



**中国环境与发展国际合作委员会  
专题政策研究报告**

**低碳韧性城市发展与适应气候变化  
——气候变化背景下的流域治理**

中国环境与发展国际合作委员会 2022 年年会

2022 年 6 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，国家工程勘察设计大师，中国城市规划设计研究院原院长
- 外方联合组长：Hans Mommaas，国合会特邀顾问，第六届国合会特邀顾问，荷兰环境评估署(PBL)主席
- 外方联合组长：Fernando Miralles-Wilhelm，大自然保护协会(TNC)全球水项目首席专家

### 中外成员（核心专家）：

- 王 凯，国家工程勘察设计大师，中国城市规划设计研究院院长
- 薛 澜，清华大学苏世民书院院长
- 李原园，水利部水利水电规划设计总院副院长，政协第十三届全国委员会人口资源环境委员会委员
- 潘家华，中国社科院学部委员、原中国社科院生态文明所所长
- 郑德高，中国城市规划设计研究院副院长
- 张 菁，中国城市规划设计研究院总规划师
- 张永波，中国城市规划设计研究信息中心主任
- 吕晓蓓，中国城市规划设计研究院西部分院总规划师
- 吕红亮，中国城市规划设计研究院生态市政院副院长
- 刘昆轶，中国城市规划设计研究院上海分院副总规划师
- 杨 波，大自然保护协会(TNC)
- Kees Bons，荷兰三角洲研究院
- Jim BEST，伊利诺伊大学
- Renato Paes de Almeida，圣保罗大学
- Gerry Galloway，马里兰大学土木与环境工程荣誉教授、自然遗产研究所主席、密西西比河委员会前主任
- Marjolijn Haasnoot，荷兰三角洲研究院
- Han Meyer，代尔夫特理工大学
- 徐 欣，大自然保护协会(TNC)
- Wilfried ten Brinke，蓝地咨询
- Au Shion Yee，亚洲开发银行(ADB)

### 支持专家（顾问专家）：

- 张 兵，自然资源部国土空间规划局局长
- 徐毅松，上海市规划和自然资源局局长
- 李 平，中国技术经济学会理事长，中国社科院数量经济与技术经济研究所原所长
- 张永生，中国社科院生态文明所所长

- 包起帆，上海市人民政府参事、原上海港务局副局长、原上海国际港务（集团）股份有限公司副总裁
- 肖莹光，中国城市规划设计研究院西部分院副总规划师
- 尹俊，中国城市规划设计研究院上海分院主任规划师
- 任希岩，中国城市规划设计研究院生态市政院总规划师
- 陈明，中国城市规划设计研究院院士工作室副主任
- Willem Ligtoet，荷兰环境评估署(PBL)
- Arjan Harbers，荷兰环境评估署(PBL)
- Henk Ovink，荷兰水事务特使
- Martien Beek，荷兰基础设施和水资源管理部
- Howard Bamsey，全球水伙伴关系主席
- LI Lifeng，联合国粮食及农业组织
- MA Chaode，联合国开发计划署
- Onno van den Heuvel，联合国开发计划署
- Marcus J. Wishart，世界银行
- Parameswaran Iyer，世界银行
- Gary Spiller，独立顾问

#### 协调员：

- 胡京京，中国城市规划设计研究信息中心副主任
- Bob Tansey，大自然保护协会(TNC)
- Jan Bakkes，荷兰环境评估署(PBL)

\* 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

## 一. 范围和目标

本专题政策研究的主题包括区域经济的重新调整及其对流域不断变化的适应,这一调整不是一蹴而就的,但鉴于气候变化、脱碳和污染防治需要以及经济和人口的持续变化,窗口期会很短。对中国而言,包括长江在内的大河流域是国家应对气候变化、实现生态文明的关键区域。面向 2050 年关键时间节点,研究团队提出了“长江流域命运共同体”的治理愿景,以期在国际大河流域治理提供“长江样本”。国际流域管理工作者和利益相关者之间的相互学习至关重要,国合会作为交流战略和实践观点的平台和窗口,在此方面应该发挥积极作用。

