



**中国环境与发展国际合作委员会
前期研究项目**

**综合视角下的气候适应：对粮食供应、城市生活、河流
运输和生态系统的长期影响**

中国环境与发展国际合作委员会 2025 年年会

2025 年 10 月

前期研究项目组成员

项目组组长：

- Ben Geurts：荷兰基础设施和水资源管理部战略司司长

项目组成员（按姓氏字母排序）：

- Karin Andeweg：荷兰瓦赫宁根大学与研究中心水与粮食研究组组长
- Hester Biemans：荷兰瓦赫宁根环境研究所水与粮食安全教授
- Laura Birkman：荷兰海牙战略研究中心气候、水与粮食安全项目主任
- Sacha de Rijk：荷兰三角洲研究院淡水生态与水质专家
- Marloes Dignum：项目组副组长，荷兰基础设施与水管理部战略司高级顾问
- Nanco Dolman：荷兰三角洲研究院气候适应高级专家
- Confidence Duku：荷兰瓦赫宁根环境研究所气候风险数据科学家
- Ellis Penning：荷兰三角洲研究院基于自然的解决方案与生态水力研究专家
- Meinard Tiessen：荷兰三角洲研究院河口咸水入侵专家
- Thijs van Aken：荷兰海牙战略研究中心战略分析师
- Ellen van Bueren：荷兰代尔夫特理工大学城市发展管理教授
- Rolien van der Mark：荷兰三角洲研究院内陆水道航道通航性高级顾问兼研究员
- Frans van de Ven：aQuest 公司气候适应战略顾问和高级专家

咨询与评审专家（按姓氏字母排序）：

外方专家：

- Kevin Austin：C40 城市气候领导小组副执行主任
- Jan Bakkes：综合评估协会（TIAS）副主席
- Jessica Gordon：美国加州大学伯克利分校中国—加州气候研究所研究主任
- Nils Peter Huber：德国联邦水道工程研究院河流工程部主任；德国亚琛工业大学名誉教授
- Christian Siderius：Uncharted Water 公司气候、水与粮食风险领域首席执行官

中方专家：

- 李晓江：国合会特邀顾问，中国城市规划设计研究院原院长
- 李忠奎：交通运输部科学研究院首席研究员及学术委员会常务副主任
- 解伟：北京大学现代农学院研究员，中国农业政策研究中心研究员和新乡村发展研究院副院长
- 张永波：中国城市规划设计研究院
- 李昊：中国城市规划设计研究院

项目协调员：

- Frans van de Ven: aQuest 公司气候适应战略顾问和高级专家

国合会秘书处：

- 穆泉：国合会秘书处
- 王美真：国合会秘书处国际支持办公室

* 本前期研究项目组组长、成员以其个人身份参加研究工作，不代表其所在单位，亦不代表国合会观点。

目录

一、引言	1
(一) 背景与目标.....	1
(二) 研究目标.....	1
(三) 研究内容与方法.....	1
(四) 工作计划.....	2
(五) 报告结构.....	2
二、气候变化的短期与长期影响.....	3
(一) 对四个关键领域的潜在影响	3
(二) 交织的趋势与进程.....	3
(三) 粮食生产与供应.....	5
(四) 城市生活.....	6
(五) 生态/生物多样性	8
(六) 三角洲河流的水路货运	10
三、跨领域主题与议题	13
(一) 反思.....	13
(二) 气候适应工作的治理	13
(三) 资源可用性.....	13
(四) 生物多样性的治理.....	14
(五) 适应中的创新.....	14
(六) 适应与韧性发展的资金支持	15
四、对未来研究的建议	16
(一) 气候适应专题政策研究	16
(二) 跨领域议题.....	16
1.气候适应：多维度的战略性政策挑战	16
2.适应性治理：综合协同的政策行动倡议	16

3.资源可用性	17
4.保护生物多样性和生态系统： 无法妥协的优先事项.....	17
5.下一阶段的创新	17
6.投资挑战	17
（三）待研究问题和涉及学科	18

我对未来比过去更感兴趣，因为未来是我将生活的地方。

阿尔伯特·爱因斯坦

一、引言

（一）背景与目标

气候变化已经成为现实。极端天气在全球范围内愈发普遍，预期损失也将增加。2014 至 2023 年成为有史以来最热的十年，世界各地出现了更频繁、更严重的极端天气事件，导致人员伤亡、经济损失、社会动荡、生物多样性丧失以及农作物减产。即便温室气体减排政策实现了《巴黎气候协定》的目标，气候变化的影响仍将持续数十乃至数百年。气候变化的规模 and 影响因地区而异，取决于当地条件和全球气候变化的局部影响，这在中国的各个区域以及世界其他地区是相同的。社会、经济和生态所受的影响取决于减缓和适应政策的成效。

适应气候变化需要立即采取行动，并在长时间内持续推进。这一长期性也意味着气候适应并非孤立进行，还有其他中长期进程也将影响社会并需要做出应对，包括技术、人口、经济发展和多极化进程都将影响应对气候变化的行动潜力。

正如国会会此前关于气候变化的专题政策研究¹所表明的，这些进程影响了社会的关键领域，进而挑战了社会基础。为了能够及时筹备与适应，本次研究选取了四个关键领域，分别是粮食生产与供应、城市生活、生态系统以及三角洲地区的水路货运。

（二）研究目标

这四个领域对不断变化的天气模式和其他长期进程都较为敏感。本前期研究的核心研究问题是：在考虑长期社会、技术及其他进程的预计情况下，气候变化在长期（50 年或更长时间）内，会对粮食生产与供应、城市生活、生态/生物多样性，以及河流和三角洲地区的水路货运等领域带来哪些社会挑战？

本前期研究的目标是界定社会和经济将会或可能经历的基本进程、影响、挑战及相关困境。这些内容应当进行深入研究，以便及时调整政策、法规、基础设施、经济活动、人力与技能等。本次前期研究旨在成为未来深入开展相关专题政策研究的契机。

我们在起草前期研究报告的过程中得出结论：与气候变化影响相关的大多数挑战和进程都具有全球性。世界其他地区的进程会影响中国，而中国的影响也会波及其他地区。全球乃至中国境内气候、地理和治理行政条件的巨大差异，使我们难以就气候变化对这四个领域的影响得出具体、量化的结论。由于缺乏详细信息，本前期研究报告只能使用具有普适性的文字。我们需要开展更具体的专题政策研究，以明确各类进程和影响，展示已应用的韧性解决方案范例，并为新的适应战略和干预措施的试点提出建议。

（三）研究内容与方法

本前期研究是一项由资深专家开展的具有充分依据的文献研究，并经过国际咨询专家评审，旨在从中长期（50 至 100 年）视角在以下领域获取关于气候变化挑战的最新见解：

¹ <https://cciced.eco/research/special-policy-study/scoping-study-managing-river-areas-in-times-of-climate-change/>
<https://cciced.eco/research/special-policy-study/sps-4-low-carbon-and-resilient-urban-development-and-adaptation-to-climate-change/>
<https://cciced.eco/research/special-policy-study/green-development-and-climate-adaptation-for-urban-and-rural-areas/>

- 1) **粮食生产与供应：**展示收获模式（及区域）预期的变化，包括种植作物类型的变化；阐明气候变化对食品加工业的影响，以及在气候变化背景下粮食供应可持续性的相关见解。
- 2) **城市生活：**极端降雨、干旱和高温对城市环境中的生活与宜居性造成压力，包括对水资源可用性、热岛效应、生产力、城市土地利用和社会系统的影响。
- 3) **生态/生物多样性：**气候变化对本土动植物造成压力，例如通过三角洲地区的盐碱化和干旱化过程。物种栖息地条件改变，进而影响生物多样性。
- 4) **河流和三角洲地区的水路货运：**河流的流量格局将发生变化，影响水路货物运输方式、操作实践和所需港口设施。

选取前三个领域是因为它们与社会和经济普遍相关，而河流和三角洲地区的水路货运是作为从生产者到消费者供应网络中关键环节的示例，此类环节的失效可能产生深远影响。

气候变化并非驱动这些领域长期变化的唯一因素。为了将相互依赖性纳入考量，本研究将在单独章节中探讨技术、人口、经济发展和多极化等方面的趋势与进程，这为需要进行气候适应的情景提供了背景。本前期研究报告最后对这些进程进行了反思，并就气候变化的社会影响及政策路径的制定提出了以政策为导向的未来研究问题。这些问题都是未来国合会专题政策研究的潜在主题。

本研究旨在提供全球性见解，涉及的区域多样性仅限于已有文献及与本研究范围相关的内容。而对中国及世界其他地区的哪些地理区域更易受到极端天气和其他气候变化影响的具体界定，则超出了前期研究的范畴，可作为后续阶段更具体的专题政策研究的主题。

（四）工作计划

本前期研究通过**双层次方法**探讨核心研究问题。第一步是编写工作文件，包含五篇（章）深度专题论述，其中四篇分别针对前述四个领域，另一篇则专门探讨与这四个领域中气候变化影响相互作用的趋势与进程。本前期研究报告简明扼要地提炼了工作文件中的分析结果，总结了四个领域中可预见的主要挑战、反思和政策为导向的研究问题。

