中国环境与发展国际合作委员会

专题政策研究报告

城乡建设绿色发展与气候适应

2024

中国环境与发展国际合作委员会

专题政策研究报告

城乡建设绿色发展与气候适应
——全球性变化中的气候适应

2024 年 10 月

专题政策研究项目组成员

中外组长*:

- 中方组长：李晓江，国合会特邀顾问，第五届国合会委员，全国工程勘察设计大师
- 外方组长：本·格尔茨，荷兰基础设施与水资源管理部战略司司长

核心专家：

中方专家：

- 郑德高，中国城市规划设计研究院副院长
- 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
- 黄　艳，长江市水利委员会，中国三峡大学校长
- 陈敏鹏，人民大学教授、世界适应科学计划（WASP）联合主席
- 李　昊，中国城市规划设计研究院高级工程师
- 白　晶，中国城市规划设计研究院深圳分院副所长
- 余　妙，中国城市规划设计研究院西部分院副所长
- 谢　磊，中国城市规划设计研究院上海分院所长
- 王永强，长江科学院水资源所副所长
- 程淑婕，长江科学院水资源所博士后

外方专家：

- Rogier van den Berg，世界资源研究所罗斯可持续城市中心全球主任
- Marloes Dignum，荷兰基础设施和水管理部高级战略师
- Paul Gerretsen，荷兰三角洲大都市协会主席
- Jessica Gordon，中加州气候研究所研究主任
- Harry den Hartog，代尔夫特大学和同济大学研究员
- Willem Ligtvoet，水气候与可持续发展顾问
- Laura Nougues，荷兰三角洲研究院（Deltares）研究员和顾问
- Henk Ovink，全球水经济学委员会执行董事
- Chris Zevenbergen，代尔夫特大学和 IHE 代尔夫特水教育研究所教授
- Liu Qiaodan, 代尔夫特理工大学博士

支持专家：

中方专家：

- 徐宗学，北京师范大学特聘教授
- 吴浩云，太湖流域管理局原副局长
- 刘　芳，南充水文水资源勘测中心副局长
- 王家卓，中规院生态市政院院长
- 张永香，国家气候中心气候变化战略研究室副主任，首席研究员
- 许吟隆，中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研究员
- 刘伯红，中华女子学院兼职教授，全国妇联妇女研究所原副所长
- 胡群芳，同济大学教授，上海防灾救灾研究所所长助理/研究室主任

- 王成坤，中国城市规划设计研究院深圳分院所长
- 彭天蔚，湖北省生态环境科学研究院水环境所副所长
- 任华平，湖北省湖泊保护中心副主任
- 熊春茂，湖北省水利厅原总经济师
- 许继军，长江科学院副总工程师、水资源所所长
- 杨永德，原中华人民共和国生态环境部长江流域局副局长

外方专家：

- Marc de Bel，荷兰三角洲研究院（Deltares）项目经理
- Floris Boogaard，荷兰三角洲研究院（Deltares）气候适应专家
- Nanco Dolman，荷兰三角洲研究院（Deltares）水韧性城市专家
- Annet Kempenaar，格罗宁根大学空间设计和水管理助理教授
- John Ganzi，气候变化风险管理专家
- Prisca Haemers，欧盟委员会适应气候变化特派团政策官员
- Marko Hekkert，荷兰环境评估署（PBL）署长
- Wiebke Klemm，荷兰海牙市景观设计师
- Anjali Mahendra，世界资源研究所罗斯可持续城市研究中心全球研究部主任
- Tjitte Nauta，荷兰三角洲研究院（Deltares）战略研顾问和区域经理
- Thad Pawlowski，韧性城市和景观研究中心管理总监
- Marc Reinke，荷兰 DNB 中央银行可持续金融办公室主任
- Marijke Romijn-Meijer，荷兰基础设施和水管理部管理助理
- Lindsey Schwidder，代尔夫特理工大学水创新与影响项目经理
- Tim Selders，泥炭地创新中心 （VIC） 主任
- Niels van Steenbergen，比利时佛兰德斯水运管理局部门负责人
- Philippe Tulkens，欧盟委员会适应气候变化小组团长
- Renske de Winter，荷兰三角洲研究院（Deltares）海岸、三角洲和气候变化专家
- Stefanie Wolf, KAH，水利工程与水资源研究所研究员

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
- 秦　奕，中国城市规划设计研究院信息中心规划师

外方协调员：

- Jan Bakkes，综合评估协会副主席
- Frans van de Ven，荷兰三角洲研究院（Deltares）战略顾问和高级专家

国合会秘书处：

- 穆　泉，国合会秘书处
- 费成博，国合会秘书处
- 王美真，国合会秘书处国际支持办公室

＊本专题政策研究项目组联合组长、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。

执行摘要

气候变化风险日益加剧，更加系统的气候适应行动已刻不容缓。气候变化与非气候驱动因素（人口、经济和土地利用发展、现有政策和社会制度）的相互作用，导致中国及全球城市和乡村地区、大河流域、河口三角洲和沿海地区的人口稠密地区面临的安全风险倍增。气候变化导致极端天气事件频率和强度增加，造成严重的经济损失、人员伤亡和社会混乱，给全球各地的防灾管理系统和长期气候适应能力带来挑战。本研究结合实证研究和案例分析的方法，探讨中国和西欧等典型地区的气候适应差距和气候适应经验，在此基础上建立城乡地区的气候适应能力评估框架，并针对人口稠密的城乡地区提出提高气候韧性能力的优先事项和政策建议。

（一）主要发现

1.气候变化以及热浪、风暴、降水峰值、洪水和干旱等极端天气的强度已经超出了当今地区和城市的灾害管理能力，气候适应差距在全球普遍存在。相关研究和课题组在在中国、荷兰、比利时和德国的实地考察证实了这一点，近年来上述国家频繁的极端降雨事件（如欧洲的“水炸弹”）、极端洪水、持续高温干旱等灾害所造成的破坏就是明确的例子。

2.气候适应对于政府和社会公众是一项重大挑战，但目前对于气候变化的紧迫性，气候适应能力差距的普遍性以及需要系统开展气候适应行动的认识并不充分。根据对长江上游的成渝城市群、长江下游的太湖流域、珠江三角洲等城镇和人口密集地区的实证研究，以及西欧莱茵河和默兹河流域的国际案例，气候适应存在的主要短板和面临挑战包括：1）城市空间格局适应气候变化的韧性不足；2）应对气候变化的法规、规程和标准仍有待完善；3）城市防灾工作的跨部门协同不足，应急管理部门的统筹协调职能未充分发挥； 4）社区居民的风险意识、抵御风险能力不足；5）区域合作的机制仍有待完善。

3.开展气候适应评估对于确定气候适应面临的关键挑战、适应差距和优先事项至关重要。气候适应五种关键能力的概念为评估气候适应能力、缩小气候适应差距提供了一个概念性框架。这些能力重点包括：1）通过提高预防能力、抵御能力和恢复能力，能够有效适应和应对灾害风险，加强安全韧性能力；2）通过提高政策和决策过程中的适应能力和变革能力，以应对未来气候变化带来的长期挑战。此外，培育十项必要的有利条件对提高上述能力至关重要。

4.气候适应不是一项独立的挑战，需要系统应对，应纳入从国家到地方的各级综合性、战略性规划和不同领域的部门政策中。研究结果表明，有必要结合地

区土地、水等资源环境本底，面对气候适应要求调整各项政策和空间规划。综合分析和结合灾害事件的气候韧性“压力测试”应成为提高政策针对性、增加公众参与以及衡量适应措施绩效的基础。推动气候适应措施从零散的、被动反应的方式向综合系统方法转变，需要各层级政府和社会共同做出巨大努力。要实现这一转变，必须通过加强城乡社区和多元的利益相关主体共同参与，从而形成对气候适应的目标共识和共同承诺。

5.气候适应具有综合效益，不仅能降低气候变化带来的灾害风险，还是促进绿色发展的重要机遇。在气候适应项目中将传统基础设施建设与基于自然的解决方案（Nbs）相结合，在减少极端天气事件可能造成的损害的同时，可以实现气候适应的多重效益。结合气候适应措施的实施，有利于推动相关领域的技术创新，带动各类资金投资基础设施改善、城市韧性空间建设、生态环境修复等领域，加快实现绿色发展。相比于气候减缓行动，气候适应所带来的效益虽然具有突出的正外部性，但通常难以通过市场化经济手段直接量化，很多时候只有在灾害发生后才能显现。因此在地方政府推动本地城乡发展的同时，国家政府应强化在气候适应工作中的主体作用，从规划、建设、运营、应急救灾和灾后重建各方面对气候适进行长期投入和支持，加快区域和地方层面的气候适应进展。

6.政府在制定和实施气候适应政策时，应充分考虑不同地区、不同人群面对气候变化时脆弱性存在的明显差异和不公平问题，加强气候适应政策的社会公平和区域协调考虑。其中，中国的气候适应可加强衔接“共同富裕”目标，提高适应的公平性。

7.政府在帮助提高区域和地方的气候韧性能力，以及制定和支持关于未来经济、社会和空间发展与投资决策过程中的气候适应措施方面发挥着至关重要的作用。提高气候适应能力的优先事项包括：1）加强对气候变化和气候灾害的预测和预警能力；2）提高防灾设施和关键性基础设施应对极端天气灾害的抵御能力，加强生命线工程面对气候变化的适应性和冗余备份能力；3）从国家、区域到地方层面开展对气候适应的定期评估，识别地区面临的主要气候风险、适应能力差距和短板以及潜在的解决途径；4）充分考虑水资源、地形地貌等自然资源条件，合理转变城乡空间规划建设方式，加强预留及保护城市水体等自然调蓄空间；5）建立完善气候适应的制度框架，包括完善区域—流域统筹调度的应灾机制，各级政府对气候变化和气候适应的研究支持机制，对各类气候适应政策和措施有效性、实施绩效的评估机制。

8.由于城市空间布局对城市发展影响往往会持续上百年，因此从国家到地方各层级政府需要在城市规划、建设决策过程中应充分考虑气候适应问题。加快气候适应性发展的正确措施包括重新评估现有的政府和社会相关投资计划，以及结合灾后重建提高气候适应能力。但是各个国家现有的法律法律、保险行业要求可

能无法为气候适应投资提供充分支持。

9.气候适应需要大量的资金投入支持，这对目前的法律法规、金融行业监管要求提出新的挑战。与此同时，沿袭原有模式的发展和投资计划可能会导致严重的经济损失和不良的气候适应结果。例如可能会增加气候灾害高风险地区资产的“搁浅”和损失风险，也可能会损害子孙后代的解决气候适应问题的潜力。如何完善相关财政和金融政策来加强对气候适应的投资，对于加快气候适应至关重要，需要后续开展深入研究。

10.综合科学研究、社会和经济发展需求制定系统化的气候适应政策，在全球各国都是正在探索的新领域。因此，全球不同国家、地区和城市之间应进一步开展国际合作和交流，在减少灾害风险、制定短期和长期有效的气候适应战略等方面加强集体智慧共享和相互有效学习，从而促进气候适应能力的转型发展。

（二）主要政策建议

1.气候风险日益加剧，灾害损失巨大，全面实施气候适应行动刻不容缓，各级政府应立即提高气候适应在发展政策和治理体系中的优先地位。

2.建立从中央到地方，跨区域与流域、跨部门，政府、社会与公众协同的气候适应短期和长期行动的系统性框架。

3.建立气候适应评估机制，识别关键领域、关键设施的气候适应短板和优先事项，为城乡聚落提高气候适应能力提供扎实的基础。

4.重视气候适应中的社会公平与性别议题，加快提高欠发达地区、乡村地区、小城镇，以及妇女、儿童、低收入人群等弱势群体的气候适应能力。

5.考虑到气候适应在科学研究、政策制定等等方面的研究仍处于起步探索阶段，因此建议国合会加强对于气候适应政策研究、国际交流合作的关注和支持。

关键词：

气候适应、韧性、适应能力、有利条件、案例研究、从灾害中吸取经验教训、压力测试、气候适应公平、多尺度、跨部门和跨地区政府合作、多学科气候适应规划和设计

目　录

城乡建设绿色发展与气候适应——全球性变化中的气候适应.....1
一、导言：全面实施气候适应战略的紧迫性.....1
二、认识框架：明晰气候适应的重点目标.....3
（一）城乡气候适应能力评估方法.....3
（二）增强气候适应韧性的五种能力.....3
（三）小结.....5
三、实证研究：识别城乡气候适应的短板与优先事项.....6
（一）成渝地区案例研究.....6
（二）太湖流域案例研究.....8
（三）珠江口地区案例研究.....11
（四）莱茵河−默兹河−斯海尔德河三角洲案例研究.....13
（五）小结.....15
四、案例借鉴：从灾害中吸取经验教训.....16
（一）防灾预警类案例.....17
（二）救灾类案例——援助、复合风险、脆弱性.....18
（三）重建类案例——适应、复原力、创新.....20
（四）经验教训总结.....21
五、公平和性别：关注弱势人群和地区.....23
（一）气候变化中存在的社会与性别不公平.....23
（二）气候适应行动可能会进一步扩大社会不公平.....24
（三）气候适应行动中的社会公平策略建议.....24
（四）“共同富裕”可作为实现气候适应公平的政策工具.....25
六、重要经验：空间、时间和治理维度.....26
（一）与空间尺度有关的新认识.....26
（二）与时间维度、投资和金融有关的新认识.....28
（三）与治理有关的新认识.....30
七、评估操作框架：为城乡气候适应评估提供有效的工具.....32
（一）框架作用.....32
（二）评估内容与环节.....32
（三）评估重点.....33
八、政策建议.....35
参考文献.....37

城乡建设绿色发展与气候适应——全球性变化中的气候适应

一、导言：全面实施气候适应战略的紧迫性

气候变化危机已经到来！2014-2023 年成为有记录以来最热的十年，更频繁、更严重的极端天气事件导致全球范围内的人员伤亡、经济损失、社会动荡和生物多样性的丧失（WMO，2024）。人类和大自然已经遭受前所未有的洪水、干旱和热浪灾害。而导致这些变化的气温升高问题在未来几十年甚至几百年内仍将延续。这一趋势将导致更多的不利影响和风险，包括海平面上升、水资源短缺等。仅仅采取气候减缓措施、减少温室气体排放已不足以消除气候变化带来的不利影响，必须坚持气候减缓与气候适应并重，从而有效管理当前和预期对人类和自然的影响。

虽然气候变化是全球性问题，但实现气候适应却需要因地制宜。城市是各类要素资源和经济社会活动最集中的区域，也是遭受气候变化风险损失最为严重的区域。例如，近年来中国的郑州 720 特大暴雨（2022）、成渝地区高温干旱（2022）、京津冀特大暴雨（2023）、深圳特大暴雨（2023）、长江中下游特大洪水（2024）等灾害事件，造成了巨大的生命财产损失。特别是长三角、珠三角、莱茵河三角洲等河口三角洲地区城市化与工业化较高，人口、产业活动高度聚集，面临更加突出的气候风险。不仅是城市，农村地区也面临气候变化的不利影响，包括对居民生命安全和农业生产的威胁和挑战。气候变化导致的农业歉收将导致食品价格过高，引发饥荒、贫困等风险；因此需要转变农业生产方式以适应气候变化。

由于日趋频繁的洪涝灾害和干旱期间的水资源短缺等问题，流域综合管理比以往任何时候都更加重要。因此，上游、下游地区的水资源管理必须相协调，以防止暴雨导致的洪涝灾害，确保干旱时的用水供应，同时保持航道通航。为了实现对气候变化的共同应对，需要加强跨国、跨地区和国际组织间的合作，以确保气候适应措施的有效性和及时性。此外，必须采取气候适应措施保护生物多样性。气候变化也对社会公平的负面影响也不容忽视，妇女、老人和儿童等弱势人群受到的气候变化不利影响更加严重。农村地区居民的生活水平低于城市，为必要的气候适应措施的投入资源和能力有限，面临气候灾害时的脆弱性更加突出。因此必须重视气候适应当中的社会公平问题，包括国家之间、区域之间和代际之间的公平。

气候变化的长期性，加上人口密集地区的持续扩张提高了实现气候适应的难度。人口密集的城乡区域既是气候变化影响的重点地区，也可以成为适应气候变化的转型中心。近年来世界各国已发起了许多气候适应领域的倡议和规划，如荷兰政府 2015 年发布的《三角洲空间适应决策》（*Delta Decision for Spatial Adaptation*），2022 年中国 17 个政府部门联合发布的《国家适应气候变化战略 2035》，以及开展的气候适应型城市建设试点行动。这些政策是气候适应行动的良好开端。但当前气候适应行动仍然面临多方面问题，如对气候变化带来的多系统叠加风险预警能力不足、城市空间与关键性基础设施适应能力不足、气候适应工作系统性和跨部门协同型不足等。因此，有必要将气候适应上升为国家战略，系统全面开展城市气候适应行动。

本期特别政策研究（SPS）围绕如何提升城乡建设领域的气候适应能力展开研究。研究目标之一是提供符合中国城乡建设领域实际特点的气候适应评估框架，识别城乡适应能力短板，明确气候适应的优先事项。本次研究同时探讨了不同国家应对气候变化和气候灾害的案例，总结了其中可以汲取的经验教训。相关的研究结论是通过实证研究、案例分析、广泛地

征求专家意见和在中国、欧洲地实地工作方位得出的。通过研究，总结面向气候适应目标建立气候韧性的关键能力，以及如何加强这些能力的措施方法。

本次研究明确指出了立即采取气候适应行动、开展城市气候适应能力评估、推动政府、社会等利益相关主体之间开展合作的紧迫性，以及将有关气候适应中的社会公平问题、长期和短期气候变化事件的科学研究结论纳入政府决策的必要性。相关各章的简要内容如下。

第二章介绍了系统评估和加强气候适应能力的概念框架。该框架确定了五种能力（预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力和变革能力）和必要的有利条件，可用于指导评估和理解具体地区的气候韧性能力。

第三章基于实证研究的方法分析了四个案例地区的气候适应现状，包括气候变化主要风险、存在的气候适应差距和面向未来的适应需求。案例地区覆盖了流域上游、下游、河口三角洲等不同类型的区域。

第四章重点关注全球不同地区应对极端气候灾害事件的经验教训。相关案例表明气候变化导致的灾害影响可能是毁灭性的，但在灾害应对和恢复重建过程中也为不同国家提供了可能的学习经验，可以从中选择好的措施和方式纳入未来的政策中。

第五章讨论了气候适应中的社会公平问题。指出有必要以社会与性别公平的理念实施气候适应行动，增强弱势群体的气候适应能力。

第六章从空间、时间和制度三个方面，分析了关于气候变化的经验认识。包括空间维度对协调城市和区域之间关系的认识，时间维度对平衡气候适应五种关键能力的短期、长期行动的认识。