## 二. 研究重点

**直面变化,建立流域综合评估框架。**气候变化正在改变流域的水文循环,加剧了流域水系统风险与压力。与全球大河流域相比,长江流域更面临着实现脱碳目标和经济发展的多重压力程度更高,其中流域安全韧性与岸线资源优化利用已经是当前长江流域面临的显性问题。因此需要重新定义利用流域促进社会经济发展与确保健康、可持续的水系统之间的相互作用。面对气候变化对流域治理带来的不确定性,在国际团队支持下,提出了流域可持续治理的八个关键性步骤与综合评估框架,建立了流域韧性范式,总结形成了关于灾害风险应对框架。

**研判气候变化长期趋势与灾害风险短期冲击,提出流域韧性提升策略。**研究综述了长江流域过去 50 年的气候变化现象,利用实证研究方法对长江流域气候变化引发的灾害的类型、数量、空间分布进行了梳理,形成了长江流域主要气候灾害的空间分布,以及重点地区的灾害风险分析。在此基础上,统筹经典工程措施与基于自然的解决方案(NbS),从生态保护、空间优化、设施建设、应急管理四个方面提出了建设“韧性城乡聚落”策略,特别结合流域次级地理分区和灾害特征,针对性的提出了长江流域上中下游的安全韧性策略。

**加强岸线实证研究,提出绿色低碳与民生导向的岸线优化策略。**长江下游地区是我国经济人口高度密集的区域,更是水陆矛盾最为突出的地区。利用公开卫星影像数据,投入大量精力,绘制了 2010 年、2020 年度长江流南京以下至入海口段的干流岸线和洲岛岸线利用图纸,对现状开发利用情况进行了梳理分析,系统研判了长江下游岸线利用的突出风险和问题,借鉴国际先进经验和做法,提出了绿色低碳与民生导向的岸线优化策略,并对于高区域价值、高生态价值、高分险脆弱度的入海口三角洲地区的可持续发展进行了预研究。

本次 SPS 认为流域治理中应特别关注乡村地区、贫困地区、偏远山区等易灾地区，以及女性、老人、儿童等易灾人群的安全保障与社会公平，应当将保障社会与性别公平作为提升流域可持续能力的重要目标。

### 三. 政策建议

参与流域专题政策研究（第一期）的专家建议中国政府采取以下行动：

**立即采取行动应对气候变化，共建“流域生命共同体”。**把握当前稍纵即逝的适应气候变化预期影响的关键机会，建立新的监测机制，开展长期风险评估，为可能得多种情形做好准备。

**加强极端事件防护、恢复生态系统。**积极加强对各种自然灾害的防护，采取基于自然的解决方案（NbS），重新平衡流域的自然和人工要素。

**建设“韧性城乡聚落”，提升安全韧性。**把自然环境格局（蓝绿空间）作为空间规划的起点，通过城乡空间布局优化减少对极端事件的暴露和脆弱性，从源头减少灾害风险；将经典工程措施与基于自然的解决方案相结合，提高城乡聚落（包括弱势群体）的抗灾能力。

**制定低碳时代重点工业港口城市综合规划，选取主要支流、三角洲地区开展试点探索。**至 2050 年的经济发展将受到全球向低碳转型的深刻影响，考虑到相关设施使用期限长、区域气候预测的不确定性以及港口城市经济变化的复杂性，迫切需要从现在起开始规划和商讨。

**加强流域岸线的水陆统筹治理，推进下游工业港口岸线向生态岸线、生活岸线的转型。**加强水和土地的统筹管理，将河流岸线作为长期资源，为保证未来战略灵活性，应尽可能保持岸线自然状态。

**加强应对能力建设，提升地方政府、基层组织和公众的应急响应能力。**对监测和预警系统以及地方政府、基层组织和公众的应对能力进行投资；关注易灾地区、易灾人群的性别平等与社会公平问题。

### 四. 五年工作建议

专题政策研究在前期研究中提出了五项总体指导原则，根据这一原则可衍生出五年工作计划。这些原则在每个河流区域中将发挥不同的作用。我们将从中国和世界各地的案例分析中进一步了解这些原则，并可能对其进行重新定义。