工作文件的各章节初稿由荷兰专家撰写，交由选定的国际咨询专家进行深入的同行评审，提出意见反馈和补充。经修订后的各专题论文章节（包含大量参考文献）被汇编成最终版本的非正式工作文件《综合视角下的气候适应：对粮食供应、城市生活、河流运输和生态系统的长期影响》。该工作文件为英文版白皮书，可从国合会网站²获取。

本期研究报告的初稿已在咨询专家团和国合会特别顾问之间传阅，以征求意见和建议。报告的最终版本已提交至国合会秘书处，以供在 2025 年国合会年度大会上探讨。

（五）报告结构

第二章总结了气候变化在四个领域中的预期影响，以及它们与社会其他趋势和进程潜在的相互作用等议题和结论。本报告采用“短期”和“长期”这两个词来区分二十一世纪中叶之前和之后的预期进程。在此基础上，第三章分析了与中国及世界其他国家的长期气候适应战略相关的跨领域主题和议题。显而易见，所有国家都必须应对气候变化的后果，包括相关的海平面上升，以及水质问题与地质灾害等相关后果。第四章根据前几章的研究结果，提出了供进一步深入研究参考的建议。

本前期研究报告中用以支撑论述的大量科学文献及其他参考资料可参见工作文件《综合视角下的气候适应：对粮食供应、城市生活、河流运输和生态系统的长期影响》。为保持简洁性和聚焦性，本报告将尽量少引用科学参考文献，仅为国合会未来更深入的专题政策研究和全球其他机构开展的类似研究提供探讨基础。

² <https://cciced.eco/research/council-document/2025-cciced-background-paper-climate-adaptation-in-a-broad-perspective-long-term-impacts-on-food-supply-urban-life-river-transport-and-ecology/>

二、气候变化的短期与长期影响

(一) 对四个关键领域的潜在影响

我们用四节考察气候变化在长期（50 年或更久）对粮食生产与供应、城市生活、生态/生物多样性、河流和三角洲地区水路货运这四个领域预计带来的社会挑战。然而，这四个领域的长期进程不仅会受到气候变化的影响，也有许多其他进程也会与其影响交织。因此，本章首先概述可能相互交织的趋势与进程。

背景工作文件提及诸多挑战、进展和参考文献。鉴于气候适应的相关文献浩如烟海，在归纳和概述时难免会遗漏关键信息。尽管如此，本研究仍尝试为反思提供基础，并对后续研究提出建议。

(二) 交织的趋势与进程

为了应对气候变化带来的各种影响，世界各国和国际组织正在制定气候适应战略。例如，中国的《国家适应气候变化战略 2035》³旨在改进气候监测和预警系统，保护生态系统和生物多样性，并增强城市系统、经济部门和关键基础设施的气候韧性。欧盟在 2021 年重申其到 2050 年提高气候变化应对和韧性的承诺，其目标是通过知识生产、数据强化和推广基于自然的解决方案来加速适应进程。

气候变化对社会、经济和政治体系而言是威胁的放大器。随着更多国家强调气候适应的必要性，了解气候变化在 2100 年之前将如何与全球主要趋势相互交织至关重要。未来越远，就越难预测这一复杂进程的最终结果。毫无疑问，在本世纪下半叶，由于气候变化影响的严重性，与气候相关的进程预计将促成深刻的全球变革。权力格局可能会发生转变，有利于那些能够迅速且可持续地适应气候变化的国家。与此同时，诸如水循环紊乱、永久冻土融化、洋流变化和生物多样性丧失等生态临界点，可能会对地球引发不可逆转的连锁后果。总而言之，气候变化将成为塑造 21 世纪全球发展格局的关键力量。

本节探讨地缘政治、地缘经济、技术、环境和社会趋势如何与气候变化相互作用，并分析其将给国家、经济和社会带来的机遇和挑战。因为未来 25 年的进程比 2050 年以后的更容易预见，本节将分为 2025—2050 年和“长期”2050—2100 年两个阶段。

地缘政治变迁与压力

未来数十年，国际体系将继续从单极格局向多极格局转变，众多大国将在国际舞台上投射自身的影响力和利益诉求，并对现有国际规则和规范的合法性和公平性质疑。相反，区域动态将塑造多边合作，这将日益以具有特定共同利益的国家组成的务实联盟为中心。然而，在这种碎片化的国际秩序中，气候变化日益紧迫的影响可能成为竞争国家之间的共同话题，并由此产生建立新的联盟和区域议程以应对气候影响的机遇。

一个国家应对气候变化的能力取决于其获取金融和技术资源的渠道、社会经济韧性、治理结构的稳定性以及知识体系的质量。因此，适应气候变化有望成为塑造双边关系和国际合作中日益重要的战略因素，而气候融资是其中的关键议题。全球南方、北方、东方和西方之间的公平性是一个值得关注的议题。公私合作很可能成为比传统援助资金更为重要的气候适应融资渠道。

从长远来看，例如 2050 年以后，气候行动不足将对全球稳定构成风险。人口和经济结构的变化导致人口迁移，同时人口老龄化和萎缩的趋势在中国和世界其他地区均有发生。然而，这些过程在全球范围内存在显著的区域差异，可能加剧气候变化影响下安全地区和脆弱地区之间的社会冲突。易受洪水和干旱影响的地区还将面临内部流离失所和资源匮乏带来的不稳定影响。未能采取有效行动的政府的合法性将受到损害，并可能加剧承受气候压力的民众的威权主义情绪。

³ 生态环境部、国家发展和改革委员会、科学技术部、财政部、自然资源部、住房和城乡建设部、交通运输部、水利部、农业农村部、文化和旅游部、国家卫生健康委员会、应急管理部、中国人民银行、中国科学院、中国气象局、国家能源局、国家林业和草原局 (2022) 《国家适应气候变化战略 2035》，<http://www.ncsc.org.cn/SY/syqhbh/202206/W020221026516413083356.pdf>

地缘经济与技术趋势

地缘政治格局的转变正在重塑全球治理，而技术创新、资源竞争和极端天气事件将在未来几十年日渐明确气候适应的地缘经济维度。循环经济、控制技术、预测、基于自然的解决方案、人工智能和机器人技术等领域的技术进步有望为气候适应提供重要的经济机遇和解决方案。随着技术在成功构建气候韧性方面发挥核心作用，各国将寻求控制关键原材料和绿色技术供应链。要满足本世纪下半叶气候适应和减缓的需求，就需要进行根本性的经济转型。全球南北之间的区域不平衡和不平等可能导致新技术获取渠道不均，但同时也为建立新的联盟和开展气候适应方面的合作提供了新的途径。

人工智能的应用和发展被寄予厚望。人工智能和其他技术创新都存在一种风险，即基于预期成功而产生的虚假安全与保护，这可能会阻碍更有力度的气候适应战略的制定。潜在的风险还包括关键原材料，如沙子、金属和水泥等建筑材料，以及依赖于充足优质水源的绿色技术的获取受限。资源民族主义和对贸易依赖的战略性运用促使各国加强对自然资源的保护和控制以确保危机时期的供应安全。已经掌控这些供应链的国家可以利用其主导地位获取经济和政治利益。因此，新的基于资源的合作关系可能会出现。

极端天气预计将变得更加频繁，对粮食生产、生态系统、水电供应、产品运输（供应链）等方面的破坏性也将更大。其后果是在全球范围内的物价上涨和通货膨胀。因此，金融体系必须适应全球气候适应的金融需求，以及极端天气和海平面上升影响带来的日益加剧的风险。适应行动可能逐渐成为私营投资的可行领域。保险公司已经积极参与私营市场，推出了所谓的巨灾债券等产品。

从长远来看，以气候为中心的经济对于满足全球气候适应和减缓的生存需求至关重要。这些经济将出现在那些气候政策、创新和公众支持聚合的经济结构完善的国家。因此，全球南北之间可能持续存在甚至出现新的区域不平衡和不平等现象。以气候为中心的经济将依靠其适应能力而非单纯的增长能力展开竞争。社会必须降低对 GDP 增长的追求，寻求新的非物质繁荣来源，实施资源循环利用，并建立再分配的经济制度。

2050 年以后，第五次工业革命将重塑未来的社会和劳动力市场，并与气候变化导致的各国间不平等交织在一起。人工智能创新是第四次工业革命的标志，而人类、人工智能和机器人技术的融合被认为是预计将在本世纪中叶到来的第五次工业革命的理论基础。然而，各国之间的社会经济差异导致各国在劳动力发展方面的能力不均，可能会加剧现有的经济不平等。为了避免大规模的社会动荡，需要建立新的全球合作与联盟。

由于新的气候条件、土壤侵蚀和极端天气事件导致农作物产量下降，预计粮食生产价格将持续上涨且加剧波动。通过作物多样化、作物迁移（往生长条件更佳地区）、改善水土管理以及改进天气预报和预警系统，或许能够缓解产量和价格的预期波动。

环境与社会进程

气候变化将影响脆弱地区的治理模式、社会稳定和冲突风险。到 2050 年，全球三分之二的人口将居住在城市。因此，城市韧性和气候适应对于减缓灾害风险、保障宜居性和人类福祉至关重要。无法及时适应气候变化的地区将面临资源和土地匮乏带来的不稳定影响，并因此增加族群间和跨界冲突的风险。在本世纪，生物多样性的丧失加剧了这些压力。

