

中国环境与发展国际合作委员会
前期研究报告

气候适应型社会建设政策研究

中国环境与发展国际合作委员会 2026 年年会

2026 年 9 月

前期研究项目组成员

中外组长*：

中方组长	李晓江，国合会特邀顾问，全国工程勘察设计大师
外方组长	Ben Geurts，荷兰基础设施与水资源管理部战略咨询司司长

核心专家*：

中方专家：

龚道孝	中国城市规划设计研究院城镇水务与工程研究分院院长
吕晓蓓	中国城市规划设计研究院深圳分院副院长
肖礼军	中国城市规划设计研究院西部分院副院长
林辰辉	中国城市规划设计研究院上海分院副院长
罗　彦	中国城市规划设计研究院中部分院院长
郭　超	长江水利委员会长江科学院河流所防洪减灾室主任
秦　杰	河海大学港口海岸与近海工程学院副研究员
李　昊	中国城市规划设计研究院高级工程师
田　川	中国城市规划设计研究院城镇水务与工程研究分院所长
王成坤	中国城市规划设计研究院深圳分院所长
余　妙	中国城市规划设计研究院西部分院副所长
唐川东	中国城市规划设计研究院西部分院副总工程师、市政所所长
谢　磊	中国城市规划设计研究院上海分院副总工程师
蒋国翔	中国城市规划设计研究院中部分院副所长

外方专家：

Rolien van der Mark	荷兰三角洲研究院专家，世界资源研究所罗斯可持续城市中心全球主任
Marloes Dignum	荷兰基础设施与水资源管理部高级战略顾问

支持专家：

中方专家：

郑德高	中国城市规划设计研究院副院长
李忠奎	交通运输部科学研究院首席研究员，学术委员会常务副主任委员
张雅京	生态环境部环境发展中心科技中心产业室主任
王家卓	中国城市规划设计研究院生态市政院院长
房小怡	中国气象科学研究院研究员
冯爱青	国家气候中心正高级工程师

刘　硕	中国农业科学院副研究员

外方专家：

Basam Barakat	荷兰基础设施和水管理部
Aurélie Ceinos	加拿大国际可持续发展研究所（IISD）性别平等与社会包容（GESI）
Nils Huber	德国联邦水道工程与研究所
Amanda Ikert	C40 城市气候领导联盟气候韧性主管
Iréne Lake	瑞典气象与水文局（SMHI）国际气候项目负责人
Gim Huay Neo	国合会特邀顾问，世界经济论坛执行董事
Pengyu Li	世界经济论坛大中华区自然与气候领域主管
Maaike Van Aalst	荷兰三角洲研究院气候适应与灾害风险管理专家

协调员：

中方协调员：

张永波	中国城市规划设计研究院信息中心主任

外方协调员：

Frans van de Ven	荷兰 aQuest 公司创始人

国合会秘书处：

穆　泉	国合会秘书处
郑方舟	国合会秘书处国际支持办公室

** 本前期研究项目组的组长及成员均以个人身份参加研究工作。本报告中的观点及看法仅代表参与前期研究项目的专家个人，不代表其所在单位，亦不代表国合会观点。*

执行摘要

面对日益严峻的气候变化趋势和气候风险，中国政府积极推动适应气候适应工作。2025年9月，习近平主席在联合国气候变化峰会上宣布中国新一轮国家自主贡献，明确2035年气候适应型社会基本建成目标，如何建设气候适应型社会成为当前和“十五五”期间的重要研究议题。研究系统梳理国内外气候适应型社会建设的政策进展，基于国际比较视角提出气候适应型社会建设的目标愿景和重点领域建议；同时选取中国和欧洲典型案例地区和流域，采用国合会2023—2024年度专题政策研究报告《城乡建设绿色发展与气候适应》提出的气候适应能力评估框架，分析典型地区和重点领域（以内河航运为例）面临的差异化气候风险挑战和气候适应的关键策略。在此基础上，研究提出建设气候适应型社会的政策建议，并围绕第八届国合会工作重点，提出气候适应的研究方向建议，为国合会下一阶段开展相关研究提供参考。

研究主要发现

1.面对日趋严重的气候风险，中国与全球各国普遍存在适应能力短板，亟需推动气候适应的能力变革。近年来，无论是欧洲、美国等发达经济体，还是中国等广大发展中国家，包括本次项目的中外案例分析均表明，因暴雨、高温、台风等极端天气短期威胁以及气候变暖的长期趋势所引发的损失规模和影响范围持续扩大。

2.中国及全球各国气候适应政策正向更加主动、系统和协同的气候适应治理转型，普遍推动适应的“主流化”、立法保障、协同治理和气候公正。气候适应治理的重点领域持续拓展，从早期以防灾减灾领域为主扩展到农业与粮食安全、水资源、健康与公共卫生、城市基础设施、能源交通、生态系统和金融保险等不同方面。

3.气候适应既是提高社会安全韧性的需要，也是促进和保障绿色低碳发展的重要支柱。气候适应型社会具有显著的综合性特征，涉及经济、社会和生态的各个领域，需要系统推动法规、制度、组织机制、技术标准、财政金融、科技创新等方面的政策机制创新。例如，内河航运的气候韧性不仅是一项工程挑战，需要统筹治理、船舶、运输、投资、数字化创新及持续的适应行动，统筹流域的航运、生态、供水、防洪及其他领域目标。

4.不同区域面临的气候风险挑战和适应基础差异明显，因此气候适应的“在地化”特征突出，需要结合本地的气候适应评估制定针对性适应策略和措施，避免“一刀切”的统一模式。

研究政策建议

1.将气候适应型社会建设提升为落实“总体国家安全观”、推进现代化与参与全球气候治理的战略行动，完善适应气候变化工作与政策体系，推动气候适应“主流化”。

2.因地制宜开展基础设施和生命线工程更新改造。

3.衔接气候适应能力评估，制定差异化、针对性的地方气候适应策略。

4.建立完善适应气候变化的统筹协同工作机制。

5.坚持气候公平导向，重点提升弱势群体和欠发达地区的气候韧性。

6.健全气候适应财政金融支持体系，吸引多元主体参与气候韧性投资。

7.提高公众对气候适应认知和参与度，培育全社会适应合力。

8.深化气候适应领域的国际交流与南南合作。

此外，研究建议在第八届国合会五年工作计划中持续开展“气候适应”的专题研究，分年度设置研究项目。同时，报告进一步建议在国合会后续其他专题政策研究项目中，均设置相关领域气候适应能力的专项分析，从而构建覆盖主要重点领域、贯穿政策全过程的气候适应研究体系，为提升应对气候变化能力、推动气候适应政策制定及行动实施提供系统性、前瞻性的科学支撑与决策参考。

关键词：

气候适应型社会、法规政策体系、城乡安全韧性、适应能力评估、变革能力、案例研究、内河航运、气候公平

术语表

术语	释义
气候适应型社会（Climate-adaptive Society）	气候适应型社会是中国政府提出的气候适应领域发展目标。2025 年 9 月，国家主席习近平在联合国气候变化峰会上宣布中国新一轮国家自主贡献，明确 2035 年气候适应型社会基本建成目标。
《联合国气候变化框架公约》缔约方会议（COP）	《联合国气候变化框架公约》缔约方会议是该公约的最高决策机构，审查《公约》及缔约方会议通过的任何其他法律文书的执行情况，在其职权范围内作出必要决定，以促进《公约》的有效执行。COP 通常每年举行一次会议，截至 2026 年 9 月，已举行 30 次 COP 会议。
国家适应计划（National Adaptation Plan, NAP）	各国在国家层面制定的气候适应领域战略政策文件。2010 年，在 COP16 会议上提出各国应制定和实施国家适应计划。
国家自主贡献（Nationally Determined Contribution, NDC）	《联合国气候变化框架公约》缔约方根据自身情况制定的应对气候变化行动目标，2015 年在《巴黎协定》中正式提出。缔约方各国应每五年通报并更新减排目标，内容包括减缓措施、适应行动及资金需求信息。
全球气候适应目标（Global Goal on Adaptation, GGA）	国际社会为应对气候变化的不利影响而确立的一系列目标。其目的是增强全球各个国家和地区适应气候变化的能力。这包括应对诸如海平面上升、极端天气事件（暴雨、干旱、飓风等）、生态系统退化等众多气候变化带来的挑战。
基于自然的解决方案（Nature-based Solutions, NbS）	通过保护、可持续管理和修复自然或人工生态系统，从而有效地、适应性地应对社会挑战并为人类福祉和生物多样性带来益处的行动。

目录

一、引言 1
二、国际与中国气候适应型社会建设进展研究 2
（一）国际气候适应领域政策演进特征与前沿趋势 2
（二）中国气候适应型社会建设的背景与趋势 3
（三）气候适应型社会目标愿景及重点建设领域 4
三、中国气候适应典型案例研究 6
（一）上海案例：海平面上升风险下的气候适应研究 6
（二）深圳案例：极端暴雨下的高密度城市气候适应研究 7
（三）成渝案例：高温影响下的能源与水系统气候适应研究 9
（四）北方干旱地区案例：气候“暖湿化”影响下的气候适应研究 10
（五）小结 11
四、内陆及三角洲地区航运气候适应：以莱茵河和长江为例 13
（一）莱茵河：气候风险与适应措施 13
（二）长江：气候风险与适应措施 13
（三）莱茵河与长江的比较 14
（四）启示 14
五、关于第八届国合会气候适应研究的工作建议 16
（一） 研究主题建议 16
（二） 研究时间安排建议 17
六、政策建议 18
（一）将气候适应型社会建设提升为落实“总体国家安全观”、推进现代化与参与全球气候治理的战略行动，完善适应气候变化工作与政策体系，推动气候适应“主流化” 18
（二）因地制宜开展基础设施和生命线工程更新改造 18
（三）衔接气候适应能力评估，制定差异化、针对性的地方气候适应策略 18
（四）建立完善适应气候变化的统筹协同工作机制 18
（五）坚持气候公平导向，重点提升弱势群体和欠发达地区的气候韧性 19
（六）健全气候适应财政金融支持体系，吸引多元主体参与气候韧性投资 19
（七）提高公众对气候适应认知和参与度，培育全社会适应合力 19
（八）深化气候适应领域的国际交流与南南合作 20
参考文献 21