表 9-1：五项指导原则及未来 5 年研究重点建议一览表

研究年份	年度研究的原则/主题	可能的研究重点 <sup>#</sup>
2022-2023	从源头到沿海履行责任	区域合作机制
2023-2024	根据百年愿景规划步骤	积极主动适应预计的气候变化并提高韧性
2024-2025	人人参与，形成共同愿景	基于多学科利益的协作组织
2025-2026	在河流区域管理各方面适应气候变化和其他主要河流压力源	应对气候变化、其他压力源和灾害的不确定性
2026-2027	持续加强和创新	管理方法、知识计划、政策工具和前瞻性融资机制等；国际交流

# 为与国际活动保持一致，年份顺序可微调

拟定的五年计划应充分利用每年的重点活动，如 2023 年初的联合国水十年大会。每年的工作方案将包括：1) 一份总结性文件；2) 工作会议，可能的实地考察（或者视频报告）；3) 向年度大会和更多群体介绍经验教训并重点确定发展领域。

按照以上安排，建议在 2022-2023 共同组织或配合开展以下活动：

- 一场关于长江、莱茵河和密西西比河流域和三角洲地区的国际研讨会，特别关注港口城市经济转型的挑战——2022 年 10 月；
- 一场维护河流系统背景下关于水和生物多样性的边会或类似活动——昆明生物多样性公约缔约方大会期间或前后；
- 以生物多样性公约缔约方大会期间预期活动成果为基础，在联合国水大会期间或前后举行边会或类似活动——2023 年 3 月。

# 目录

引言.....	1
<b>一、 气候变化下全球大河流域的风险与挑战 .....</b>	<b>2</b>
(一) 自然和人类活动对大河流域的影响 .....	2
(二) 气候变化对大河流域水文的可能影响 .....	2
(三) 大河流域面临的风险与压力 .....	3
(四) 大河流域治理的多重挑战 .....	4
(五) 中国流域问题的迫切性和长江的重要性 .....	4
<b>二、 新认识与流域治理的国际经验借鉴 .....</b>	<b>6</b>
(一) 流域可持续治理的八个关键性步骤与综合评估框架 .....	6
(二) 直面变化：理解并建立流域韧性 .....	8
(三) 灾害与风险的认识及应对框架 .....	9
(四) 基于自然的解决方案 (NbS) .....	10
(五) 向全球流域学习：三个案例 .....	11
<b>三、 长江流域面向 2050 年的治理愿景、准则与行动 .....</b>	<b>13</b>
(一) 长江流域治理的愿景与准则 .....	13
(二) 需要持续关注并开展行动的重要领域 .....	14
<b>四、 长江流域气候变化的现象和灾害风险分析 .....</b>	<b>14</b>
(一) 长江流域基本特征 .....	15
(二) 长江流域气候变化现象 .....	16
(三) 强降水引发的风险 .....	18
(四) 区域升温影响 .....	19
(五) 干旱引发的风险 .....	20
(六) 极端天气引发的风险 .....	20
(七) 主要灾害的空间特征与风险分析 .....	21
<b>五、 长江流域应对气候变化的韧性策略 .....</b>	<b>22</b>
(一) 长江流域提升韧性的策略 .....	23
(二) 上中下游区域韧性策略 .....	25
<b>六、 长江下游岸线利用问题与优化策略 .....</b>	<b>26</b>
(一) 岸线利用的现状分析 .....	27
(二) 岸线利用与管理的国际经验 .....	29
(三) 绿色低碳与民生导向的岸线优化策略 .....	29
(四) 持续关注三角洲地区的可持续发展 .....	30
<b>七、 长江流域中的社会公平与性别问题 .....</b>	<b>32</b>
(一) 状况分析与问题识别 .....	32
(二) 流域治理的社会公平与性别策略 .....	33
<b>八、 流域治理的政策建议 .....</b>	<b>34</b>
<b>九、 第七阶段工作建议 .....</b>	<b>35</b>