这些不稳定因素预计将导致国内和跨境移民潮。到 2060 年，移民人数可能达到 8700 万至 1.33 亿，其中撒哈拉以南非洲、南亚和东亚将承受最沉重的流离失所。这种移民潮给接收社区带来压力，使国际关系复杂化，并可能使脆弱国家的治理能力不堪重负。应对这些与气候相关的移民潮的关键是投资于气候适应措施，并将气候移民纳入发展政策。

未来几十年，城市化进程将可预见地持续加快，这将在全球范围内增加社会脆弱性。但与此同时，这也为增强社会应对气候风险的能力提供了契机。通过提升社会的阈值、应对、恢复和适应能力来增强气候韧性，并有效管理城市增长和城市更新，可以实施适应措施以增强气候韧性。这对于把握机遇并避免城市宜居性面临多重风险至关重要。

生物多样性丧失对生态稳定和人类福祉构成挑战，特别是在 2050 年以后。因为人畜共患病传播的可能性增加，公共卫生将面临风险，而用于传统医学和现代医学的药用植物物种也面临灭绝的风险。

随着气候变化的影响在 21 世纪下半叶加剧，环境压力将逐渐超出脆弱国家的治理能力。在缺乏适应能力的国家中，这种韧性的缺失将对本已面临社会经济不平等的弱势群体造成严重的打击。由于缺乏足够的适应和转型能力，这些国家将越来越依赖外部主体——从强国到区域集团和跨国公司——来维持必要的治理职能，它们的主权将受到挑战。气候适应能力强的国家将巩固控制权，而其他国家则会因其脆弱性而面临权力弱化。随着时间的推移，管理环境风险的能力将成为政治合法性和国际影响力的关键标准。

（三）粮食生产与供应

影响

气候变化已对粮食生产造成显著影响。1983 至 2009 年间，全球约四分之三的粮食产区因干旱而减产。1964 年至 2007 年间，极端天气事件导致谷物产量减少 9%至 10%，降水和气温变化已使全球大豆平均产量减少 4.5%，玉米平均产量减少 4.1%。气候继续变化对粮食生产的影响将进一步加剧。

气候变化对缺乏灌溉缓冲效应的雨养农业区危害尤为严重，这些地区的作物完全暴露于降雨量的变化之下。陆地水文循环的加剧将导致蒸发率上升和大气水汽输送改变，从而增加突发性洪涝和长期干旱的可能性。美国中西部和中国东部等历史上生产力较高的地区正面临越来越多的热压力、缺水和降雨不稳定等问题。

以大豆、玉米、小麦和水稻这四种主要粮食作物的生产为例，研究发现气候变化对中国乃至全球都产生了显著影响。在中国，大豆主要用于动物饲料，玉米和小麦供国内消费，而水稻则是重要的出口产品。由于这四种作物对高温和水分压力较为敏感，气候变化会影响它们的产量和国际流通。深入了解这一全球生产—供应—消费网络对于预测未来的粮食供应风险至关重要。为了评估这些风险并提高结果的稳健性，全球网格化作物模型比较（GGCMI）第二阶段数据集和多模型集成方法被用于模拟气候压力条件下作物产量的响应。以下结果基于假设的升温 3℃且降雨量减少 30%的情景。

就大豆而言，模型预测巴西、阿根廷和美国等主要产区的产量将减少 25%至 30%。中国 2023 年进口的大豆高达 9300 万吨，其中大部分来自干旱风险日益增加的地区。模型还预测，中国东北地区的大豆产量将减少 7%至 50%。

玉米在中国的饲料和工业加工领域扮演重要角色。中国超过 90%的玉米需求由国内生产满足。气温升高 3℃且降雨量减少 30%的情景可能导致中国本土玉米产区减产 25%至 50%。

水稻减产随着气温升高而加剧。中国约 95%的水稻需求由几乎全部为灌溉种植的本土生产满足。包括长江流域部分地区在内的南部和中部水稻种植区的减产 6%至 50%，而中国东北部分地区（例如黑龙江）的产量则略有增长。

小麦产量根据 GGCMI 预测将在许多高纬度和高海拔地区显著提高（25%至 75%），原因是低温压力减轻和生长季延长。中国 90%以上的小麦需求由主要依靠灌溉的本土生产满足。华北平原大部分地区在气温升高 3℃的情况下，小麦产量将提高 5%至 25%。但是在此情况下，包括河南、湖北和四川部分地区在内的中部和西南部省份的小麦产量将减少 6%至 25%。

模型预测的这些平均产量变化可能被气候的年际变化和极端天气的影响所掩盖。此外，水循环和病虫害风险的重大变化并未被考虑。另一方面，假设作物管理完全不进行任何适应可能过于悲观。但总的结论是，随着全球气候变化加剧，中国用于动物饲料的作物产量和用于消费的水稻产量将进一步减少，只是后者减少的幅度更小。小麦产量的前景则不太明朗。粮食生产和人类消费模式的转型势在必行，而且肯定会在 21 世纪中叶后不久开始。

利益相关者

从农场到餐桌的整个粮食系统都将受到影响。气候变化对食品供应的影响表现在作物产地和这些作物的加工和消费地区。粮食系统是全球性的，具有紧密稳固的联系和依赖性，并且涉及众多参与者：生产者（农民）、食品加工商、本地和全球市场、贸易商、地方和国家政府、私营部门、金

融机构，以及消费者。因此，适应行动需要采取综合的粮食系统方法，了解其中的联系，并找到可以减少影响并引发生产、消费和消费者饮食习惯必要转变的杠杆点。

适应能力的局限与不确定性

中国目前耕地（1.1 亿公顷）的 62%位于黄河和长江两大主要流域内。它们面临洪水风险，并且兴都库什—喀喇昆仑—喜马拉雅山脉地区的冰川融水补给量正在减少。其中 44%的耕地为灌溉田，导致水资源竞争激烈，需要投入巨资建设跨流域的南水北调工程。在华北平原，地表水资源匮乏，地下水被抽取用以灌溉农作物，但过度开采正威胁着当地的农业生产。

全球化的粮食生产加剧了水资源和生态问题，尤其是在全球南方区域。高耗水作物的生产加速了干旱和水土流失。与生态系统平衡共存的小规模农业遭到破坏。大规模种植牛油果、橙子和西红柿等高耗水作物取代了利润较低的主粮作物生产。位于气候条件较差地区的小型传统农场陷入贫困，造成社区内的公平问题。

中国及其他地区持续的社会经济发展可能会给水资源和社会带来更大的压力。尽管人口预计在 2040 年后将缓慢下降，但饮食偏好向肉类消费转变的趋势仍可能导致土地和水资源需求的增加。这种饮食结构的变化与经济繁荣和城市化密切相关，表现为红肉、乳制品、精制谷物和食用油消费量的增加。然而，这种趋势似乎与大豆等动物饲料产量的预计下降以及耕地和水资源短缺的情况相矛盾。

反思

所有这些进程，包括不确定性、气候变化、社会经济、地缘政治、技术和环境发展，都导致粮食供应系统需要进行根本性调整，比如人类饮食应减少肉类消费、增加本地生产的食品，以增强循环经济并减少运输排放。这种调整为产品多样化、生产分散化、减少人类环境足迹以及乡村生态振兴提供了契机。中国的《国家适应气候变化战略 2035》为此制定了宏伟蓝图，并明确了目标和实施的有利条件。试点和示范项目正在进行，但如何推广仍是重大挑战。

粮食的生产、贸易和消费都处于全球市场体系中。自给自足已不再是可行的政策目标。气候变化的影响可能导致全球范围内出现显著的社会经济和生态不平等。贸易政策、地缘政治关系以及主导市场的全球食品生产和加工企业，都可能缓解或加剧这些影响。

（四）城市生活

影响

城市极易受到气候变化的影响。许多大都市区位于洪泛平原区和三角洲地区，同时面临海平面上升、地面沉降和淡水盐碱化等问题，需要各级政府和机构采取协调一致的行动。

城市地区人口、财产和经济活动的密度使其效率极高，但也极易受到洪水、高温、干旱及相关灾害的影响。洪水可能由多种灾害引起，包括极端降雨、河流、海平面上升、风暴潮和地下水，不仅造成人员伤亡，还会导致疾病、经济、社会和心理方面的损害和破坏。滑坡等地质灾害也与极端降雨和/或河流侵蚀有关。极端高温，也被称为“无声杀手”，会因城市热岛效应而加剧。干旱会导致的不仅是缺水，还有水质问题，进而引发公共卫生问题和生态破坏，以及地面沉降等地质灾害，并对建筑物和基础设施造成损害。然而，由于人口增长和人口迁入，城市仍在不断扩张。尽管 21 世纪中叶以后总人口规模将会下降，但由于经济活动的集中和气候移民，气候韧性城市的人口预计将继续增长，而气候脆弱型城市的人口将会减少。

许多城市地区位于易涝区，这些地区也最容易受到海平面变化、极端降雨、河流洪水、干旱和热浪等不确定性的影响。因此，全球大多数城市地区都需要改造其基础设施、建筑物、绿地和产业区，以及它们的维护和管理方式，以适应新的气候条件。

城市生活依赖于外部资源，例如食物、能源、饮用水和垃圾处理。这些资源来自乡村环境，而乡村环境极易受到极端天气、气候变化和海平面上升的影响。城市环境中这些资源的消耗量已超过了效率提升和节约，未来几十年，其环境足迹将持续增加。此外，出于效率考虑，居民和企业依赖