气候适应型社会建设政策研究

一、引言

近年来全球气候变化影响日益明显，气候风险进一步加剧。2025 年全球平均近地表气温较工业化前基准水平提高 1.43℃[1]。2026 年至今，在气候变暖和超强厄尔尼诺事件共同影响下，全球极端天气事件频发，对各国经济社会的稳定发展和居民生命健康安全带来巨大威胁。南亚、欧洲、北美先后经历破历史纪录高温侵袭，其中欧洲 23 个国家因极端高温导致的“超额死亡”人数超过 3.5 万人[2]。非洲、中国多地面临极端暴雨和严重洪水灾害，2026 年 7 月中国广西横州因洪灾导致 107 人遇难、7 人失联。巴西则由于干旱导致亚马逊雨林火灾数量突破历史记录。

在此背景下，**气候适应紧迫性更加突出，加快实施气候适应行动已成为全球共识**。2025 年，在巴西贝伦召开的联合国气候变化框架公约缔约方大会第三十届会议（COP30），将“气候适应”列为核心议题之一，通过了“贝伦适应指标”和气候适应资金支持目标。截至 2026 年 3 月，全球已有 75 个发展中国家和 12 个发达国家提交了国家适应计划（National Adaptation Plan, NAP）[3]。中国政府在 2022 年发布《国家适应气候变化战略 2035》。

2025 年 9 月，中国国家主席习近平在联合国气候变化峰会上，将 2035 年气候适应型社会基本建成作为中国新一轮国家自主贡献（Nationally Determined Contribution, NDC）的重要目标。由于气候变化带来的风险对社会、经济发展和生态系统带来全方面影响，建设气候适应型社会需要系统性、综合性方法，在全社会、多领域协同行动，加快推进气候适应在社会治理中的“主流化”并在长时间内持续行动。

本期前期研究项目针对气候适应型社会建设开展研究。考虑到气候风险对不同地区、不同系统的影响存在显著差异，研究分别从典型地区、重点领域两个角度开展案例研究，从而支撑提出系统性的政策建议。**具体研究目标包括：**（1）梳理总结气候适应型社会的目标愿景与建设重点；（2）通过实证案例研究，分析不同类型地区、不同领域（以内河与三角洲地区航运为例）在气候适应领域面临的差异化挑战和提升气候韧性的措施路径；（3）形成气候适应型社会建设政策建议，并对第八届国合会提出气候适应领域的研究建议。

报告各章的简要内容如下：

第二章梳理国内外气候适应政策演变趋势，总结提出气候适应型社会目标愿景及重点建设领域。第三章对中国 4 个典型区域开展案例研究，分析气候适应型社会建设面临的风险挑战、适应能力短板和策略启示。第四章以莱茵河与长江为案例，对内陆及三角洲地区航运面临的气候风险和气候适应措施开展研究。第五章提出对国合会未来持续开展气候适应研究的工作建议，建议聚焦气候适应的协同治理、适应能力评估、综合效益核算、基础设施的适应性改造、健康影响、气候公平正义等议题。第六章提出气候适应型社会建设的政策建议，包括将气候适应型社会建设提升为落实“总体国家安全观”、推进现代化与参与全球气候治理的战略行动，完善适应气候变化工作与政策体系，推动气候适应“主流化”；因地制宜开展基础设施和生命线工程更新改造；衔接气候适应能力评估，制定差异化、针对性的地方气候适应策略等 8 条建议。

二、国际与中国气候适应型社会建设进展研究

（一）国际气候适应领域政策演进特征与前沿趋势

在全球气候治理中，气候适应已经从边缘议题转变为与气候减缓同等重要的关键议题，推进机制也不断完善。2010 年《坎昆适应框架》是适应议题制度化的重要转折，明确提出“适应必须与缓解同样优先处理”，并将适应视为所有缔约方面临的共同挑战，强调国家驱动、性别敏感、参与型和透明化的治理方式，关注脆弱群体、社区和生态系统，推动适应从单一灾害应对逐步纳入经济政策、城市规划、农业政策、水资源管理和社会治理等更广泛的发展政策体系[4]。2015 年《巴黎协定》进一步确立全球气候适应目标（GGA），提出提高适应能力、增强韧性、减少脆弱性，并通过国家适应规划、适应信息通报、透明度框架和全球盘点，初步形成“目标—规划—通报—盘点”的周期性治理机制[5]。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告提出“气候韧性发展”概念，强调适应、减缓与可持续发展协同推进，并指出适应存在一定极限，凸显了在全球升温风险加剧背景下加快适应行动的紧迫性[6]。

全球气候适应目标正在由原则性倡议逐步走向指标化、可监测和可评估的治理工具。围绕全球气候适应目标，各方长期在适应责任、资金支持、技术转让、能力建设、国家自主性和全球可评估性等方面存在分歧。2023 年，COP28 通过“阿联酋全球气候韧性框架”，提出水资源、粮食和农业、健康、生态系统、生计、基础设施和文化遗产等关键领域，以及风险评估、规划、实施、监测评估与学习等关键环节，推动全球气候适应目标（GGA）由方向性目标转向更加具体的框架体系。2025 年 COP30 正式推出全球气候适应目标（GGA）指标体系，即包括 59 项指标的“贝伦适应指标”，用以系统评估各国在应对极端气候、提升社会韧性方面的进展。与此同时，世界银行、C40 城市气候领导联盟（C40 Cities Climate Leadership Group）等多边开发机构和国际城市网络，也通过气候融资、国家气候与发展报告、城市韧性项目、基于自然的解决方案和城市适应工具包等方式，推动气候适应嵌入国家发展战略、城市规划和基础设施投资决策[7-11]。

围绕全球气候适应目标，各国普遍提出具有综合性特征的气候适应愿景目标。例如，欧盟 2021 年发布的《塑造气候韧性的欧洲——欧盟气候变化适应新战略》明确提出到 2050 年欧盟将成为“气候韧性社会”，能够全面适应气候变化不可避免的影响；美国 2023 年提出建设“气候韧性国家”[12]，将气候风险纳入规划管理、基础设施、公共健康、社区安全和联邦机构运行等诸多领域；巴西 2025 年发布新的《气候适应计划：国家适应战略》，以抵御气候风险为基础，强调在气候适应政策中突出气候正义、社会脆弱性治理和生态系统保护的结合；坦桑尼亚 2023 年提出“气候韧性与繁荣未来”愿景，孟加拉国在《国家适应计划（2023—2050）》中提出建设“气候韧性国家”的长期愿景。各国的气候适应目标不仅着眼于增强气候韧性和降低灾害风险，也将粮食安全、供水保障、健康与公共卫生、生态系统保护、社区参与和脆弱群体权益保障作为关注重点。

总体来看，国际气候适应政策呈现出六方面前沿趋势。**一是适应主流化和立法保障趋势更加明显**。气候适应正被嵌入国家发展、空间规划、基础设施、农业、水资源、公共健康和灾害风险管理等政策体系，并通过气候相关法律和制度安排获得更稳定支撑。伦敦政治经济学院的 *Climate Change Laws of the World* 数据库显示，截至 2025 年 10 月，全球已记录 1500 多部气候法律，其中包括覆盖 69 个国家的 75 部气候框架法[13]。**二是适应政策体系逐步完善，更加重视政策协同以避免不良适应**。各国正在国家适应计划和适应战略框架基础上，逐步完善包括法律法规、部门行动计划、技术指南等多方面的气候适应政策体系，推动建立“风险识别—规划制定—措施实施—监测评估—反馈调整”的工作流程，并加强跨部门协调，避免短期措施造成新的风险。例如，在莱茵河等国际河流流域治理中气候适应政策和行动的协同机制正在加强。**三是气候公平成为重要导向。**适应政策更加关注低收入群体、老年人、妇女、儿童、原住民、传统社区和欠发达地区等高脆弱群体，在风险识别、资源投入、公共服务、基础设施建设和灾后恢复等环节更加重视适应资源配置和适应收益分配的公平性。**四是适应重点领域持续拓展。**农业与粮食安全、水资源、公共健康、城市基础设施、能源交通、海岸带、生态系统、灾害风险管理和金融保险等领域成为政策重点，体现出从单一

灾害应对向基本生存保障、关键系统安全和经济社会稳定运行的拓展。**五是面向长期气候风险的变革能力逐步受到重视。**适应政策不再局限于工程防护和事后恢复，而是通过创造有利的政策、制度和资源条件，推动空间布局、产业结构、基础设施体系和治理方式向更加安全、韧性和可持续的状态转变。**六是公众意识和社会参与程度持续提升。**风险信息公开、预警体系建设、公众教育和社区参与正在成为气候适应政策落地的重要基础。**总体而言，国际气候适应政策正在由项目化、部门化和被动适应近期防灾需求的行动，逐步转变为更加系统化、制度化和注重中长期规划和适应能力变革的治理体系，但不同国家和地区的进展程度存在差异。**

（二）中国气候适应型社会建设的背景与趋势

1. 中国适应气候变化政策演进

中国于 2007 年印发《中国应对气候变化国家方案》，**是最早制定实施《应对气候变化国家方案》的发展中国家**。以此为起点，中国适应气候变化领域政策演进整体可划分为三个发展阶段。**第一阶段（2007—2012 年）为起步阶段**。该阶段以生态保护、防灾减灾基础工程为核心，仅覆盖农业、森林、水资源等少数基础领域，目标局限于防灾能力提升，侧重降低灾害损失、保障基础安全。**第二阶段（2013—2021 年）为深化阶段**。该阶段将气候适应融入经济社会发展全过程，覆盖自然、经济社会两大系统，拓展至基础设施、公共健康、文旅产业等气候变化敏感领域；同步搭建气候适应技术、标准体系，重点降低脆弱区域和人群的气候风险。**第三阶段（2022 年至今）为系统适应阶段**，确立系统协同适应思路。该阶段在 39 个城市（区）开展深化气候适应型城市建设试点工作。2025 年 9 月，国家主席习近平提出建设气候适应型社会目标。2026 年 8 月，《中华人民共和国生态环境法典》正式施行，其中专门设置“适应气候变化”篇章，明确适应气候变化的基本政策制度和不同政府部门的分工责任。