# 低碳韧性城市发展与适应气候变化 ——气候变化背景下的流域治理

## 引言

气候变化给流域管理带来了一系列新挑战。气候对水循环、由此产生的流态、物种、生态过程以及其他人类和自然系统的影响，导致新的状况出现。大型河流流域易受到各种其他人为和自然压力源的影响（UNEP-DHI 和 UNEP，2016；Best，2019；Su 等，2020），这些压力可能相互作用并结合起来，为河流流域管理带来一系列不同的挑战和机遇。认识到这一系列压力、压力之间的相互作用，以及在气候变化时期可能如何应对压力，给未来的流域管理和治理带来了前所未有的挑战。

对中国而言，包括长江在内的大河流域是国家应对气候变化、实现生态文明的关键区域。与莱茵河在欧洲相似，长江流域在中国区域发展格局中举足轻重，同时面积更大、综合条件更复杂。中国城市规划设计研究院和荷兰 PBL 的前期研究表明，气候变化对长江流域的长期影响与短期冲击已经显现，正在对水安全和水系统的诸多方面造成重大影响，并且这些影响和风险还将不断快速提升。

SPS 课题组中外方专家对此进行了充分讨论，一致认为，在长江保护法、长江经济带发展规划纲要、长江经济带生态补偿与绿色发展体制改革 SPS 等既有工作的基础上，结合前期研究，本次工作应当致力于推动应对气候变化下长江流域系统性、协同性和紧迫性问题的治理行动和治理能力建设。考虑到问题的复杂性和当前研究的局限性，本次 SPS 还应当将着眼于第七届国合会的长期安排与当前行动策略的二者内容相结合。



# 一、 气候变化下全球大河流域的风险与挑战

## (一) 自然和人类活动对大河流域的影响

在全球范围内，大河流域具有巨大的社会、生态和经济重要性。作为人类文明发祥地，大河流域发挥了在历史、文化和社会中的重要作用，提供关键的农业生产力。大河流域也是自然资源富集地，培育了最多样化和最重要的生态系统。

作为人类和自然相互关系的关键地区，流域正在受到一系列自然和人为因素的影响，给今天的流域治理带来了挑战。荷兰 PBL 研究团队在前期研究中识别了对流域产生影响的十七种因素，主要包括两个方面：自然环境对流域的影响，包括洪水、干旱、高温、滑坡、侵蚀和野火等灾害，对流域的人、建筑物或基础设施造成了危害；来自于社会经济的影响，既包括修建水坝、引水和调水、采砂、发展渔业等流域地区传统活动的影响，还有与城镇聚落和工业化发展相关的影响，例如河流沿线地区的城市化、港口和工业发展、森林砍伐等。这些自然和人为因素又相互作用、相互关联，并相互结合，为流域治理带来一系列挑战，而气候变化正在不断加剧这些挑战。

