

气候变化与公共政策研究丛书

气候地球工程的伦理研究

柳琴 史军 著

AN ETHICAL RESEARCH ON
CLIMATE GEO-ENGINEERING



科学出版社

气候变化与公共政策研究丛书

气候地球工程的伦理研究

An Ethical Research on Climate Geo-engineering

柳 琴 史 军 著

教育部人文社会科学研究青年基金项目
(项目批准号: 14YJC720020)

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了应对气候变化的第三种路径——气候地球工程，分析了气候地球工程引起关注的原因及其潜在的生态、健康、政治和经济影响，讨论了气候地球工程的风险治理，对气候地球工程进行了伦理追问和批判，并提出了指导气候地球工程研究与运用的伦理原则。

本书适合广大从事应对气候变化工作的官员与学者使用。

图书在版编目(CIP)数据

气候地球工程的伦理研究/柳琴，史军著. —北京：科学出版社，2016.3

(气候变化与公共政策研究丛书)

ISBN 978-7-03-047638-8

I. ①气… II. ①柳… ②史… III. ①气候变化-对策-研究
IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 049135 号

责任编辑：胡 凯 孙 静 王腾飞 / 责任校对：彭 涛

责任印制：徐晓晨 / 封面设计：许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本：720×1000 B5

2016年3月第一次印刷 印张：13 7/8

字数：300 000

定价：79.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“气候变化与公共政策研究丛书”编委会

主要编写人员（以姓氏笔画为序）

于宏源 史 军 庄贵阳 苏向荣 李志江 李廉水
宋晓丹 张永生 周显信 郭 刚 诸大建 凌萍萍
曹明德 曹荣湘 巢清尘 焦 冶 蒋 洁 董 勤
潘家华 Catriona McKinnon Donald A. Brown

丛 书 序

党的十八大报告首次把大力推进生态文明建设独立成章，提出必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。气候变化问题不仅是我国生态文明建设过程中所面临的一项严峻挑战，也是当今人类生存和发展面临的一项严峻挑战，是国际社会普遍关心的重大全球性问题。胡锦涛同志在十八大报告中特别指出，我们要坚持共同但有区别的责任原则、公平原则、各自能力原则，同国际社会一道积极应对全球气候变化。积极应对气候变化事关人类可持续发展，无论是发达国家还是发展中国家，都已逐渐认识到应对气候变化的重要性和紧迫性，纷纷采取政策行动，控制温室气体排放，加快向绿色低碳发展转型。

气候变化不仅是环境问题，更是发展问题，而且归根结底是发展问题。联合国《人类环境宣言》指出：“全球环境问题大半是由发展不足造成的。”发展中国家在减排和改进技术的同时，不能“搁置发展”，而应保持一种在富国与穷国共同努力基础上建立起的“低碳增长”。阻止发展中国家发展的后果远比在应对气候变化方面不作为要严重得多。如果没有强劲的经济增长，发展中世界的穷人极难自己脱贫。为了控制气候变化而停止或大幅降低经济增长速度，在经济上是不必要的，在道德上也是不负责任的。在经济发展阶段，减排通常都是以发展为代价的。因此，对没有完成工业化的发展中国家来说，气候谈判的实质乃为发展而战，合理的排放权意味着合理的发展权。发展中国家的主要任务是促进经济增长和消除贫困，削减温室气体排放不是也不应该是发展中国家优先考虑的问题。

气候变化主要是由发达国家引起的，他们从能源的使用中受益，同时也因使用能源而造成了气候变化。气候变化对世界上一些欠发达地区的人们而言是一种潜在的风险和灾难：疾病和死亡、干旱、洪水、高温、暴风雨、海平面上升（淹没村庄和家园）、作物歉收或绝收、自然资源减少或耗尽、传统食物来源的中断、淡水资源短缺等。而所有这些风险都可能是灾难性的。一部分人在另一部分无辜者受伤害的基础上获得利益，这是不道德的。只有当一个国家在气候政策制定过程中充分考虑别的国家尤其是世界上那些欠发达国家和地区的利益，且气候政策能够使大气中温室气体的浓度保持在安全范围内时，这个国家的气候政策才能为