2. 气候适应地方实践探索

（1）深圳：全国首个市级中长期气候适应规划城市

2024 年深圳市印发实施国内首部市级气候变化适应中长期专项规划——《深圳市适应气候变化规划（2023—2035 年）》，创新构建“1+4+17”气候适应工作体系，系统化、规范化推进全市气候适应工作，并将气候韧性建设纳入法治化、规范化发展轨道，启动开展气候韧性社区试点建设。

（2）上海崇明区：河口海岛型生态适应示范

2025 年上海崇明区印发气候适应专项试点实施方案，创新构建 7 项本土化特色评价指标体系。方案始终坚守生态优先发展导向，推动气候适应工作与世界级生态岛建设深度统筹、一体推进，聚焦“风、暴、潮、洪”复合型灾害实施精准防控，分类设置监测预警、水安全保障、生态服务供给、农业气候适应四大维度量化考核指标，为河口海岛型地区气候韧性建设提供适应行动示范。

（3）成都：公园城市特色气候适应路径

2025 年成都市正式印发气候适应试点实施方案，聚焦城市气候风险防控与综合韧性提升，部署实施国土空间优化、涉水安全保障、能源承压抗险、基础设施提质、敏感产业韧性提升、生态系统稳固修复、公共卫生气候适应、气候风险精准管控、应急管理体系升级、治理能力全面提升十大专项行动，全方位提升城市气候风险抵御、适应和恢复能力，助力公园城市高质量可持续发展。

（4）银川：西北干旱半干旱地区节水型适应样板

银川市针对区域水资源短缺、气候暖湿化特征，确立“节水优先+全域雨洪管理”核心路径。一是提出分层打造节水企业、园区、公共机构、居民小区；二是全域布局海绵城市设施，建设分散雨水回用设施、大型调蓄池，扩大城市透水、存水空间，将海绵设施融入城市建设；三是设置五大领域 17 项考核指标，落地 22 项专项实施项目。

（5）香港：高密度滨海城市长期气候适应行动

2021 年香港特区政府印发《香港气候行动蓝图 2050》，该蓝图将气候行动整体划分为适应、应变两大板块，细化形成八项重点行动。适应层面聚焦海岸防护、暴雨台风处置、水

资源保障、高温防暑降温、基础设施韧性提升等重点任务；应变层面着力完善灾害应急预案、搭建全域一体化监测预警体系、增强交通系统防灾抗灾性能。

（三）气候适应型社会目标愿景及重点建设领域

1. 目标愿景、建设原则与评估框架

（1）目标愿景

建设气候适应型社会是中国实施积极应对气候变化国家战略、履行全球气候治理国际责任的重点举措和重要目标。我们建议，到 2035 年基本建成气候适应型社会的愿景应当是：通过提升气候适应战略地位，完善适应气候变化工作体系、加强应对气候变化科技创新与应用，**基本建成有效防控、系统韧性、协同治理，支持绿色低碳发展，促进成果公平共享的气候适应型社会**，成为全球气候适应治理的重要引领者，为各国气候适应行动提供可参考的“中国方案”。

（2）建设原则

预防为先、主动适应原则。统筹构建天地空一体化立体气候监测网络，依托智能化、精细化预警体系，精准研判各类风险隐患，全面提升主动预防、前瞻抵御能力。

系统治理、重点防控原则。聚焦气候敏感脆弱领域和关键区域，统筹整合防灾减灾资源要素，重点开展适应气候变化行动，提升重点领域和重大战略区域适应气候变化水平。

法治引领、规范保障原则。完善气候适应领域法律法规、技术体系与行业标准，构建系统完备、科学规范、运行高效的现代气候治理制度体系。

多方协同、全社会共治原则。建立健全政府统筹、社会协同、公众参与的现代化气候治理格局，常态化普及气候安全与适应发展理念，引导全社会主动参与气候治理。

公平正义、包容共享原则。坚持气候公平正义，加强对弱势人群和欠发达地区的气候适应能力提升，确保气候适应成果全民共享、区域均衡。

（3）评估框架

为推动气候适应型社会的深入建设和提高气候韧性能力，应加强对适应能力的评估。可围绕气候适应的 5 种关键能力建立评估框架，包括**预防能力、抵御能力、恢复能力、变革能力和长期适应能力**[14]。报告第 3 章、第 4 章采用该框架开展不同地区、重点领域的气候适应案例分析。

其中，**预防能力是**指通过防灾设施建设等手段提高致灾阈值和降低灾害风险的能力。**抵御能力**指极端天气导致的灾害发生后，减少灾害损失的能力。**恢复能力**指受灾后恢复到与灾前一致或更好状态（重建得更好）的能力。**变革能力**指当前的社会、经济和治理系统在面对预期的灾害风险（如气候变化影响）时，通过创造有利的政策及其他环境条件，转变为具有不同系统特征的新系统，进而实现主动改变和适应变化转型的能力。**长期适应能力**指应对未来气候变化不确定性，以及人口、经济、技术等方面发展不确定性的能力。

加强气候适应的 5 种能力需要创造相应的有利条件，包括：社会公众和决策者对气候适应的紧迫感；跨地区、跨领域和全流域的系统性治理框架；法律、政策和标准规范支持；气候适应能力培训和建设；可信的数据和信息；充足的资金支持；公众参与；针对气候适应的技术创新；政府和社会多方主体合作；公平分担风险和收益机制，对弱势群体的适应能力保障。

2. 重点建设领域

（1） **气候变化监测预警与风险管理**。气候变化观测、风险评估、预警响应和综合防灾减灾救灾共同构成的全过程风险管理链条，是构建气候韧性能力的基石。

（2） **基础设施和生命线工程韧性**。加强交通、能源、水利、通信、市政等关键基础设施和生命线工程的气候适应能力，是保障城市和区域在极端天气和长期气候变化影响下安全稳定运行的重要支撑。

（3） **产业链供应链**。气候变化对重点产业、关键原材料保障、供应链和物流网络带来显著影响，需要保障产业链、供应链在极端天气冲击下的稳定性和连续性。

（4） **自然资源与农业供应保障**。包括提升水资源等自然资源管理、农业生产和粮食安全的气候适应能力。

（5） **社区韧性与气候公平**。保障基层社区居民特别是弱势人群的气候风险应对能力，是体现气候适应型社会建设公平性的重要方面。

（6） **自然生态系统保护。**通过加强生态保护、修复和可持续管理，提升森林、草原、湿地、荒漠、河湖、海岸带等各类生态系统的适应气候变化能力和防灾能力。

（7） **气候投融资支持。**为气候适应项目提供稳定、多元、可持续的资金支持，是建设气候适应型社会的必要保障。

（8） **科学研究与知识共享。**持续开展气候变化情景预测、影响和风险评估、适应技术的研发和知识传播，是支撑科学适应、系统适应和公众参与的重要基础。

三、中国气候适应典型案例研究

（一）上海案例：海平面上升风险下的气候适应研究

1. 海平面上升与地面沉降叠加，极端复合灾害威胁凸显

受全球气候变化影响，1980—2022 年东海海平面年均上升 3.4 毫米，2022 年长江口海域海平面达历史新高，未来 30 年还将持续上升 8—19 厘米。上海虽通过严控地下水开采减缓地面大规模沉降，但 2022 年局部区域年均沉降仍有 5.6 毫米，海平面抬升与地面沉降双向叠加，使得本地相对海平面年均抬升 8—8.5 毫米，远超全球平均水平，预估 2050 年区域相对海平面相较 2010 年抬升 32—34 厘米，滨海低洼地带漫堤、海水倒灌风险大幅加剧。

上海全域平均高程仅 3—4 米，土质为软土地基，易产生不均匀沉降，连带江海堤防、闸站等水利设施同步下沉，堤顶高程被压低、防洪设防标准大打折扣，原本百年一遇标准的堤防实际仅具备五十年一遇的防护能力，水利工程安全余量不断缩减；再加上海位于江海交汇处，易出现洪水、风暴潮、天文大潮、短时暴雨“四碰头”的复合型极端灾害，近年来极端天气频次走高，2021 年“烟花”台风创下米市渡 4.79 米的历史最高潮位，近 30 年危险高水位记录共计 23 次，城市沿海防汛安全防御体系长期面临巨大压力。

2. 海洋和陆地气候风险叠加，滨海地区安全挑战凸显

在防洪防潮与城市排涝方面，海平面抬升与地基沉降导致江海防护工程设防标准持续折损，全市主海塘达标率仅 82%，中心城区部分千年一遇标准防汛墙实际仅具备百年一遇防护能力，近 90 公里沿江堤段安全余量不足。城市排涝体系建设滞后，多数片区仅满足 20 年一遇排涝标准，中心城区仅 19.43%排水管网达到常规设防标准，老旧管网承载力不足，叠加海绵城市建设覆盖率偏低，极端降雨极易引发城市内涝。

在供水安全方面，长江水源承担上海 74%供水任务，海平面上升导致咸潮入侵频次、强度、持续时长逐年增加，城市饮用水水源稳定供给压力持续加大。2022 年长江汛期反枯叠加天文大潮，引发重度咸潮灾害，核心水源地连续 27 天无法正常取水，影响北部片区 200 余万居民生产生活。同时，市域水源地互联互通与应急调度体系不完善，战略备用水源缺失，供水系统抵御极端气候风险能力偏弱。

在滨海生态防护方面，长江上游输沙量锐减，当前泥沙补给仅为 20 世纪 60 年代的 20%，叠加海平面抬升，长江口潮滩大幅萎缩。1974—2014 年区域 41.8%潮滩面积消失，崇明东滩淤涨速率大幅下降，南汇边滩由淤转蚀，最大蚀退速率显著偏高。滩涂湿地作为天然消浪、蓄洪、促淤屏障的持续退化，大幅削弱了滨海生态防灾功能，沿海区域淹没风险显著提升。

在生物多样性保护方面，多重胁迫下崇明东滩本土盐沼植被大幅缩减，20 年间海三棱藨草面积缩减超 70%，潮间带环境异变导致底栖生物量下降 40%—60%[15]，候鸟饵料短缺、繁殖成功率大幅降低，迁徙节律受到干扰。同时本土植被退化引发互花米草入侵蔓延，湿地群落单一化、生态链残缺化，生态系统自我适配、自我修复能力持续弱化。

3. 五项适应能力全面承压，滨海防灾体系亟待提质

一是预防能力不足。现有堤防、管网等工程采用静态建设标准，未匹配海平面抬升、地面沉降的长期变化趋势，大型防潮、调蓄工程布局滞后，缺乏复合灾害前置预判和源头防控体系，风险处置多依赖事后应急。