第七章介绍了指导城乡地区开展气候适应评估的通用性操作框架，该框架基于对气候韧性五种能力及必要有利条件的理论认识，通过评估识别城乡地区气候适应的差距和短板，为明确气候适应的政策优先事项、制定和实施气候适应规划提供工具支撑。

第八章建议各国政府立即全面实施气候适应行动，提高气候适应在国家政策中的优先地位，加强对气候适应的长期规划和支持。本章还强调了跨地区、跨部门合同的重要性，建议建立气候适应评估机制，重视气候适应行动的公平性以及加强气候适应研究的国际合作交流。

二、认识框架：明晰气候适应的重点目标

在当前气候变化风险加剧，气候适应能力差距普遍存在的背景下，需要一个对气候适应能力和气候韧性能力的评估概念框架，以系统地评估不同国家和地区的气候韧性能力和适应政策与措施。该框架还旨在分析从气候灾害和险情中吸取的经验教训。它适用于不同的空间和时间尺度，从地方到河流流域，从造成山洪暴发的短期暴雨事件到海平面上升、干旱风险增加等长期缓慢增加的灾害风险。评估应基于对当地地理状况的分析、从过去灾害中吸取的经验教训以及对多种气候风险的系统分析，同时考虑到未来预期的社会经济发展趋势和自然地理环境变化。评估可为政府、企业和居民提出可行的建议。

（一）城乡气候适应能力评估方法

近年来，为了推动气候适应措施的有效实施和加快转型，联合国等国际组织和世界各国都在加强对气候适应措施的监测和评估。联合国、美国和欧盟等各国政府、“全球 100 韧性城市”等国际组织、科研机构、咨询公司推出了多种评估方法，以评估气候适应的必要性、气候适应措施的收益、加速气候适应的外部条件情况。其中一些方法支持对气候风险和适应机会进行定性评估，而另一些方法则采用定量评估的方式。方法的理论背景也不完全相同，一些源自韧性和减少灾害风险的研究，另一些参考了可持续发展理论。课题重点参考的研究包括 IPCC 报告 (2012、2022)、《美国第五次国家气候评估》（2023）、联合国国际减灾战略 (2015、2023)、《欧盟适应气候变化战略》（2022）、Leeuwen 等人 (2012)、De Graaf-van Dinther 和 Ovink (2021)、可持续发展城市指数 (Arcadis，2024)、纽约和比利时佛兰德斯地区气候适应规划等研究。

尽管不同研究的气候适应评估框架并不统一，但可以确定构建气候适应和气候韧性能力的 3 个阶段：(1) 准备和预防，(2) 抵御，(3) 恢复和重建。因此课题综合相关研究基础，通过建立一个能够 “容纳”其他评估方法框架的通用性概念框架结构，与现有评估方法协同工作，并可根据评估地区面临的灾害风险类型、地理、经济、文化及政策背景来调整细化框架。由于气候变化的长期趋势存在不确定性，未来的城乡发展需求也是未知的，抵御气候风险的基础设施的使用年限一般都是几十年甚至上百年，因此评估框架应着眼长远，考虑长期动态评估的要求。该框架建立在对当地和区域（流域）范围内的生态环境、社会和经济系统全面分析的基础上，深入分析评估现有系统的脆弱性、暴露度和相关影响因素进行评估。

该框架不应只关注减少“短期”的灾害风险，如洪水和干旱等“突发性”灾害，还应包括平均气温升高、海平面上升等长期缓慢变化导致的风险。该框架应有助于明确提高抗灾能力的潜在政策建议，包括短期适应性和长期变革性变化，以及在治理结构、资金支持、标准和立法等支持气候适应根本性变革所需的有利条件。

（二）增强气候适应韧性的五种能力

气候变化导致的各类风险正在不断加剧，中国和全球各地的极端天气及相关灾害事件频率持续增加（IPCC，2022 年）。因此推动气候适应的关键是是建立气候韧性能力。要科学规划和实施气候适应措施，首要目标是最大限度地降低气候极端事件的风险。同时，气候适应的作用不仅是减少灾害风险，如果合理设计和实施气候适应措施，还能产生巨大的经济、

社会和生态系统服务效益。因此如何同时最大限度地降低风险，最大限度地发挥综合效益，是气候适应的核心挑战。

综合的气候韧性能力应该包括 5 种能力（De Graaf-van Dinther 和 Ovink，2021 年）。围绕评估城乡地区的预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力和变更能力，以及研究创造变革能力的条件的影响，可以构建城乡气候适应能力的评估框架。

1. 气候韧性的五种能力

下文简要介绍了这五种能力。更详细的说明详见附件 1。

（1）预防能力：指城乡地区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。例如，在防洪工作中，可以通过修建河堤和提高河道泄洪能力，提高河流应对洪水流量的阈值。确定预防灾害最大阈值和防灾设计标准既需要考虑过去的历史灾害数据，也需要考虑未来的气候变化、海平面上升等趋势。

（2）抵御能力：指极端天气导致的灾害发生后，城乡地区减少灾害损失的能力。例如，降低洪灾中人员和经济损失的能力，或者在干旱灾害中减少水资源损失的能力。抵御能力的影响因素包括是否采取降低灾害损失的措施、有效的预警系统、公众宣传和教育、合理的防灾救灾管理机制等方面。

（3）恢复能力：指城乡地区在受灾后，恢复到与灾前一致或更好状态（重建得更好）的能力。该项能力的目标重点是实现灾害快速、有效的恢复重建。影响因素包括资金、技术、专业人员等方面的投入。根据灾害影响的空间范围尺度和灾害严重程度，灾后恢复的事件从几周到数十年部等。

（4）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。提高基础设施的长期适应能力，保持开放和多样性的气候适应措施设计，都有助于提高适应能力。

（5）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。

2. 培育 5 种能力的必要条件

要采取行动提高气候适应的 5 种能力，就必须创造相应的有利条件。如果这些条件没有得到充分满足，对现有基础设施和有关政策的调整将面临巨大困难。建立和提升这 5 种能力的有利因素条件（Mazzucato, 2019; Sommer, 2019; Brown and Clarke, 2007, ARB, 1997）包括以下几个方面：

- 宣传气候适应的紧迫性：向社会公众、政府决策者提供气候变化相关数据信息，提高开展气候适应行动的积极性。
- 跨地区、跨领域的系统性适应方法，统筹考虑生态环境、经济和社会系统的视角。
- 能力培训：加强个人、社区和组织相关的知识和技能培训，以制定、实施和保持创造气候韧性能力的干预措施。
- 可信的数据和信息：开展独立研究和提供公开透明的数据和信息，并面向全社会共享。
- 资金支持：为相关措施提供充足、协调的资金，公平公正的分配气候适应的投资责任和收益。
- 公众参与：推动公民、企业、非政府组织等主体共同参与气候适应。
- 政策、法律和治理框架支持：加强政策、立法、法规、规划战略的支持，促进气候适应措施的制定和实施。

- 创新：针对现有气候适应面临问题探索新技术、新模式和新产品，创造新价值，推广成功案例经验。结合空间规划设计方法进行气候适应研究。
- 政府和社会多元主体合作：通过共同合作开展气候适应措施。由政府保障早期资金支持以带动投资。
- 公平分担风险和收益机制：重视社会的公平性和包容性。公平面对气候变化的风险和分配收益，保护弱势群体。

（三）小结

综上所述，预防能力、抵御能力和恢复能力与减少灾害风险以及为地区创造其他领域的综合价值有关。适应能力重点通过提高基础设施的应对能力，从而适应气候变化背景下的新条件和新要求。而变革能力则与社会发展、政府治理机制及其对社会、经济、环境和空间转型发展的支撑能力有关；即通过引导创造有利条件，促进社会、经济、环境和空间系统面向气候适应目标实现全面转型。

三、实证研究：识别城乡气候适应的短板与优先事项

世界各国在遭受气候灾害后普遍开始采取气候适应行动。由于开始意识到气候变化及其对极端天气事件的不利影响，各国不同层级的政府机构对气候适应的态度更加积极主动，努力提高面对气温升高、极端天气事件频率和强度增加、海平面上升及其不利影响的韧性抵御能力。其中，人口稠密的大河流域和河口三角洲地区受气候变化和极端天气事件的冲击和影响十分明显，例如中国长江上游的成渝地区、长江下游的太湖流域、珠江口地区、欧洲西北部莱茵河-默兹河-舍尔特河三角洲等近年来都受到严重极端天气事件的挑战。本章针对上述 4 个地区，提供了在中国、西北欧和欧盟进行的案例研究的结果，包括面临的灾害问题、实施的气候适应实践，以及从提高气候韧性的 5 种能力和创造必要有利条件的角度评估当前气候适应领域存在的差距。

关于案例更加详细的介绍可参见附件 2.1 和 3.1，关于课题组在案例地区实地考察期间的调研情况和可参见附件 5 和附件 6。

（一）成渝地区案例研究

1.气候变化趋势

成渝地区属于湿润的亚热带季风气候和高原高山气候区，年均气温 4-20.9℃，年降水量 800-1200mm。近 50 年来，该地区气温整体呈波动上升趋势，年均上升速率约为 0.14℃/10a，降水则呈线性减少趋势，下降速率约为 17.5 mm/10a。地区极端天气事件增多，如高温和暴雨。旱涝急转的发生频率减少但强度增加，表现出气候变化的极端化特征。

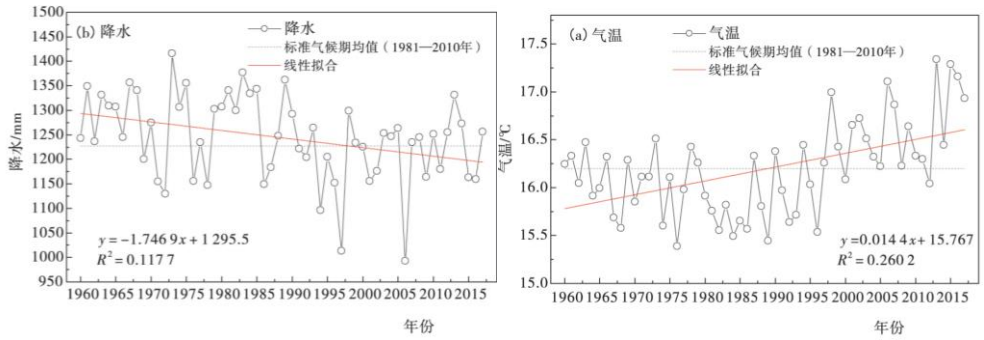

图 3-1 近 50 年成渝地区降水及气温变化趋势统计图

（数据来源：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.）

2.气候变化引发的主要灾害和问题

短期暴雨引发洪涝灾害。夏季暴雨是成渝地区最常见的极端天气，近年极端气象水文事件趋多增强，尤其是重庆遭受了多次大洪水和内涝侵袭的灾害，强度和频次较往年有明显增加。如 2020 年 7-8 月，长江上游发生大范围、长历时、高强度降雨，32 条江河超警戒水位、超保证水位，重庆遭受历史罕见特大洪水，致主城区及潼南等 15 个区县 26.32 万人受灾，直接经济损失 24.5 亿元。

高温干旱引发山火灾害。成渝地区森林资源丰富，植被覆盖率高，伴随近年高温、干旱等极端天气的不断出现，森林山火呈现多发频发态势。2022 年夏季，重庆市遭遇了长时间的极端高温和干旱天气， 35℃以上气温持续时间长达 37 天，先后发生森林火灾 32 起，北

碚、巴南等 12 个区县于 8 月 17 日-8 月 26 日集中爆发山火。单起山火扑灭时间长达 1-5 天，过火总面积达 22.62 平方千米（受害森林面积 3023.5 亩）。

高温干旱引发能源短缺。成渝地区能源结构以水电、煤电和天然气为主，其中四川省水电占比接近 80%，在枯水期产能下降明显，导致电力供应不足。同时，作为“西电东输”工程主要省份，四川省每年超过 30%的发电量外输其他省份，进一步导致本地电力供应紧张，尤其是在高温干旱等特定时期出现严重电力短缺。2022 年夏季，四川省遭遇了 41 天的极端高温干旱天气，最高气温达到 44℃。期间全社会最高用电负荷达 5988.8 万千瓦，同比增长 1.3%，创历史新高。同时，干旱期间全省降水量较多年平均偏少 43%，水电发电量由同期 9 亿千瓦时断崖式降至 4.4 亿千瓦时（日均降幅 2%），降幅超 50%，造成严重的供电缺口。

高温干旱引发农业减产。得益于近年来农业资金及科技力度的大幅投入，成渝地区粮食总产量由 2003 年的 4271 万吨提升至 2023 年的 4690 万吨，粮食产量受气候变化的影响程度在逐渐减弱，但极端气候，特别是因干旱导致农业灌溉用水紧缺、粮食减产的情况仍有发生。2022 年 6-10 月四川省干旱灾害造成 20 市（州）138 县（市、区）761.6 万人次受灾，农作物受灾面积 52.2 万公顷，直接经济损失 48 亿元，为近 10 年以来最重。

高温热浪威胁健康安全。极端高温、连续高温成为成渝地区的显著气候现象，使居民饮用水、电力需求不断升高，而干旱缺水、发电不足等进一步加剧高脆弱性人群用水困难，并引发中暑、脱水、心脑血管疾病、呼吸系统疾病、热射病等健康危害。2022 年夏季，重庆市高温热浪持续 41 天，市急救中心急诊部不到半个月接诊 11 例热射病患者，其中 1 人死亡。

3.已采取的气候适应重点措施

（1）推进防灾减灾工程建设

基本形成以三峡水库为核心的长江上游水库群，防洪库容总计约 387 亿立方米，有效发挥拦洪削峰错峰作用；持续推进河道堤防达标建设，提升洪涝灾害防御能力；组织挖掘防火隔离带，并优化基础设施布局和设计，提升基础设施运营管理水平等。

（2）强化气候监测预警

如新建地面气象监测站，建成由地面气象观测站、高空气象观测站等组成的地空天三位一体综合气象观测系统。强化风险调研判别，组织地质工程师和网格员执行汛期和雨情“三查”，细化强降水预警颗粒度，提升气候变化监测预警和风险管理能力。

（3）健全应急响应机制

包括市级统筹实行灾情日调度制度，制定《高温干旱天气粮油作物生产应对技术措施》等技术指南,充分利用水利设施增加应急灌溉能力，组织晚秋生产补歉，组织抗旱农技服务队深入农村、加强区域协调及人员物资调动能力等。如“8·20”特大洪水期间紧急避险 25.1 万人，紧急转移安置 13.27 万人。2022 年高温山火期间，及时启动应急响应，调派甘肃、四川、云南 3 个森林消防救援总队，共 1500 余人投入重庆山火救援一线。

（4）提升经济社会系统适应能力

开展适应气候的多元供能保障提升工程、电力协同保障工程等，新开辟应急水源，对地处偏远、缺水严重的地方及特殊困难群体开展分片应急送水，以增强经济社会系统对气候变化的适应能力。此外，印发《重庆市适应气候变化行动方案》、《四川省适应气候变化行动方案》，提出以气候适应推动地区经济社会绿色发展转型。

4.当前气候适应方面存在的差距

（1）预防能力

成渝地区应对多类气候灾害的能力存在不足。应对洪涝灾害方面，“水进人退、水退人进”的洪涝应对模式没有得到有效推广，重庆中心城区 50 年一遇防洪护岸工程达标率不足 50%。**应对森林火灾方面**，林分结构适应性不足，耐火型、耐旱型林树种比例不足，山火阻

隔系统建设有待提升。**应对干旱带来的农业减产方面**，成渝部分地区的农作物品种选择不适应气候变化，缺乏抗病虫、抗旱、抗涝等能力，同时，由于缺乏对“堰塘-冲田”系统系统性的保护和修复，塘田渠局部破坏导致旱涝调节能力下降。

（2）抵御能力

一是气候变化风险预测能力不强，风险精准识别评估与规划应对能力较弱。成渝地区区域气候预估模式不健全，气候预测预报模型粗略，制约风险预警能力。如 2020 年 8 月重庆罕见大洪水期间，由于预报信息及时性不足，导致物资来不及转移，加重受灾损失。气候灾害风险地图系统还未建立，缺乏针对灾害的实时识别与防控体系，灾前、灾中无法精准识别受灾空间范围及影响烈度，致使规划及应急预案存在滞后性。

二是公众防灾救灾意识和应对气候变化的宣传有待加强。如 2020 年 8 月重庆罕见大洪水时，部分受威胁商户因对洪水强度认识不足，存在侥幸心理拒绝转移，最终因灾造成损失。成渝地区农村地区的信息传播条件有限，农民群体难以获取到最新的气候变化信息和科学知识，如高温干旱期间部分农民认为灾害是自然现象，无法避免，缺乏应对的主动性和积极性。对高脆弱性人群的关注不足，2020-2022 年高温灾害期间，政府、卫生机构宣传多以面向用人单位为主，集中于高温津贴、高温假、农民工群体权益保护等内容，缺乏对老人、小孩等高脆弱性群体的关怀。

三是供电、供水、排水等城市生命线系统还在存在基本功能难以保障的问题。如森林防火通道狭窄、坡度陡，大型车辆及机械难以上山，山火期间救援物资运送不及时。成渝地区骨干供水管网范围较小，无法为广大农村地区补充水源，同时山地农村缺乏备用水源，且未形成“大中小微”并举的水资源配置网络，导致在高温热浪时山地农村出现饮水困难的现象。

（3）适应能力

一是重点设施适应能力存在不足，包括防洪工程、特高压直流工程、水利灌溉工程、城市降温设施、应急饮水工程等方面。例如，陇电、藏电、疆电入川等特高压直流工程体系尚未形成，沿江污水设施及管网抗压能力不足，农田水利工程与农业灌溉系统还不够完善等。

二是电力供应受气候影响显著。重庆自有能源资源开发潜力不大，可供开发利用的清洁能源非常有限，四川能源结构较单一，主要能源供应来自水利发电，发电量受气候影响显著。另外，成渝地区电力输送以外送为主，约占自身水力发电量的 30%，应急能源保障不足。

（4）变更能力

一是成渝地区存在部门协作不足、信息共享不畅问题。水资源、能源等方面跨区域联合调度机制还有待完善，在干旱与洪涝发生时，难以实现对洪水防控、农业灌溉等方面的总体调度协调；区域联动的森林山火救援机制、抗灾救援机制等有待完善。**二是公众对气候变化适应行动的认识和参与意识相对薄弱，绿色低碳的生产生活方式还未得到推广**。

（二）太湖流域案例研究

1.气候变化趋势

太湖流域近年来汛期降雨显著增加，极端天气频发。区域年降雨量整体上升，环太湖区域、浦东浦西区和杭嘉湖区西部降雨增幅较大。汛期均降雨量占年均降雨量的 59%，基本与年降雨量保持同频变动。近年来随着气候变化的加剧，流域整体面临海平面上升、强对流天气多发、暴雨强度加大等新形势。同时，流域增温趋势明显，1990 年以来，流域内气温波动幅度整体呈增长趋势，整体平均气温每十年上升 0.29℃。特别是上海高温热浪的影响不断加剧，2022 年创下多个高温纪录。