世界广泛接受。任何国家和地区都不应该因为自己的过量排放危害其他国家和地区的利益。国际合作应对气候变化应该坚持“共同但有区别的责任”原则和公平原则，历史上温室气体排放已经严重超标的国家和地区需要承担起历史责任，率先大幅减排，并向发展中国家应对气候变化提供资金和技术支持。发展中国家在得到资金、技术支持的情况下，也应在可持续发展框架下采取积极的适应和减缓行动，为保护全球气候做出应有贡献。

在全球应对气候变化的进程中，发展中国家面临巨大的适应和低碳发展的双重压力，客观上需要有一种公平、高效和可持续的国际气候制度的保障。碳公平，不是一种字面上的机械的名词，它更是一种机制，一种发展权益的保障机制。保护全球气候，客观上存在一种碳预算总量的刚性约束。服从这种地球资源的有限特性，是可持续性的基本要求。当今气候变化国际谈判，就是要寻求建立各国共同应对气候变化的公平合理机制，使各方特别是发展中国家在实现可持续发展的过程中应对气候变化。

气候变化首先是作为一个科学问题出现的，但随着研究的深入，人们认识到，解决气候问题更需要哲学社会科学的广泛参与。江苏省高校哲学社会科学重点研究基地“南京信息工程大学气候变化与公共政策研究院”成立于2010年8月，致力于气候变化政策的全方位哲学社会科学研究，此次计划出版的这套文丛对气候变化中所涉及的哲学、伦理学、政治学、法学、国际关系等人文社会科学问题展开了较为全面、系统的研究，可以为中国参与国际气候谈判和国家气候政策制定提供决策依据和理论支撑，也可以为中国在气候变化国际政治博弈中占据国际舆论道义制高点争取必要的话语权，同时为国内经济社会转型发展提供理论指导。

这套文丛在学理和方法上开展了大量深入、富有创意而极具建设性的研究，对我国应对气候变化研究有着积极的学术贡献。相信这套研究成果将对我国应对气候变化研究的工作带来有益的启示，也有助于国际社会进一步了解和认识中国对于气候变化问题的关注，有利于推动制定合理的应对气候变化的国际与国内制度、政策。

潘家华

前言

气候地球工程不仅仅是一个科学技术问题，也是一个政治、经济与伦理问题，既能从政治、经济与伦理维度找到支持的理由，也能从相同维度找到反对的理由。认为气候地球工程的实施在政治上相对容易，在经济上成本低廉，在道德上是一种“较小的恶”，是一种幼稚的想法。难道某个国家擅自改变气候不会触犯他国的利益，其他国家真的会袖手旁观？难道气候地球工程失败的风险及其对社会、人类健康、生态所造成的负面影响就不应计入经济成本？实际上，由于气候是全人类的共享资源，不属于任何一个国家或地区，也不仅仅是当代人的，我们的子孙后代和其他物种都依赖地球以生存繁衍，因此，我们不能无视其他国家的权利、子孙后代的利益以及其他生物种类的权益。

气候地球工程包含大量会持久存在的不确定性，鲁莽地实施气候地球工程可能会加剧气候的不稳定性，成为一场新的噩梦的开始。同时，气候地球工程有意和无意的后果都可能是不可逆的，即气候地球工程措施缺乏可行的退出选项或终止选项。从伦理上看，我们当代人是否有权来开展这样一项具有巨大不确定性和不可逆性的气候地球工程？支持气候地球工程的论证背后隐藏的哲学根源是近代人类中心主义的价值观、主客二分的认识论和机械论的世界观。气候地球工程把人与自然气候分离和对立起来，从主体的视角分析、研究和征服气候；还将地球的大气系统看作一座精确运行的机器，人类可以通过科学知识完整地了解这台机器，并用工程技术手段完美地控制这台机器。建立在人类中心主义的价值观、主客二分的认识论和机械论的世界观基础上的气候地球工程注定是征服性的科技，它需要实现向生态学的价值转向，由说明性、预测性的科学转向理解性的科学，由只重分析不重综合的科学转向分析与综合并重的科学，由还原论的科学转向说明和理解整体的科学，由征服性、扩张性的技术转向调适性的技术。