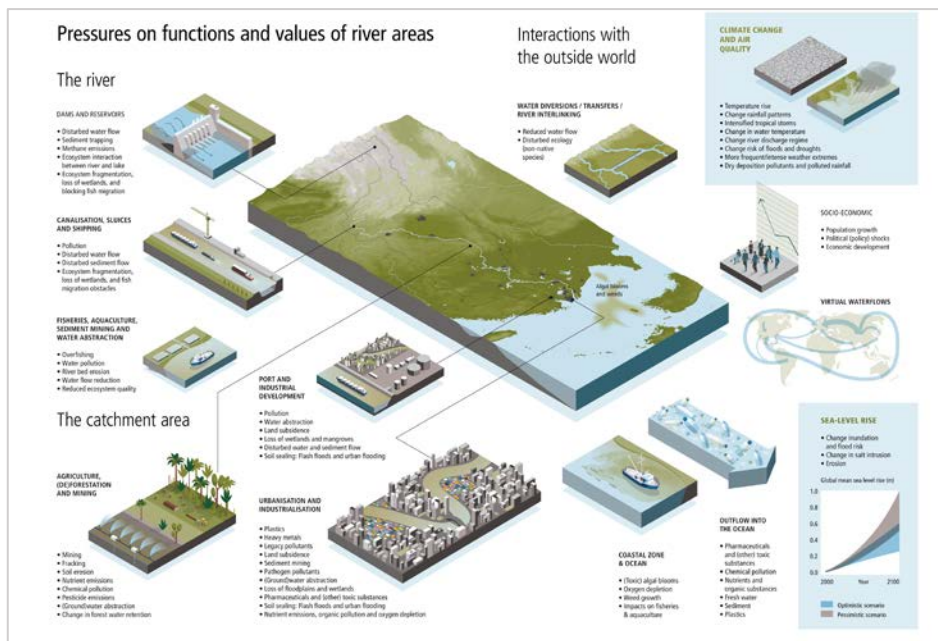


图 1-1 流域面临的影响因素

## (二) 气候变化对大河流域水文的可能影响

气候变化正在改变着流域的水文循环，通过改变流域水的分布、水流时间、水量和水温，进而影响人类和自然系统。因此，TNC 研究团队在前期对全球大河流域在气候变化情景下的水文影响进行了专题研究，得出结论如下：

大河流域流量的季节性可能因气候变化而加剧。例如，受季风性降水影响，恒河、长江和黄河等河流丰水季节流量将增加<sup>[1]</sup>。

气候变化可能会使河流水温升高。预计 2071-2100 年全球平均河水温度将比 1971-2000 年平均增加 0.8 至 1.6℃，其中中国东部、美国、欧洲以及南部非洲和澳大利亚部分地区的水温增幅最大<sup>[2]</sup>。

全球气候变化对大河流域的极端天气影响还在不断加剧。政府间气候变化专门委员会的<sup>[3]</sup>(IPCC, 2021 年)最新报告称,全球和区域极端天气和气候事件的频率和强度均呈现出明显的上升趋势;这意味着应对气候变化和与气候有关的极端天气事件将更频繁的发生,对河流流域的挑战十分严峻而迫切。

对具体流域水文变化的预测存在不确定性。虽然当前科学领域在了解气候变化对流域的影响和意义方面已经取得了重大进展,但必须看到落实到具体流域的水文变化,如在方向性(增加或减少)、幅度(变化的相对大小)和时间尺度(季节性、频率、短期与长期)等方面还存在较大不确定性。

#### 专栏 1-1: 气候变化的流域水排放量未来情景预测的不确定性研究

TNC 对长江、莱茵河与亚马逊河三条流域进行了比较研究。研究表明,莱茵河流量与气候变化之间存在明显的上升趋势,而长江亚马逊河在不同的 RCP 情景中,未发现统计学上的显著趋势。而且莱茵河最小值和最大值的波动幅度小于 1.2 倍,而亚马逊河的波动幅度则接近 5 倍,长江在 3 倍的范围内。一种比较可信的解释是长江和亚马逊的河流规模比较大,受到的影响因素较多。

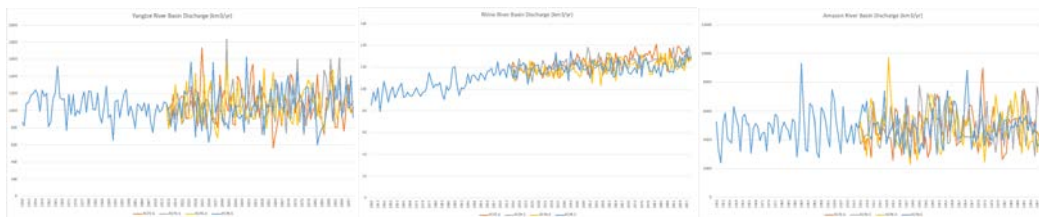


图 1-2: 长江(左)、莱茵河(中)、亚马逊河(右)流域四个 RCP 情景下的排放流量结果来自 CMIP6 模型的集合,模型已校准到 2015 年,并预测到 2100 年。

### (三) 大河流域面临的风险与压力

气候变化所导致的河流水文变化将影响流域一系列的自然与社会经济活动,并加剧了当前流域的水风险以及水系统已经面临的压力。PBL 在前期研究中具体指出了这些风险和压力,主要集中在以下方面:

**强降雨与洪水风险。**气候变化将增加强降雨事件的强度,更容易出现极端降水事件。过去几十年,全球河流洪灾损失急剧上升:从 2010 年到 2050 年,预计全球受河流和沿海洪水影响的人口将从 9.92 亿增加到 13 亿<sup>[4]</sup>。强降雨事件还可能增加受野火影响的农业区和自然地区的土壤侵蚀,并可能将更多营养物冲刷至河流中,造成河流水体污染<sup>[5]</sup>。