于“即时”按需交付。自然生态系统中存在的冗余量已被经济上高效的土地、材料、劳动力和资金利用方式所取代。资源供应的不安全会造成严重的破坏性影响，危及关键的城市功能，使城市生活陷入瘫痪，并可能导致人员伤亡、健康风险和经济损失。极端天气预计将变得更加频繁和严重，我们需要建设具有气候韧性的新城市，并对现有建筑、公共和私人空间以及基础设施进行改造。并且，由于城市结构改造和新城市的规划发展需要数十年时间，有关部门应尽早启动这一进程。

全球范围内的城市有很强的多样性，地理条件、人口、社会经济状况和文化差异导致城市在面对气候变化和海平面上升方面的脆弱性存在显著差异。气候变化预计将驱动人口迁移格局，有经济能力的人会迁往气候适应性更强的地区，从而带来新的不平等。这种动态变化可能导致城市环境中公民身份的重新定义。全球北方与南方、全球东方与西方之间的不平等，造成了减缓气候风险能力上的不平等。社会中最弱势的群体往往生活在最脆弱的地区。为了寻求庇护而导致的无计划且混乱的人口和/或企业迁移格局，将在本世纪下半叶引发城市经济、社会和文化的螺旋式衰落，最终使城市沦为搁浅资产。适应和改善区域内及跨区域、跨国界的无计划迁移预计需要数十年时间。在此期间，人们的生活条件将持续恶化。

城市地区的结构性改革和规划建设具有气候韧性的新城区需要数十年时间，这意味着城市地区在未来几十年内极易受到极端天气和气候变化的影响。有关部门应尽快启动适应进程。城市环境的适应需要复杂的规划和实施，以及不同空间尺度、不同权限（私人、公共、自愿、自上而下强制执行等）的利益相关者的行动。城市是一个系统集成体，随着时间的推移而不断演变。理解这些系统及其相互作用是成功适应的先决条件。因此，如果不加快城市更新和采取更严格的空間及城市规划，在 2050 年之前建立一个具有气候韧性的城市环境的可行性非常值得怀疑，更不要说在 2035 年之前完成了。

利益相关者

城市及其运行、功能、发展和适应，是众多利益相关者在不同空间、行政和系统尺度以及不同时间跨度下复杂互动的结果。居民、企业、金融机构、住房公司、开发商以及众多政府和非政府组织都在城市发展中扮演着重要角色。驱动这些利益相关者及其运作方式的价值观、规则和法规都具有地域性。即使是公共和私人参与者的一般性区别及其角色和运作模式，都具有情景特异性的理解。因此，规划和实施适应措施需要对当地情况保持敏感。

个人，尤其是对自己的房产负有责任的房主，在气候适应中扮演着重要角色。然而，由于社会经济差异，他们的适应能力存在显著差异。弱势群体往往居住在更易受灾的地区，应对和从灾害中恢复的能力也最弱。此外，公民对建成环境的期望会影响适应需求和解决方案。如果公民对自身面临的风险以及可以采取的解决方案缺乏足够的认识，他们就缺乏在近期内采取行动的动力。他们不会采取预防措施，而是等到灾难发生后才采取行动。企业和公司也是如此。

地方和地方政府处于气候变化影响的最前线，对公共基础设施和提供服务至关重要。然而，现有的治理体制往往难以应对新的气候挑战。尽管传统上参与洪水风险管理和应急响应，但其能力有限、适应速度缓慢以及制度上的不足阻碍了治理和适应措施实施方面的快速充分响应。

金融机构在气候适应中扮演着至关重要的角色。在地方层面，银行扮演着双重角色。它们承担着为房产和企业提供贷款的风险，同时还决定着资金的投资方向和用途（以及何时何处不宜投资）。中央国家银行评估气候适应对金融体系的影响，并利用监管手段指导金融机构应对气候风险。超国家实体，例如多边银行（如世界银行、亚洲开发银行）和国际金融机构，如央行与监管机构绿色金融网络（NGFS），通过引导全球气候融资，在城市气候适应中发挥着关键作用。它们研究各种情景，并通过设定“可融资”项目的标准来影响城市资金的流向。然而一个重大挑战是，大多数气候融资都是在国家层面构建的。这使得城市，特别是全球南方城市，由于技术能力或信用资质有限，难以获得这些资金。它们对投资决策的影响，包括通过市政债券等工具，显著地塑造着城市应对气候变化的方式。

适应能力的局限与不确定性

由于使用寿命长、路径依赖以及老旧基础设施的沉没投资，建成环境的适应极其缓慢。城市建筑和基础设施似乎是为了“永久存在”而建造的，而非为了在其使用寿命结束后进行改造或拆除，

从而降低了适应能力。更新成本高昂往往导致零散的翻新以维持旧系统的运转，从而加剧了不可持续系统的锁定。向适应性城市系统转型需要对法规、规划和施工实践以及施工人员和维护人员的技能进行根本性变革，而所有这些转型都耗时费力，难以实施，例如建造使用寿命不超过 30 至 40 年的临时建筑、易于适应全新未知条件的建筑和基础设施、浮动解决方案、循环利用建筑材料等。我们的管理机构、规则和法规并非为应对这些挑战而设计。它们缓慢的适应性使其值得信赖和可靠，但也削弱了其快速或有效应对的能力。它们还倾向于沿着部门和行政边界划分适应路径，无法提供应对这些新挑战所需的整合路径，甚至更糟的是，导致“适应不良”，从而加剧系统锁定。

导致适应能力不足的另一个重要原因是当前房地产及房地产市场强大的资金锁定，阻碍了包括作为房主的市民在内的公共和私营主体投资于气候风险减缓。对高风险房地产的任何投资，在达到临界点（气候损害成本超过投资收益）之前其短期财务价值都十分有限。

资源（土地、水、能源、建筑材料、资金）的匮乏往往限制了可行适应方案的范围。当前的建筑实践也存在同样的问题，例如，工程师和规划师接受的培训是使用钢材、砖块和混凝土进行建造，而不是使用木材等循环利用、易于改造的材料，以及菌丝体、纸张和稻草等可降解材料。缺乏相关信息的市民——也就是建筑商的客户——的期望是实现气候韧性城市发展和更新的另一障碍。适应融资机制与城市、企业和居民的具体需求之间的不匹配加大了转型的困难。

反思

世界上大多数人口居住在城市，其中许多城市位于极易受气候变化影响的地区。世界各地正在遭受的众多灾难性气候事件表明，通过适应来增强气候韧性的需求迫在眉睫。然而，由于建筑物和基础设施的使用寿命长，且更新需要大量资金，城市适应气候变化的过程复杂而缓慢。政府、开发商、建筑商、企业主、居民、银行和保险公司对风险、立即采取行动的必要性以及气候韧性、可持续的循环干预措施的广泛可用性认识不足。然而，这些方案的实施需要稳定的长期适应政策、战略和监管框架，包括短期和长期行动的投资计划。

城市系统的极端天气韧性通常较弱。超出设计标准的极端天气事件往往会造成重大损失和人员伤亡。尽管提升应对和恢复能力以最大限度减少极端事件损失的前景可观，但系统和投资却非常有限。应开发和实施增强城市应对极端天气事件韧性的方法和技术。

由于城市是地理、人口、文化和制度的独特组合，城市适应行动的有效性高度依赖于跨部门、跨空间和跨行政尺度的协调，以及与各利益相关者的合作。这就需要建立新的联盟、新的机构能力和综合方法，因为现有机构往往在僵化的部门和行政边界内运作，常常导致停滞不前或适应不良。当城市在获取气候融资面临显著障碍时，政策制定者必须着重建立多层次机制以协调气候适应路径的融资，而气候融资通常是在国家层面构建的，这就要求从传统的、各自为政的治理模式转向更加整合且灵活的模式。

（五）生态/生物多样性

影响

气候变化目前被列为导致生态/生物多样性丧失的第三大直接驱动因素。人类活动，例如为粮食生产和城市化而改变土地用途，以及为满足不断增长的人均消费而过度开发自然资源，是造成生态/生物多样性丧失的主要原因，这些因素与气候变化相互交织。所有生态系统，包括陆地、淡水和海洋，都因气候变化而面临压力。除了人类排放的污染物外，水资源的干涸和盐碱化也降低了自然系统提供的生态系统服务能力。这会对经济和社会产生深远而广泛的影响，最终威胁人类的健康和福祉。

气候变化会导致生态/生物气候带的转移，这是一个缓慢但已在持续进行的过程。同时，粮食和生物能源的生产区域也在变化，这将对自然保护区的生态系统保护、农业、食品生产和加工业以及其相关劳动力都产生了重大影响。自然保护区内外的生物多样性将发生变化，新的高生物多样性区域可能会出现。这会对已达成共识的保护政策产生影响，并使得适应性自然保护规划和管理至关重要，而发展这种全新的根本性方法将是未来几十年面临的挑战。

受人类活动和气候共同压力影响尤为严重的陆地生态系统包括热带森林、季节性/北方针叶林和苔原。最脆弱的淡水生态系统包括冰雪融水补给河流、季风区河流、筑坝河流、湿地和内陆湖泊。最脆弱的海洋生态系统包括北冰洋、沿海地区、珊瑚礁和红树林系统。由于气候和人类活动的共同压力，这些生态系统的再生能力在许多地方都受到威胁，地球限度已被超越。如果不从根本调整环境保护政策和实践，最终将导致生态系统崩溃，甚至可能在本世纪中叶之前就会发生。