气候地球工程的研发与推广可能会激发公众对气候地球工程的关注，并将气候地球工程视作减排的替代选项，反而阻碍减缓气候变化的努力。即使气候地球工程是成功的，它仍会在环境道德意识方面产生消极影响：强化人类的狂妄与自大，鼓励人对自然的进一步干预、控制、支配与征服，从而引发更大的灾难。气候地球工程是一种“技术工程”，而改变人类自身及其设计的制度是一种“社会工程”。现代西方文明的一大问题就是认为“技术工程”优先于“社会工程”，人们希望不断改造自然，却不愿改变自己。气候地球工程反映了人类的“狂妄自

大”和“道德败坏”。仅仅依靠气候地球工程，情况不仅不会变得更好，反而会变得更糟糕。要从根源上解决气候危机，就应当提防气候地球工程所引发的忽视和漠视气候问题的“道德风险”。

气候地球工程的研究与运用需要遵循公益原则、公众参与原则、信息公开原则、独立评估原则和治理优先这五条“牛津原则”，以及减排优先原则、谨慎应用原则和风险预防原则等伦理原则。

感谢教育部人文社会科学基金项目、江苏省高校优势学科“雾霾的监控、预警与防控”以及江苏省高校哲学社会科学重点研究基地南京信息工程大学气候变化与公共政策研究院对本研究的大力支持，感谢研究生胡思宇和李超对本书的仔细校对。

目 录

丛书序

前言

第 1 章 什么是气候地球工程？	1
1.1 气候地球工程的定义	1
1.2 太阳辐射管理 (SRM)	6
1.2.1 太空反射	6
1.2.2 气溶胶反射	8
1.2.3 云层反射	11
1.2.4 地表反射	13
1.3 二氧化碳移除 (CDR)	15
1.3.1 人工造林	17
1.3.2 生物炭	20
1.3.3 碳捕集与封存	23
1.3.4 增加海洋碳汇	29
1.4 本章小结	32
第 2 章 为什么需要气候地球工程？	34
2.1 全球气候变化形势日益严峻	34
2.1.1 温室气体与气候变化	34
2.1.2 气候变化的影响	39
2.2 各类国家减排困难重重	45
2.2.1 贫困国家：争取生存排放	46
2.2.2 发展中国家：坚持发展排放	48
2.2.3 发达国家：维护奢侈排放	49
2.3 全球气候合作步履维艰	50
2.3.1 气候变化与公地悲剧	51
2.3.2 无果而终的气候大会	52
2.3.3 气候合作的争论焦点	65
2.4 气候地球工程备受关注	68

2.4.1 国际社会对气候地球工程的关注	68
2.4.2 中国对气候地球工程的关注	71
2.5 本章小结	73
第3章 气候地球工程的潜在影响	76
3.1 生态影响	77
3.1.1 SRM 的生态影响	77
3.1.2 CDR 的生态影响	82
3.2 健康影响	90
3.2.1 SRM 的健康影响	90
3.2.2 CDR 的健康影响	91
3.3 政治影响	92
3.3.1 国际合作问题	94
3.3.2 国际法问题	95
3.3.3 成本分担问题	96
3.3.4 地缘政治问题	97
3.3.5 阻碍减排问题	98
3.3.6 气候战争问题	99
3.4 经济影响	100
3.4.1 SRM 的经济影响	102
3.4.2 CDR 的经济影响	103
3.5 本章小结	105
第4章 气候地球工程与风险社会	108
4.1 风险与社会	109
4.1.1 风险社会及其特征	109
4.1.2 风险、机遇与选择	113
4.2 风险与技术	115
4.2.1 技术是一把双刃剑	116
4.2.2 技术为什么会产生风险?	117
4.3 气候地球工程的风险特征	121
4.3.1 混沌性	121
4.3.2 不确定性	122
4.3.3 不可逆性	127
4.4 气候地球工程的风险治理	129