**干旱和水资源短缺。**从全球范围看,干旱自 20 世纪 80 年代起再度增加<sup>[6]</sup>。模型模拟表明,到本世纪末,全球面临极端干旱至极度干旱的土地面积和人口可能会翻倍,分别从 1976-2005 年的 3%增至 7%和 8%。与此同时,根据人口增长和气候变化的预测,本世纪中叶全球水资源短缺大部分是由于气候变化所致<sup>[7]</sup>。到 2030 年,全球可能面临 40%的水资源短缺。水管理不善更会加剧气候变化对水资源和整个社会的影响。

**水电开发。**脱碳发展可能会推动水电作为可再生能源得到进一步开发。气候变化(比如洪水风险增加)可能驱使建造更多的水坝用于灌溉、防洪和供水管理<sup>[8]</sup>。越来越多地大坝建设则会对流域产生多重压力,包括扰动水流量和沉积物流量,破坏水生生物多样性。

**内河航运。**内河航道功能会受到河流流量变化的影响：高流量的影响，如航行中断、港口设施受损、河岸和防洪工程受损、泥沙淤积以及河流形态变化。低流量对内河运输的影响更大，影响大型货船的装载能力<sup>[9]</sup>，并影响三角洲的盐水入侵。

**河流的污染。**人口、工业或农业密集的流域往往面临着污染问题。气候变化预计会降低水质，主要源自温度升高、暴雨导致沉积物、养分和污染物增加、干旱期间污染物稀释能力降低以及洪水期间处理设施中断<sup>[10]</sup>。同时水温升高还会增加污染物对鱼类和其他淡水物种的毒性<sup>[11]</sup>。

#### （四） 大河流域治理的多重挑战

**流域问题具有高度复杂性。**主要体现在两个方面：一是流域本身的复杂性，体现在河流系统上、中、下游的联动关系、流域内各种活动和土地利用类型之间的相互依存关系，以及流域与外部世界的相互作用。气候变化正在加剧流域所面临的相互关系，从而导致放大效应或相互制衡效应<sup>[12][13]</sup>。另一方面，气候变化对流域的多重影响也具有复杂性，不同影响因素间具有交叉效应，或同时作用于流域产生附加效应。这就要求在研究流域治理问题时，把流域视为一个整体，开展系统性研究。

**气候变化对流域短期冲击的风险具有不确定性。**当前科学领域研究认为气候变化对流域产生的长期影响，例如水温升高、流量降水季节性增强等，是相对确定。然而在具体流域水文的方向性、幅度和时间尺度方面，研究仍然非常有限，造成了对流域风险的短期预测存在较大不确定性，加剧了流域治理难度。因此，需要采用实证研究，对流域问题进行具体分析，并以成功案例为参考借鉴。

**流域城乡聚落的安全韧性问题是当前最为紧迫的任务。**全球和区域极端气候事件的频率和强度均呈现出明显的上升趋势<sup>[3]</sup>。由于不同的发展阶段，不同流域的城乡聚落基础设施建设和应对灾害风险的脆弱性存在较大差距，而随着地区收入的提高，对流域安全的要求却在大幅增加。安全韧性问题正变得越来越紧迫，必须加快行动，尤其在低收入国家和高风险地区。

**流域治理政策应具有整体性、协同性和连贯性。**流域的自然边界往往与行政边界不匹配，甚至会跨越国家边界，同时流域治理也涉及多领域、多部门和不同行政级别，因此往往会出现条块分割、各自为政、重复建设的弊端。如何跨越不同层级的行政边界，保证跨边界政策目标与跨部门跨级别政策实施的一致性、协同性和连贯性对流域治理而言是一项重大挑战。

**流域地区的多元利益群体复杂交织。**流域治理既涉及到上下游、左右岸以及不同地区、行业、部门的各种利益关系，也需要关注气候变化对不同发展水平地区和不同人群带来的风险挑战。在流域治理政策制定中，关注流域地区自然、经济、社会、文化复合系统中各种利益关系，统筹考虑流域可持续发展，做好利益选择和平衡，体现公平正义和社会和谐。