增强生物多样性和生态系统服务的气候变化韧性的行动虽然简单，却与限制人类对生态系统的影响密不可分：尽量减少压力或干扰、减少栖息地破碎化、扩大自然栖息地范围、增强连通性和异质性，并保护小规模避难所和其中有利于物种生存的微气候条件。

人类活动对农业和城市地区的生物多样性产生了显著影响。农作物单一栽培以及农药和化肥的使用已大幅降低了乡村地区的生物多样性。城市地区通过城市热岛效应和改变降水模式来改变其局部区域气候，这对净初级生产力、生态系统健康、公共卫生和生物多样性产生重大影响。基于生态系统的规划和设计方法有助于减少城市化对生物多样性和自然提供的生态系统服务的影响。但是，即便引入了基于自然的蓝绿网络解决方案，动植物物种数量仍然有限，生物多样性也处于不平衡状态。

野生动物适宜栖息地的持续破碎化，即栖息地被分割成更小、更孤立的斑块，是生物多样性面临的另一大威胁。此外，预测气温上升将导致植被发生变化，例如，有利于更高大、茂密的植被生长，从而促进森林向北极苔原扩张，苔原向极地沙漠扩张。

耕地扩张和持续城市化导致森林及其丰富的生态系统大量丧失。人口增长和生活水平提高将对城市地区的资源和服务，以及获得资源的土地提出更多的需求。与此同时，在未来几十年，由于咸水入侵地表水和地下水以及过度灌溉，水体和土壤中的盐度将不断增加，加之持续的干旱和荒漠化，可能成为全球气候移民的主要原因，并带来重大的地缘政治、社会和经济挑战。因此，如何使实体、社会经济和地缘政治系统及时适应新的气候条件，将是未来几十年间的一个挑战。

利益相关者

生物多样性的利益相关者包括受益于生态系统服务的人和管理提供这些服务的土地的人。自然本身的声音由众多自然保护组织代表——这些组织的工作范围从地方到全球——也由各国政府代表。这些政府制定环境保护法律，并创建组织来管理和保护自然保护区。

参与水资源、土地利用规划、农业和环境领域的政策制定者都与保护生物多样性和生态系统提供的生态系统服务息息相关。然而，这些参与者的活动范围不同，对生态系统服务的关注点也可能存在显著差异。

气候变化带来日益增长的压力，加上对农业生产和渔业需求的增长，对自然资源和生态系统服务的管理构成了重大挑战，并常常导致农民、渔民、政策制定者和环境管理者等各方利益相关者之间的冲突。在市级层面，代表个人和地方集体利益的重要生态系统服务包括维护绿地、控制水土流失以及提供燃料和食物（例如渔业和农业）。在市级和省级层面，淡水供应和休闲娱乐至关重要。在国家及国际层面，重点转向自然保护和栖息地维护。它们通常被视为更广泛的、长期的集体利益，对地球健康和全球生物多样性至关重要，影响着当代和后代。所有这些参与者都必须参与到关于2050年及以后新的、适应性的生物多样性增强和自然保护战略的对话和决策中。鉴于这项挑战的复杂性，这将需要多年时间。

生物多样性领域的利益相关者包括两类群体：一是生态系统服务的受益者，二是产出这些服务的土地的管理者。自然本身的“话语权”由众多自然保护组织代为表达（这些组织从地方到全球层面开展运作），同时也通过政府得以体现，后者通过制定环境保护的法律框架、建立管理与保护自然保育区类似的机构来履行这一职能。

从事水资源管理、土地用途规划、农业生产及环境保护的政策制定者，其工作成效均与生态系统生物多样性及服务功能的保护利害相关。然而，这些主体在不同空间尺度运作，且其对生态系统服务的利益诉求可能差异显著。

气候变化带来的压力日益加剧，加之农业生产与渔业需求持续增长，对自然资源及生态系统服务的管理构成了严峻挑战，常常引发农民、渔民、政策制定者和环境管理者等多方主体间的冲突。在城市层面，体现个人与地方集体利益交融的重要生态系统服务包括：绿地空间维护、水土流失调控以及燃料与食物的供给（如渔业与农业）。在省市层面，淡水资源供给与休闲娱乐活动高度相关。

在国家与国际层面，关注重点则转向自然保育和栖息地维护。这些通常被视为广泛长期的集体利益，对地球健康与全球生物多样性至关重要，影响着当代与后代。所有这些利益相关者都必须参与对话和决策，面向 2050 年及未来，制定出新的适应性生物多样性提升与自然保育战略。鉴于这一挑战的复杂性，相关工作将历时多年。

适应能力的局限与不确定性

生物圈完整性（生物多样性丧失速度）、气候变化、土地系统变化和淡水利用是九大地球限度中的四项，即人类能够安全存在的环境极限。每项限度都存在一个“临界点”，一旦超过该临界点，生态系统将无法应对压力。如果不采取具体的应对措施，到 2030 年，至少有五项地球限度将被突破：气候变化、氮磷（生物地球化学）循环、生物圈完整性、土地系统变化和大气污染；到 2050 年，七项地球限度将处于高风险区间：另外包括淡水利用和海洋酸化。因此，生态系统的再生能力受到威胁，自 1980 年以来，人类的需求已经超过了这一能力。地缘政治紧张、经济不稳定、生产区域转移和人口迁移将进一步给生态系统和生物多样性保护带来重大不确定性。

生物多样性和生态系统面临的长期不确定性包括水资源和空间（土地）资源的争夺、能源绿色化（包括核能）、循环经济、交通方式和能源的转变，以及城市、乡村和自然更新与再生政策。农业、工业和家庭对淡水资源的压力，以及三角洲盐碱化控制的需求，都给生态系统保护带来了不确定性。气候变化和人类活动对水文循环的改变预计将进一步扩大干旱和盐碱化的范围和严重程度。与此同时，对河流、湖泊、水库和地下水资源的消耗性用水正在威胁河流流量依赖型生态系统的生态流量需求。

为了应对长期转型和气候韧性的深度不确定性，需要整合分析各种不确定性，并制定适应性计划。然而，我们难以预测和量化气候变化对生态系统及其服务的影响以及临界点出现的时间点。例如，在采取和不采取应对措施的情况下，20 年或 50 年后，热压力、水资源短缺和水质恶化的模式分别会是怎样的？这些现象又会对健康和社会造成哪些影响？尽管存在这些不确定性，但预防原则要求欧盟国家并敦促其他政府尽快采取行动，例如促进基于生态系统的适应措施和制定适应性的生物多样性保护和自然保护政策。

反思

生物多样性对地球生命（包括人类）的健康和福祉至关重要。然而，自然界自身却无法发声，并且正受到诸多人类活动以及气候变化等进程的威胁。这导致了持续的干旱、盐碱化、污染和水资源过度开发，自然土地被转化为农业用地、城市用地和能源生产用地，水体被用于各种功能等等。所有这些变化都引发并加速了生物多样性的负面趋势。生物多样性保护、恢复和再生对于维护地球的宜居性至关重要。

应以可持续的方式利用自然提供的生态系统服务，不应超过自然所能承受的压力限度，并始终保护自然系统的再生能力。

气候变化将导致生态带的转移，从而改变特定地点的生物多样性和自然提供的生态系统服务。这些动态变化要求我们制定适应性的自然保护政策，持续监测生态系统中生物多样性的进程，保护本身没有发言权的自然，发挥强有力的专业领导作用并做出平衡的决策，以应对人类对土地、水、能源和其他资源的诸多相互冲突的需求。许多技术创新只有在实践中成功推广应用的情况下，才能帮助减少人类对生物多样性的影响。

(六) 三角洲河流的水路货运

对货运的分析主要集中在三角洲内陆水道的货运，而不涉及全球海运系统的脆弱性以及社会对该系统的依赖性。

影响

干旱、洪水、海平面上升和极端天气等气候相关灾害将日益影响三角洲内陆水道（河流、运河、湖泊）的货运，且各地区受到的影响差异很大。从大型水工建筑物（船闸、堰）到小型基础设施（挡水坝、堤坝、丁坝、码头岸壁等），港口和基础设施都将受到影响。

近年来，主要河流因干旱导致的水量流量不足以对内陆水道货运造成严重干扰，造成重大经济损失。欧洲河流（莱茵河、多瑙河和第聂伯河）尤其容易受到干旱的影响。天然河流的水位下降意味着航道水深降低和通航宽度减少，进而造成单船载货量减少、船舶航行次数增加、排放量增加等问题。在堰坝控制的河流中，船闸的通行能力下降。河流与运河之间的连接可能受阻，并且运河水位也会由于蒸发、渗漏和船闸运行的限制而下降。码头和港口的可用性降低，水量过少可能导致航道管理部门采取额外措施，例如增加河流和港口浅滩的疏浚次数、限制航行速度、禁止超船、在特定河段限制单向通行、减少船闸运行次数以防止咸水入侵等。一般来说，低流量时期基础设施受损较小。在干旱过后，水位和船闸运行几乎立即恢复正常，航运也照常运作。然而从这种极端事件中完全恢复需要更多时间，因为各方都需要重新恢复正常运行。

极端降雨、冰雪融化和海平面上升可能导致河流流量增加，从而引发河流洪水或突发性洪涝。河道水量过多也会影响航行，例如桥梁净空高度降低、航行速度受限、特定河段受阻、船闸和其他水工建筑物堵塞、码头被淹、侧向流导致船舶操纵困难、河床侵蚀、河床沙丘形成等等。水量过多的事件过后，需要进行大规模的恢复工作，以修复航道及其基础设施。