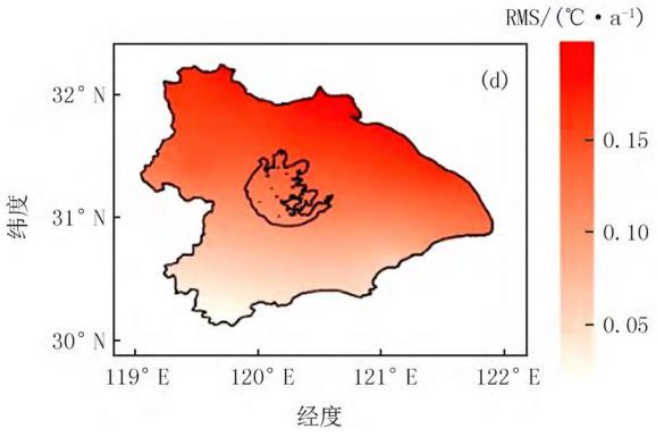

图 3-2 太湖流域 1990-2018 年各点平均气温波动变化空间分布图

2.气候变化引发的主要灾害和问题

（1）极端降雨发生频率和强度明显增强，多碰头事件转为洪涝防御重点

短历时强对流天气易造成城市局地性内涝。根据上海市 2004-2015 年数据统计，夏季当处于副高控制之下时，平均每 11 天就会有 1 天出现热对流降水。以 2023 年上海 7•21 大暴雨为例，中心城区、青浦区和闵行区北部持续降水 6 个小时，两小时内超 100mm 的雨量站点达 71 个。单站最大降水量为 170.0mm，最大 60 分钟降水量 121.5mm，超百年一遇小时雨强，导致市区多处发生积水，下立交积水最深处约 120cm，道路最大积水为 0.3-0.57m。

台风频发，“风、暴、潮、洪”四碰头致灾最为严重。历年来上海市的灾害以风、暴、潮“三碰头”为主，风、暴、潮、洪四碰头事件自 2010 年至今，累计发生过 2 次，为 2013 年“菲特”、2021 年“烟花”。以台风“烟花”为例，台风期间恰逢天文大潮汛，受黄浦江上游来水影响，米市渡站创历史新高达 4.79m（超历史最高水位达 20cm）。

（2）高温热浪—水文干旱带来的汛期反枯、咸潮入侵等复合灾害链影响逐步加大

持续性高温少雨天气易导致流域“汛期反枯”。2022 年 7-10 月长江流域降水整体较常年同期偏少 40%以上，局部地区偏少 80%，局部地区高温天气超过 40 天。在旱涝变化异常叠加全球气候变暖背景下，长历时的高温少雨天气及“汛期反枯”极端水文事件应当引起重视。

咸潮入侵影响上海长江原水安全稳定供应。长江口咸潮入侵时，上溯咸水会造成长江口水源地取水口含氯浓度超标，严重影响水源水质。监测数据显示，2022 年发生的长江口咸潮使得上海沿江 3 处水源地的连续不可取水天数均超过 27 天，极大制约全市水资源保障。

（3）上海等长江下游沿海城市受海平面上升威胁加大

持续高温加剧海平面上升威胁。持续增温进一步增加海平面上升速度，上海、杭州、宁波等沿海城市风险加剧。根据吴淞验潮站观测数据，1912-1960 年间上升速率为 0.92mm/a，1960 年至今明显加快，达到 2.03mm/a，预计至 2050 年，海平面将较 2020 年上升 160mm，黄浦江防汛墙现有 1000 年一遇防洪标准将降低至 150 年一遇，江海防线面临严峻考验。

3.已采取的气候适应重点措施

（1）以大圩区为单元，不断扩大城市防洪设防范围与防御标准

通过小圩变大圩、联圩并圩等方式，流域内重要城市防洪标准基本都达到 50 年一遇及以上标准。截止 2020 年，流域内共建成圩区 3195 座，总排涝动力达 20664m^3/s。单个大圩区由 10-20 平方公里扩张至如今的 50-150 平方公里，排涝模数达到 3$m^3/s/km^2$ 以上，是流域平均排涝水平的 2.1 倍。

（2）逐步拓展城市生态空间，高温适应能力有所增强

在全球碳中和趋势下，太湖流域通过扩大绿地面积、提高绿地覆盖率等方式，增加城市

的绿色空间。各市积极开展绿化空间拓展工程，既有效抑制城市的无序蔓延，也缓解城市热岛效应。2022 年，流域建成区绿化率达 41.03%，较 2010 年增长 12.0%，超过全国平均水平（39.29%）。

4.当前气候适应方面存在的差距

（1）预防能力

一是局部防洪排涝设施在应对巨灾时存在短板。目前，上海市防汛工程体系基本完善，但仍然存在 236.4 公里主海塘（占全市 47.4%）尚未达到 200 年一遇设防标准、黄浦江约 90 公里防汛墙安全超高不足、外围水闸及泵站规划实施率仅达到 72%及 43%、中心城雨水管渠仅 19.43%达到 3-5 年一遇标准等问题。2021 年“烟花”台风期间，黄浦江中上游局部段防汛墙出现越浪和漫溢，浦南东片部分区域内涝严重，暴露区域防洪除涝能力还存在一定短板。

二是自然调蓄空间减少，扩张性建设加剧内涝风险。根据土地利用变化分析，2000-2010 年、2010-2020 年两阶段建设用地面积分别增长了 56.0%、40.3%，而承担重要调蓄功能的二、三级河道分别锐减 19.9%、38.3%，导致汇流速度加快，流域调蓄能力总体降低；此外，受联圩并圩和新建圩区影响，圩外河网洪水调蓄能力不足流域 100 年一遇洪水总量（163 亿 m^3）的 20%，圩区运行调度难以充分发挥圩内调蓄效用，仍以满足城镇自身排水需求为先。

（2）抵御能力

一是突发气象灾害预警、极端灾害预测水平有待提升。2020 年上海市突发强天气有效预警时间提前至 42 分钟，仅高于全国平均水平 2 分钟，对灾害性天气预警时间和准确率有待进一步提升。以 2021 年 7 月 21 日为例，上海中心气象台于 15 时 51 分发布暴雨蓝色预警信号，预测 6 小时内本市大部地区将出现 1 小时 35mm 以上的短时强降水，16 时 02 分发布暴雨黄色预警，实际 16 时-18 时超 100mm 的雨量站点达 71 个，部分区域已超过暴雨红色预警信号。在突发事件关联性、耦合性不断增强的情况下，各类突发事件风险的交织叠加增加了应急处置的复杂性，当前上海市尽管对**单灾种风险预测体系较为完善**，但对“四碰头”事件等**极端灾害、关联性灾害模拟预测相对不足。**

二是虽然应急预案体系框架基本建立，但衔接度和精准度不高，综合指导作用未能充分发挥。以上海市为例，现行的综合性保障预案难以适应极端灾害事故灾害场景下的城市运行状态；如气象灾害、海洋灾害、旅游突发事件等多个专项预案多为 2015 年以前编制，尚未根据新兴安全问题、防灾减灾技术进步等因素做出及时调整，对灾害应对的综合指导作用有待加强。

三是韧性防灾相关规划对高风险地区、基层治理单元等特定空间对象指引不足。现行综合防灾规划只考虑了市-区-街道（乡镇）三级防灾分区，对社区层面应急能源冗余设计、应急物资配送通道、社区空间平急转换等安全防控体系缺少详细指引。此外，对于高风险性和高脆弱性地区，对中老年人及弱势群体在灾害应对中的空间需求考虑较少。

四是社区等基层安全防灾设施配套不足，公众防灾意识不强。目前城市在 15 分钟生活圈建设中，对气候适应与安全韧性需求考虑较少，防灾减灾设施配套不足，街道、社区等治理基层单元灾害应对的综合性、专业性人才队伍建设相对薄弱，社区应急预案实际操作难度大、预案演练经验匮乏。应急宣传教育组织呈现“碎片化”状态，居民对面临风险缺乏充分认知，对提升个体、家庭及社区应灾能力还不够重视。

（3）适应能力

一是流域上下游城市间防洪标准缺乏协同，城市间雨洪管理统筹难度大。目前，无锡、嘉兴等上游城市中心城区防洪标准达 300 年一遇，而下游上海地区中心城市防洪标准为 200 年一遇，上海黄浦江上游郊区段防洪标准为 100 年一遇，上下游城市间防洪标准缺乏协同。

二是水源地之间联动能力较弱，持续高温叠加海平面上升影响，供水安全性存在风险。受全球气温升高、海平面上升等因素影响，取水口遭遇咸潮风险增大；此外，受上游来水重

金属超标、船舶污染等影响，黄浦江上游水源地水质面临风险。然而，当前上海市长江、黄浦江水源地及其原水系统都相对独立，关联性弱，难以应对某个水源发生故障时及时调配水源的挑战。

（4）变更能力

一是对气候变化带来的各类新环境变化认识不足。近年来太湖流域地理环境发生了较大变化，但当前流域层面对极端自然灾害形成机理、潜在隐患认识还不够。例如受上游来沙减少、涨落潮动力变化等因素影响，上海青草沙水库存在堤防结构垮塌风险，严重威胁城市供水安全。

二是应急管理部门的统筹协调职能未充分发挥。目前流域内一些地方的应急协调机构，如应急委、减灾委等，执行办公室分别设置在不同部门，导致难以高效发挥专业指挥、物资调配、力量协调等统筹协调作用，需要进一步完善多部门统筹协同机制。

（三）珠江口地区案例研究

1.气候变化趋势

近年来，珠江口地区暴雨频率和强度增加，且呈现历时短、降雨强度高、局地性强的特点。暴雨中心向高度城镇化区域转移，极端降雨量每十年上升 44.3 毫米，极端降雨频次每十年上升 1.6 次。同时，海平面上升叠加风暴潮威胁珠江口近海脆弱区域。

2.气候变化引发的主要灾害和问题

（1）极端暴雨灾害

暴雨洪涝灾害致灾因子包括导致暴雨积水无法及时排出的一切人为因素，如城市防洪排涝系统不达标、下水道修建位置不合理、下水道入口管理维护不到位等。气候变暖增加了城市地区极端降雨的频率和强度，导致城市地区的灾害频率和受灾程度上升。暴雨洪涝灾害还具有连锁性与突变性，连锁性是指生命线系统在关键点或面上因洪涝而遭受损害，系统内或系统间形成连锁反应，出现灾害影响范围与灾情急剧扩展的现象；突变性是指随着工程设施建设标准的提高，标准内的洪涝可以得到有效抑制，一旦超出防御能力，灾害损失与影响急剧上升的现象。由于城镇高度依赖生命线系统，致使洪灾影响范围超出受淹范围，间接损失甚至超出直接损失。

以深圳市 2023 年“9.7”极端特大暴雨为例。受台风“海葵”残余环流、季风和弱冷空气共同影响，深圳市“9.7”极端特大暴雨强度超强、持续时间超长、强降雨范围超大。全市平均雨量 281.7 毫米，最大为罗湖 466.2 毫米，最大 2 小时、3 小时、6 小时、12 小时、24 小时、48 小时、72 小时雨量打破深圳市 1952 年有气象记录以来七项历史极值。全市 31 宗水库超汛限水位。引发大面积内涝、河道漫溢、地下空间被淹、山体滑坡等次生衍生灾害，全市受淹范围超 18 平方公里，紧急转移 22 万多人，220 个建筑地下室和 7 个地铁站进水。

（2）海平面上升

海平面上升的灾害效应与海岸带系统的地质构造、陆地地貌、海岸类型、海岸冲淤动态、水动力条件等条件有关，将加强潮汐和波浪等海洋动力作用，加剧河口海岸地区咸潮灾害发生，延长咸潮持续时间，同时加强沿海地区的海水拖顶效应，使城市自然排水能力下降，城市污水排放困难甚至倒灌，加大泄洪和排涝难度，加重洪涝灾害。

以珠江口海平面上升情况为例。根据香港天文总台数据，1954-2023 年维多利亚港的平均海平面上升速度为每十年 31 毫米。《中国海平面公报》显示，2022 年珠江口沿海海平面达到 1980 年以来最高，较常年（1993-2011 年）高 138 毫米，也高于中国沿海海平面平均水平（较常年高 94 毫米）。以深圳蛇口为例，假设 2100 年海平面升高 1 米，100 年一遇最高潮位重现期将减为小于 10 年一遇，50 年一遇和 100 年一遇最高潮位分别为 3 米和 3.3 米，

威胁沿岸工程设施安全。

（3）咸潮上溯和水资源危机

气候干旱年份淡水河流量不足，海水倒灌是珠三角河口地区形成咸潮的主要原因，海平面上升、滥采河沙导致江河下游河床坡度减小、生产和生活用水急剧增加导致江河水流量减少，是进一步扩大咸潮上溯范围的客观因素。当咸潮上溯范围扩大至水厂取水口，会影响水资源正常供应，使自来水变得咸苦，含盐量、含氯量上升，危害人体健康，还可影响工业企业正常生产。目前珠三角城市供水水源以河道取水为主，提水量占比超过 50%，本地水库调蓄能力和应急备用水源不足，外调水量更是严重不足，占比低于 10%，因此在枯水季节，河道径流量减少，河道取水口极易受咸潮影响。另一方面，由于人口和经济活动高度集聚，珠江三角洲城市水资源需求总量大，对水资源供给带来巨大的压力，珠三角东部以 43%的水资源支撑 68%的常住人口和 74%的经济总量。供水危机将导致居民用水短缺、工业用水短缺、农业用水短缺和生态市政用水短缺等一系列次生灾害。

自 2021 年底开始，珠江流域降雨持续偏少，珠江流域遭遇 60 年来最严重干旱。主要江河来水偏少 30%-70%，其中东江、韩江来水偏少 70%。2022 年 2 月 15 日前后正值天文大潮，潮位偏高、潮差较大，叠加 6 级至 7 级东北风的不利气象条件，珠江三角洲河口地区咸潮上溯、海水倒灌现象多次发生。根据南海区海洋灾害公报，珠江口咸潮上溯距离最远超过 60 公里。受此影响，广东省珠海、中山、东莞、广州等地部分地区供水安全面临挑战。

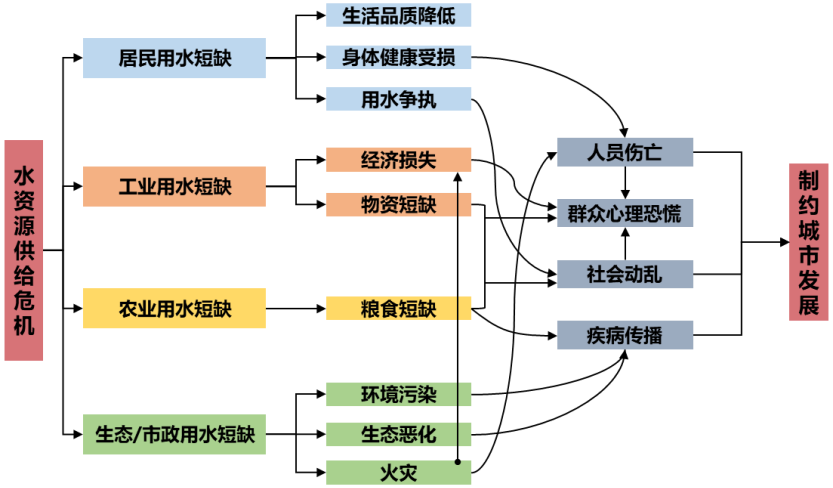

图 3-3 水资源供给危机灾害链传播示意

3.已采取的气候适应重点措施

（1）珠江流域部门联动应对咸潮上溯灾害

2022 年珠三角咸潮上溯灾害期间，水利部坚持以流域为单元，调度西江、东江流域水库群为下游补水压咸，并部署珠江水利委员会与福建、广西和广东水利厅协作，实施西北江、东江和韩江水量调度，向下游集中补水、压咸，使有限的水源发挥了最大的抗旱效益。

（2）粤港澳深度合作展开气候应对与海上应急救援

2019 年广东省政府与香港成立建设“粤港环保及应对气候变化合作小组”，致力于改善珠江口地区的区域空气质量、保护水环境、林业护理、海洋资源护理和应对气候变化等工作。2024 年广东省政府与香港、澳门签署《粤港澳应急管理合作暨大湾区应急救援行动合作框架协议》，加强粤港澳三地在应急管理救援的合作和交流。

（3）港深联合社会力量共同应对气候变化——以红树林保护修复为例

学习国际经验、加强与香港合作，深圳等城市开始积极引入 NGO 组织也开始加入保护和管理红树林的行列。如在深圳发展起来的红树林基金会（MCF）是中国第一个由民间发起

的环保基金会，也是中国大陆唯一一个运营和维护红树林自然保护区和红树林公园的非营利性社会组织。2020 年，深圳市政府与 MCF 签订了《深圳湾滨海湿地保护和发展合作框架协议》，旨在创建滨海湿地保护的深圳模式，成为全球湿地保护的样板。

4.当前气候适应方面存在的差距

（1）预防能力

一是城市空间格局韧性不足。城市空间形态无法适应极端暴雨，部分排洪河道局部过流能力不足，雍高上游水位，造成排水不畅；部分城市建设位于低洼地区，易形成区域性洪涝灾害。

二是地下空间等城市脆弱节点防灾能力不强。如深圳市地铁系统为百年一遇防洪标准，但与之相连的地下人行通道、停车场、商场等防洪标准低于地铁，成为防内涝短板。深圳、广州等珠三角城市拥有多业态的地下交通超级综合体，如岗厦北、春风隧道等，深度大、范围广、业态复杂，风险隐患多，逃生救灾难度大。

（2）抵御能力

一是气象灾害监测预警能力存在短板。气象灾害监测和预警能力总体领先，已建立空间和时间分辨率较高的立体观测网，应用于城市防灾减灾工作中，但交通设施等专项预警能力存在短板。大量基础设施在高运行强度下安全隐患逐步增加，防控压力逐年增大，遇强降雨等极端天气易发生坍塌事故。目前设施隐患检测以人工巡查为主，传统检测方式时效性和全面性不足，先进检测手段应用范围有限。

二是城市生命线工程等重大基础设施防灾韧性有待提升。在 2023 年 9 月 7 日暴雨事件中，深圳多个小区由于二次供水设施、供电设施被淹导致断水、断电，应急排水设施短缺导致灾后积水无法迅速排除，供水供电设施无法及时修复，居民生活和企业生产活动难以迅速恢复正常，造成经济损失。

三是社区及居民防灾意识有待增强。2023 年 9 月 7 日暴雨事件中，多个小区积水严重，地下车库受淹，因未提前组织开展车库车辆转移，大量车辆被淹没，居民财产遭受损失。虽然气象、应急等部门提前以短信、电视、微信等方式发布应急预警公告，但仍出现居民在红色预警期间未及时避险，企业未按规定停工造成受伤的情况。