二是抵御能力偏弱。城市水利、管网设施老化沉降、性能衰减，设防阈值偏低，仅适配常规防汛工况，面对台风、暴雨、高潮位多重叠加的极端工况，综合承载能力不足，基础设施极端灾害抵御能力不足。

三是恢复能力有限。水源地应急互通、跨区调度体系不完善，战略储备水源短缺，面对咸潮、枯水等极端水文事件，供水系统抗扰动能力弱，城市供水快速修复保障机制不健全。

四是变革能力不足。现有湿地修复模式单一固化，以简单补种植被为主，未结合水文、泥沙动态变化开展系统生境再造。生态修复与水利工程联动不足，防灾体系无法随气候环境演变动态优化升级。

五是主动适应能力欠缺。滨海开发持续挤占滩涂、河漫滩等天然缓冲空间，未预留海平面抬升生态缓冲余地。沿海高风险区域缺乏分级管控机制，耐淹建设标准落地不严，城市空间气候适配韧性不足。

4. 围绕五大核心能力，迭代升级滨海气候适应体系

一是动态更新工程设防标准，筑牢前置预防屏障。转变静态建设思路，建立适配海平面抬升、地面沉降的动态设防体系，推进重点区域超级堤防及河口挡潮闸、地下调蓄设施建设，构建系统化防潮排涝防控格局。

二是提质升级设施韧性，增强极端抵御能力。实施老旧堤防、闸站、管网设施更新改造，补齐工程短板，针对多灾叠加工况优化设防阈值，打通片区调度壁垒，实现全域水利设施一体化协同防御。

三是统筹水源联动调度，提升应急恢复能力。完善水源地互联互通与应急互济通道，布局应急取水设施与战略储备水库，强化咸潮智能预警，健全跨流域调度机制，夯实极端条件下城市供水安全保障基础。

四是优化陆海空间管控，增强气候适配韧性。约束滨海低洼地带无序开发，保护滩涂、河漫滩天然缓冲空间，落实沿海风险分区管控，推行耐淹建设标准，塑造陆海协同的韧性国土空间。

五是革新生态修复模式，推动体系迭代升级。摒弃单一植被修复方式，开展滩涂地形、潮沟系统与生境再造，强化本土盐沼植被培育与入侵物种治理，打通生态修复与水利工程联动路径，提升综合气候适应水平。

（二）深圳案例：极端暴雨下的高密度城市气候适应研究

1. 极端降雨呈不断增强趋势，高密度建成区洪涝风险持续上升

受全球气候变化影响，珠江三角洲极端降雨呈不断增强趋势，出现短时强度大、局地突发、时空集中等特征。香港天文台观测记录显示，暴雨极值不断突破历史上限。2023 年 9 月 7 日台风“海葵”引发的极端降雨，香港、深圳小时暴雨量均创两地有气象记录以来的历史最高值，这一现象说明在气候变化背景下，过去被视为“小概率”的极端暴雨，正演变为常态。

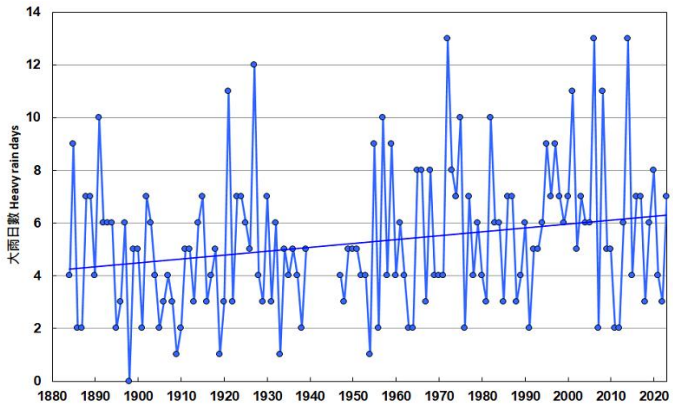


图 3.1 香港天文台总部 1884—2023 每年大雨日数分析图（数据来源：香港天文台网站）

2. 极端暴雨引发连锁安全风险，城市关键系统承压突出

城市洪涝灾害有连锁放大效应，灾害引发生命线设施损坏并引发事故逐级传递。深圳洪涝风险评估显示：**城市地下空间洪涝风险突出**；超过 50 座地铁站点位于中、高风险区；多处城市生命线工程设施位于高风险区；超过 10 家综合医院分布在中、高风险片区。

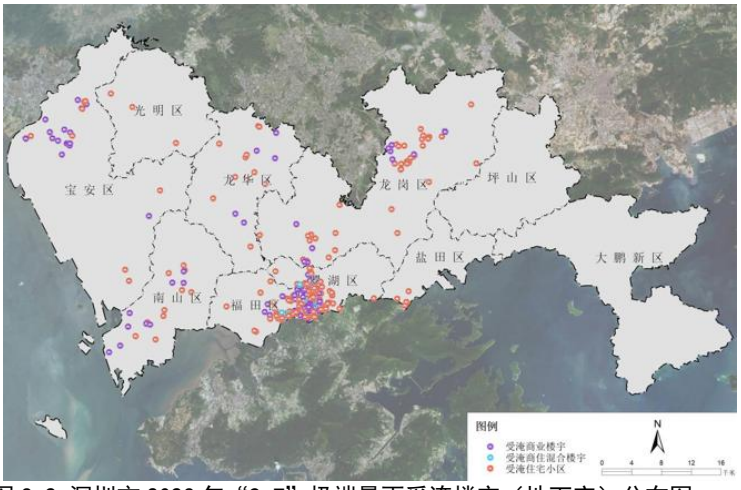


图 3.2 深圳市 2023 年“9.7”极端暴雨受淹楼宇（地下室）分布图

3. 已采取的气候适应措施和适应能力短板

预防能力方面，深圳发布国内首个市级适应气候变化中长期规划，将洪涝风险控制线纳入国土空间规划“一张图”，气象预警已精细到街道。短板在于暖区暴雨等极端过程可预报性仍然较低，项目选址、规划许可的前置约束仍需强化。

抵御能力方面，已基本形成由水库、河道、海堤、滞洪区、排涝泵站组成的防洪排涝工程体系，整体防洪（潮）能力达到200年一遇、内涝防治能力提升至50年一遇；但部分早期建成区排水标准偏低，地铁、医院、地下配电站等重点设施在极端降雨下的冗余能力仍显不足。

恢复能力方面，深圳依托1.9万名基层网格员开展风险排查、群众转移和险情处置；建设多层次应急避难场所，并通过巨灾保险、综合减灾社区增强基础保障。但医疗、供排水、供电、通信等关键节点的互备和连续运行能力，以及中小企业、脆弱群体灾后救助机制仍需完善。

变革能力方面，深圳将气候适应理念纳入国土空间、应急管理、公共卫生等政策体系，入选国家深化气候适应型城市建设试点，依托城市洪涝风险预警平台，推动由传统工程防御向风险治理转型。短板是跨部门数据标准、流域上下游及跨地区协同机制仍需加强。

适应能力方面，深圳动态更新各街道积水阈值、洪涝风险图和内涝点台账；启动气候韧性社区试点，通过风险画像、海绵绿廊、透水铺装、居民培训和应急演练提升基层适应水平。短板在于社区适应仍以试点和项目制为主，城中村、老旧小区及地下空间使用者的常态化风险教育、设施维护和自救互救能力不均衡。

4. 气候适应策略启示

一是强化国土空间韧性管控。将洪涝韧性要求纳入各级国土空间规划，依托全域“内涝风险一张图”实施分区管控，将风险等级作为城市开发、地下空间建设、存量更新的前置约束。

二是提升城市生命线基础设施韧性。探索高密度城市地下空间防淹预防提升路径。结合城市更新，持续增加各类市政设施建设冗余。针对中高风险区生命线设施开展防淹改造，配齐应急电源。建立差异化地下空间防洪标准，核心地下空间单独编制防涝专项方案。

三是搭建智慧预警决策平台。构建全域水力数字模型，运用物联网、大数据搭建AI智慧管控平台，实现积水实时预判、工程模拟，支撑预报、预警、预演、预案“四预”工作。以“内涝风险一张图”实现跨部门数据共享，围绕运维、应急、管控开展常态化评估。

四是推进协同治理机制创新。打通气象、水务、应急、住建、交通、自然资源等部门数据壁垒，共建全域洪涝风险共享平台，形成规建运管闭环机制。创新流域协同治理机制，推进跨行政区流域协同，统一上下游河道整治标准，推进跨界河流治理。

五是促进社会多元共治。构建政府、企业、社区、研究机构、公众多方协同防灾体系。常态化开展暴雨灾害科普，组织市民参与应急实训演练。压实社区网格化防汛责任，发动社区居民共同参与隐患排查、积水处置，形成全社会共同参与的气候适应治理格局。

（三）成渝案例：高温影响下的能源与水系统气候适应研究

1. 成渝地区高温干旱风险趋势与时空特征

近 60 年来，成渝地区平均气温以约 0.18℃/10a 的速率持续上升，年降水量以 25mm/10a 的速率减少，**高温与干旱事件呈现同步增强的趋势**[16]。2022 年、2024 年高温干旱连续突破历史极值，表明气候风险已从线性推演转向非线性跃升，未来极端事件将更加频发[17]。成渝灾害风险空间自西向东阶梯式增强，形成川东、渝西、渝东北三大高发区[18]，覆盖区域人口与经济的密集分布区。

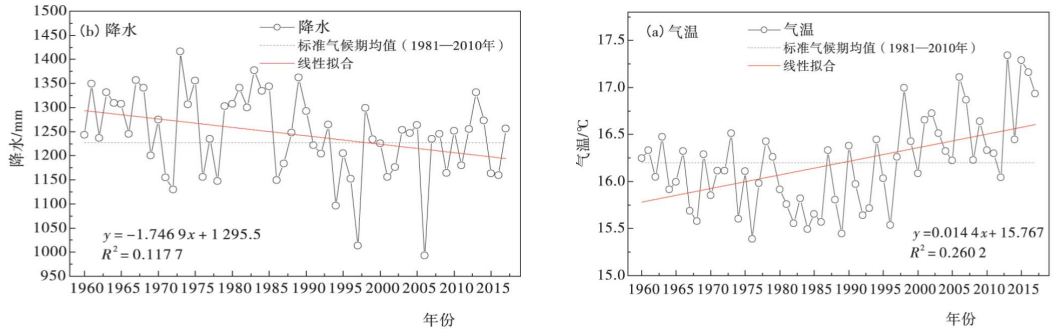


图 3.3 近 50 年成渝地区降水及气温变化趋势统计图[19]