水量过少或过多都会导致每日货运量减少、货物延误以及部分港口停摆。由于水量过多的持续时间较短，其对货物延误的连锁影响通常较小。另一方面，洪水后的修复工作可能比低流量时期后的修复耗时更长。海平面上升是一个渐进的过程而非突发事件，需要采取结构性和永久性的干预措施。如果挡潮闸频繁关闭，位于挡潮闸后方（并受其保护）的海港的通行性会变差。

极端天气对内陆水道航运有直接的影响。亚洲（长江、湄公河、恒河）、北美（密西西比河）和南美（亚马孙河、马格达莱纳河、奥里诺科河）的河流易受台风和热带气旋的影响。此类极端风暴及其在三角洲地区造成的水位上升（风暴潮）可能对航道和港口基础设施造成严重破坏，并导致船舶操纵困难。集装箱货轮对风暴潮非常敏感。极端降雨和大雾也会对船舶操纵产生同样的影响。

因此，气候变化对依赖水路运输的供应链，例如大宗重型散装货物（煤炭、矿石、沙子、砾石、石油、天然气等），会产生级联效应。运力下降会影响运输价格，导致库存减少，并最终导致生产受限甚至完全停产。即时物流系统首当其冲受到影响，运输延误会对整个生产链产生级联效应，最终导致终端产品价格上涨。如果此类事件频繁发生——这种情况在 21 世纪中叶之后更有可能发生——相关产业可能会考虑搬迁。

三角洲的河流和运河除了内陆水道航运还有其他重要功能，例如排水、排冰、冲沙、供水、生态功能，以及休闲娱乐、社会、文化和景观功能。政府将努力寻找能够平衡所有这些功能的解决方案。防洪安全通常是首要功能，而通航只是众多功能之一。为了运输功能而改造水道通常成本高昂，替代方案之一可能是改造船队和调整运输物流。对于跨界河流和运河而言，平衡的决策甚至更加复杂。

利益相关者

由于多少同步式联运物流解决方案与水路运输息息相关，众多利益相关者参与了水路、船队、船舶和货运物流系统的适应改造。地方、区域、国家和全球各级政府及机构（例如国际海事组织、国际航运协会）、国际河流委员会、港务局、航运公司、采用水路运输的相关产业、咨询公司、建筑商、疏浚公司、金融和保险机构、铁路和公路运输代表，以及最重要的船长，都在这一适应过程中发挥着作用。从更广泛的角度看，饮用水、防洪安全、农业、工业、生态/自然、旅游、渔业等领域的相关各方也应参与河流管理，因为与这些领域的相关决策可能会影响水路运输。

只有当解决方案能够为多种功能带来“双赢”局面时，才能在气候变化背景下实施以改善航行条件。此外，由于各利益相关者对适应需求的财务评估各不相同，决策的挑战性很大。长期不确定性也使规划更加复杂，例如未来货物量和类型的变化趋势、三角洲自身的发展和适应方式，以及不同运输方式的演变和相互作用。

适应能力的局限与不确定性

不确定性使得内陆水道运输方式的可靠性和吸引力降低，这在长期下特别明显。气候变化对水流状况的影响是不确定性的一个显著来源。另一个重要的不确定性是未来对内陆水道运输的需求，例如中国的“一带一路”倡议、能源转型、产业生产中心转移以及近源外包（产业力求在更近距离内完成生产过程的各个环节）。影响海运和国际货物运输的突发事件和地缘政治局势也会加剧不确定性，苏伊士运河封锁、巴拿马运河争端以及亚丁湾安全局势等事件都对全球水路运输的可靠性产生影响。

还有一个不确定性是人工河道的河床退化。只有进行有效的维护才能确保长期的通航能力，对于丁坝、船闸、大坝、堰等人工河道设施而言也是如此。这些基础设施在运行、翻新、更换或维护过程中一旦出现故障，都可能严重影响通航。此外，河流的生态修复也会影响通航能力。随着小型船舶逐渐被大型船舶取代，预计现有船队在未来低流量情况下的稳健性将降低。

许多水道在运输方面仍未得到充分开发，而水运是一种在排放方面非常清洁的运输方式。因此，推动发展水运似乎是合乎逻辑的，尽管一些港口目前尚不具备应对如此巨大的运输量增长的能力。诸如自主远程航运和船舶电气化等新技术和数字化发展正在逐步推向市场，这将使水运更加可靠和清洁，但也需要对相关法律法规进行相应的调整。

反思

内陆水路货运因其诸多优势而备受青睐，尤其适用于大宗货物和集装箱运输。然而，诸多不确定性限制了这种运输方式的应用。随着气候变化和海平面上升导致河流和三角洲水文情势改变，这些不确定性将随着时间的推移而加强。造成这些不确定性的原因包括水道水量过少或过多，以及如何平衡航运业利益和其他与水相关的利益，比如防洪、灌溉、饮用水供应和生态保护等。产业和零售商都依赖于及时交付订购货物，才能满足生产和贸易需求。尽管水道水文条件不断变化，但多式联运和同步多式联运物流解决方案、船队更新、水道管理改进、技术创新以及行业监管框架的创新都有助于促进水运的发展。河流管理者、运输公司和船长之间应更紧密地合作，结合监测和智能管理泥沙与河流的新技术，以进一步减少长期威胁该行业的各种不确定性。

如果气候变化对水道的影响阻碍供应系统、增加运输成本，或者产业无法依赖水路运输货物，则产业可能会迁往其他地区。内陆水路航运中断可能导致货物运输转向其他方式，主要是公路运输，可能会造成交通拥堵和巨大社会影响。鉴于水路运输量巨大，应尽量避免这种情况。

生产环节在更近距离内完成的近源外包趋势正在兴起，这可能会影响运输量和运输距离。此外，未来管道建设和运输量也可能增加，或者其他新的运输方式会迅速发展。

三、跨领域主题与议题

（一）反思

正如上一章所示，数个主题和议题与四个领域均有关联。本章将对这些主题进行跨领域分析。第二章探讨的四个社会领域——粮食供应、城市生活、生态/生物多样性和河流水路货运——都将受到气候变化的显著影响。因为气候变化的影响如今已在观测记录中显现，这些领域迫切地需要开展适应行动。即便全球各地的影响程度和社会经济的脆弱性存在巨大差异，每个人无论老幼都将感受气候变化带来的后果。农业实践、城市规划、建筑与基础设施、自然管理、船舶与航运方式，以及城市、乡村与自然空间都需要在本世纪结束之前进行改变以适应气候变化。这是为了提升应对平均气候变化和更频繁剧烈的极端降雨、洪涝、干旱、高温及相关问题（如水质问题和地质灾害）的能力。这种适应需求受社会中地缘政治、地缘经济、技术、环境和社会领域等相互交织的趋势与进程的推动，同时也与老旧建筑和基础设施更新的需求有关。适应措施包括结构性（物理上和空间上）措施和非结构性措施，如政策、法规、组织架构和融资机制的调整，以及认知提升、新知创造、创新和沟通等。后续章节将探讨其中若干个跨领域主题与议题。

有效的适应依赖于关键的边界条件，其中包括：在全球、国家、地区和地方层面的地缘政治与社会稳定；超越自身利益进行合作的意愿；共享知识、数据和资源的意愿；通过对话了解其他利益相关者的驱动因素、动机和偏好的意愿；尊重不同意见并寻求“双赢”解决方案的意愿；及时决策和采取行动的意愿。创造所有这些有利条件显然是一项巨大的挑战，需要所有利益相关者持续监测和评估，并在开放的对话中共同讨论。

（二）气候适应工作的治理

政府拥有改变政策、法规、融资机制、组织架构、空间规划、信息与沟通流程等方面的责任与权力，因此在气候适应中发挥着重要作用。然而，政府权力分散于多个层级与组织中：从地方的小尺度权力到国际权力（如欧盟、联合国等）；从政治权力到司法权力，再到社区权力（学术界、非政府组织、行动团体）；以及从地方企业到跨国公司的经济权力。

在应对气候适应挑战的议题上，决策权通常遵循辅助性原则进行分配，即将决策权下放到尽可能低的政府层级，同时保留在必要时将议题上升至更高层级的可能性，或允许更高层级的政府基于更普适的利益、法律或原则而推翻地方决策。这种上下级政府之间的决策权分配为构建气候韧性带来了复杂而有趣的挑战。不同政府主体可以通过多种策略，在多个尺度层面上采取有效的干预措施，以实现气候韧性目标。

及时且积极地适应可以避免损失、人员伤亡、社会动荡和不稳定。政府和私营领域（企业与家庭等）的决策者都面临着及时实施适应措施的挑战。但在长期气候变化和海平面上升预测存在不确定性的情况下，何谓“及时”呢？在时间维度上具体确定临界点极为困难，因此应尽早实施适应措施，并最好与建筑物、基础设施、工程设施和机械设备的更新过程相结合。最简单且便宜的适应方式是将气候适应工作与必定进行的重建或更换工作同步进行，这同时适用于公共投资和私营部门对韧性建设环境的投资。