4.4.1 国内风险治理	130
4.4.2 全球风险治理	133
4.5 本章小结	137
第 5 章 气候地球工程的伦理追问	139
5.1 气候地球工程与伦理学	139
5.1.1 功利主义	139
5.1.2 道义论	140
5.1.3 正义论	141
5.1.4 人性论	142
5.1.5 科技伦理	143
5.2 气候地球工程的道德风险	144
5.2.1 阻碍减排	145
5.2.2 鼓励狂妄	147
5.3 气候地球工程的正义维度	151
5.3.1 分配正义	151
5.3.2 代际正义	154
5.3.3 矫正正义	156
5.3.4 程序正义	158
5.3.5 生态正义	160
5.4 本章小结	162
第 6 章 气候地球工程的伦理批判	163
6.1 人类中心主义批判	163
6.1.1 人类中心主义	163
6.1.2 主客二分的认识论	165
6.1.3 人类中心主义与气候地球工程	166
6.2 技术主义批判	167
6.2.1 机械论的自然观	167
6.2.2 科技万能论	169
6.3 气候地球工程的价值转向	173
6.4 本章小结	176
第 7 章 气候地球工程的伦理原则	179
7.1 “牛津原则”	179
7.2 减排优先原则	182

7.3 谨慎应用原则·····	185
7.4 风险预防原则·····	187
7.5 本章小结·····	188
参考文献·····	190
后记·····	208

第 1 章 什么是气候地球工程？

1.1 气候地球工程的定义

近年来，在气候变化的相关政策讨论中，气候地球工程引起了国际社会越来越多的关注。气候地球工程(climate geo-engineering)又被称为“气候工程”(climate engineering)或“地球工程”(geo-engineering)，是为了应对气候变化而人为地大规模干预地球自然系统的行动或干预行为。2009 年，英国皇家学会将“地球工程”一词定义为“有意地大规模操纵地球环境，以应对人为的气候变化”(Shepherd et al., 2009)。

目前，几乎所有的文献都直接使用“地球工程”一词来指气候地球工程，但对于“地球工程”一词并没有准确的界定，只是用来泛指在全球层面对环境进行操纵的行为。由于“地球工程”一词不能清晰地表达出改变地球气候系统而非改变地理地貌等其他地球系统的真实目的，因而，当前的地球工程概念具有一定的误导性。通常，“地球工程”等同于“地质工程”，可以指所有干预或改变地球自然形态的工程，如三峡工程、南水北调工程、巴拿马运河工程、防沙治沙工程，甚至为改变短期天气的人工影响天气和为防洪或空气污染而进行的人工造林等，而不仅仅局限于气候地球工程。换言之，气候地球工程只是地球工程的一部分。虽然“地球工程”一词更为常用，但“气候地球工程”或“气候地球工程技术”(climate geo-engineering technologies)两个概念能更明确地反映其目的：不是为了其他目的而改变地球的其他系统，而是为了消除温室气体所产生的温室效应，即减缓或抵消全球变暖，而对地球的气候系统进行大规模技术干预。

用工程技术手段改变地球的气候这一观念历史悠久。早在 19 世纪 30 年代，美国联邦政府资助的第一位气象学家詹姆斯·埃斯皮(James Espy)就计划在每周日下午燃烧阿巴拉契亚的大片森林，通过燃烧产生的热气来引发经常性的暴雨。一个多世纪之后，美国和苏联的气象学家和物理学家各自考虑了一系列改变气候的措施，不过目的不是给地球降温，而是使北纬地区升温，以延长农作物生长的季节和穿越北极航道的畅通时间。

20 世纪 60 年代，美国总统科学顾问委员会在一份名为“恢复我们的环境质量”的报告中指出，二氧化碳排放正在改变地球的热量平衡，需要认真探索人工干预对抗气候变化的可行性，并建议每年花费 50 亿美元在热带地区安置反射性材

料, 以及利用增加云层等手段来应对气候变化。这是第一个正式应对气候变化的研究报告, 也是第一个在政府层面提出的大规模人为干预气候变化的设想。1974年, 苏联科学家米哈伊·布德科(Mikhail Budyko)首先就冷却地球提出了一项在今日可能占主导性的计划: 向高层大气注入气体, 使其形成微粒来阻挡太阳光。