（3）恢复能力

部分城市的地下空间内部配置的抽排设施数量和抽排能力不足，抽水泵等防汛设备储备和跨部门调派机制不完善，导致地下停车场等设施被淹后不能及时恢复。

（4）适应能力

一是海平面升高加剧了年度风暴潮和滨海城市洪涝的致灾程度，导致城市实际的防洪潮和防风暴潮灾害能力下降。核电站等重大基础设施的防潮水位达不到设计水位要求，在海平面上升的长期影响下，对未来可能发生的超常规灾害认识不足。

二是对咸潮入侵和海岸侵蚀的适应能力不足，沿海生态系统易受到破坏。

（5）变革能力

防灾工作系统性和跨部门协同仍有待进一步完善。区域和流域的防洪统筹协调仍有待完善，珠三角跨区域河道上下游、左右岸治理标准存在差距，当出现流域型洪水时，洪涝灾害易在流域上下游传导。珠三角地区水资源区域协同机制有待完善，在由于咸潮上溯导致城市供水不足时，流域水资源调配机制存在不足。

（四）莱茵河-默兹河-斯海尔德河三角洲案例研究

莱茵河-默兹河-斯海尔德河三角洲涉及三个国家、众多地区、省份、水务局以及数百个城市和市政当局。每个管辖区都有自己的政府、立法、法规、惯例和文化，并受到欧洲立法

和惯例的制约。尽管存在各种差异，适应气候仍是它们的优先事项。该地区地势平坦、低洼，但人口稠密、高度城市化、工业化和农业密集。这使得他们的脆弱性或损害敏感性非常高，以至于气候灾害在经济和社会上都是不可接受的。过去几十年极端天气事件和险些酿成的灾难不断增多，极端天气暴露和海平面上升的情况将严重加剧，适应气候变化迫在眉睫。

欧盟、各国、各地区、市政当局和水利部门都制定了促进适应的法律法规，积累关于适应措施及其有效性、实施和维护需求方面的知识、经验和技能。它们都在规划和实施大大小小的适应项目，并且都为此提供了预算，重点主要在河流、冲积层和沿海防洪上，而较少关注干旱和高温以及与之相关的水质、盐碱化、通航能力、土地沉降和野火等问题。

欧洲的目标是使气候适应以地方为基础，具有系统性和包容性，重点是：1）支持地区和地方政府在当地努力加强物质和社会适应能力；2）投资加强大型河流系统、湖泊和海岸防御的适应能力。集中加强预防能力（提高灾害发生的阈值），旨在避免极端事件损害的投资；而对于创建气候韧性所需的低于能力、恢复能力、适应能力和变革能力的关注似乎较少。

1.预防能力

滞留能力或海绵能力被认为是在极端降雨、干旱和热浪时期避免损失的关键；一方面可以避免峰值排水和洪水，另一方面可以使水资源满足基本用水需求。已经投入了大量资金，在莱茵河支流、马斯河、斯海尔德河及其支流沿岸建立更多的滞洪能力，以抵御洪水。用于抗旱的滞留通常与地下水资源管理和地表水盐度控制有关，是国家气候适应政策和投资的另一个目标，如佛兰德蓝色协议和荷兰三角洲淡水计划。干旱/滞留措施的空间整合需要对土地提出大量要求，因此具有挑战性。

2.抵御能力

规划和设计目标应包括最大限度地减少极端事件造成的损害，这些极端事件超出了供水系统的阈值或设计能力，如 2021 年的“水炸弹”和 2018 年的干旱。像荷兰所做的那样，利用此类极端事件对城市地区和区域进行气候压力测试，是实现风险对话和适应的重要第一步。正如在德国埃森埃施韦勒及其周边地区所看到的那样，由于现有的城市结构、既得经济利益和对空间的争夺，将重要的关键基础设施、脆弱人群和功能重新分配到该地区最安全的地方在实践中证明是非常困难的。智能建筑和基础设施有助于降低极端天气对城市和农村地区造成破坏的风险。德国和荷兰正在考虑制定新的建筑法规，但尚未全部实施。有效的早期预警和应急规划对于减少损失同样重要，2021 年 7 月德国鲁尔河和阿尔-埃尔夫特河流域的洪灾就令人痛心地证明了这一点。

3.恢复能力

在整个三角洲地区，灾后恢复的准备工作都很有限。在某些情况下，如在佛兰德斯，恢复的资金部分由私人保险承担；通常情况下，国家政府必须承担损失。而且，正如在德国和比利时所看到的那样，“重建得更好”并不总是被允许的。法规规定，你必须只重建失去的东西。可以加强对遭受创伤的受害者的恢复组织和社会心理帮助。德国的研究表明，与受过高等教育、富裕和健康的社会群体相比，社会弱势群体更容易受到极端天气的影响。在灾后恢复中应考虑到这种不平等现象。

4.适应能力

刚性、灰色的适应措施是稳健的，使用寿命长。但是，考虑到新的条件和/或新出现的社会需求，过长的使用寿命可能会适得其反。荷兰的研究表明，当当地条件在未来发生变化时，大多数以自然为基础的蓝绿色解决方案能够更好地适应和/或形成新的平衡。为了最大限度地减少极端事件造成的破坏（即应对能力），同时最大限度地发挥蓝绿基础设施提供的效益和生态系统服务，欧洲各地目前正在开发绿色和灰色基础设施的创新型智能组合。荷兰海牙

的智能绿色屋顶和城市水缓冲区就是很好的例子。

5.变革能力

正如荷兰三角洲计划、佛兰德斯的蓝色交易和西格玛项目、北莱茵-威斯特法伦州和莱茵兰-法尔茨州的洪灾恢复活动以及欧盟气候适应特派团所证明的那样，气候适应是一个持续的合作学习过程，需要研究新的解决方案、途径和方法。事实证明，“基于研究的设计”是应对这一复杂挑战的宝贵方法，可以创造出长期灵活的创新解决方案。荷兰以适应为目标的 “设计研究”以 “2023 年领土展望”和 “三角洲方案”等情景研究为基础，这些研究显示了潜在决策可能带来的未来空间发展。这种方法允许专家与当地利益相关者合作共同制定计划。荷兰的地方城市适应项目表明，共同制定计划有助于提高公众对问题的认识，并加深对干预措施特点的理解。

新的规划和设计原则正在（将要）出台，例如荷兰国家政策简介“水与地下水领域”，其中包括气候问题绝不能被转移的原则，既不能在空间上转移到相邻地区，也不能在时间上转移到下一代人身上，更不能从私人土地转移到公共空间中。目前，公众认为适应气候变化是政府的责任。人们和企业意识到了气候变化，但没有意识到需要为更频繁、更严重的极端天气事件做好准备，仍缺乏对现有行动前景的了解和宣传。为适应措施提供持续的资金至关重要。与比利时佛兰德斯地区“西格玛”计划项目的不定期资助相比，荷兰三角洲基金提供了持续的资金支持。为适应措施保留的长期预算也为促进政府与社会资本合作、知识研究和创新提供了连续性。

（五）小结

从四个地区的案例来看，普遍存在的气候变化对城市的挑战包括：1）极端天气（特别是极端降水）的频率和强度总体呈上升，加剧了城镇空间的洪涝灾害风险；2）海平面上升带来的各类灾害风险加剧，叠加沿海城市总体向海发展的明显态势，放大了气候变化带来的风险；3）高温热浪不仅引发了山火灾害和能源短缺的危机，同时叠加城市高密度开发的热岛效应，加剧了对市民健康乃至生命的危害；4）极端干旱不仅对城市生活、工业用水保障带来负面影响，也会对内河航运、水生态质量产生威胁。

尽管各地区在地理条件、气候、人口、福利、政治和行政制度等方面存在很大差异，但这四个地区在应对气候危机的能力方面都暴露出非常相似的不足，包括：1）城市空间格局适应气候变化的韧性不足，以蓝色和绿色自然为基础的解决能力不够；城市生命线工程等重大基础设施仍存在短板；2）社会对气候变化带来的各类新环境变化认识不足，应对气候变化的法规、规程和标准仍有待提升；3）城市防灾工作的跨部门协同不足，应急管理部门的统筹协调职能未充分发挥，对突发气象灾害预警、极端灾害预测水平有待提升； 4）社区居民的风险意识、气候风险评估能力和降低风险的干预措施不足；5）区域合作的机制仍有待完善，城市间的气候危机应对预案仍有待衔接；6）除超特大城市外，中小城市、小城镇和乡村因财政资金匮乏、基础设施建设较为落后等因气候变化面临的风险也在加剧。

为了应对这些挑战，必须进一步了解当地特有的气候脆弱性，并确定气候适应措施是否能满足本地城乡发展和居民生活改善的需求。城乡应对气候变化的 5 种关键能力建设行动不应该千篇一律、没有区别，迫切需要制定**因地制宜但又协调一致的气候适应战略**。

四、案例借鉴：从灾害中吸取经验教训

本章对全球各类案例进行了反思——大多数学习案例都是由严重出错的事情引发的，并且与气候变化有关。这些案例的反思基于报告提出的气候评估的认识框架，包括气候适应的五种关键能力和十种有利条件。为了便于介绍，案例和相关分析结论按照三个典型阶段进行了分类。一是防灾预警类阶段；二是救灾阶段，涉及灾后援助、复合风险、脆弱性等概念；三是重建阶段，涉及适应、复原力、创新等概念。

气候相关灾难及其后续影响为我们提供了宝贵的经验，有助于更好地防范、应对气候灾害并实现灾后恢复。这些经验对于建设具有气候韧性的环境至关重要。本章反思了全球范围内的一系列案例——这些案例大部分对应严重的气候灾害事件和深刻的教训。在众多的案例中，本章精选了几个具有明确启示意义的典型案例，并进行了概述。这些案例既具备全球视野，也为中国提供了更为详尽的信息。基于本报告的评估框架——涵盖五个关键能力和十个有利条件——本章将这些案例和发现按照灾难风险管理的三个主要阶段进行分类。一是防灾预警类阶段；二是救灾阶段，涉及灾后援助、复合风险、脆弱性等概念；三是重建阶段，涉及适应、复原力、创新等概念。

下图概述了了本章的逻辑思路，也说明了气候适应关键能力、必要的有利条件和减少气候灾害风险之间的关系。

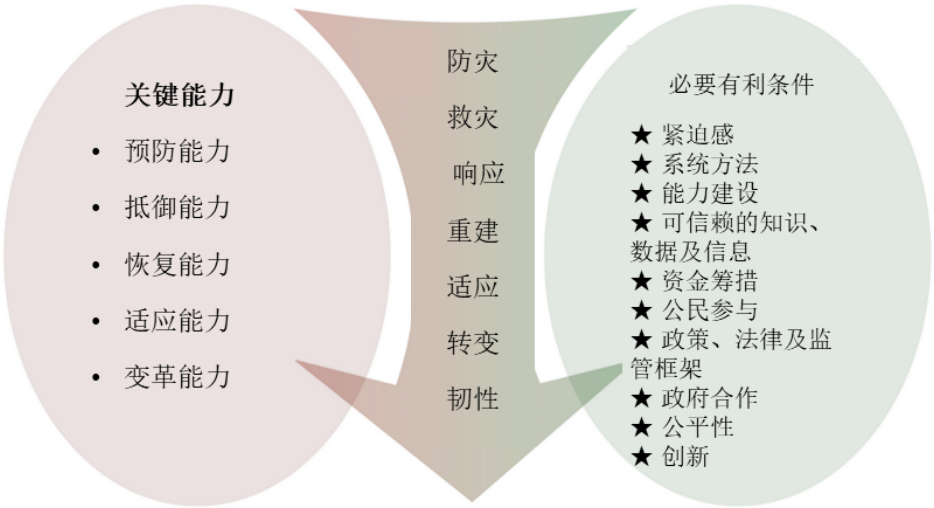

图 4-1 减少灾害风险的各个阶段和发展气候韧性能力的 5 种关键能力及其有利条件关系示意图

本章基于第三章的 4 个主要案例，以及其他 16 个案例（全部列于专栏 4.1）进行讨论与分析。本章重点概述了其中的 11 个案例。更多详细信息请参见报告附件。本章对每个案例暴露出的适应短板和启示进行深入分析，以便为未来的减灾与气候韧性建设提供参考。

专栏 4-1：本章分析的案例名录（部分主要案例在本章第二节进行展开分析）

主要案例（第 3 章）

案例 1：成渝地区案例

案例 2：太湖流域案例

案例 3：珠江口地区案例

案例 4：莱茵河-默兹河-斯梅尔德河三角洲案例

防灾预警类案例

案例 5：2021 年河南省郑州市“7·20”特大暴雨灾害
案例 6：全民预警倡议（联合国）
案例 7：孟加拉国预警系统
案例 8：新加坡——智慧水项目
救灾类案例
案例 9：2020 年 8 月 20 日重庆罕见特大洪水
案例 10：美国加州山火
案例 11：肯尼亚内罗毕反复遭受洪水侵袭
案例 12：2022 年德国亚琛地区的洪水灾后重建
重建类案例
案例 13：2023 年京津冀特大暴雨灾害
案例 14：纽约——飓风桑迪的应对
案例 15：佛兰德斯——洪水后的流域韧性规划
其他案例
案例 16：川渝地区高温干旱灾害
案例 17：莫桑比克
案例 18：秘鲁——应对洪水的韧性工作组
案例 19：水是气候行动的核心
案例 20：水作为杠杆——创新准备
更多洪水相关案例分析，参见：https://www.zurich.com/knowledge/topics/flood-resilience/zurichs-flood-resilience-program

（一）防灾预警类案例

事实证明，提高预警能力并建立相关系统，是有效保护社会免受自然灾害影响的关键措施。通过加强数字监测和风险监测系统，协同受灾社区完善急响应计划，并提升公众的风险意识，可以大幅减少人员伤亡。研究显示，早期预警覆盖面广的国家（涵盖政府预警和公众防灾一是）的灾害死亡率比覆盖面有限的国家低八倍（《The Global Status Report》，2022 年）。对于灾难性事件，只需提前 24 小时预警，就能将重大损失减少 30%（全球适应委员会）。全球范围内，由于缺乏适当的预警系统和防灾能力，气候的极端天气事件对非洲、南亚、南美和中美洲以及小岛国的风险是其他地区的 15 倍之多。

1. 案例 5：2021 年河南郑州“7.20”特大暴雨灾害

2021 年 7 月 17 日至 23 日，河南省遭遇历史罕见特大暴雨，发生严重洪涝灾害，特别是 7 月 20 日郑州市遭受重大人员伤亡和财产损失。灾害发生后，郑州市及时组织处置重大险情，积极开展灾后救助，但仍暴露出不少问题。防汛准备不足是造成这些影响严重的重要原因。存在的问题包括以下几个方面。一是预警发布能力不足。二是应急响应滞后，预警与响应联动机制不健全，谁响应、如何响应不明确。相比之下，该地区最早启动应急响应的城市登封市比郑州市提前了 17 个小时，其死亡和失踪人数也是该地区 4 个城市中最少的。三是媒体宣传警示不到位，郑州当地媒体没有很好地提醒公众。四是公众的安全意识和避险意识不强。伤亡模式就说明了这一点：因灾死亡失踪人员遇难前多数仍正常活动未采取避险措施，甚至有部分是转移后擅自返回而遇难。

2. 案例 6 与案例 7：全民预警倡议与孟加拉国的预警系统

2022 年 3 月，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯发起了全球“全民预警”倡议，旨在

通过 5 年内建立广泛的灾害预警系统，尽量让所有人能够普遍免受极端天气、洪灾的侵害。随着气候变化带来的灾害的破坏力加剧，全球范围内对预警系统的需求持续攀升，社会经济和环境系统的脆弱性进一步显现。截至目前，包括孟加拉国、马尔代夫和苏丹的 30 多个国家已加入了“全民预警”倡议，致力于实施灾害预警、防范、监测以及应急响应计划。尽管中国已经建立了全面的气象观测系统以评估气候变化带来的影响和风险，但由于预警与预防机制不健全，在面对重大自然灾害时，仍可能遭受重大损失。

世界气象组织（WMO）、联合国防灾减灾署（UNDRR）、国际电信联盟（ITU）和红十字会与红新月会国际联合会（IFRC）与合作伙伴共同开发了以人为本的多种灾害预警系统（MHEWS）。该系统整合了灾害预测信息，帮助机构和社区做好防灾、救灾工作。MHEWS 系统的构建基于四个核心要素：一是灾害风险知识；二是对灾害的探测、观测、监测、分析和预测；三是预警信息的发布和传播；四是备灾和应对能力。

孟加拉国曾长期饱受灾害困扰，但通过飓风防范计划（CPP）的成功实施，已成为一个在灾害前能够迅速做好准备的典范。在该计划框架下，孟加拉国拥有超过 7.6 万名志愿者，其中半数为女性占半，深入最偏远的社区传递最准确的预测数据，引导民众前往多功能避难所。这种前所未有的大规模社区动员依托于国家政策和立法的支持，确保了计划的一致性、连续性和坚定承诺。

3. 案例 8：新加坡——智慧水项目（Water Wise）

新加坡自独立以来就面临着淡水供应问题，因此采取了一系列创新且大胆的水资源弹性策略。这些策略为新加坡的淡水安全与韧性战略的结合奠定了坚实基础。新加坡的“四个国家水龙头”指的是其四大供水来源：1) 当地集水区的水；2) 进口水；3) 高品质再生水（NEWater）；4) 海水淡化。新加坡实施了三管齐下的水管理策略，以满足日益增长的用水需求：一是收集每一滴水，二是不断地重复用水，三是淡化更多的海水。

（二）救灾类案例——援助、复合风险、脆弱性

救灾是减少灾害风险的关键组成部分。这包括在灾前、灾中或灾后直接采取各项行动，以挽救生命、减少对健康的影响、确保公共安全，并满足受灾民众的基本需求（联合国防灾减灾署）。这些措施包括建立快速响应的应急管理体系，进行现场评估，开展搜救工作，提供医疗救治，并确保安全疏散。灾后，还需要应对一系列后勤保障挑战，如为受灾民众提供临时住所、食物、饮用水、卫生设施、医疗和心理支持，同时修复包括通信在内的重要基础设施。援助必须及时送达受灾最严重的地区。尤其是对贫困者、老年人、儿童、残疾人和伤员等脆弱群体的个性化救援响应更为至关重要。及时的救援行动还能够有效遏制次生灾害的发生，例如洪水后可能引发的疾病传播等。

相比之下，本报告中的第 11 个案例——内罗毕的洪灾案例情况则完全不同，其中没有任何积极行动或可供学习的经验。实际上，这是一个消极的洪水案例，对洪水风险较高的河流沿岸的非正式住区造成了严重影响。这些极度脆弱的社区不但未得到援助，当地民众还在灾后被驱逐，且没有得到任何补偿。