2. 高温干旱引发的“水—能”链式灾害及机理分析

高温干旱通过水资源这一纽带，形成了“水—能”深度关联的灾害链，其机理可概括为相互关联的三股冲击力。**一是供给骤减。**干旱导致江河断流、库塘干涸，四川水电占比近八成的能源供给瘫痪。2022 年夏季水电出力骤降超过 50%[20]，供电缺口急剧放大，而缺电又反向作用城乡供水系统，加压泵站和二次供水设施因停电停摆，酿成次生断水。**二是需求暴涨。**极端高温将空调制冷从间歇使用变为全天刚需，2022 年四川降温负荷最高占全网 26%，叠加灌溉和生活用水激增，水—能系统被骤然推至临界，被迫进入限电停水的强制熔断。**三是资源争夺。**来水总量锐减后，生活、发电、农业、生态用水陷入零和博弈。尽管“生活优先、电调服从水调”原则早有，但在分散的部门管理下，“会商”难以调和利益冲突，农业灌溉和生态补水往往最先被牺牲。2022 年成渝 796 万人受灾，96 万人因旱饮水困难，农作物绝收，三峡库湾水华重现[21]，正是这一链式灾害的结果。

灾害按照“来水少→发电少→供电紧→供水减→灌溉缺→生态损”的链条逐级传导[22]，将单一气象干旱放大为能源—粮食—生态复合危机。这也揭示出，传统不同部门“各管一段”的治理模式在复合风险面前已难以为继，亟需向全链条韧性治理转型。

3. 已采取的气候适应措施和适应能力短板

预防能力方面，重庆 2024 年基于降雨预报动态调控草街、彭水电站水位，突破固定汛限水位思维预蓄水源，积累了风险前置管控的宝贵经验；但短期径流预报的不确定性仍制约动态调控的有效性，预报精度亟待提升，气候灾害风险地图空白亟待补齐。

抵御能力方面，上游电站联合调度曾将 2020 年寸滩站百年一遇洪水削减为二十年一遇，川渝特高压工程、“源网荷储”韧性电网与分时限压策略有效保障了电力安全供应；但四川水电占比仍高达 75%，供水加压泵站依赖电力驱动、农村依赖“多、小、散”水源，多水源保障体系尚未健全，极端干旱下承灾系统依然脆弱。

恢复能力方面，农业保险、晚秋补种、社区募捐购置抗旱设备等多元手段形成有效组合；但面向关键行业和中小微企业的专项恢复资金与政策性保险依然缺位，制度化风险共担机制尚未建立，社区韧性依赖特定时点的社会凝聚力，公众参与机制尚不稳定。

变革能力方面，适应气候变化行动方案已印发并纳入城市发展框架，但防洪、供水、发电等关键目标仍缺乏有约束力的统筹协调机制，流域调度体系以防洪为核心，高温干旱下的多目标冲突缺少裁决程序，气候适应绩效评估与问责机制缺失，对独居老人、留守儿童等脆弱群体的制度性关怀不足，从根本上制约适应能力的全面提升。

适应能力方面，成都电力保供十条与虚拟电厂、超定额累进加价与错峰用水激励措施，重庆人防工程纳凉，四川农村滴灌与耐旱品种推广，共同形成较为丰富的需求侧管理工具；

但农村末端供水供电缺乏匹配的财政支撑，传统灌溉系统年久失修、适应功能持续衰减等问题依然存在。

4. 气候适应策略启示

一是以精准预测和信息共享支撑前瞻性决策。提升极端高温、干旱的时空精准预测能力，绘制覆盖高温、干旱、洪涝的多灾种气候风险地图，同步打通水文—气象数据壁垒，为极端天气下的精准调度和提前部署提供数据支撑。

二是基础设施提标冗余以增强抗冲击能力。修订供电、供水等生命线工程在复合灾害情景下的设防标准，推动分布式布局与多源互济，重点改造农村“多、小、散”供水末端。

三是以保险机制和社会共担缩短灾后恢复周期。扩大巨灾保险覆盖面，探索将干旱风险纳入政策性农业保险强制条款，建立分级分类旱涝补贴机制，重点覆盖农业灌溉损失和农村供水设施修复。明确政府、企业、社会的灾后资金分摊规则，以制度化共担替代临时性动员。

四是通过“四个变”打破部门壁垒、重塑治理规则。变制度，把重庆动态汛限水位经验上升为国家制度供给，修订水库调度规程，确立“以预报为前提、以安全为底线”的动态水位调控规则；变规则，制定高温干旱下水—能多目标调度的裁决规则与操作程序，让“生活优先”从弹性口号回到法定程序；变机制，以重点流域为单元设立实体化联合调度专班，将气候适应绩效纳入区县考核并设置脆弱地区专项权重；转变认知，将气候风险区划纳入国土空间详细规划和项目许可条件，让气候适应成为基层治理的日常。

五是以需求侧精细管理和本土生态智慧培育长效适应机制。发展虚拟电厂，推广“补贴自发电、奖励压减用电、鼓励车网互动”的激励模式。面向农业与农村，推广滴灌节水、耐旱品种等适应技术，尊重并发掘山地丘陵“丘塘林居”农耕—人居系统的生态智慧，通过以奖代补、村民共建共管方式系统修复山坪塘、囤水田和“堰塘—冲田”系统，构建低成本、本土化的气候适应型基础设施体系。

（四）北方干旱地区案例：气候“暖湿化”影响下的气候适应研究

1. 气候暖湿化趋势显著，城市基础设施复合风险持续加剧

西北地区升温速率显著，年均气温每 10 年升高约 0.32℃，约为全球均值的 1.8 倍；年降水量每 10 年增加 4.2 毫米，**极端强降水明显增多。**但干旱气候格局未根本改变，潜在蒸散量仍为降水量的 5 倍以上，降水增量远不足以弥补蒸散亏缺。与此同时，华北地区因南水北调补水、地下水压采及暖湿化共同作用，地下水位历史性回升，部分区域地面沉降得到遏制。**华北地区地下水位持续回升对城市地下设施和既有建筑基础构成新的挑战。**如北京市平原地区地下水平均埋深从 2015 年的 25.87 米回升至 2025 年的 11 米，累计回升约 14.87 米。

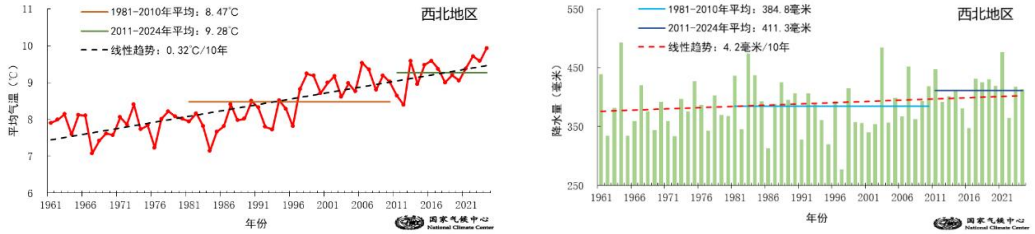


图 3.4 1961—2024 年中国西北地区气温与降水量变化图（左图：气温；右图：降水量）

2. 极端暴雨和旱涝急转等气候变化趋势暴露基础设施短板，城市安全风险加剧

极端暴雨增多，内涝与次生灾害风险突出。西北地区排水防涝设施历史欠账较多，2013 年至 2023 年建成区单位面积排水设施累计投资为 867 万元/平方公里，显著低于全国平均水平（1412 万元/平方公里）。近年来极端暴雨增多，各地内涝事件频发。极端暴雨易诱发山洪、滑坡、崩塌、泥石流等次生地质灾害，青海东部、甘肃中部黄土滑坡与泥石流，新疆南部山洪与冰湖溃决等风险突出。

旱涝急转与高温热浪并发，供水安全保障承压。暖湿化并未根本改变干旱气候格局，旱涝急转现象日趋频繁，先旱后涝对防洪排涝和供水保障构成双重压力。高温热浪频发进一步加剧水资源供需矛盾，多地水厂满负荷运行、水库蓄水锐减，群众用水紧张。高温与干旱时空高度关联，对水资源本底匮乏的西北地区构成严峻复合挑战。

合流制溢流污染严重，水生态安全面临长期威胁。西北地区合流制排水系统占比远高于全国均值，截流倍数普遍偏低，小雨强度即可诱发溢流污染，加之旱季管网淤积严重，雨季“首次冲刷”效应使溢流污水浓度急剧升高。西北地区生态基流不足、水体自净能力弱，溢流污染物易造成水生态退化，对干旱半干旱区域水环境构成严重威胁。

暖湿化引发地下水位上升，城市既有设施面临新风险。华北地区地下水位回升在改善水生态的同时，打破了城市地下空间长期形成的干旱平衡状态，可能引发地基沉降、地下构筑物上浮、老旧管网渗漏加剧等次生灾害，对城市建筑安全和地下设施运行构成新的挑战。

3. 已采取的气候适应措施和适应能力短板

预防能力方面，宁夏、甘肃、青海、陕西等省区已编制实施适应气候变化行动方案，因地制宜推进排水防涝设施建设。但气候风险区划评估仍处于起步阶段，国土空间规划未将气候风险作为前置约束条件，适应工程标准体系尚未建立。

抵御能力方面，降雨增量显著的城市已推进管网泵站能力提升与管渠改造。但气象监测站网密度偏低，局地短时强降雨预警精度不足；管网老旧比例高，旱季沉积物在暴雨初期集中冲刷，易堵塞管网并冲击污水处理设施，雨季污水处理厂超负荷运行成为常态。

恢复能力方面，区域应急排涝基地和应急供水设施正在布局建设中。但尚未形成系统化的排涝与应急并重、防汛抗旱统筹的韧性体系，灾后快速修复和跨区救援协同机制仍有待完善，应急物资储备和调度能力不足。

