实，包括如何最有效地解决道德风险问题。《报告》强调的一种潜在方法就是“为公众和专家提供相关信息，调动他们的参与积极性，使未来的任何研究或政策制定做到合法化[……并] 确保 SRM 仅作为更广泛的、以减缓为中心的气候变化对策组合的一部分。”决策者还可以从消除这几项担忧入手：研究 SRM 可能会分散、拖延或淡化变革性减排、移除和适应的关键需求（进行研究的道德风险）。还有一种风险就是不清楚 SRM 从科学、社会、操作和政治可行性的角度看能否成为额外的气候响应方案，决策者可以权衡这种未知风险和道德风险（不进行研究的道德风险）。

• **治理缺口** – 《报告》还强调，目前在研究、开发、演示或部署上缺乏专门的、正式的国际 SRM 治理。《报告》指出，“文献普遍认为，在应对气候变化风险方面，SRM 不能作为应对气候变化的主要对策，充其量只是对实现全球持续净零或净负二氧化碳排放水平的一种补充。”全面的国际框架可以为 SRM 风险、收益和治理挑战提供交流空间和进行了解，从而有可能利于 SRM 的决策，缺少这样的框架会导致治理出现空白，这本身就是一种全球风险。决策者不妨考虑以下几点：

1. 是否、如何以及在何处组织必要的、包容且透明的全球讨论，以便各国能够共同评估并确定部署 SRM 的风险和收益是否超过不部署的风险和收益；
2. 全球能否以及如何将任何潜在部署 SRM 带来的风险（已知和未知）最小化和收益最大化；
3. 能否以及如何处理将 SRM 纳入或排除为管理气候风险列出的潜在响应方案中所带来的影响。

• **社会评估** – 与全球不同受众展开包容性的讨论，倾听来自气候脆弱群体的声音和观点，并融合多学科知识，可有助于解决与任何涉及 SRM 的政策立场的高层面的复杂问题。此外，这样的讨论可以提升对不同水平的风险承受能力的理解，并建立对证据基础的更广泛的共识。决策者不妨考虑能否以及如何鼓励和支持此类活动。

• **多边讨论** – 例如联合国内部的对话可以提高对 SRM 作为气候响应方案所能发挥的潜在作用（如果有的话）的认识并拓宽理解。联合国环境大会等进程针对 SRM 展开全球讨论、知识共享和评估，以及 IPCC 对最新科学研究进行分析可能会有一定的帮助。联合国大会的初步考虑可以为多边讨论提供高层面的指导，并确定后续行动方案来有助于人们更好地了解 SRM 在解决全球温度超过（超调）原定升温目标或气候引起的全球临界点等情景中可能发挥的作用（如果有的话）。决策者可以考虑能否以及如何在相关政府间进程和论坛中以非正式和正式的方式推进对这些问题的审议。

\*\*\*

有关 SRM 和 IPCC 报告的更多信息，请访问 C2G 网站：

<https://www.c2g2.net/intergovernmental-panel-on-climate-change/>

如发现文中存在重大错误或提出更正建议，请发送电邮至 [contact@c2g2.net](mailto:contact@c2g2.net)。  
本报告经知识共享 (Creative Commons) [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)（署名-非商业性使用-相同方式共享）协议许可。若出于教育宣传或非营利目的，可以在取得 C2G 的许可后转载本文内容。原版发布于 2022 年 4 月 4 日（英文）。

---

<sup>i</sup> 请参见：

[https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf)

<sup>ii</sup> 欲查看有关第一工作组和第二工作组报告如何评估 SRM 的单独简报，请访问 C2G 网站：<https://www.c2g2.net/intergovernmental-panel-on-climate-change/>

<sup>iii</sup> 有关改变气候的新兴方法及其治理的更多详细信息，请访问 C2G 网站：[www.c2g2.net](http://www.c2g2.net)。若您对于这项议题不是很了解，可以从 [C2G 术语表](#) 中找到有用信息。

<sup>iv</sup> 一个全面的概念，涉及用于制定、管理、实施和监控政策和措施的各种方法（[IPCC《全球升温 1.5°C 特别报告》术语表](#)，p550）。