有效的救援需要政府迅速响应，同时为社区和个人提供能力建设支持，使他们能在灾后采取应对行动。这通常要求不同层级的机构间协调。例如，在重庆案例（案例 9）中，地方、国家政府通力协作。应急救援、警察和消防部门在灾后搜救、保护人员和财产等方面发挥至关重要的作用。同时，民间社会和公众也扮演着重要角色，提供可靠信息、资源、相互援助，并与地方政府合作，确保救援工作的顺利进行。

救灾工作通常会持续很长时间，远超过灾后的初期救灾阶段，并有助于提升社区的长期韧性，比如美国加利福尼亚州案例（案例 10）所示。

1. 案例 9：2020 年 8 月重庆罕见特大洪水

2020 年 8 月 18 日至 20 日，受上游强降雨影响，重庆遭受洪涝灾害，导致重庆主城区等 15 个区县 26.32 万人受灾，直接经济损失 24.5 亿元。随后采取的救灾措施包括强化流域洪水联合调度，通过跨部门会商协调，启动多轮次水库群联合调度，拦蓄洪水超 60 亿立方米，将长江寸滩站约 100 年一遇特大洪水调度削减为约 20 年一遇大洪水，减少转移人口 29 万余人。此外，重庆市还将市、区、街道和社区各级的应急管理和疏散系统联系起来。除此以外，在适应洪水方面还更积极地采用了与水共存的方式。例如，磁器口古镇因地势低洼受嘉陵江洪水影响大，通过洪涝风险区划定、分层引导功能业态布局、强化历史洪水位线标识警示等方法，积极探索“水进人退、水退人进”应对模式，将洪涝灾害损失降到最低。

2. 案例 10：加州山火案例

2013 年 8 月 17 日，美国加州山火爆发，烧毁面积超过 1041 平方公里，成为加州历史上第三大山火，也是蔓延速度、火势强度、波及范围、烟雾影响最为严重的火灾之一。这场大火对当地经济造成了严重冲击，威胁到清洁水源的供应，扰乱了数千人的生活，并对空气质量造成了极大影响。在美国联邦计划（即“全国抗灾能力竞赛”，隶属于“重建设计”项目）的资金支持下，当地、加州和美国联邦政府携手合作，针对尚未满足的恢复需求，并致力于构建长期的抗灾韧性能力。

该项目采用系统性方法，着力解决森林恢复、经济振兴和社区建设问题。为此，建立了两个社区韧性中心，这些中心在灾难发生时可以作为疏散中心，而在平时则具备多重功能：例如作为取暖和避暑中心、停电时作为医疗设备的充电站、当地小型企业的商业厨房、社区团体和非营利组织的会议场地以及职业培训中心。由于其多功能性，这一模式正在全州范围内得到推广应用，为提升社区抗灾韧性提供了有效模板。

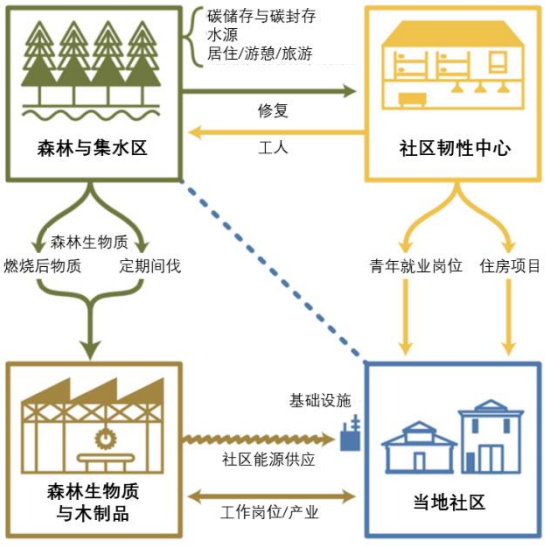

图 4-2 美国加州社区和流域韧性计划框架示意图（该图示展示了该计划综合考虑了森林恢复、经济恢复以及社区建设等多个方面）

3. 案例 11：肯尼亚内罗毕反复遭受洪水侵袭

2024 年春季，受 2023 年厄尔尼诺现象影响，肯尼亚遭遇强暴雨引发的山洪，导致至少 228 人死亡，72 人失踪，超过 21.2 万人流离失所。1961 年至 2018 年期间，肯尼亚共记录了 21 次重大洪水灾害，其中大部分发生在最近几年。在内罗毕地区，洪水灾害不断暴露出城市规划、排水系统及应急响应机制中的严重缺陷。这些事件造成的社会经济损失是巨大的。基贝拉、穆库鲁和玛萨瑞等贫民窟受灾尤为严重，这些地区基础设施匮乏，排水系统不完善，

居民极易受到暴雨的侵袭。

洪水对内罗毕造成的广泛破坏凸显了实施全面防洪管理和缓解策略的紧迫性。政府机构、非政府组织和社区团体需要共同努力，加强预警系统，改进基础设施和排水系统，推广可持续的土地利用方式，提高灾害准备和应对能力，增强风险沟通和公众意识，并促进跨部门合作。然而，在政策制定、执行以及利益相关方的协调方面仍存在明显不足。因此，迫切需要一个全面且基于实证的政策框架，以解决洪水产生的根源，应对极端天气事件，并整合融入可持续解决方案。

4. 案例 12： 2022 年德国亚琛地区的洪水灾后重建

2021 年 6 月，亚琛等德国西部地区发生的洪水造成了重大破坏和人员伤亡，这次洪水属于 400 年一遇的严重灾害。该地区地形以丘陵为主，河流密布。为了科学指导重建工作，德国成立了一个多机构联合项目负责对重建工作进行科学监测。项目组明确提出了对更智能工程解决方案的迫切需求，特别是需要重新审视区域内众多小型桥梁的建设设计方式。同时，项目组再次强调了山坡和狭窄山谷中合理利用土地的必要性，以及民众获取风险信息和在灾害预警信息的及时性。

尽管这类灾害被认为是百年一遇，但地方层面仍需积极做好充分准备和培训。由于保险政策限制，个人住宅和小企业的重建大多在原址进行，且要求恢复为原样，这实际上加剧了未来的风险。此外，项目组还监测到了洪水对人们心理健康的影响，以及社区社会网络在灾后重建中所发挥的作用。

（三）重建类案例——适应、复原力、创新

在全球范围内，在灾后进行总结反思似乎成为一种普遍现象。然而，如何更迅速地汲取教训并在全球范围内实现创新以加强防灾、救灾和重建能力，已成为当前一个亟待解决的重大挑战。投资于气候准备工作不仅能显著减少损失和降低风险，其投资回报率更可高达五到十倍，甚至更多。这类投资带来了多方面益处，如健康状况的改善、安全性的提升、生态环境的优化、性别差距的缩小以及青年能力的增强等，其综合效益更是不可估量。

面对灾害，防灾和灾后重建都至关重要。全球范围内灾害的影响凸显了脆弱性——建立在硬化不透水地面的城市人工系统显然难以适应未来的变化。近年来，全球城市扩张主要集中在洪水风险最高的区域。许多城市缺乏应对暴雨内涝的能力，也缺少足够的公园绿地或绿色屋顶来缓解热岛效应；同时，排水系统更是在极端天气下频频失效。这不仅威胁到城市气候韧性，还对边缘化社区和生物多样性产生了灾难性影响，进而威胁到粮食安全和经济发展。因此，必须加快学习步伐，明确该如何减轻灾害影响和适应气候变化，提前做好准备，并投资于可持续的未来，确保不让任何人掉队。然而，这些教训的代价往往是十分昂贵的。实践表明，是时候采取行动了，需要通过创新和韧性应对当前的社会、经济、文化和生态挑战。

1. 案例 13：2023 年京津冀特大暴雨洪涝灾害与灾后重建

2023 年京津冀特大暴雨洪涝灾害后，中国政府采取多项措施。首先是加强规划引导，由国家发改委牵头组织编制《以京津冀为重点的华北地区灾后恢复重建提升防灾减灾能力规划》。其次是开展灾后恢复重建，包括推进流域水利设施重建、加强重点地区气象监测网络建设、完善城市排水防涝设施等，提高区域防灾减灾能力。其他应对措施包括增加投资、发行更多国债和加快防灾项目建设，从而到 2024 年实现防洪设施达标的目标，并提高城市排水能力。

2. 案例 14：纽约——飓风桑迪的应对

2012 年，飓风桑迪猛烈袭击了美国东北部沿海地区，给当地带来了巨大灾难。为应对

此次灾害，奥巴马总统成立了飓风桑迪灾后重建特别工作组，旨在通过灾后重建工作推动区域向更具韧性的状态发展。为此，工作组启动了“设计重建”计划，该计划融合了政策制定、重建项目和设计竞赛等多类元素，汇聚各级政府、利益相关方和居民的力量，共同创新并制定出新的区域韧性标准。十支由建筑师、城市规划师、工程师、科学家和活动家组成的团队与社区和政府机构展开了合作。2014 年，联邦政府向各州和地方政府拨款 9.3 亿美元，用于实施六个获奖设计方案。“设计重建”计划的核心启示可以为全球脆弱地区的创新、全面和包容性发展提供指导。“设计重建”计划还通过全国灾害韧性竞赛在全国范围内得到了推广（参见案例 10）。

3. 案例 15：佛兰德斯——洪水后的流域韧性规划

2021 年 7 月，马斯河与德默尔河遭遇特大洪水侵袭后，佛兰德斯政府迅速组建了一个跨学科防洪专家小组。为了保护佛兰德斯地区，并明确所需达到的水安全标准，该小组提出了“韧性流域”战略规划，该战略包含十项协调一致的行动措施，这些措施几乎完全契合第二章中提出的、并在图 4.1 中展示的有利条件。这些行动措施涵盖了设定水安全目标、将水资源、土壤和气候安全作为空间规划的核心要素、实施四个跨部门区域计划，以及制定知识与创新计划等。专家小组的建议标志着佛兰德斯在水安全和水资源保障方面迈出了新的一步，通过重新优化的系统性方法推动本地区全面的韧性流域建设。

（四）经验教训总结

1. 宏观视角下的微观细节

灾害如同对城市的 X 光检查，气候相关灾害尤为如此。气候变化作为一个风险放大器，会加剧凸显城市中固有的问题。回顾历史可以清楚地发现，一个国家的城市发展和土地利用规划是人类不断适应环境、寻找安全居所的过程。在气候变化日益加剧的背景下，必须放远眼光，在规划空间适应性时，从更长的时间跨度、更广泛的空间区域以及更多层级的极端情景出发，制定出更加全面有效的应对策略。

首先，从更长远的历史角度来看，灾害始终伴随着城市发展。从灾害中学习，不仅仅是从一两场灾害中汲取教训，更要从历史中吸取智慧。因此，有必要回顾历史上的重大灾害事件，并借鉴其中的传统智慧。情景分析方法为此提供了有力支持，有助于评估城市在极端情况下可能遭遇的潜在问题，进而明确影响范围、识别各系统的脆弱性，并规划出可行的应对措施。这一过程必须与城市的防洪设计安全标准相结合，考虑洪水或历史洪水的重现频率。

其次，灾害的源头不仅限于城市内部，更可能来自外部，特别是流域地区。因此，进行气候适应性评估时，必须涵盖不同的空间尺度，特别是流域尺度，以评估城市风险及上下游、左右岸之间的相互影响。在追求安全的同时，高质量的空间发展还需要兼顾环境保护和生态系统恢复的需求，力求找到全面而均衡的解决方案。

2. 重要经验教训与指导原则

在更广阔的视角下，可以从实际发生的灾害案例中提炼出 7 个方面的重点经验和教训：

（1）本章聚焦于“灾害”，强调了灾后创造气候适应机遇的重要性——即打破常规做法和习惯，以及采用特殊方法来实现这些突破。这些常规措施往往阻碍了气候适应行动的实施、开展合作和进行非传统思考，而这些都是实现韧性能力转型提升所必需的。

（2）在重建以及重建后的治理运营过程中，必须坚定地面向未来，而非沉溺于过去。本章的案例展示了如何以更加美好、更具韧性的未来为导向，运用创新的方法和工具来探索未来并验证想法。

（3）在应对脆弱性方面，基于风险的基础设施和服务至关重要。如本报告所示，相关

工具正在逐步完善。因此，应将气候风险信息纳入空间规划、城市基础设施和运行服务的各个环节，同时加强地方适应能力，推广成功案例和对失败措施进行问责。

（4）在灾害事件发生后暂时停下脚步，进行深入反思和学习。然而，鉴于灾难带来的混乱与痛苦，以及人们对迅速响应和重建行动的期待，这通常是一个艰难的决定。但无论如何，从工程和其他角度深入理解问题的根源，对于更好地重建至关重要。

（5）从灾难中汲取教训，代价高昂且令人痛苦。相比之下，从其他地方发生的灾难中吸取教训，并进行共享建立集体智慧，显然是更好的选择。与同行网络建立联系、参与联合国倡议、分享创新方法经验（如“全民预警”和“水作为杠杆”），这些都是重要的机会。

（6）案例表明，创新技术都是应对气候变化及其引发风险的关键，贯穿从监测预警到实施决策的各个环节（如压力测试、气候监测网络、预警系统、洪旱风险评估、数字孪生技术等）中。创新技术的应用可以在方法论和战略层面为提升气候适应能力提供有力支撑。

（7）所有案例都强调了治理和流程的重要性，包括：有为的政府机构、政治意愿和领导力、信任与抱负。短视的政策议程严重阻碍了适应规划的进程。实现气候韧性需要将国家层面的战略和资源与地方的具体情况、机遇和需求相结合，跨越各种分歧实现广泛参与和社会公平，以及为创新和试验提供支持。

以上案例中记录的一连串极端天气事件、灾害和个人损失让人想起曾任美国总统奥巴马的一句话:“我们是感受到气候变化影响的第一代人，也是能够为此做些事情的最后一代人”。实际上，中国、美国等世界主要国家政府都十分关注气候适应问题。2024 年 1 月，中国国家主席习近平发表文章，提出要提升适应气候变化能力，守牢美丽中国建设安全底线。2024 年 7 月，美国现任总统和副总统再次强调将适应气候变化问题作为国家的长期挑战，提出运用科技创新来提高气候适应韧性。

五、公平和性别：关注弱势人群和地区

大量证据表明，气候变化背景下，在社会和经济上处于不利地位的地区和人群受到气候变化的不利影响更为严重，导致社会不公平问题进一步严重（“气候正义”议程）。因此在气候适应中要更加关注增强乡村和欠发达地区、女性等弱势群体的气候适应能力，提高社会与性别公平。

（一）气候变化中存在的社会与性别不公平

大量证据表明，在社会和经济上处于不利地位的人更大比例地遭受气候变化的影响。研究一再发现，经济资源和政策参与度是应对气候风险能力的关键驱动因素。抵御气候变化的生活方式的能力取决于社会经济变量，这些变量决定了人们是否有能力搬迁到更安全的地区，确保自己的资产，并获得便利设施、服务和社会保护。例如，贫民窟等非正规住区中存在的贫困、严重缺乏住房和基本生活服务（如水、卫生设施、电力）等问题，加剧了其中居民面对气候变化影响的脆弱性，并使他们进一步陷入贫困。全球有超过 11 亿人生活在贫民窟等非正规住区，预计到 2050 年还将有 20 亿人生活在这样的环境中（联合国，2023）。因此，提供低碳、气候适应性强的基础设施和服务是将对最脆弱人群的影响降至最低的关键要求。

1. 城乡和区域差距

在中国和全球许多国家，城乡差距、区域差距依然十分明显。乡村和欠发达地区由于基础设施的相对落后、经济资源的有限性以及公共服务的不足，往往缺乏足够的能力来应对极端天气事件和带来的突发灾害，如洪水、干旱和风暴等，以及气候变化带来的长期影响，如海平面上升和生态系统退化。与此形成鲜明对比的是，城市地区通常拥有更为完善的基础设施、更强的经济实力和更丰富的资源。这些优势使得城市能够更有效地投资于气候适应措施，例如建设高效的防洪系统、提升建筑物的能源效率、开发城市绿地和公园等，以减轻气候变化带来的负面影响。在亚洲和撒哈拉以南非洲的欠发达国家和低收入国家中，快速发展的城市地区面临着三重挑战：缺乏基本的基础设施和公共服务、人口不断增长以及极端高温和洪水等不断增加的气候灾害。此外，由于农村地区的干旱和其他气候影响，大量气候移民涌入城市寻找发展机会。大城市、小城市都还没有为快速迁入的人口做好气候适应方面的准备。

同时，乡村和欠发达地区面对气候变化的脆弱性还与其人口结构的不合理性密切相关。相较于城市地区，这些地区的老年人、儿童和妇女人口比例较高，而这些群体在面对气候灾害时往往更为脆弱，需要更多的保护和支持。此外，农田的退化现象，如土壤盐碱化，以及供水水源的不稳定性，也加剧了这些地区的脆弱性。这些问题不仅影响了当地居民的生计，也对粮食安全和生态平衡构成了威胁。

2. 性别差距

目前气候适应方面的性别差异研究还处于探索阶段（Roy 等，2022）。但来自世界各地的多方面数据表明，女性面对气候变化的脆弱性更明显，受到不成比例的多种不利影响，包括灾害伤亡、流离失所、性别暴力，以及生计和多种权利的侵犯。同时考虑到其他弱势人群也面临和女性类似的高脆弱性问题，因此本报告更加强调包括女性、老年人、儿童等在内的的广义的弱势群体面临的气候变化风险差距问题，在制定和实施气候适应政策时必须考虑这种差异。例如，根据联合国环境规划署的数据，因气候变化而流离失所的人中 80%为女性

(WEF)。面对气候变化风险，孕妇、贫困、边缘化和农村年轻妇女的健康受影响最大。在巴基斯坦洪灾期间，近 70 万孕妇得不到孕产妇医疗护理，她们自己和新生儿缺乏食物、安全或基本医疗护理，自然流产率急剧上升（水援助组织，2022 年）。

女性除了面临更大的灾害风险，同时还缺乏足够的迁移能力和资源用于应对灾害（UNDP，2007）。很多贫困妇女居住于偏远地区，在面临气候灾害时，很难获得足够的政府资金支持和服务（孙大江等，2016）。

（二）气候适应行动可能会进一步扩大社会不公平

多项研究表明，气候适应行动可能会加剧现有的不公平问题（Barnett, 2006）。气候适应行动往往被视为政府的责任，而不是社会公众利益，在决策和实施过程中多元利益主体的公共参与程度有限，导致落后地区或女性等弱势群体被忽视或被排除在气候适应措施之外。特别是乡村、小城市和欠发达地区，因为经济条件的限制、基础设施的短板和政府关注度的不足，难以获得必要的资源来应对气候变化带来的挑战。气候适应行动有时也会忽视最弱势群体的具体需求。包括在贫困情况下因照顾他人的责任而面临气候变化带来的更大负担的妇女(https://data.unwomen.org/features/why-climate-change-matters-women)，还有老人、儿童、非正规住区的居民，以及在建筑、环卫和快递运输等行业工作的低收入户外工作者。