变革能力方面，适应措施普遍碎片化，缺乏中长期行动与动态评估机制，“评估—反馈—优化”闭环管理尚未建立；合流制管网改造缺乏与城市更新的系统统筹，住建、生态环境、水利三部门联合调度机制不充分，社区自主排查与风险分担机制有待建立。

适应能力方面，积极推进海绵城市等项目建设，增强城市雨水就地消纳能力。但北方城市截流倍数偏低导致溢流污染频发，而本地生态基流不足、水体自净能力弱，溢流污染物易持续累积，造成水生态退化。

4. 气候适应策略启示

建立气候适应动态评估与标准修订机制。建立气候适应措施动态评估制度，每 5—10 年对排水防涝标准、工程设施适应性开展一轮系统评估。根据极端降水频率与强度变化，动态调整暴雨强度公式及相关技术参数，从源头避免工程建设“建成即落后”。

构建跨部门协同的联合调度与智慧管控平台。推动住建、生态环境、水利三部门从“信息通报”转向“联合研判、联合调度”，建立雨情—管网—河道联动的实时调控平台，实现合流制溢流污染的精准防控与协同治理。

提升社区层面适应能力与弱势群体保障水平。依托社区网格化治理体系，建立风险清单和自主排查机制，推动防灾文化从“被动响应”向“主动预防”转变。重点关注老年人、儿童、低收入家庭等弱势群体，在应急物资配置和避灾场所规划中予以优先保障。

（五）小结

1. 气候风险具有显著的区域差异性，需要针对性提升气候适应能力

气候变化导致的气象灾害类型多，对不同地区和城市产生的影响差异大，**因此气候适应战略的制定需要突出针对性和“在地性”**。例如，在沿海地区，主要是强降雨、风暴潮以及多种灾害“碰头”，叠加海平面上升的灾害威胁；西南内陆地区主要是极端降雨造成流域性洪灾和局地洪涝灾害，持续高温干旱造成水资源、能源短缺。北方少雨地区主要是“暖湿化”导致的洪涝灾害，地下水位上升造成房屋基础和地下管网破坏。因此各地需要根据灾害特征和发展特征制定适应本地的气候适应策略，避免“一刀切”的适应方案。

2. 气候适应能力普遍存在短板，需要向主动适应、系统适应方向变革

面对极端天气事件趋多趋强的变化趋势，**案例地区的气候适应能力普遍存在短板**。主要包括：基于历史数据形成的基础设施和工程技术标准体系面对极端天气事件的预防能力不足；气象灾害监测预警对应的预防能力存在短板；基层社区及居民防灾意识薄弱；对气候风险跨领域等复合影响和复杂传导效应考虑不足，协同应对机制不完善制约变革能力。

面对多方面的气候适应能力差距，**建设气候适应型社会需要推动气候适应向主动适应、跨领域协作、多元主体协同方向转变**，避免“碎片化”“部门化”的治理策略。案例地区目前常见的适应措施包括：开展基础设施和生命线工程更新改造、加强生态空间的预留和保护修复、利用人工智能和信息技术提升预警和应急响应能力、建立跨部门协同机制等方面。

四、内陆及三角洲地区航运气候适应：以莱茵河和长江为例

气候变化正通过日益频繁的干旱、洪水、极端天气和海平面上升，对全球内河航运产生越来越大的影响。这些影响威胁着河流和沿海三角洲地区航运的可靠性和连续性。内河航运对经济发展、工业供应链、粮食安全和能源系统至关重要，与公路运输相比，具有绿色低碳、安全性高且成本低的比较优势。然而，如果不采取气候适应措施，预计未来几十年受气候变化影响，内河航运的通航能力将明显下降。

本章重点关注两条具有全球重要意义的河流：欧洲莱茵河和中国长江。两条河流都是所在区域的经济动脉，连接港口、工业区和内陆腹地，但在水系特征、治理结构、航运基础设施和气候适应基础存在显著差异。本章旨在识别内河航运领域面临的气候挑战，评估适应措施和路径，并为提升气候韧性能力提出政策和研究建议。两个流域比较研究的详细内容可参阅本报告对应的背景报告。

（一）莱茵河：气候风险与适应措施

莱茵河是欧洲最重要的内河航道，将鹿特丹、安特卫普和阿姆斯特丹等海港与德国、瑞士和法国的主要工业中心连接起来。莱茵河横跨九个国家，流域内居住着超过 6000 万人，因此需要跨国治理与协调。

气候预测显示，欧洲气温将持续上升，极端天气将更加频繁，冬季降水量趋于增加，夏季则将更加干旱，同时冰川萎缩、积雪减少。随着阿尔卑斯山冰川融水的减少，莱茵河正逐渐从以雪水补给为主的河流转变为以雨水补给为主的河流。**预计未来莱茵河冬季径流量将增加，洪水风险升高；而夏季径流量将大幅下降，导致低水位状况更加频繁且严重。海平面上升将通过增加洪水风险、盐水入侵以及提高挡潮闸关门频率，进一步影响莱茵河三角洲的河流系统。**

低水位被认定为内河航运面临的主要气候威胁。航道水深降低会直接限制船舶的载货能力，特别是在考布、奈梅亨等现有的航运瓶颈段。2018 年和 2022 年的夏季干旱已导致莱茵河货运量大幅减少，并造成数十亿欧元的经济损失。未来的气候预测情景表明，莱茵河航运受限事件可能发生得更加频繁。更长的低水位期可能会扰乱供应链，增加运输成本，降低内河航运竞争力，引发货运向公路运输转移。

莱茵河还体现了多功能河流治理的复杂性。河流的航运功能与防洪、供水、维护生态、农业灌溉和水力发电等功能之间存在竞争关系。有利于某一项功能的措施可能会对另一项功能产生负面影响。例如，开凿支流或拆除河堤等生态修复措施虽能改善生物多样性，却可能降低航道水深。反之，新建堰坝虽能改善航运条件，却会对河流生态和地下水补给造成严重影响。因此，**气候变化和社会经济发展加剧了河流不同功能对水资源和河道空间的竞争**。

莱茵河流域的气候适应策略越来越多地采用系统方法，将基础设施、运营、治理、船舶和数字技术（信息服务）等各方面相结合。具体措施包括河道疏浚、沉积物管理、河道工程建设、改进气象预报、实时监测航道水深、优化物流系统以及提升船队适应能力。**这些措施可以对应归类到气候韧性的五种能力框架：预防能力、抵御能力、恢复能力、变革能力和长期适应能力。**

鉴于未来气候变化趋势及其影响的不确定性，**适应性和灵活性应成为莱茵河内河航运气候适应的核心原则**。随着新知识的不断涌现，气候适应措施可以进行调整、扩展或修改，从而降低长期风险并增强气候韧性。“动态适应性政策路径”是一种方法论，可指导制定灵活的措施体系，这些措施可根据气候影响的变化以及适应临界点的到来进行调整。

（二）长江：气候风险与适应措施

长江是世界最大的内河航道系统，2025 年干线港口货物吞吐量超过 42 亿吨，是支撑中国经济发展的“黄金水道”。长江全长 6300 多公里，沿线拥有庞大的水利基础设施，其中最引人注目的是三峡工程，其对水文、航运和防洪管理产生了重大影响。

据预测，气候变化将导致**长江流域气温**显著**升高、降水量增加以及径流变异性加剧。预计洪水将规模更大、频率更高；**而由于蒸发量增加和降水量分布不均，**干旱灾害风险依然显著。**海平面上升对长江口和长江三角洲地区带来了新的挑战，**海平面水位上升、更强的台风和风暴潮、咸潮入侵加剧了流域航运和港口面临的风险。**

长江与莱茵河的一个关键区别，体现在前者拥有庞大的水库体系，并实行集中化的联合调度管理机制。气候变化主要通过河道水位波动影响通航能力。干旱会降低通航水深，迫使船舶减少载重，导致运输成本提高。洪水则会给通航船舶和港口带来安全风险。此外，旱涝急转事件已成为长江航运面临的重要气候风险。与通常渐进的季节变化不同，旱涝急转事件会导致数周内的长江水位快速波动，需要航运采取相应的适应性策略。海平面上升会加剧极端高水位和航道淤积问题，从而影响河口地区航运。浓雾、强风和热浪等极端天气事件也会导致航运中断。

与莱茵河一样，长江也具有多重功能。航运必须与防洪、发电、供水、农业灌溉和生态保护等功能取得平衡。水库调度决策往往需要在发电与维持足够的通航深度之间进行权衡。同时，中国的生态保护政策日益限制传统的基础设施工程解决方案，并要求采取更符合生态保护要求的措施。

长江气候适应措施的特点是实施大规模基础设施干预、水库调控以及快速实施。相关措施包括河道拓宽、系统性河流整治、提高三峡通航能力、协调水库运行、建设流域智能监测系统和应急响应网络以及实施多式联运。**数字化措施发挥着尤为重要的作用**，具体体现在广泛应用人工智能、数字孪生技术和建设航运公共服务信息平台等方面。与此同时，长江正加快推动船舶的绿色化和运输系统的智能化转型。

（三）莱茵河与长江的比较

莱茵河和长江面临许多共同的挑战。两者都是至关重要的经济走廊，均面临干旱、洪水、海平面上升和极端天气等气候风险。两者都必须在航运与多种相互竞争的河流功能之间取得平衡，并需要通过绿色、智能转型来实现可持续发展目标。

然而，两者之间也存在显著差异。长江在航道长度、船舶运力规模和货运量方面均远超莱茵河。其集中式治理模式和完善的水利基础设施，使得大规模气候适应措施能够快速实施。相比之下，莱茵河依赖国际合作和跨国治理，因此气候适应的重点更侧重于协调机制、适应性规划和建立共识。

横向比较揭示了双方互补的优势。欧洲可以借鉴中国长江流域在政策实施速度、水库调度、船舶绿色转型和航运数字化方面的经验；中国则可以借鉴欧洲莱茵河在长期气候情景预测、适应路径研究、生态修复和流域协同治理方面的经验。**两个案例的研究内容都表明，提升气候韧性能力需要将基础设施、船舶更新改造、物流体系优化、数字化技术应用和综合水资源管理相结合。**

（四）启示

要构建具有气候韧性能力的内河航运体系，需要采取系统性方法，对应的气候适应措施不应仅侧重于航运本身，而必须融入更广泛的水—能源—粮食—生态系统之中。

1. 对莱茵河的主要启示

制定共同的长期适应愿景，以及跨部门的综合适应战略。应基于莱茵河流域未来发展的愿景共识对航运、生态、防洪、供水和发电等方面开展统筹评估，基于对社会和经济影响的明确评估制定适应规划内容，包括考虑航运中断和运输方式转变所导致的成本。