治理涵盖大量活动，包括制定政策、起草与实施法律法规、提供执行政策和维护运营各项措施所需的能力与技能、建立高效的执行组织以完成任务，以及为所有环节安排资金。这些都需要在多尺度的框架下进行，并且在一个有足够的利益相关者的舞台中展开。利益相关者具有不同的利益诉求，这就需要进行密集的沟通协商并共同制定计划。利益相关者参与和公私合作关系是达成干预措施共识（即双赢局面）并实现目标的有效方式。研究其他国家在气候适应方面的成功治理方法，有助于为地方、区域、国家以及国际和流域尺度制定有效的治理路径。

（三）资源可用性

水、空间和建筑材料等自然资源的稀缺限制了我们及时且充分地适应生存环境和生产生活方式的能力。优质水资源的匮乏威胁着生物多样性、粮食生产、水路货运以及城市、居民、工业和植被

的水资源供应。粮食生产、自然保护、城市发展和蓄水都需要空间。沙、黏土、砾石、岩石和木材日益稀缺，以可持续方式采伐这些材料具有挑战性。在地方、区域和国家层面对这些资源的“争夺”可能非常激烈，但这些资源对于气候适应不可或缺。

与此同时，许多资源在使用后被浪费。回收循环利用在目前仍难以实现或尚未推行，而创新的替代解决方案要么尚未有效可用，要么缺乏大规模商业应用的可行性，例如浮动城市化、垂直农业、其他建筑材料和循环供水系统等。

资源的稀缺既可能推动气候相关的人口迁移，也可能制约迁移。虽然移民无法继续居住在故土，但由于资源稀缺，他们在别处的安置也不受当地原住民欢迎。产业经济活动的搬迁通常更容易，因为接收地区预期能从中获益。政府在稀缺资源分配的决策中发挥着关键作用，这些决策大多以交易方式处理，以权衡财务和非财务成本与收益。

为开发和分配这些气候适应资源而提供必要的基础设施通常是政府的职责。根据项目的规模，这可能由地方政府、地区政府或国家政府承担，且通常以联盟合作的形式实施。金融机构可以协助提供必要的资金。可用基础设施的持续性对于长期保持韧性至关重要，这一持续性需求意味着需要有一个管理组织负责相关事务。

可以设想多种方式来组织自然资源的可用性，从而以环境友好的方式构建气候韧性。深入分析水资源、空间和建筑材料的分配实践（包括循环利用方案），将有助于减少人类活动在各个空间尺度上的环境足迹。

（四）生物多样性的治理

在如今不断变化的世界环境下，如何在保护生物多样性、开发自然资源和社会经济发展之间取得平衡是一个棘手的挑战。气候变化将对现有的生态系统及其提供的服务产生影响。栖息地将发生变化，物种将消失，但也有希望能够迁徙到生存和繁殖条件更佳的新地区。现有的自然保护区可能会失去其作为生物多样性热点地区的功能，而新的热点地区则会出现并需要保护。这很可能导致与其他对土地和水体（包括地表与地下、水面与水下）的空间诉求的冲突。因此，似乎有必要修订现行自然保护战略，使其更具动态性，同时又能维护整体生物多样性。

由于自然本身没有法律或政治话语权，保护现有和新兴生物多样性热点地区免受农业、城市化、工业化以及相关货物和人员流动等经济活动压力的职责主要在于政府。另一项挑战是如何最大限度地减少城市和农业地区的生物多样性损失。制定有关土地利用、农药和化肥使用、基于自然的“绿色”基础设施建设以及自然补偿（以平衡基础设施建设等项目造成的生物多样性和生态系统损失）的政策和法规，都有助于减少人类活动对这些地区生物多样性的影响。

自然区域和农业用地提供的生态系统服务的丧失可能导致社会经济变化，并可能引发经济活动、劳动力和人口的迁移。栖息地条件的变化最终可能威胁社会稳定，尤其是在以小型村庄和地方经济为主的乡村地区。因此，公平性成为这些地区治理中的一个重要议题。

各国政府和相关国际组织需要开展结构化对话，共同探索应对气候变化导致的生物多样性变化的新方法，制定适应性的生物多样性保护和自然保护政策。如何加强生物多样性、开发新热点地区并改造旧热点地区，从而最大限度地减少社会经济影响？

（五）适应中的创新

所有四个领域似乎都依赖创新来增强其气候韧性，需要找到新的解决方案。除了保护社会和环境免受极端天气事件损害、减缓平均气候条件和海平面变化的适应方案外，还需要创新来最大限度地减少极端事件造成的损害，并加速和改善灾后恢复。人工智能常被视为一种强大的工具，但会消耗大量资源比如能源和冷却水。由于资源稀缺，减少资源消耗、合理使用以及循环利用资源将成为寻求更佳的解决方案时日益重要的议题。一条新的道路或许能在第五次工业革命，即人类、人工智能和机器人技术的融合中找到。政府在通过研究、试点和推广来促进创新发展方面发挥着显而易见的作用。

创新技术的应用往往需要对法规框架、审查许可制度和融资机制进行重大调整。政府在为新产品市场推广创造有利的治理条件方面发挥着关键作用。市场各方通常认可政府作为首批客户的角色。

企业和个人率先应用（接近成熟的）新解决方案的风险实在太太大，而政府更有能力应对这种（部分）失败的风险。

用于应对气候变化和极端天气韧性的创新解决方案的需求具有其特定的属性和要求。这些解决方案的首要目标是避免或至少最大限度地减少极端天气事件造成的损失，但最好同时也能在日常生活中为社会和生物多样性带来益处。多功能的绿色解决方案更受青睐。这些条件需要将基于自然的基础设施、传统的灰色基础设施和智能控制技术进行灵活、集成式的结合。这被称为绿灰基础设施（GGI）。通过“生活实验室”在实践中开发和测试此类解决方案，是评估和改进其性能的有效途径。

（六）适应与韧性发展的资金支持

适应气候变化迫在眉睫，为必要的气候适应措施提供充足资金也同样刻不容缓。这是向更加循环、可持续、健康和适应性更强的生活环境转型过程中必不可少的一部分。《巴黎协定》第七条第九款规定，“各缔约方应酌情开展适应规划进程并采取各种行动，包括制订或加强相关的计划、政策和/或贡献”。然而，许多国家和地区无力承担转型成本，需要私营或多边预算共同资助所需的投入。政府及其上级组织有责任与金融部门协商，以协调方式筹措所需预算。

私营部门用于增强气候韧性的投资零散且缺乏系统性。迄今为止，各行业几乎没有投入资金来保护其资产免受极端天气和洪水的威胁，而此类灾害造成的损失可能导致企业倒闭，并在生产链中产生深远影响。政府可以利用补贴和税收减免等财政刺激措施，为私营部门必要的适应性投资创造有利的财政条件。此外，通过政府资助更多基础研究，可以启动通往气候韧性社会的新的解决方案和途径。此类技术成熟度（TRL）和共生成度（SRL）较低的研发项目只能由国家或国际政府以及跨国企业资助。

政治困境在于，应在多大程度上让私营商业机构负责韧性基础设施的规划、建设、维护、运营和融资，这些职责也可以由政府机构承担。市场化模式的支持者认为企业间竞争是控制成本的最佳途径，反对者则认为非营利机构能带来最优性价比。

四、对未来研究的建议

（一）气候适应专题政策研究

气候变化给世界所有地区带来了重大挑战。既然气候变化已不可避免，那么制定气候适应政策也势在必行。本次研究的核心建议是，将气候适应置于国合会在未来数年内研究议程的核心位置。具体而言，建议**成立气候适应课题组**，并且在以下四个关键社会领域开展气候适应政策专题研究：**粮食生产与供应、城市生活、生态/生物多样性，以及三角洲地区河流水路货运**。这四个领域日益受到气候模式变化、极端天气事件和海平面上升的影响。

气候并非我们面临的唯一变化，其他重要的趋势和进程关系到地缘政治的转变和压力、地缘经济和技术发展以及环境和社会发展。这些趋势与进行气候适应的潜在途径相互交织，技术和治理创新是这些进程的重要因素，关键是在建议的专题政策研究中纳入对这些趋势和进程的分析。成功的治理政策必须综合应对气候变化在不同领域的挑战。然而各个领域的社会经济背景差异显著，气候变化影响显现发生的时间尺度和地理尺度也各不相同，地理范围并不总是与政策制定的政治行政范围一致。不同领域的利益相关者也各不相同，而政策的成本和收益并不总是归于同一方，因此公平性是一个议题。

其他跨领域议题包括四个领域应对极端天气条件的韧性，以及为适应气候变化创造有利条件，例如短期和长期融资，以及对水、空间、原材料和能源等资源的影响。这使得制定和实施社会可接受、有效且高效的气候适应政策变得复杂但依然必要。建议在每项研究中都探讨这些跨领域主题，或者利用一个跨领域主题来研究如何在多个领域中应对它们。为了保持各个领域政策选项之间的一致性，下一节将详细阐述一些跨领域观察结果，它们对确定可行的政策选项具有重要意义。

（二）跨领域议题

1. 气候适应：多维度的战略性政策挑战

气候变化构成多方面的威胁，并且显著加剧它们。气候变化将持续影响核心社会系统，维持数十甚至数百年。虽然区域影响各不相同，但挑战的规模和复杂度却是全球性的。因此，气候适应是一项多尺度的工作，涵盖从全球到地方的所有空间维度，以及从今天到下个世纪的时间维度。