总体来说，政府在制定和实施气候适应政策时的偏向性是加剧社会不公平的重要原因。不合理的气候适应行动的意外后果包括社会不平等、弱势地区和群体被忽视和不合理的土地利用规划（Anguelovski，2016；Sovacool，2015）。城市因其经济和政治的重要性，往往成为政策制定和资源配置的焦点，而乡村和欠发达地区则相对边缘化，难以获得同等的政策支持和资源投入。这种政策上的不均衡分配，不仅加剧了城乡发展的差距，也削弱了乡村地区应对气候变化的能力，使得这些地区在气候变化面前显得更加脆弱。此外，很多国家的小城市和城郊地区面临着最大的人口增长压力，而气候适应规划的制定能力和获得的资源支持却最低。因此，即使是同一国家的城市地区之间，以及欠发达国家和较发达国家的城市地区之间，气候适应差距也非常大。以上这些由社会经济发展水平差异所导致的适应政策不公平，对全球实现应对气候变化的均衡适应和长远可持续发展构成了严峻挑战。

（三）气候适应行动中的社会公平策略建议

社会平等是所有人的责任，气候变化适应政策必须将不加剧社会不公平作为基本目标。换句话说，在制定和实施气候适应干预措施时，应将“不造成伤害”作为一项原则（类似医学的伦理学原则“do no harm”，WHO，2024）。目前全球政策和学术界公认，在进行城市气候变化适应政策和规划时，一方面规划过程必须具有包容性，让每个人都参与进来（IISD）；另一方面干预措施应确保公平的政策结果，即需要确定适应政策决策的受益者和受损者，评估其如何影响各类弱势群体的脆弱性（GCA 和世界资源研究所, 2019）。

结合实地调研工作，研究团队探讨了城市和农村的各种气候适应案例，后者往往具有更大规模的区域影响。无论是比利时佛兰德斯的“西格玛”计划，还是荷兰泥炭地地区的农业创新实验，以及德国亚琛露天矿的生态恢复计划，都对农村环境以及附近的城镇产生了直接影响。这些案例表明，必须以综合的方式解决城乡问题。事实上，城乡之间的城郊地区对于建设城市和区域的气候韧性能力至关重要。可以从小规模的地方试点项目开始，尽可能多地听取本地居民和利益相关者的意见。同时，还需要对更大范围内的城乡相互联系建立总体的认识。因此，对空间和社会系统采取综合干预措施是必不可少的。例如，保护和恢复绿色和蓝色空间（公园、农田、森林、湖泊、河流和其他水体）可在城市和区域层面上抵御洪水和

高温风险，同时提高宜居性，改善公共卫生，并为市民创造经济机会。以气候风险评估结果为依据进行空间和土地利用规划，有助于防止在风险易发地区进行新的开发，使市民远离危险。

对气候适应具有共同的认识和共同学习是气候适应取得良好成效的关键(https://journals.open.tudelft.nl/abe/article/view/7152)。开放共享的信息提供，有助于让气候适应重要的利益相关者参与进来，实现可持续转型。 因此，关于提高气候适应包容性和公平性的一项建议是，在相关规划和实施过程中通过公众参与促进共同学习，以共同制定对未来的共同愿景，从而提高气候适应的支持度和有效性。

专栏 5-1 确保气候适应中社会公平的案例[1]

2022 年 7 月，加拿大 CANUE 的研究人员推出了 HealthyPlan.City 工具。该工具将城市环境的健康相关属性与加拿大人口普查的社会人口统计数据可视化，提供交互式地图，允许用户将城市环境的不同特征（如热岛和树冠覆盖）与加拿大社区中潜在弱势群体（即老年人、儿童、可见少数族裔、低收入个人或独居个人）的比例叠加在一起。该工具使政策制定者、规划者和倡导团体能够确定哪些社区将从增加的功能中受益最多（例如，新公园或更多的树木和植被）或应优先考虑干预措施的地方（例如，在极端高温事件期间定位冷却中心）。

中国实施的“光伏扶贫”项目，通过在贫困地区建设太阳能发电设施，不仅为当地居民提供了清洁能源，还通过发电收益帮助贫困家庭增加收入。此外，中国还通过“绿色金融”政策，为乡村和欠发达地区的气候适应项目提供资金支持，确保这些地区能够获得必要的资源，以应对气候变化带来的挑战，从而在全国范围内实现更加均衡和公平的气候适应能力提升。

（四）“共同富裕”可作为实现气候适应公平的政策工具

2021 年，中国“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要发布将“共同富裕 ”作为国家政策框架的基石，旨在加强社会公平和区域均衡，缩小城乡差距。它代表着一种发展战略的转变，即通过改善农村基础设施（公共服务、数字连接等）和缩小经济差距，从注重（城市）增长和财富积累转向更加均衡和包容的发展模式。这对可持续空间发展和气候适应具有直接影响。它还旨在减少碳排放（Zhao 等，2023 和恢复生态环境质量 (Ma 等，2023）。

目前，中国城市和农村在应对洪水风险和适应措施方面仍存在显著差异（Palmer，2023）。城市地区在人口密度和经济方面极易受到洪水的影响，虽然并不是每次都能抵御灾害影响，但通常具备更好的气候变化影响抵御能力。在每年的汛期，农村地区通常受灾最重（Give2asia.org，2024）。为抵御中国未来最主要的 3 种气候风险，即农业旱灾风险、城市内涝风险和沿海风暴潮风险，需要对提升城乡地区气候适应能力的基础设施进行大量投资（世界资源研究所，2021）。

城市的适应措施有时甚至会对农村地区造成巨大的空间影响，这是一种气候适应中的社会不公平。此外，社会往往可能忽视农村地区面临的风险问题会影响到每个人的食品安全保障（Den Hartog，2023B；Liu 等人，2023）。

因此，中国应将“共同富裕”的政策目标扩展到气候适应领域，围绕社会公平发展、增进人民福祉的要求，精心设计气候适应与投资规划，合理安排实施行动和分配资源，鼓励当地居民和社会组织参与气候适应行动，保障气候适应政策的公平性。

[1] 关于更多包容性的气候适应（以及气候减缓）规划和政策案例，可以参见世界资源研究所（WRI）为 C40 城市气候领导联盟提供的研究成果。

六、重要经验：空间、时间和治理维度

本章概括了在不同类型空间（如城市、农村、三角洲、山区及丘陵地带）和时间范围（长期、中期、短期）内加速气候适应的新认识。它着重指出了不同地区面临的脆弱性，如城市地区由于极端天气事件和基础设施短板面临的供水挑战，农村地区因旱灾导致的供水和供电问题，沿海城市群的海水入侵问题，以及山区和丘陵地区的山洪和滑坡风险。为了加强构建气候韧性所需的五种能力所需的基础条件，需要对政策制度和融资机制进行变革。本章还总结了各种适应措施和汲取的教训，为制定后续政策建议奠定基础。

在综合报告案例、参考文献，以及课题组在中国和欧洲的工作访问经历，本章提炼总结相关的重要经验。除了评估气候适应的五项核心能力外，本章在总结经验时还充分考虑了各地情况和条件的特殊性。这些特殊性涵盖了自然地理特征及其带来的特定风险、有利或不利条件，以及“治理机制”——即政府各层级和各部门之间的关系，以及政府当局与私人个体、社会组织之间的职责划分。总体经验包括：

- 需要抓紧行动。鉴于现有的气候适应差距、准备适应行动所需的准备时间以及令人担忧的气候预测结果，必须加速气候适应行动。“准备时间在延长，而预警时间却在缩短”。
- 需要转变零散和被动的适应方法，这些方法只能恢复现状，或充其量带来渐进式的变化——但目前气候适应需要实现变革性的改变。
- 需要因地制宜，构建集体智慧。各国政府，以及像欧盟和联合国这样的国际政府组织，必须发挥引领作用，特别是在设定目标水平、扩大和传播科学知识、推动创新设计，以及在各层级开展气候适应评估和推动合作等方面。
- 需要加强不同政府机构之间的协调。因为空间规划、发展规划、基础设施建设、雨水管理、防洪、绿地管理和社区治理等都承担着适应气候变化工作的部分责任，但往往在各个层面上都缺乏协同合作的协调机制。
- 面向多重目标（包括人类福祉、气候和生物多样性）设定适应目标。这可以促进达成一致的气候适应目，并有助于在实施过程中进行权衡取舍。在设计和实施适应措施时，应考虑到公平性问题，因为不同个体在应对气候变化风险和参与适应方面的能力存在差异。

总体而言，本章提出在不同层面上评估气候韧性的有前景且实用的工具、方法，可为气候适应措施的规划提供支持。同时，本章也指出了目前研究方面的不足，例如，在当前的国合会的研究计划中，对气候适应的经济和融资问题的重视程度仍有待加强。

（一）与空间尺度有关的新认识

1. 城市地区

气候适应工作往往聚焦于城市地区，因此在案例研究结合各地城市具体情况，分析了相关的脆弱性、适应差距和经验教训等内容。然而，一个长期存在的挑战依然存在：即如何超越既有在特定时间和地点、针对灾害事件的被动适应实现适应措施的转型。本章认为以下方面应还有改进空间：

- 采取着眼长远和获得广泛支持的任务导向型方法。
- 从其他地区汲取经验教训——借助如 C-40 城市气候领导联盟、大自然保护协会等同行学习网络，荷兰三角洲研究院（Deltares）等独立科研机构，以及联合国“全民预警”倡议等联合国计划。
- 结合对国家或区域层面的评估开展城市气候适应评估——推动地方城市实施适应评估举措，构建长期气候韧性能力。本报告在案例研究和实地工作访问发现了可推广

的实际案例。

具体经验是城市扩张加剧了与水相关的脆弱性：

- 极端天气事件（风暴、强降雨、洪水、高温和干旱）发生频率的增加对城市水管理构成了严峻挑战。
- 城市扩张将城市周边空间纳入城市边界，使更多人生活在城区内。然而，很多地区加速的城市化进程超过了供水等基础设施的建设速度。人口增长与基础设施适应能力之间的不匹配，极大地增加了城市供水系统的脆弱性。
- 在城市扩张过程中，为了建设而拆除了原有的供水和水利设施，这进一步增加了洪水风险和供水的脆弱性。
- 排水、供水基础设施的老化——以及因此产生的更新需求——是近期迅速增加的挑战。此外，这些基础设施并未针对未来的气候条件进行设计和建设。

为了减少气候变化带来的负面影响，城市扩张与更新必须考虑中长期气候变化的影响。特别是，面向长期的区域和国土空间规划，需要更加重视气候适应策略。可采取的措施或策略包括：

- 保护城市地下空间（如停车场、地下购物中心、火车站和隧道），并将其视为潜在资源，用于构建更加灵活且可持续的水管理系统。考虑到地下空间开发的易灾性、利用的局限性以及救援困难等问题，应加强其合理规划和安全控制。由于不同管理机构间的地下空间所有权可能错综复杂，因此对地下空间的规划需要更加谨慎细致。
- 通过“压力测试”来评估基于自然的解决方案在极端天气条件下失效的风险，并考虑将基于自然的“绿色”解决方案与“灰色”工程基础设施相结合，从而形成多层次的、“蓝绿—灰色结合”的防洪和雨水利用系统（详见第三章太湖流域案例）。
- 尽量减少极端天气事件对排水系统容量造成的破坏。为此，应采用能最大化居民和生态系统日常效益和服务的解决方案。

一个相关的案例是湖南省湘潭市开发的气候适应支持工具系统。它为用户提供了防洪工程、水资源管理和生态保护等多方面的适应措施建议。该系统能够辅助用户分析降雨、水位变化、土壤类型和土地利用等数据。它为湘潭市在城市空间规划中考虑气候适应问题提供了一个有效的工具，并且可以根据其他地区的需要进行调整和优化。

2. 农村地区

与全球其他国家相比，中国农村地区因其高人口密度、高度依赖农业、基础设施薄弱以及显著的城乡差距，而面临着更突出的气候变化挑战。这些挑战包括居民健康风险、农业减产，以及农村地区的水电供应中断问题。实施这些措施不仅能保护农村地区，还能有效缓解城市地区面临的洪水、水资源短缺和水质问题。

农村地区应对干旱和洪水的适应措施和经验教训包括：

- 需要通过改进既有基础设施和扩大雨水收集系统（如比利时佛兰德斯地区的成功实践）来提高水资源管理的效率。
- 需要增强公众对旱灾的关注度和参与度。西欧的许多从业者都强调，社会对话是适应气候变化的基础，因此，需要政治支持和信息工具来推动这一对话。
- 社会资本和社区文化在洪灾造成的精神和社会损失的恢复过程中发挥着至关重要的作用（例如德国鲁尔河和阿尔-埃尔夫特河流域“水炸弹”灾后重建案例）。
- 加大对农村地区的财政投入，以改善老旧基础设施、提升农业生产能力和水资源管理能力等，从而促进城乡之间的协调发展（详见第五章）。

3. 河口三角洲地区

相关研究关于河口三角洲地区目前已达成以下共识：一是当前战略过于侧重短期解决方案，这限制了设计可持续、长期解决方案的能力。因此，从被动和渐进的适应性规划转向有计划的适应性规划，积极主动地应对未来的挑战。二是对河口三角洲地区的综合理解和认识还存在显著差距，特别是对其动态和复杂行为的认识不足。采用基于系统的方法对于有效管理河口三角洲至关重要，可确保解决方案在不断变化的气候条件下既可持续又具有韧性。从案例中体现的具体问题包括：

- 沿海城市群海水入侵问题日益加剧，需要采取高成本的解决方案。如连接多条河流的入海口或将淡水注入地下，以确保未来的用水供应水平。尽管海水入侵问题由来已久，但情况正在恶化，成为沿海地区水资源管理者和海平面上升早期预警信号之一，同时也对农业适应性构成了威胁。
- 除了永久冻土地区外，土壤沉降通常与地下水（如抽取、软土地区的地下水位管理）密切相关，是洪水风险管理中的一个复杂因素。这种现象不仅出现在世界各地的许多大都市，也出现在如莱茵河—马斯河三角洲的泥炭地区。土地沉降、雨水或河流洪水风险以及海平面上升是相互叠加的，并且都与气候变化有关。特别是当许多河口三角洲地区特有的泥炭土发生氧化时，沉降会迅速发生并带来问题。因此，持久的解决方案必须考虑地下水状况，从而解决土地的利用问题，无论是用于城市、农业或其他经济目的，还是用于自然生态保护。

4. 山区与丘陵地带

山区与丘陵地带因其独特的地形特点，在极端暴雨情况下极易发生山洪和泥石流，这两类灾害具有突发性和难以预测性，常导致巨大损失。自 1949 年以来，中国山区已有超过 19 万人因山洪而丧生。最近的一个例子是四川康定发生的山洪泥石流灾害：2024 年 8 月 3 日凌晨，康定市三个村庄在短时间内遭遇了突如其来的极端降雨，进而引发了山洪灾害，导致 12 人死亡，15 人失踪。

人们发现，在狭窄的山谷中，桥梁和小涵洞在洪水期间会显著加剧破坏程度，因此应改变建设方式。尽管蓄水容量有限，但许多分散的蓄水设施仍然有助于降低洪水风险。在山区和丘陵地区修建水库时，必须考虑到溃坝的风险、气候变化的应对措施，并普遍提高人们对次生灾害风险的认识（例如第四章关于秘鲁的案例）。

5. 流域层面

综合流域管理将整个流域视为一个统一的整体，进而制定协同的管理和发展计划。这种管理方式会全面考虑不同层面的相互依存关系，包括流域层面（如上下游、左右岸、干流和支流）、城乡层面（如城市、农村和自然区域），以及不同区域政府（城市/直辖市、省或国家，取决于河流是否为跨境河流）。在规划阶段，为确保实现计划的目标和任务，必须确保在所有空间尺度上的干预措施都保持协调一致。河流沿岸和蓄滞洪区的土地利用规划在洪水、干旱和水质问题的管理中扮演着至关重要的角色。在运营阶段，流域管理的工程措施和非工程措施对于提高气候适应能力至关重要，即需要采取这些措施来最大限度地减少极端事件造成的损失。同时，监测、预警和实时控制方面的新工具和技术，如数字孪生技术、大数据和云计算等技术，也在迅速发展。

例如，中国通过加强各省市之间的合作，对长江流域进行综合治理，提高长江流域抵御暴雨、洪水和干旱等极端天气事件的能力。长江流域的水库调度在缓解水旱灾害方面发挥着至关重要的作用。2022 年大旱期间，上游 51 座水库为下游补水 83 亿立方米。2024 年 1、2 号洪水期间，流域水库群拦蓄水量 2335 亿立方米，缓解了下游的防洪压力。2023 年，湖北省发布了《湖北省流域综合治理和统筹发展规划纲要》，从省级层面强调了流域综合治理。

（二）与时间维度、投资和金融有关的新认识

1. 不同时间尺度的策略

有效适应气候变化需要针对不同时间尺度（长期为几十年、中期为数月至数年、短期为数小时至数月）持续实施有差异但方向一致的战略。规划战略适用于中长期，而应急行动策略则适用于短期。那些之前未考虑气候变化的重大基础设施和房地产开发项目需要进行调整，以提高它们对长期保护某一地区所需的预防能力、适应能力的贡献。虽然建议对在建的

基础设施和城市开发项目进行评估，但这一过程可能会带来一些挑战。需要在调整建设方案对应的时间、资金成本和提升气候适应能力目标之间作出权衡。

一是建议将防洪和水管理系统、城乡空间规划以及城市更新项目的规划期限设定为2050 年，并考虑至 2100 年的远景展望。这是因为海平面上升、降雨模式和水资源变化等长期的气候影响将在长期内对这些设施和项目的作用产生深远影响。同样地，社会系统也常常需要长期规划来实现变革。以教育系统为例，在欧洲的经验表明职业培训，特别是针对实际工作人员的培训，必须跟上气候适应技术快速发展的步伐。这一需求不仅存在于工程领域，也存在于法律和传媒等领域。

二是在中期时间尺度内（数月至数年），需要采用调整建筑标准、优化交通系统等措施来适应气候变化带来的挑战，并且要与技术进步、经济发展和社会需求的变化相协调。

三是在短期时间尺度内（数小时至数月），可以采取应急策略来提高适应能力，如建立紧急响应机制、优化水资源调配以及提升公众的环保意识。

如果要保持预防能力、应对能力和恢复能力的最新状态，需要每 5-10 年进行一次评估。应反复进行评估和压力测试，以发现人口稠密地区在气候韧性方面存在的新缺陷。

2. 投资与融资领域的认识

（1）采用气候适应收入流的新视角

气候适应投资的经济回报和融资机制与气候缓解存在显著差异，主要体现在收入流方面。气候适应可以避免巨大的损失和灾难，同时蓝绿和灰色结合的气候适应措施也能带来多重生态系统服务和社会效益。然而，这些措施往往不会产生直接的收入现金流，且成本效益平衡通常需要数年时间才能显现。