加强灾害期间的航运治理。在保持国际合作的同时，针对严重干旱、洪水和基础设施故障等灾害事故事件，应建立更强有力的临时协调机制，以提高各国的响应效率。

制定气候适应指标和临界目标。提出明确的指标来判断何时需要采取气候适应措施以及应实施哪些干预措施。这些指标应包括通航能力、可靠性、经济绩效和社会影响。

开发综合评估工具。应通过研究和建模，评估包括基础设施、船队和物流措施在内的气候适应措施方案，包括成本、效益、实施时间及对利益相关方的影响。

通过适应性解决方案解决航道瓶颈堵点。减少浅水航段等限制通航能力的关键瓶颈，并投资于可动态调整的灵活措施。应探索水库调度和蓄水区调蓄工程作为额外的航运支持措施。最大限度地发挥这些措施带来的经济生态效益。

加快船队转型和提升韧性能力。通过推动低排放、浅吃水和模块化船舶概念，将莱茵河船队低碳转型与气候适应目标相结合，确保船队在未来异常水位和极端天气条件下仍能保持运营。

加强数字技术应用。加强对数字孪生、人工智能、气象预报系统以及覆盖整个航道的综合决策支持平台的投资。

2. 对长江的主要启示

加强跨部门数据共享。建立涵盖航运、水资源管理、生态和气象等部门的综合数据共享平台。

完善对流域模型研究的长期支持机制。突破项目制资助模式，为长江水动力、泥沙和气候模型研究建立可持续的支持机制。

加强基础研究。加大水文学、泥沙输移及河道形态动力学等基础研究投入，为未来的工程解决方案提供科学支撑。

推广生态友好型水利工程。更多地采用创新且基于自然的解决方案（NbS）的河流调控措施，在保障航运的同时维护水生态系统的健康。

制定长期规划。在五年规划周期的基础上，补充对 2100 年适应策略的远景展望。

在集中管理与促进多元主体参与之间取得平衡。在保持航运管理和气候适应措施实施效率的同时，完善协调机制，将政府主管部门和地方利益相关方更有效地纳入决策过程。

3. 共同结论

莱茵河和长江的案例研究表明，内河航运的气候韧性不仅仅是一个工程挑战，**需要通过综合治理、战略投资、数字创新和持续实施适应措施来实现**。未来的成功取决于将基础设施解决方案与灵活的管理方式相结合，同时在航运发展目标与生态、供水、防洪安全及其他社会优先事项之间取得平衡。

五、关于第八届国合会气候适应研究的工作建议

考虑到气候适应的紧迫性和重要性，建议在第八届国合会五年工作计划中持续开展“气候适应”的专题研究，分年度设置专题政策研究或前期研究项目，并可在国合会内部设立专项小组统筹协调相关研究工作，为国合会在中国乃至全球范围内推动气候适应政策制定及相关工作作出贡献。同时，**可在国合会后续其他专题政策研究项目中，均设置相关领域气候适应能力的专项分析**，从而构建覆盖主要重点领域、贯穿政策全过程的气候适应研究体系。

国际合作和交流对于各国提升气候适应能力至关重要。建议国合会加强对气候适应领域国际合作的资金支持。除线上会议方式，还应增加线下面对面交流的规模和频次，促进深入的知识交流与经验互鉴，激励研究机构在气候适应研究方面投入更多智力资源。建议各国政府为中国专家和国际专家互访提供切实可行的出行支持。此外，为了建立一个能够促进深入知识交流和相互学习的网络，还应鼓励开展个人交流、海外实地考察、实习及其他联合活动，同时确保研究成果的开放、共享。

（一） 研究主题建议

1. 气候适应关键能力及其支撑条件

当前，许多国家和地区在应对气候变化的预防能力、抵御能力、恢复能力、变革能力和长期适应能力方面仍存在短板，其相应必要的支撑条件和保障机制也有待进一步完善。因此，建议围绕这些能力及其支撑条件开展专题政策研究，采用气候韧性的五种能力评估框架作为分析工具，在中国及国际代表性地区开展气候适应能力和短板评估研究，差异化识别现有适应能力建设中的薄弱环节、重点领域和能力缺口，并据此提出有针对性的干预措施和气候适应策略。

2. 面向气候变化的城乡适应能力提升和基础设施更新改造

面对频发的极端天气事件和持续变暖的气候变化趋势，**全球城乡空间与基础设施在气候韧性能力方面的差距日益明显**。同时全球各国正在普遍推进大规模的基础设施和空间改造更新，例如中国正在推进的“城市更新”行动。因此，应研究探索构建气候适应型社会的路径，**将气候和极端天气适应目标以及基于自然的解决方案等关键气候适应技术融入城乡空间及基础设施的更新改造工作中**，降低极端天气造成的损害，同时最大限度地发挥已应用技术的综合效益，并根据不同国家和地区的差异性，提出对应的关键技术清单和政策工具箱。

3. 气候适应行动综合效益评估方法

气候适应行动具有显著的社会、经济、生态和防灾等多重综合效益，例如，基于自然的解决方案可提供显著的生态系统服务及其他效益。但相比于气候减缓行动，气候适应所带来的效益通常难以量化并具有滞后性，往往只有在灾害发生后才能显现，制约了对气候适应行动的金融支持。此外，气候适应措施并非单独实施，而是常与基础设施更新改造、城市更新和产业转型等过程深度融合，亟需建立针对性的效益评估方法，以促进多目标协同实施。因此建议开展专题政策研究，**结合全球气候适应目标（GGA）框架和贝伦适应指标探索通用性的气候适应效益核算框架**。

4. 气候适应统筹协同治理机制

气候适应相关领域并非彼此孤立，而是相互关联、相互影响的，因此气候适应需要建立系统性、综合性的政策框架，在政策机制、规划体系、基础设施、物流运输、宣传教育、资金保障、科技研发以及人才培养等多个方面进行统筹协同，推动气候适应的“主流化”。建议针对气候适应治理机制开展专题政策研究，提出构建**具备跨部门、跨层级、跨尺度和包容性特点的气候适应政策框架和协同机制**的重点方面，提炼可推广的气候适应“主流化”实施框架与政策工具包。

5. 气候公正转型与加强公众参与的路径研究

公平与社会正义是气候适应政策与实践中的一个复杂问题。建议通过国际案例比较，识别弱势人群和脆弱地区在气候适应中的重点诉求及其面临的困难，系统总结不同国家和地区

在气候适应公平性与社会正义方面的实践经验和政策启示，并将其作为国合会政策研究的重要研究方向。此外，应探索提升社会公众气候适应意识、公众参与程度是建设气候适应型社会的相关机制，提升全社会气候适应认知与社区适应能力，推动形成“自下而上”的气候适应能力建设机制。

6. 重点领域的气候适应需求

气候适应涉及生态、经济、社会发展的各个方面，建议对健康与公共卫生、城市地区与城市生活、农业与粮食供应、交通物流与基础设施、生物多样性与自然保护等关键领域的气候风险影响和适应能力差距开展深入研究，针对性提出提升适应能力的策略建议。

（二） 研究时间安排建议

基于以上研究主题，提出对第八届五年工作计划中气候适应领域的研究计划建议（见下表）。其中，建议优先开展与气候适应总体框架相关以及体现新视角的研究。

表 5.1 第八届国合会“气候适应”研究项目时间安排建议表

研究年份	年度研究主题
2027	气候适应关键能力及其支撑条件
2028	面向气候变化的城乡适应能力提升和基础设施更新改造、重点领域的气候适应需求
2029	气候适应行动综合效益评估方法
2030	气候适应统筹协同治理机制
2031	气候公正转型与加强公众参与的路径研究

此外，由于部分建议开展的气候适应研究主题内容复杂而广泛，因此建议将对应研究的实施周期从一年扩展到 18 个月甚至 24 个月。此外，在研究时间和预算充足的前提下，建议对气候适应研究议题中的部分内容开展单独的前期研究，例如，健康与公共卫生领域气候适应、政府与社会多元主体的协同机制、公众气候适应意识提升等方面。

六、政策建议

（一）将气候适应型社会建设提升为落实“总体国家安全观”、推进现代化与参与全球气候治理的战略行动，完善适应气候变化工作与政策体系，推动气候适应“主流化”

气候变化已从单纯的环境问题转变为关系国家可持续发展的突出风险，气候适应成为支撑发展与安全、保障人民生命财产、福祉的重要基础，因此应跳出“部门化”模式，将气候适应型社会建设提升为国家治理和发展的重要战略，全面推动气候适应的政策“主流化”。

1. 将气候适应型社会建设系统提升为国家现代化建设的战略行动，作为统筹高质量发展和高水平安全的战略性任务。**以 2035 年目标为牵引，编制国家气候适应型社会建设行动纲要**，结合不同气候情景预测设置 2050 年、2100 年远景目标。

2. **完善适应气候变化的工作体系与政策体系**。面向气候适应型社会建设需求，系统推动法规、制度、工作机制、财政金融、科技创新、技术标准等方面的政策创新，建立“监测—预警—评估—行动—反馈—提升”的全链条工作流程和多方协同工作机制。

3. **建立气候风险和适应能力评估常态化机制**。将气候风险评估纳入国民经济和社会发展规划、国土空间规划、城市更新行动、生态环境治理、农业发展、重大工程和项目审批、能源基地和公共服务设施选址全过程。核心评估指标纳入国家“城市发展评价体系”。

（二）因地制宜开展基础设施和生命线工程更新改造

1. 针对不同区域、不同类型城市面临的差异化气候风险，**分类推动水利防洪、防灾减灾、能源、通信、交通航运、城镇市政设施及重要地下空间的更新改造**，加强基础设施的跨地区协同改造，系统性提高极端天气灾害应对能力。

2. **启动面向气候韧性的国家工程建设标准修订专项行动**，对城市排水防涝、地下空间防洪、海塘堤防、生命线工程、港口航道、能源设施等优先修订，根据不同类型地区的气候变化趋势，制定差异化的技术标准和规定，分类指引基础设施和生命线工程更新改造。