四个关键领域（**粮食生产和供应、城市生活、生态和生物多样性、水路货运**）是相互关联的：一个领域的压力会迅速传导至其他领域，形成系统性风险。

气候变化并非孤立存在。**地缘政治紧张、人口和经济变化、技术变革、社会转型、空间发展以及日益加剧的资源短缺**（土地、水、资本、技术、原材料）都与气候风险相互作用。这些趋势加剧了政策挑战，提高了风险，并使治理、融资和协调工作更加复杂。

2. 适应性治理：综合协同的政策行动倡议

及时适应意味着立即行动。由于现有基础设施和其他资产的寿命周期较长，适应过程极其缓慢。规划和实施本质上是过渡性的，需要根本而全面的系统性变革。**体制惯性和部门碎片化**阻碍了整合行动。如果不进行有意的变革，我们就有可能固守不可持续的做法，从而损害长期韧性。

适应气候变化需要采取**长期、系统和整合的政策方针**，协调基础设施、物流、法规、金融，以及人力资本、技能和能力等各个方面。解决方案必须**跨部门、多层次、多尺度且具有包容性**，涵盖政府、产业、民间社会和地方社区。为此需要突破各自为政的应对模式，而重组组织架构并建立新的联盟似乎势在必行。水资源治理不仅要在现有管辖范围内加强，更要通过**新的多边多尺度治理框架**来实现。气候影响和适应措施在不同地区和人群中的分布不均，使得公平性成为一个至关重要的政策议题。

政策制定者扮演着决定性角色。在未来几十年里，能够建立持久联盟和推动制度创新的战略领导力对推动有效的气候适应和韧性建设至关重要。**利益相关者的参与和公私合作关系**是有效规划和成功实施适应行动的关键要素。应将**适应行动**与公共和私营投资对必须进行的更新、重建和替代活动的投入**同步推进**。

适应行动可能会导致不公平，这表现在能够适应和无法适应的群体之间，以及身处危险环境和身处安全环境的群体之间。这可能**引发人口迁移、经济活动向其他地区转移，并威胁地方、区域和国际层面的社会稳定**。

气候影响发生的时间、地点和规模存在不确定性。因此，**适应措施的有效性也难以确定**，这使长期规划更为困难。政策制定者、企业和个人必须采用**深度不确定性下的决策（DMDU）**框架，才能做出在多种未来情景下都能保持适应性和可行性的稳健选择。

3. 资源可用性

水资源至关重要且极其脆弱。日益严重的干旱、高温、盐碱化、极端降雨、海平面上升以及所有相关的水质和地质灾害问题，都加剧了水资源管理的复杂性。平衡农业、饮用水供应、自然保护、制冷和航运、娱乐等各方对水的竞争性需求，需要采取**战略性、跨部门的方式来将淡水作为重要资源**进行管理。

资源竞争可能导致问题转移到邻近地区、下游水系、从陆地转移到水域、从水域转移到陆地、留给子孙后代，或者从私营领域转移到公共领域。**适应性规划的原则应该是永不转移问题**。

水资源过剩与淡水短缺一样具有破坏性。为了**最大限度地减少**极端降雨、河流洪水、风暴潮和海平面上升造成的**洪涝灾害损失**，需要适应改造基础设施和建筑物，并加强社会应对和恢复能力。同时，**应采取海绵政策，积蓄多余水资源**，以备干旱时期之需。

空间和土地利用治理是气候适应的重要组成部分。我们需要新的战略和方法来应对海平面上升、风暴（台风）潮、极端降雨和盐碱化这些波及河流三角洲和其他低洼沿海地区的大片城市和乡村的威胁。从长远来看，数十亿人的生存环境以及粮食的生产供应都面临风险。

为了防洪、抗旱、缓解热压力以及应对极端天气带来的其他相关问题，**需要更多的空间用于滞蓄水**。这些空间同时包括地上和地下空间。**城市更新和土地利用规划**应促进此类空间的创建，无论是作为永久性土地用途，还是作为附带或临时性的生态系统服务。

由于气候变化及相关进程导致的**耕作模式的改变、生物多样性热点地区亟须保护、经济活动的变化以及人口迁移**，都将造成土地利用及其相关的水土管理发生变化。为了避免冲突，需要在地方、区域、国家和国际层面**管控空间发展**。

4. 保护生物多样性和生态系统：无法妥协的优先事项

生态区域将会转移。现有保护区以及城市和乡村的生物多样性都将发生改变，而新的生物多样性热点地区将会出现。这就要求**自然保护政策进行转型**，从保护历史生物多样性转向动态的、最大限度提升整体生物多样性的方法。

生态临界点会对地球造成不可逆转的严重连锁后果。尽管存在诸多不确定性，但恢复和保护陆地、淡水和海洋生态系统的行动至关重要且迫在眉睫。虽然保护生物多样性的社会价值毋庸置疑，但为相关干预措施筹措资金仍然十分复杂。

5. 下一阶段的创新

针对气候和极端天气韧性的**创新方案**旨在**最大限度地减少**极端天气事件造成的损害，同时在日常生活中**最大限度地造福**社会和生物多样性。融合基于自然的方案和灰色方案以及智能控制的**绿灰基础设施**是前景广阔的发展方向，与当地粮食生产的结合可能也很有意义。

政府在创造有利于新方案研发的治理条件、制定有利于实施的监管条件以及将新产品推向市场方面发挥着至关重要的作用方面发挥着关键作用。政府可以提供试验场地（比如生活实验室）来试点和展示新解决方案，充当首批客户，并通过补贴、法规和能力建设来促进更广泛的市场推广。

6. 投资挑战

城市和乡村地区亟需加大适应行动的投资，但目前受限于**资金机制碎片化、融资周期短视化以及公共和私营资本流动缺乏协调**。尽管损害和损失不断累积，但并非所有利益相关者都意识到采取行动的紧迫性。

运输是社会和经济运转的命脉。**集装箱和散装货物的水路运输是经济网络中不可或缺的一环**。为了维持水路货运的重要作用，**需要对河流、运河和/或船舶进行适应性改造**。需要制定新的政策，以确保水路运输在运输网络中的长期发展。

适应行动难以预测的经济效益限制了私营主体参与气候适应的能力。政策制定者必须发挥领导作用，**营造有利于投资自然、社会和经济韧性的环境**，包括为公共和私营投资者制定明确的激励措施、风险分担机制以及长期融资战略。

（三）待研究问题和涉及学科

为了在未来的专题政策研究中确定高效有力的气候适应政策，并解决上述所有相关议题，可以提出许多子问题。每个子问题都需要不同特定领域的专业知识相结合，以研究各种方案和替代方案，进而提出政策建议。以下是对这些专题政策研究所需的学科领域的初步概述。

如何在气候适应政策制定中促进有效的跨部门和多层级合作？*有效地适应需要跨层级、跨部门和社会各界的协调。结构性合作至关重要。在此背景下，如何落实辅助性原则？*与此问题相关的学科包括：多层级治理、公共行政、政治学、传播学、利益相关者参与。

在气候变化和未来进程关联带来的高度不确定性下，如何为水资源管理构建稳健的治理、融资和决策模式？*气候变化加剧了供水、需水、水质及相关地质灾害的波动性。政策制定者需要建立公正、高效且在长期不确定性下具有韧性的框架。与此问题相关的学科包括：水资源治理、土地利用管理、决策科学（包括深度不确定性下的决策）、水文学、气候科学、法学。*

如何将深度不确定性下的决策（DMDU）方法有效地融入公共政策过程？*传统的规划工具在结构性的不确定性面前显得力不从心。DMDU 能够帮助制定适应性干预和前瞻性战略。与此问题相关的学科包括：公共政策与行政管理、系统思维、韧性管理、创新管理、行为科学。*

哪些有效策略可以在气候敏感系统中有效预防或克服制度和基础设施的锁定？*僵化的制度结构会阻碍向气候韧性的转型。洞悉解锁机制至关重要。与此问题相关的学科包括：转型研究、创新系统、制度经济学、系统动力学。*

哪些最有效的分配模型可以平衡农业、饮用水、自然绿水和运输等不同部门之间竞争性的淡水需求？*日益严峻的水资源压力加剧了不同用途和使用者之间的冲突。迫切需要公平且有适应性的分配机制。在此背景下，如何落实辅助性原则？*与此问题相关的学科包括：环境经济学、水文学、水资源管理、农业科学、城市规划与设计、生态学、运输学、水法。

哪些有效控制机制可以在土地利用适应性方面（包括相关的土地和水资源管理以及建筑法规）应对气候变化及其对粮食生产、城市化、生物多样性保护和产业活动的影响？*作物种类变化、人口迁移、新自然保护区设立、工业活动的转移和搬迁以及蓄滞水空间的需求都将加剧空间资源分配的紧张局势。迫切需要公平且有适应性的空间分配机制。在此背景下，如何落实辅助性原则？*与此问题相关的学科包括：空间规划与设计、环境经济学、水文学、水资源管理、农业科学、城市规划与设计、生态学、公共政策与行政管理。

哪些类型的融资模式能够可持续地吸引私营部门参与建设具有气候和极端天气韧性的城市、乡村和自然环境，并促进生物多样性保护和生态系统恢复？*私营部门对气候和极端天气韧性以及基于自然的解决方案的投资仍然有限。我们需要金融创新来调动资本并降低投资风险。与此问题相关的学科包括：环境金融、生物多样性保护、商业、生态学。*