在项目层面，有时可以采用公私混合融资方式。目前存在利用这种方式获得适应性资金的商业模式案例，其会计核算区分了货币成本和收入，如旅游业增长带来的税收优惠，以及非货币性利益，如降低洪水风险。然而，这需要精心管理各方期望，清晰核算各类成本和收益，并在项目的公私合作伙伴之间达成明确的法律协议。

例如，中国长江三峡集团通过设立生态补偿基金，积极参与了长江流域的生态恢复与保护工作。自 2013 年起，三峡集团围绕“不造成净损失”的目标，在长江流域实施了一系列珍稀鱼类栖息地保护举措。这些努力有助于维护水生生物多样性，增强生态系统的稳定性和韧性，从而更好地适应气候变化。此外，三峡集团还利用绿色债券和绿色金融产品等多样化手段，为生态补偿项目提供稳定的资金支持，实现了生态效益与经济效益的双赢。同时，集团还加强与资本市场的合作，吸引更多社会资本参与绿色投资，共同推动气候变化应对和可持续发展目标的实现。

在全球范围内，人们越来越关注基础设施投资，旨在减轻气候相关灾害的经济影响，并促进经济稳健恢复。然而，目前仍过分偏重于灰色基础设施。这表明迫切需要证明对可持续蓝绿基础设施（BGI）投资的经济可行性，并营造有利环境以扩大这些举措。基础设施投资不应仅限于新项目的建设和维护，还应包括现有基础设施的升级和更新，以确保在面对未来挑战时具备韧性和可持续性。

气候变化可能会导致基础设施资产闲置。包括过时的基础设施，也包括适应能力不足的新基础设施。因此，适应新的、尚不完全了解的气候条件和其他需求，是明智投资的关键。

目前，国合会（CCICED）研究计划对气候适应融资问题的探讨并不充分。这是一个有待研究的重要问题，但也超出了本期课题研究的范围，有待后续深入研究。

（2）存量基础设施和建筑的改造

未来几年，建筑和基础设施的改造、城市更新项目，以及空间布局和土地利用的调整项目将大幅增加。在中国，对建筑和基础设施进行改造或更新的需求往往比西方国家更为迫切。中国建筑的设计使用年限往往为 30 年，而中国城市的大量建筑以及接近或达到这一楼龄。

深圳就是一个鲜明的例子，其大部分建筑都是在过去 30 到 40 年间建设的。对基础设施和建筑的更新改造促进了中国适应能力的提升，并解释了其相对较高的“绿色转型”速度。

在许多西方国家，建筑和重要基础设施大多建于二战后。如今，随着技术进步、气候变化、能源转型、人口变化和社会需求的不断发展，这些设施也亟需进行大规模维护和重新评估。这再次凸显了中国过去 70 年发展相对于其他国家，在时间维度上被压缩的特征。

考虑到基础设施更新改造的长期性和所涉及高额投资，明智地利用基础设施更新既是一个主要的机遇，也是一个巨大的挑战面临。中欧水资源交流平台提出的一个观念非常有用，它提醒我们需要在升级或改造现有基础设施，以及设计和安装新基础设施的同时，尽量降低成本，最大化社会效益。

（3）对当前的投资组合的影响

当前面临的主要挑战是在十年内实现气候适应能力的快速提高。通常，大规模的长期政策项目存在许多提高气候韧性的良好机会，而这些项目的启动往往并非出于气候原因。例如，中国的产业升级、各地的大规模城市更新项目，以及之前提到的基础设施改造项目。因此，有必要审查和调整各地所有正在实施的重大投资项目。

因此，在许多国家的城市和近郊地区，有必要启动一个覆盖 2025 年至 2035 年的加速行动计划。这一计划需明确具体的气候风险（若尚未明确），并评估本报告及其他资料中定义的五大关键适应能力方面的表现。为实现气候适应的公平，既需要发挥创造性和从实际出发，又需特别关注弱势群体的需求。

（4）金融业对气候适应的响应

在德国和荷兰等国家，如果灾害保险制度设计不合理，可能会严重阻碍灾后的恢复重建工作。鉴于过去的错误教训和未来的气候变化趋势，如果将灾后重建的要求定为恢复到灾前状态的原样（如原址重建），实际上可能会导致重建效果更差（即不适应）。因此，灾后重建是提升气候韧性的宝贵机会，应该被充分利用。

对金融行业及其贷款和投资组合的总体监管中，国家监管机构越来越关注气候风险，并要求贷款机构评估和限制其贷款组合中的气候和生物多样性风险。尽管这种增强的监管本身并未直接产生本报告所定义的适应能力，但它确实促进了一种商业环境的形成，使得人们越来越意识到气候变化对传统投资构成的风险，并使投资者意识到自己在这些方面的责任。央行和监管机构绿色金融网络（NGFS）是这一领域的关键组织，其成员包括 139 家监管机构，中国人民银行也位列其中。

（三）与治理有关的新认识

1. 国家、地区和部门层面的合作经验

在积极应对、高效且公平地适应气候变化的过程中，一个主要挑战在于打破政府机构内部不同层级和地区政府、不同部门之间，以及政府与私营部门之间的壁垒。与气候变化适应相关的区域协调合作呈现出多样化的形式。本期报告研究涉及的实例包括：1）为太湖治理工作设立的太湖流域管理局；2）中国广东省与香港、澳门之间的定期合作；3）中国主要流域的水利委员会；4）欧洲委员会及其水框架指令；5）保护莱茵河国际委员会；6）区域性联盟，如由四个相邻城市共同发起和维护的荷兰三角洲大都市协会（Deltametropool），专注于通过设计进行空间规划和分析；此外，还有之前流域相关 SPS 提到德美国密西西比三角洲海湾研究所。

2. 治理方法和工具方面的经验

由于涉及大量资金，因此需要由国家政府负责建立和维护科学咨询机构以应对气候变化。这要求满足两个关键条件：稳定的资金来源，以及向政府和社会各界提供独立且主动的咨询建议的授权。本期研究所分析的案例和工作访问中，有五种工具或方法可供参考。

（1）压力测试方法。为了解城市和区域面临的气候脆弱性，压力测试是一种有效工具。其核心问题在于评估在区域内，系统、组织及五种关键能力如何应对极端天气事件。压力测试可以应用于不同的空间层次，如城市群、交通枢纽或医院等具体地点。欧洲在金融行业（即“压力测试”一词的起源领域）已广泛接受与气候变化相关的压力测试方法。

为了获得实用且现实的结果，压力测试也应用流域。流域范围通常超于单个城市，或包含多个行政区，因此组织起来可能较为复杂，但这一步骤至关重要。

一旦应用于整个地区甚至小国家，将压力测试结果提供给规划者和广大公众是有益的。一个很好的例子是这个在线地图集（www.klimaatadaptatienederland.nl）。荷兰的气候扫描网站（www.climatescan.nl）上，可以获得一份关于全球已实施气候适应措施的全面概览。该在线地图集为用户提供了大量与气候变化适应相关的信息，包括最新的研究成果、实用的工具和指南，以及最新的活动信息。因此该线地图集为不同群体提供了学习和理解气候变化适应的机会，同时也提高了公众对气候适应的认识。

（2）情景分析法。全面应用情景分析法将带来诸多益处。特别是，针对社会经济发展趋势（如技术创新、人口、产业）进行的空间差异化情境分析，有助于制定具备综合、长期视角的适应策略。

（3）战略探索与规划气候适应干预措施的发展。这是一项复杂的挑战。通过设计研究和协同创意规划流程，涉及多学科专家和所有直接利益相关者，是识别关键决策并制定广受认可的适应计划的重要步骤。这些计划将显著提升地区的宜居性和居民的福祉。

（4）有效预警系统的发展。有效的预警系统能够保护人们免受自然灾害的侵袭。近年来，全球预警系统的发展日新月异。2022 年 3 月，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯启动了全球“全民预警”倡议。世界气象组织、联合国减少灾害风险办公室、国际电信联盟和国际红十字与红新月会联合会及其合作伙伴，共同推出了以人为本的多灾种早期预警系统（MHEWS）。

（5）数字孪生技术已成为流域管理的重要工具，有助于提升对气候变化的适应性。该技术通过将现实世界映射到数字世界，能够全面反映真实流域的全生命周期过程。在极端天气事件发生时，数字孪生流域系统基于实时监测能够助力管理人员进行预警、预览和制定预案，以及提供风险评估和决策支持。

此外，对气候风险和适应能力进行定期、系统和权威的评估，对于推动适应行动、加强合作、提高公众参与、评估公平性和公正性、探索新信息和技术至关重要。气候适应评估可以系统地识别城市和地区所面临的气候风险和适应差距，评估结果可为制定有效的适应战略和行动计划提供科学依据。

关于中国的气候适应评估有两个总结性认识：

一是在城市层面。正如上文所述，建立城市气候适应评估体系既是必要的，也是适时的。这一机遇来自中国住房和城乡建设部开展的“城市体检”工作，该项工作可为构建气候适应评估体系提供了机制基础。

二是在国家层面。本报告的中国案例未过多提及国家总体层面的情况。然而，对国家气候适应政策进行客观和权威的评估，对于制定国家指导方针和适应目标至关重要。这需要加强政府机构之间的合作，为气候适应项目和研究提供稳定的资金支持，在空间规划上做出明确决策，并宣传相关信息。此外，评估还应关注战略性和长期性问题，如海平面上升，以及针对高温和干旱等气候变化趋势调整农业生产方式等。

七、评估操作框架：为城乡气候适应评估提供有效的工具

第二章提出的气候评估概念框架用于指引第三章的案例研究和第四章从灾害中学习经验教训，对当前气候韧性能力的差距和短板提出了新的见解，包括物质系统方面以及制度和治理系统方面。基于气候适应评估的概念认识框架，以及第三章、第四章的案例经验，本章提出建立一个通用性的气候适应评估操作框架，为不同国家的城乡地区气候适应评估明确全面的、一致的气候适应评估内容和环节步骤。

（一）框架作用

气候适应评估是将气候适应紧迫性的认识与气候适应措施行动联系起来的重要纽带。建立通用性的评估操作框架，通过明确全面一致的分析评估内容和统一的评估环节流程，可以为地方、区域和流域等不同尺度制定有效的气候适应规划提供支撑。通过应用该框架，可以识别城市和农村地区面临的主要气候风险，分析构建气候适应性城市和社会所需 5 种关键能力及必要条件的现状情况和不足。评估也是气候适应规划或计划的重要前提，可为规划和计划确定目标提供支撑，评价规划气候适应措施的有效性，并为明确地方、区域和流域等不同尺度地区气候适应的政策优先事项提供支持。

气候适应评估概念框架提出的 5 种关键能力和 10 种有利条件则涵盖了气候韧性各种潜在的薄弱环节，包括恢复能力、长期适应能力和社会的变革能力。此外，该认识框架从长远角度出发明确了气候适应对应的发展机遇，即最大限度地减少极端事件可能造成的损害，同时最大限度地提高气候适应措施提供的综合效益。这为如何创造具有气候韧性的环境以及及时实现所需适应的瓶颈提供了新的思路。因此，气候适应评估的操作框架纳入气候韧性的 5 种关键能力，在评估内容中对其进行重点分析，从而为气候适应规划制定及其成功实施奠定坚实的基础。

（二）评估内容与环节

气候适应评估需要具有全面性，即需要综合考虑气候变化风险和适应措施对安全、经济、社会、环境和文化的影响。综合全球（IPCC）、国家（美国、欧盟）、城市（纽约、东京、比利时佛兰德斯地区）等不同层级的气候适应评估相关案例经验，城乡地区气候适应评估框架可以分为 4 个部分或步骤。4 个部分应按顺序依次开展，形成全面的气候适应评估结论。此外，从地方到区域、流域等不同的空间层次，应按照一致的步骤环节开展气候适应评估，同时考虑自身特征，在具体评估内容中进行差异化的评估。

1. 气候适应背景评估

一方面是对气候变化趋势及其影响开展评估，评估应在与评估地区相关的更大空间范围内开展。另一方面应对本地城乡地区的基本特征、发展趋势和未来情景开展评估，包括地形地貌、土地利用、社会经济发展的现状特征和未来预测情景、基础设施条件等。

2. 气候变化风险与机遇评估

通过利用极端气候事件进行“气候-压力测试”，从灾害因素、暴露度、脆弱性（改编自 IPCC，2012 年）等方面评估不同地区面临的气候变化风险。在此基础上对照地域特征，重

点识别本地面临的关键灾害风险（key risk）和脆弱性方面存在的突出问题，以及基础设施、政府治理等系统应对风险面临的主要挑战和差距。

此外，还应分析气候适应措施所气候适应对城乡可持续发展带来的协同效益和多重机遇，以便后续推动气候适应措施同其他政策措施协同开展，如带动投资、加快技术创新、优化空间格局、推动绿色发展。

3. 气候适应措施评估

从提高地区气候适应能力的目标出发，可以从创造气候韧性能力的 5 种能力（预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力、创新变革能力）以及建立这些能力所需的有利条件的角度开展气候适应措施评估，重点在于通过识别其中的薄弱环节来指引制定气候适应措施。基于设计的研究（Research by design）经常用于制定全面的计划方案，并提炼出推荐方案。由来自不同学科的专家组成的联合设计团队，包括相关的多元利益主体，可为复杂规划问题提供替代解决方案。规划的气候适应措施，应开展有效性评估、可行性评估。适应的公平性和公众参与也是制定气候适应行动计划的重要方面。

本步骤应促进气候适应规划与其他空间尺度的气候适应战略和规划协调一致。即地方规划应与城市层级的规划相协调，城市层级的规划应与区域层级的规划相协调，区域规划应与流域层级或国家层级的规划相协调。

4. 实施绩效评估

此外，气候适应行动的实施和适应能力的建设，往往需要长期的工作和资金支持。因此，实施进展监测和事后绩效评估既是保障目前计划实施的必要方法，也是推动新一轮气候适应规划的起点。由于新数据不断涌现，新的外部发展条件和要求也会随时间推移而变化，因此应定期开展气候适应评估，比如至少每十年开展一轮评估。

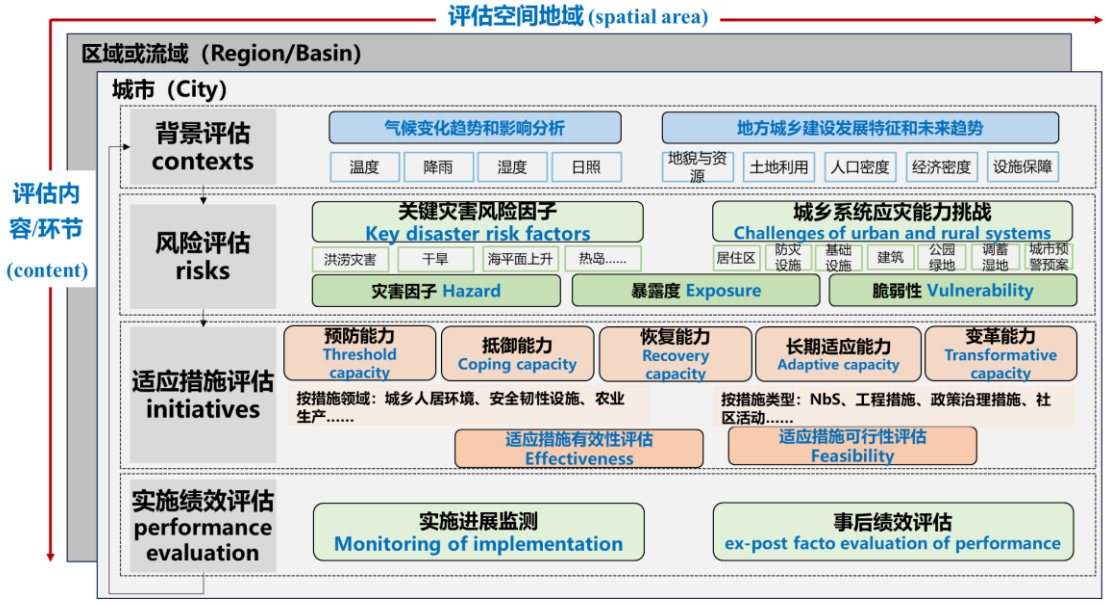

图 7-1 城乡建设领域气候适应能力评估框架

（三）评估重点

1. 加强跨区域、跨部门的协同，共同开展城乡气候适应能力的综合评估

在气候适应评估中应加强不同区域、不同政府部门的协同。包括应明确统一的气候适应愿景目标，统筹不同地区、不同部门之间的风险和利益；通过信息共享等机制建设，建立统

一的气候适应评估框架和数据、方法基础；建立跨地区、跨部门以及城市内部不同层级治理主体之间的协同机制。需要将对单项灾害的分项评估、对单个措施的“成本-效益”评价决策，转向基于综合风险和机遇管理的多目标决策评估，并在考虑未来长期发展的不确定性的情况下提出评估结论。

2. 评估地区面临的重点气候风险，分析关键设施的适应能力和组织机制的变革能力

首先，不同地区、城市应基于自身地域特征，开展气候变化风险评估，重点识别本地面临的重点灾害风险和突出问题。其次，应对照关键风险，定量评估城乡地区现有基础和公共服务设施的适应能力、使用寿命和面对极端灾害风险的脆弱性。固定资产投资是否会因为设施老化或气候适应政策的变化导致资产“搁浅”或贬值。此外，还应评估有关政府部门、企业和社会组织面向气候适应的转型发展能力，外部环境是否具备充分的有利条件支持面向未来的转型。

3. 加强不同气候灾害风险间的相关性分析，开展气候适应的情景分析和压力测试

气候适应评估应根据气候变化及其他社会、经济和科技发展的不同可能情景，在基于对单种类型风险发生概率和灾害损失预测的基础上，开展对风险、适应措施的情景分析，以指引制定动态适应方案。既要考虑短期面临的气候变化风险和问题，也需要研判未来长期气候变化趋势导致的风险，进行综合评估。应重点关注不同风险灾害之间的关联性和相互影响，以及城乡地区不同类型设施、城乡系统与所处区域和流域在面对气候灾害风险时的相互影响。

4. 根据地区特征和空间差异，开展差异化的评估

从地理空间单元和层级差异的角度出发，充分考虑不同区域和流域之间、城乡之间存在的显著差异，开展差异化的评估。需要针对不同空间区域的城乡聚落系统，结合自身特征建立气候适应评估框架和明确评估重点，如河口三角洲地区、人口密集的流域中小游、流域上游的生态脆弱地区等。