（三）衔接气候适应能力评估，制定差异化、针对性的地方气候适应策略

全球不同地区面临的气候风险和发展基础存在显著差异，难以基于完全相同的行动措施和技术标准去解决各自的气候适应短板，必须结合气候适应能力评估明确本地气候适应的优先事项，并及时采取针对性的气候适应行动。

1. **按风险类型制定差异化适应政策包**。沿海城市群重点应对海平面上升、风暴潮、咸潮入侵和滨海湿地退化，推进堤防和原水互联互通网络建设；成渝等长江中上游地区重点应对高温干旱、水电波动和能源负荷峰值风险，发展虚拟电厂、修复小微水利设施；西北和北方暖湿化地区重点防范局地暴雨、山洪和城市内涝，补齐排水防涝欠账；东北和青藏高原地区重点关注冻土退化、生态系统保护和基础设施稳定性。

2. 推广基于自然的解决方案（NbS），将湿地、滩涂、河漫滩、生态海塘、红树林等蓝绿空间和海绵城市设施、小微水利设施纳入韧性基础设施，实现工程防护、生态缓冲和城市更新协同实施。加强河流泥沙管理，防止水库淤积与河道海岸侵蚀，保障沿海湿地泥沙动态平衡。

（四）建立完善适应气候变化的统筹协同工作机制

气候风险具有显著的跨系统、跨区域、跨部门特点，各自孤立的气候适应行动会削弱干预措施的有效性，并可能引发新的问题。**因此应建立跨国、跨部门、跨行政区、全流域以及政府、企业、公众等多元主体之间统筹协同的工作机制**。

1. **强化观测预测预警协同体系**。整合气象、水文、海洋、地质、国土空间、人口、产业、

交通、能源、基础设施和灾害损失等多源数据，形成全国统一、动态更新、开放共享的气候风险空间底图，服务规划项目选址、工程标准修订、灾害预警、保险定价和流域联合调度。推动部门协作重点由“信息通报”转向联合研判、预警、应急预案制定和统一调度。

2. **完善重点领域气候适应协同机制**。由国务院牵头建立气候适应型社会建设协调机制，统筹生态环境、发展改革、财政、自然资源、住建、水利、交通、卫生健康、应急、气象、能源、金融监管等部门，重点解决气候适应部门政策缺乏协同、项目分散实施等突出问题，协同提升生态系统、农业与粮食安全、健康与公共卫生、基础设施、城市人居环境等重点领域适应气候变化的能力。

3. **构建跨区域、全流域协同适应机制**。针对气候风险的空间传导性，建立以流域和城市群为单元的跨行政区适应协调机制。例如，在长江、黄河、珠江等重点流域和重点城市群建立防洪、供水、发电、航运、生态多目标联合调度机制。

4. **将内河航运的气候韧性纳入国家气候适应与经济发展战略**。内河货运的可靠性对于经济发展以及供应链、粮食和能源安全至关重要。提升内河航运气候韧性应采取系统方法，统筹基础设施更新、数字化升级、运营管理和长期规划。应优先通过预报系统、数字化技术、灵活的船队发展以及流域协同治理来加强适应能力。同时，内河航运的气候适应措施应与水资源保障、生态修复、能源转型和区域经济韧性等目标协同推进，实现综合效益最大化。

（五）坚持气候公平导向，重点提升弱势群体和欠发达地区的气候韧性

1. 建立社区气候风险清单及脆弱人群分级保护机制，**重点覆盖老年人、儿童、慢性病患者、快递员、建筑工人、低收入家庭等弱势人群，以及地下空间等敏感空间的使用者**。注重气候适应中的性别公平，保障女性在社区适应决策中的参与权，基于性别平等导向建立性别分列的数据统计和监测、评估机制。确保适应收益公平可及，避免气候风险及适应成本向脆弱群体转移。

2. 加强对经济欠发达地区和乡村、中小城市和小城镇气候适应行动的政策、项目和投资支持，基于气候适应风险和能力评估结果，针对性提升气候韧性能力。

（六）健全气候适应财政金融支持体系，吸引多元主体参与气候韧性投资

气候适应行动投资需求大、周期长，“公共产品”属性强且收益难以量化，仅靠政府财政资金难以为继，亟需构建公共资金引导、市场机制跟进、多元主体参与的资金保障体系。

1. 设立国家气候适应专项资金，或在中央预算内投资、专项债、城市更新、生态保护修复、灾后恢复重建及其他资金来源中明确适应支出科目，为各地气候适应行动提供稳定、可持续的政策资金保障。

2. 推动韧性基础设施债券、巨灾保险、参数化保险、生态环境导向开发（Eco-environment Oriented Development, EOD）等工具创新。调整企业会计准则，支持其对适应措施的私人投资。允许延长折旧年限，并对投资适应措施的企业提供奖励。将气候和极端天气风险纳入政策性保险，扩大覆盖面。

3. 建立通用、可比较的气候适应综合效益核算框架与评价规则，将适应措施的多重收益和协同效益纳入投资决策，提高金融机构和社会资本对气候适应行动的投资意愿。

（七）提高公众对气候适应认知和参与度，培育全社会适应合力

气候适应型社会的建成，根本上取决于全社会的风险认知和参与能力。由于公众对气候变化、气候适应的认知不足，气候适应相关政策和措施在落地实施过程中的推进速度相对缓慢。即便是在公众已经普遍认识到气候变化正在发生的国家和地区，仍普遍低估气候变化的速度以及气候适应措施的紧迫性。因此，必须大力提高社会公众对于气候脆弱性和适应方案的认知与了解，推动公众广泛参与气候适应行动。建议将气候风险教育纳入国民教育体系，依托社区、学校、企业等基层单元开展常态化防灾演练和科普宣传，建立气候灾害案例、应对与恢复能力以及适应经验的知识共享平台。

（八）深化气候适应领域的国际交流与南南合作

1. 依托中国不同区域与全球众多地区相似的气候条件和适应实践，**扩大与国际组织、各国政府部门、国际研究机构的合作网络**，为中外专家互访、数据共享、经验分享和联合研究创造便利条件，结合全球经验为中国政策制定提供参考。

2. **加强气候适应领域的南南合作**，总结宣传气候适应型城市建设、海绵城市等领域经验，组织面向发展中国家的技术研讨与培训项目，提升中国在全球气候适应领域中的影响力，助力发展中国家提升气候适应能力。

参考文献

[1] 世界气象组织. 2025 年全球气候状况报告[R]. 日内瓦: 世界气象组织, 2026.

[2] The Guardian. At least 35,000 excess deaths recorded in Europe's back-to-back heatwaves[N]. The Guardian, 2026-08-25.

[3] UNFCCC. Adaptation Action Newsletter [EB/OL]. (2026-04)[2026-08]. https://myemail-api.constantcontact.com/Adaptation-Action-Newsletter.html?soid=1137422682642&aid=bj6YqS95g2A.

[4] UNFCCC. The Cancun Agreements[R]. 2010.

[5] UNFCCC. The Paris Agreement[R]. 2015.

[6] IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report[R]. Geneva: IPCC, 2023.

[7] World Bank. Mobilizing Nature-Based Solutions for Disaster and Climate Resilience [EB/OL]. (2025-7-10)[2026-08] https://www.worldbank.org/en/results/2025/07/10/mobilizing-nature-based-solutions-nbs-for-disaster-and-climate-resilience.

[8] World Bank. Country Climate and Development Reports (CCDRs)[EB/OL]. [2026-07-01]. https://www.worldbank.org/en/publication/country-climate-development-reports.

[9] C40 Cities. C40 Cities Adaptation Planning Resources Guide[R].

[10] C40 Cities, World Resources Institute. Inclusive Planning Roadmap: Indicators Guidance—C40 Cities Inclusive Climate Action Indicator Module.

[11] C40 Cities, Ramboll Foundation. Measuring Progress in Urban Climate Change Adaptation: A Monitoring, Evaluating and Reporting Framework[R/OL]. (2019)[2026-08]. https://www.c40.org/wp-content/static/other_uploads/images/2154_20190228_MER_Framework_Final.original.pdf.

[12] The White House. National Climate Resilience Framework [R/OL]. (2023-09)[2026-08]. https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2023/09/National-Climate-Resilience-Framework-FINAL.pdf.

[13] Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. How climate laws create impact[EB/OL]. (2025-10-22)[2026-09]. https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/news/how-climate-laws-create-impact/.

[14] China Council for International Cooperation on Environment and Development. Green Development and Climate Adaptation for Urban and Rural Areas. [EB/OL]. (2024-10)[2026-09]. http://www.cciced.net/dxhd/nh/2018_9614/nhwj/202410/P020241031538517114798.pdf.

[15] 侯雅婷,谢卫明,苑家恒,等. 长江口崇明东滩湿地演变对海平面上升的响应特征[J/OL]. 华东师范大学学报（自然科学版）, 2025(2): 42-54. DOI:10.3969/j.issn.1000-5641.2025.02.005.

[16] 于浩慧,周长艳,柯行思,等. 川渝高温热浪与暴雨旱涝演变特征及适应策略研究[J/OL]. 人民长江, 2024, 55(11): 146-154. DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2024.11.019.

[17] YAN C, LI Y, CHEN Q, et al. The record-breaking compound heatwave and drought event in 2024 over the Sichuan Basin, Southwest China[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2026, DOI: 10.1016/j.aosl.2026.100786.

[18] 王薛佳,李谢辉,黄健. 近 35 年川渝地区夏季高温热浪事件时空变化特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2026, 41(01): 134-140. DOI:10.16836/j.cnki.jcuit.2026.01.018

[19] 陈忠升,高翊富,赵仕梅. 1960-2017 年成渝经济区气候变化时空特征分析[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 296-303. DOI: 10.16246/j.issn.1673-5072.2019.03.014.

[20] 孙博,王会军,黄艳艳,等. 2022 年夏季中国高温干旱气候特征及成因探讨[J]. 大气科学学报, 2023, 46(1): 1-8. DOI: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20220916003.

[21] 黄艳,李荣波,马立亚,等. 长江流域 2022 年抗旱管理实践与思考[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(3): 1-11, 29. DOI: 10.16867/j.issn.1673-9264.2023049.

[22] 张翔,韦燕芳,李思宇,等. 从干旱灾害到干旱灾害链：进展与挑战[J]. 干旱气象, 2021, 39(6): 873-883. DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2021)-06-0873.