到20世纪70年代, “气候地球工程”一词开始出现在描述将二氧化碳注入海洋以减轻大气温室气体负担这一设想的报告中, 并成为人为大尺度改变地球气候的一系列设想的代名词(Keith, 2000)。在学术上, 用大规模工程项目减缓或抵消人类活动所引发的气候系统负面变化这一观念最早可追溯到凯洛格和施耐德(Kellogg and Schneider, 1974)、布德科(Budyko, 1974)以及马切蒂(Marchetti, 1977)。1977年, 马切蒂在研究气候变化问题的专业学术期刊《气候变化》(*Climate Change*)的创刊号上提出了“气候地球工程”的概念。马切蒂在文章中使用的“气候地球工程”一词, 指通过在下沉的热盐环流中注入二氧化碳来减少大气中的二氧化碳(Marchetti, 1977)。随后, “气候地球工程”这一概念逐渐在美国学术界获得认可。1991年12月召开的美国地球物理联合会上, 气候地球工程引起了人们的高度重视。1992年出版的美国国家科学院有关气候变化的报告中用了一章的篇幅来讨论气候地球工程, 并将它定义为“为了对抗或抵消大气化学变化的影响, 而大规模地改造我们的环境”(National Academy of Sciences, 1992)。

2000年3月, 德国联邦教育与研究部(BMBF)和德意志研究联合会(DFG)经共同策划制定, 推出了德国未来10年的大型地学研究计划: “地球工程科学——地球系统: 从过程认识到地球管理”。该计划敏锐地注意到气候变化、人口增长、资源过度开发以及环境恶化对人类生存所造成的威胁, 强调以地球整体为研究对象, 以“过程认识、资源利用和地球管理(保护)”为主导理念, 实施“地球管理”(赵生才, 2002)。兰登和沃恩最早对不同气候地球工程选项的致冷潜力进行了量化比较(Lenton and Vaughan, 2009)。

气候地球工程是减缓和适应之外, 应对气候变化的第三种方式, 又被称为应对气候变化的“B计划”(“A计划”指通过减缓与适应、节能、发展可再生能源等传统途径实现温室气体的减排)。减缓(mitigation)的目的是减少全球的人为温室气体排放, 适应(adaptation)的目的是尽量减少气候变化的负面影响, 而气候地球工程的目的则是调解大气中二氧化碳浓度升高带来的不利影响。如果把气候变化比喻成地球的疾病, 那么减缓是通过温室气体减排手段预防最严重的气候疾病的出现, 适应是通过“身体锻炼”增强对气候疾病的抵抗能力, 而气候地球工程则是通过各类“医学手段”对气候疾病进行治疗。

气候地球工程措施与减缓措施之间的区分不是完全相互排斥的, 在一些情况下, 它们之间存在重叠之处。例如, 在增加碳汇上, 气候地球工程就与减缓有重叠之处。因为联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on

Climate Change, IPCC) 将减缓定义为实施减少温室气体和增加碳汇的政策, 而人工造林既可以看成是一种气候地球工程措施, 也可以看成是一种减缓措施。另外, 碳捕集与封存技术也是如此。捕集化石能源电厂所排放的二氧化碳既可被视为一种减缓措施, 也可被视为一种气候地球工程措施。不同机构对一些措施的分类也是不同的, 例如, 美国国家科学院将再造林措施和碳捕集与封存措施归类为气候地球工程 (National Academy of Sciences, 1992), 但 IPCC 却将它们归类为减缓措施 (IPCC, 2007b)。为便于区分, 可规定“减缓”特指减少人为二氧化碳排放的措施, 如避免砍伐森林和降低能源供给的碳密度。于是, 能源供给中的碳捕集与封存技术就可归类为减缓, 而从大气中消除二氧化碳则是一种气候地球工程 (二氧化碳移除)。

气候地球工程试图通过以下途径校正当前的辐射不平衡: ①增加流出的长波辐射, 主要是移除大气中的二氧化碳并将它们长期隔离封存 (二氧化碳移除); ②减少射入的太阳辐射 (太阳辐射管理)。气候地球工程包含的原理有: 提高海洋或植物对二氧化碳的吸收率或封存率, 折射或反射大气层中的阳光, 以及将使用能源所产生的二氧化碳封存在水库中 (世界银行, 2010)。从广义上看, 气候地球工程可以分为两类:

第一类为太阳辐射管理 (solar radiation management, SRM) 或太阳地球工程 (solar geo-engineering), 即通过工程技术手段减少地球对太阳辐射的吸收, 使一小部分太阳辐射能量返回到太空, 减少到达地球表面的太阳光, 从而抵消大气中温室气体导致的气温变暖。太阳辐射管理的主要方法包括太空“散热” (如在太空 2000 千米处放置 25 万平方千米的“太阳伞”, 可以减少 1%~2% 的太阳辐射)、平流层注入气溶胶 (如在平流层中喷射气溶胶, 增加大气的反射率)、云层反射 (如在海洋覆盖白色泡沫, 在海洋上空注入海盐气溶胶)、改变地表反照率、使卷云变薄等。

第二类为二氧化碳移除 (carbon dioxide reduction, CDR), 即通过大规模的技术或者工程手段减少大气中的温室气体含量, 从而有效减少地球增温。二氧化碳移除方法主要包括直接捕集二氧化碳 (直接从空气中提取出二氧化碳并将其封存在地壳或海洋中等)、化学反应捕集二氧化碳 (通过二氧化碳与岩石、矿物进行化学反应, 减少大气中的二氧化碳等)、改变土地利用 (通过增加森林覆盖率以吸收更多的二氧化碳等)、海洋施肥等。

太阳辐射管理方案最为有效, 但效果短暂, 而二氧化碳移除方案的效果则较为长久。太阳辐射管理可以恢复地球的辐射平衡, 但需要长期维持才能避免急剧变暖, 同时海洋酸化和区域气候变化仍会发生。二氧化碳移除的风险较小, 并有可能使大气中的二氧化碳浓度恢复到前工业化时期的水平, 但会受到二氧化碳地质储存能力的限制。此外, 还有类似于改变天气的气候地球工程方案, 例如其试

图将热带风暴推到远离人类居住的海上,从而减少损失(这也可归类为适应措施)。虽然这种研究思想还处于初期阶段,但最新气候模式已经能够分析这些方案的潜在影响。

二氧化碳移除技术与太阳辐射管理技术在本质特征和潜在影响方面具有明显的不同。二氧化碳移除技术可以纳入应对气候变化的减缓和适应行动中,而太阳辐射管理技术则可以作为应急性方案运用到极具破坏性的气候变化情况中(Virgoe, 2009)。可以说,二氧化碳移除技术是“治本”,即减少大气中二氧化碳的存量进而减缓气候变化;而太阳辐射管理技术是“治标”,即直接对太阳辐射量进行干预。因此,有人认为,二氧化碳移除技术应当优于太阳辐射管理技术(孙凯和王刚, 2012)。气候地球工程示例图如图 1.1 所示。

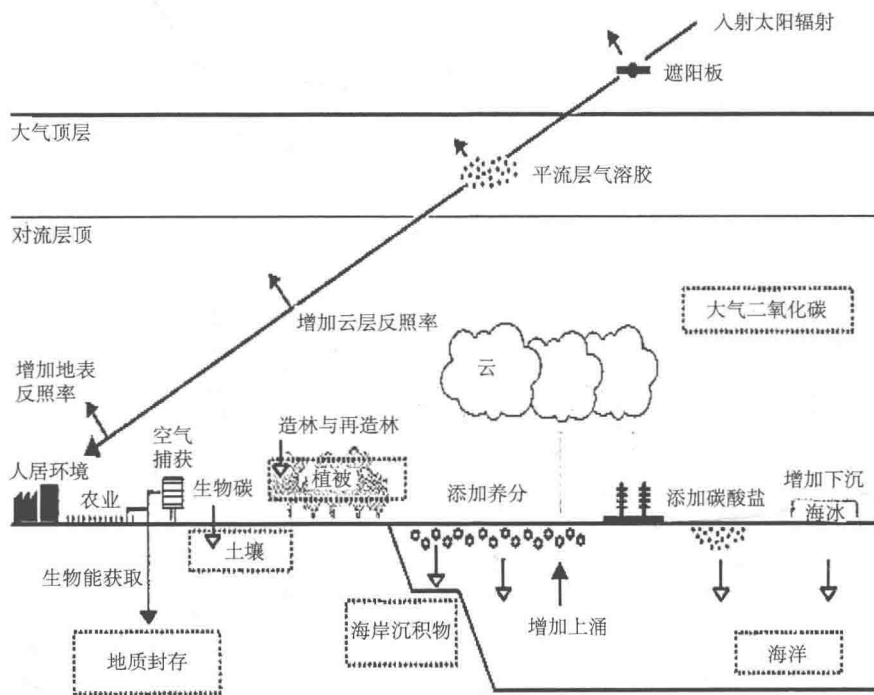


图 1.1 气候地球工程示例图 (Vaughan and Lenton, 2011)