5. 重视对气候适应措施可行性、实施绩效的评估

应综合科学研究结论、财务资金分析等多方面因素，对气候适应具体措施的可行性、有效性进行评估。目前常用的“成本-效益”评估方法难以准确评估气候适应措施的收益，特别是长期收益。部分原因为缺乏对适应措施绩效收益准确、可靠的监测数据，以及合理公平的成本和收益共担机制。因此需要对气候适应措施和政策的效果开展长期监测评估，从而为完善气候适应的经济投资和金融支持决策模型提供信息支撑。

6. 应将适应公平、公众参与作为气候适应评估的重要方面

气候适应评估应加强对欠发达地区、弱势群体面临气候变化风险、自身脆弱性的关注，评估气候适应措施是否体现了社会公平和性别平等原则。在气候适应评估中加强公众参与，鼓励公众、企业等利益相关方与政府部门共同开展气候适应评估和适应措施的制定、实施。

八、政策建议

（一）气候风险日益加剧，灾害损失巨大，全面实施气候适应行动刻不容缓

气候变化是一个风险倍增器，气候变化和极端天气的加剧对城市和乡村造成的破坏和不利影响已经超出了所有科学预期，严重威胁到城乡居民生活和生命财产安全。迫切需要把增强气候适应安全和气候韧性上升到国家最重要的重大战略层面，如同气候减缓、绿色低碳战略。

1. 应立即提高气候适应在国家的发展政策和治理体系中的优先地位，加快各个领域的气候适应工作；从国家到地方各级全面增强气候适应的五方面关键能力建设（预防能力、抵御能力、恢复能力、适应能力和变革能力），以消除气候适应差距。

2. 气候适应战略既要应对近期极端天气灾害的挑战，也要应对缓慢发生的长期气候变化影响，如海平面上升、气温升高、盐碱化、季节性降雨模式变化、水资源供应和生态系统变化。增强城乡地区政府和基层社区从规划、建设、运营到灾害救助、灾后重建全过程的安全韧性。

（二）建立从中央到地方，跨区域与流域、跨部门，政府、社会与公众协同的系统性行动框架

气候适应不是一项独立的挑战，需要同时考虑从中央到地方，具体地区到宏观区域和流域，以及城乡聚落多层次的气候适应方法，并纳入各层级、各部门的发展战略。应坚持国家主导、区域统筹、多元主体协同的行动框架，建立跨地区、跨部门以及政府与多元主体之间的气候适应行动协调机制。

1．面向 2035、2050 年长期目标和 2100 年的远景展望，从国家到地方政府制定和实施系统性的气候适应综合方案和近期行动计划，并纳入各层级、各部门的政府发展战略。

2.在所有政策领域制定和致力于实现积极主动、面向未来的气候适应目标和具体指标，建立支持气候适应战略的法规体系、行政体系、财政金融体系、政策体系和知识数据体系等基础性制度。

3．针对气候变化影响的长期性，加大对气候适应的长期财政投入，统筹生态修复、防灾救灾、城市基础设施建设等不同领域的政府投资。

4．借鉴国际经验，推动长江三角洲、粤港澳大湾区、成渝地区等人口经济高密度的重点地区在气候适应领域的区域协同和跨地区合作。

（三）建立气候适应评估机制，识别关键领域、关键设施的气候适应短板和优先事项，为城乡聚落提高气候适应能力提供扎实的基础

结合各地的自然资源禀赋、气候变化特征、社会经济发展水平，建立本地化的城乡气候适应评估框架。由政府组织开展区域、市域、城区多层级的气候适应评估，推动与政府其他评估工作的衔接协同。例如，在中国可将气候适应评估工作纳入当前城乡建设部门、自然资源部门的“城市体检评估”制度。

1.评估既要分析气候风险和导致的问题，也要明确城乡聚落气候适应能力存在的差距；通过评估识别关键气候风险、关键领域和关键设施的适应短板，明确气候适应行动的优先事项和实施方案。

2．根据气候适应的要求对现有法律法规、防灾与基础设施技术标准，教育培训计划和资助机制开展评估，并根据气候适应能力建设的要求对其进行调整。

3．定期向区域、地方政府提供气候研究的最新研究成果和建议，以及对各级政府气候适应政策和措施的评估结果。

（四）重视气候适应中的社会公平与性别议题，加快提高欠发达地区、乡村地区、小城镇，以及妇女、儿童、低收入人群等弱势群体的气候适应能力

社会公平和性别研究及相应的政策制定应成为气候适应战略研究与政策、行动的重要组成部分。应当特别关注上述各类地区城镇与人群的气候适应能力提升，以及相应的安全及福祉保障。

1．针对乡村、中小城市和小城镇气候灾害抵御能力弱的现实问题，尽快提高这些地区的防灾基础设施建设标准，加大资金投入，加快设施和能力建设。

2．改善面向妇女、老人、儿童等弱势人群面对灾害的应急救助服务能力，降低他们的气候灾害风险。

3．广泛开展气候适应和防灾减灾宣传科普活动，开展公众参与活动，提高社会公众对于气候适应的了解和支持。

（五）加强国际合作，开展多专业多学科联合研究，为气候适应战略奠定重要的科学基础

气候适应的相关研究和政策实践仍处于起步阶段，因此应加强气候变化和气候适应基础理论和技术方法研究，鼓励科研机构、高校和第三方机构参与气候适应评估和研究工作，积极推动跨国、跨地区的国际合作和交流。

1．应加强持续和深入的国际合作，学习世界各地的气候适应成功经验，帮助在气候适应政策的制定方面实现跨越式发展。

2．开展跨学科、跨政策领域的综合、长期和任务导向的政策研究；针对未来发展不确定性，提出具有高度适应性的气候适应措施建议，避免气候适应措施造成负面效果（不良适应）。

3．建议国合会支持开展对气候适应融资问题的专项研究。气候适应的资金保障是影响各国实施气候适应行动的重点问题，目前相关研究和实践都处于起步阶段，亟待加强。

参考文献

[1] World Meteorological Organization (WMO). (2023). State of the Global Climate 2023 (WMO-No. 1347).

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC.

[3] 100 Resilient Cities. (2015). City resilience framework. The Rockefeller Foundation / ARUP. Retrieved from

[4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Available from Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND, 582 pp

[5] U.S. Global Change Research Program. (2023). National Climate Assessment 2023. Retrieved from

[6] IPCC. (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

[7] van Leeuwen, C. J., Frijns, J., van Wezel, A., & van de Ven, F. (2012). City blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. Water Resources Management, 26(7), 2177–2197.

[8] UNISDR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.

[9] De Graaf-van Dinther, R., & Ovink, H. (2021). The five pillars of climate resilience. In R. De Graaf-van Dinther (Ed.), Climate resilient urban areas: Governance, design, and development in coastal delta cities (pp. 1-19). Palgrave Macmillan.

[10] UNDRR. (2023). Global status of multi-hazard early warning systems. UNDRR and World Meteorological Organization.

[11] The White House. (2023). National Climate Resilience Framework. Retrieved from https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/09/National-Climate-Resilience-Framework-FINAL.pdf

[12] Arcadis. (2024). The Arcadis Sustainable Cities Index 2024: 2,000 days to deliver a sustainable future. Retrieved from https://connect.arcadis.com/sustainable-cities-index-report-2024-global

[13] Mazzucato, M. (2019). Governing missions in the European Union. European Commission, DG for Research and Innovation. Retrieved from https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/governing-missions-european-union_en

[14] Sommer, K. H. (2019). Study and portfolio review of the projects on industrial symbiosis in DG Research and Innovation: Findings and recommendations. European Union.

[15] Brown, R. R., & Clarke, J. (2007). Transitioning to Water Sensitive Urban Design: The story of Melbourne, Australia (Report No. 07/1). FAWB, Monash University.

[16] ARB. (1997). Resultaatgericht Beleid. Advies bij Beleidsontwikkeling, Communicatie en Samenwerking. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

[17] 宋刚勇,田伟.浅谈如何做好防洪调度——以重庆市"2020.8"洪水防御为例[J].中国防汛抗旱, 2020, 30(12):4.

[18] 赵东升, 张家诚, 邓思琪, 等. 1960—2018 年中国西南地区旱涝急转的时空变化特征 [J]. 地理科学,2021,41(12):2222-2231.

[19] 冯雷,李旭东.高温热浪对人类健康影响的研究进展[J].环境与健康杂志,2016,33(02):182-188.

[20] 胡庆芳,张建云,苏鑫,等.重庆中心城区洪涝灾害防御与韧性提升路径[J].中国水利, 2023(14):15-23.

[21] 何昶,邓建明,李雪纯,王毛兰. 太湖流域近 60 年气温多时间尺度波动幅度的长期变化特征[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50 (06): 130-138.

[22] 李文善;王慧;左常圣;董军兴;徐浩;潘嵩;金波文;高通.长江口咸潮入侵变化特征及成因分析[J].海洋学

报,2020,42(07):32-40.

[23] 李猷，王仰麟，彭建等. 海平面上升的生态损失评估——以深圳市蛇口半岛为例 [J]. 地理科学进展, 2009, 28 (03): 417-423.

[24] 戚志明;包芸.珠三角咸水入侵变化趋势及其动力因素影响分析[J]. 广东广播电视大学学报, 2009, 18(03): 43-47.

[25] UNEP. (2022). The global assessment report on disaster risk reduction 2022.

[26] Global Commission on Adaptation. (n.d.).

[27] World Meteorological Organization (WMO). (n.d.). WMO and the Early warnings for all initiative. Retrieved from https://wmo.int/activities/early-warnings-all/wmo-and-early-warnings-all-initiative

[28] United Nations. (2022). Secretary-General's message for World Meteorological Day. Retrieved from https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2022-03-23/secretary-generals-message-world-meteorological-day

[29] The World Bank. (2022). How Bangladesh can protect its development gains through coastal resilience and a changing climate. Retrieved from https://blogs.worldbank.org/en/endpovertyinsouthasia/how-bangladesh-can-protect-its-development-gains-through-coastal-resilience

[30] Lim, S. S. (2004). Environment at SingSpring's Desalination Plant Ground Breaking Ceremony. Speech. Ministry of the Environment (National Archives of Singapore document no. MSE_20040116001).

[31] Public Utilities Board (PUB). (2019). Four national taps. Retrieved from https://www.pub.gov.sg/

[32] Public Utilities Board (PUB). (2016). Our Water, Our Future. Retrieved from https://www.pub.gov.sg/Resources/Publications

[33] UNDRR. (n.d.). Response. Retrieved from https://www.undrr.org/terminology/response

[34] Sierra Nevada Conservancy. (2018). The community and watershed resilience program. Retrieved from https://resilientca.org/projects/30aeca00-7ebf-4af0-a57d-7bcc6fb33ce6/

[35] World Resources Institute (WRI) & Africa Research and Impact Network. (in preparation).

[36] World Resources Institute (WRI) & Global Commission on Adaptation (GCA). (2019). Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience. Retrieved from https://gca.org/reports/adapt-now-a-global-call-for-leadership-on-climate-resilience/

[37] U.S. Chamber of Commerce. (2024). The Preparedness Payoff: The Economic Benefits of Investing in Climate Resilience. 2024 Resiliency Report. Produced in partnership by the U.S. Chamber of Commerce, Allstate, and the U.S. Chamber of Commerce Foundation. Retrieved from https://www.uschamber.com/assets/documents/USCC_2024_Allstate_Climate_Resiliency_Report.pdf

[38] International Monetary Fund (IMF). (2023). The Macroeconomic Returns of Investment in Resilience to Natural Disasters under Climate Change: A DSGE Approach. Emilio Fernandez-Corugedo, Andres Gonzalez-Gomez, and Alejandro Guerson. IMF Working Paper WP/23/138. Retrieved from https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2023/English/wpiea2023138-print-pdf.ashx

[39] S&P Global. (2024). Investment in climate adaptation needs have high returns on growth. Lower- and lower-middle-income economies risk losing 12% of GDP to hazards such as storms, but investing up to 0.6% of GDP in adaptation will have high returns. Editorial by Marion Amiot and Paul Munday. Retrieved from https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/look-forward/investment-in-climate-adaptation-needs-have-high-returns-on-growth

[40] Maruyama R., Jun E., Avner, Paolo, Marconcini, Mattia, Su, Rui, Strano, Emanuele, Bernard, Louise Alice Karine, Riom, Capucine Anne Veronique and Hallegatte, Stephane. (2022). Rapid Urban Growth in Flood Zones: Global Evidence since 1985, No 10014, Policy Research Working Paper Series, The World Bank, https://EconPapers.repec.org/RePEc:wbk:wbrwps:10014.

[41] Rebuild by Design. (n.d.). Hurricane Sandy design competition. Retrieved from https://rebuildbydesign.org/hurricane-sandy-design-competition/

[42] Rebuild by Design. (n.d.). Books. Retrieved from https://rebuildbydesign.org/digital-media/books/

[43] NAI010 Publishers. (2018). Too Big? Retrieved from https://www.nai010.com/en/product/too-big/

[44] Ovink, H.(2016). Rebuild by Design: Redesign the Design Competition. Centre for Liveable Cities. Retrieved from https://www.clc.gov.sg/docs/default-source/urban-solutions/urb-sol-iss-9-pdfs/essay-rebuild-by-design.pdf?sfvrsn=63c0e49c_2

[45] Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (2022). Weerbaar waterland. Advies van het expertenpanel hoogwaterbeveiliging aan de Vlaase Regering. Retrieved from https://www.vmm.be/nieuws/archief/advies-weerbaar-waterland.pdf/view

[46] Zurich. (2014). Zurich's flood resilience program. Retrieved from https://www.zurich.com/knowledge/topics/flood-resilience/zurichs-flood-resilience-program

[47] Ovink, H., & Boeijenga, J. (2018). Too Big. Rebuild by Design: A transformative Approach to Climate Change. ISBN: 978-94-6208-315-8

[48] World Water Atlas. (n.d.). Water as leverage Programma. Retrieved from https://www.worldwateratlas.org/curated/water-as-leverage

[49] The White House. (2014). Remarks by President Obama at the UN Climate Change Summit. Retrieved from https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2014/09/23/remarks-president-un-climate-change-summit

[50] The White House. (2024). The Climate Resilience Game Changers Assessment. Retrieved from https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/07/Climate-Resilience-Game-Changers-Assessment.pdf

[51] Steele, W., Maccallum, D., Byrne, J., & Houston, D. (2012). Planning the climate-just city. International Planning Studies, 17(1), 67–83.

[52] United Nations Human Settlements Program. (2011). Cities and climate change: Global report on human settlements 2011. Earthscan.

[53] Hallegatte, S., Fay, M., & Barbier, E. B. (2018). Poverty and climate change: Introduction. Environment and Development Economics, 23(3), 217–233.

[54] United Nations. (2023). Sustainable Development Goals Report 2023: Goal 11. Retrieved from https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/goal-11/

[55] Roy, J., Prakash, A., Some, S. et al(2022). Synergies and trade-offs between climate change adaptation options and gender equality: a review of the global literature. Humanit Soc Sci Commun 9, 251

[56] World Economic Froum. (2024) Climate changeimpacts women more. We must legislate to protect their health, Retrieved from https://www.weforum.org/agenda/2024/01/women-health-climate-change/#:~:text=According%20to%20UN%20Environment,%2080%%20of%20the%20people%20displaced%20by

[57] Water Aid. (2022). Climate emergency: Women and girls living in Pakistan flood zone suffering from urinary tract infections and reproductive complications in part due to lack of clean water, sanitation and hygiene. Retrieved from https://www.wateraid.org/uk/media/climate-emergency-women-and-girls-living-in-pakistan-flood-zone-suffering-from-urinary-tract

[58] UN Women. (2023). Why climate change matters for women. Retrieved from https://data.unwomen.org/features/why-climate-change-matters-women

[59] UNDP. Human Development Report 2007/8. hdr.undp.org/system/files/documents/2008-english.2008-english

[60] 孙大江，赵群(2016). 气候变化影响与适应性社会性别分析. 社会科学出版社.

[61] Barnett, J. (2006). Climate change, insecurity, and injus- tice. In W. Adger, J. Paavola, S. Huq, & M. Mace (Eds.), Fairness to adaptation to climate change (pp. 115–130). MIT Press.

[62] Anguelovski, I., Shi, L., Chi, E., Gallagher, D., Goh, K., Lamb, Z., Reeves, K., & Teicher, H. (2016). Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspectives from the Global North and South. Journal of Planning Education and Research, 36(3), 333–348.

[63] Sovacool, B., Linné, B., & Goodsite, M. (2015). The polit- ical economy of climate adaptation. Nature Climate Change, 5(7), 616–618.

[64] Wikipedia. (n.d.) Hippocratic Oath. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Hippocratic_Oath

[65] World Health Organization. (2024). WHO launches first ever patient safety rights charter. Retrieved from https://www.who.int/news/item/18-04-2024-who-launches-first-ever-patient-safety-rights-charter

[66] Global Commission on Adaptation (GCA) & World Resources Institute (WRI). (2019). Unlocking the potential for transformative climate adaptation in cities. Retrieved from https://gca.org/reports/unlocking-the-potential-for-transformative-climate-adaptation-in-cities/

[67] Den Hartog, H. (2023). Tensions and opportunities at Shanghai's waterfronts: Laboratories for institutional strategies toward sustainable urban planning and delta design transitions. Architecture and the Built Environment, 13(18), 1–272.

[68] Pan, J. (2020). Ecological civilization: A new development paradigm. The Integrated Assessment Society (TIAS). Retrieved from https://cciced.eco/environmental-industries/ecological-civilization-a-new-development-paradigm/

[69] Palmer, J. (2023). Record flooding highlights rural-urban divide in China. Foreign Policy. Retrieved from https://foreignpolicy.com/2023/08/08/china-floods-beijing-diversion-hebei-rural-urban-divide

[70] World Resources Institute (WRI). (2021). Accelerating Climate-resilient Infrastructure Investment in China. WRI China.

[71] Den Hartog, H. (2023). Searching for reconnection: Environmental challenges and course changes in spatial development along Shanghai's shipping channels. Urban Planning, 8(3).

[72] Liu, D., & Chow, D. (2023). Chinese farmers hit by floods and drought say extreme weather is getting worse. NBC News. Retrieved from https://www.nbcnews.com/news/world/china-floods-drought-farming-wheat-climate-change-rcna96111

[73] Ministries of Infrastructure and Water Management; Agriculture, Nature and Food Quality; Interior and Kingdom Relations, The Netherlands. (2023). National Delta Programme. Retrieved from https://english.deltaprogramma.nl

[74] Deltares. (n.d.). Xiangtan Adaptation Support Tool. Retrieved from https://xiangtan.crctool.org/zh_cn/

[75] Network for Greening the Financial System (NGFS). (n.d.). Retrieved from https://www.ngfs.net

[76] Climate Adaptation Netherlands. (n.d.). Retrieved from https://klimaatadaptatienederland.nl/

[77] World Meteorological Organization (WMO). (n.d.). Early Warnings for All Initiative. Retrieved from https://earlywarningsforall.org/site/early-warnings-all