对于某些大规模人工干预气候的技术如人工影响天气 (weather modification) 等是否属于气候地球工程的范畴, 还存在一定的争议。如果人工影响天气也可以算作气候地球工程的一部分, 那么, 中国早已在该领域进行过多年的实践。但问题在于, 传统的人工影响天气主要局限于人工降雨, 所改变的只是局部的降水量,

对整体气候并无较大影响,因此,从效果上看,不应算作气候地球工程的范围。而与气候地球工程与生态工程(ecological engineering)之间,目前也没有明确的界线。例如,大规模人工造林属于传统的生态工程,但由于人工造林的二氧化碳吸收量大,对气候变化的影响明显,因此,从效果上看,是可以算作气候地球工程的。

另外,还存在许多其他稍显“疯狂”的气候地球工程设想,例如:

1) 改善家畜肠胃。每年牛和其他四条腿家畜向大气中释放 8000 万吨甲烷。作为温室气体,甲烷的“杀伤力”是二氧化碳的 20 倍——一家人一顿牛排大餐背后所排放的甲烷相当于开车行驶 64 千米所排放的。英国科学家想出了一个解决牲畜甲烷排放难题的方案,即给它们吃大蒜。在一项研究中,英国科学家利用大蒜去消灭产生甲烷的胃内细菌,并设计出改善牲畜消化系统效率的高糖饲料。不过,消费者可不喜欢吃有一股大蒜味的牛肉,而控制进食从长期来看也不是长久之计,于是澳大利亚科学家又想出了一个“馊主意”:将袋鼠(一种不会释放甲烷的动物)的胃内细菌移植到牛的体内。

2) 垂直农场。全球人口在未来 30 年可能达到 90 多亿。这意味着,要想养活这么多人,全球粮食产量必须在现有基础上翻一番。但是,目前地球表面 37% 的可耕地已经贡献给农业了,没有更多的耕地可用。那么,数十亿人需要的粮食又能从哪里来呢?面对这个问题,美国哥伦比亚大学环境学教授迪克森·德斯波米尔提出了一个唐·吉珂德式的解决方法——将城市内的摩天大楼变为既能生产水果、蔬菜和谷物,又能产生清洁能源、净化污水的“垂直农场”。由于农场能在摩天大楼内部上下移动,田地也就变成了能够吸收二氧化碳的森林。

3) 用足够厚的毛毯覆盖冰川,以防止冰雪融化。瑞士科学家每到夏天都要去遥远的阿尔卑斯山竭尽全力保护一座已知最古老的冰川。他们把数英里长的保护毯覆盖在波状冰丘上,把古老的冰包起来。这样做的目的是在平均气温逐渐上升时延缓冰川融化。

4) 将二氧化碳变成石头。科罗拉多大峡谷是地球上最大的二氧化碳储藏地之一。数百万年前,这里是一片巨大的海洋。富含二氧化碳的海水与其他化学物质相互作用,逐渐形成如今的石灰岩。但是,大自然的演变是漫长而缓慢的,亚利桑那州立大学材料科学实验室的科学家们则找到了加速这一过程的新方法。他们用含量丰富并且成本低廉的蛇纹石或者橄榄石作为原料,加入催化剂,经过被称为“矿物碳酸化作用”的化学反应后使经压缩处理的二氧化碳在高温下转变成为碳酸镁。

5) 搅动海洋。企业家内森梅尔·沃德认为人类可以通过搅动海洋来冷却地球。他提议部署 100 万条 100 米长的塑料管道用来搅动水,从而帮助捕集二氧化碳。他指出,海洋是一个巨大的散热器,但实际上它非常冷,底部接近 0℃。更