#### （五） 中国流域问题的迫切性和长江的重要性

**与全球大河流域相比，中国流域面临的压力较多，压力程度较高。**荷兰 PBL 研究团队在前期研究中，通过对全球几个大型河流系统在人类活动和气候变化驱动下的 14 类压力（/应力）的首次定性评估，阐明了解决中国流域问题的紧迫性，尤其是长江流域问题。该评估表明，与全球多数其他大型河流域相比，中国的河流流域承受的压力更多、更大。

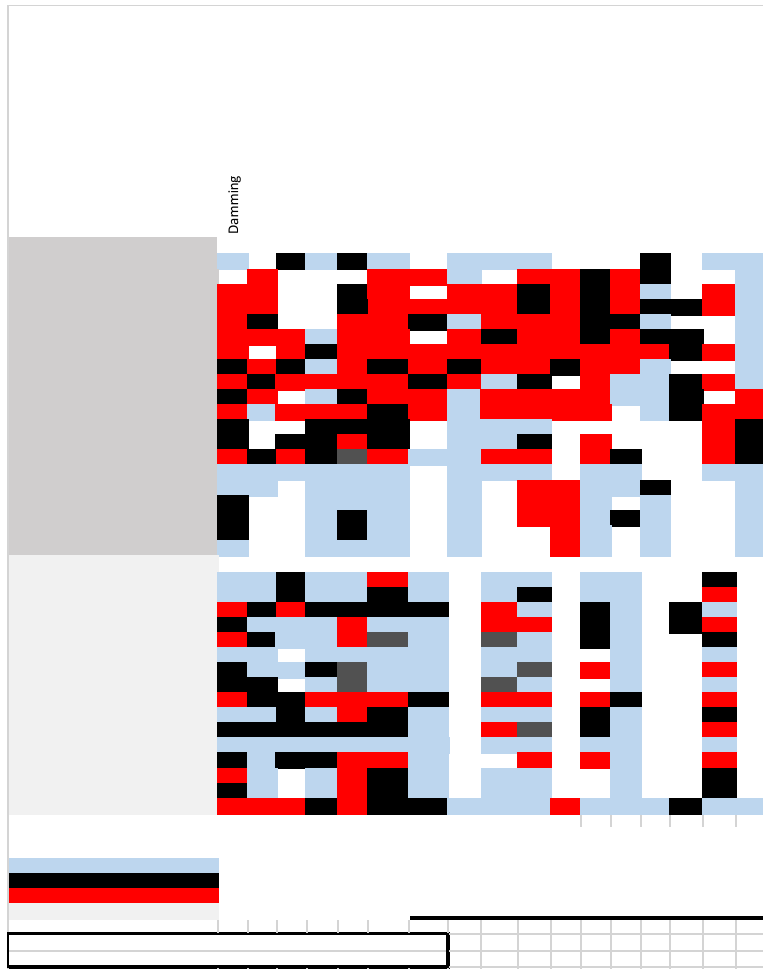


图 1-3 压力对河流区域的影响：使用定性评估的指示性足迹法的范例

**未来 50 年是中国流域治理的重要时间窗口，应当立即采取行动。**课题组在前期工作（quick scan）中比较了莱茵河和长江。比较发现，莱茵河早在 20 世纪 50 年代就已开始解决工业和污染造成的各类问题，如今正更多关注生物多样性与能源脱碳等问题。而中国在 20 世纪 80 年代刚刚开始工业化与城市化进程，这就意味着今天的中国流域，除了要解决城市化、工业化所带来的水污染防治、水资源短缺、洪水治理等问题，还要同步实现 2060 年碳中和、生物多样性等重大战略目标。未来 50 年，中国的流域治理更具挑战，应当立即采取行动。

**长江流域是中国发展的最重要支撑，是中国经济社会发展最具活力和潜力的区域。**长江流域总面积 180 万平方公里，占中国国土面积的 18.8%，人口和经济总量均超过全国的 40%，流域内还有丰富的自然资源。自古以来，长江流域始终面临着洪水、干旱、极端天气等自然压力；改革开放以后，长江流域又面临着经济社会高速发展带来的诸多挑战。今天的长江流域，已经通过了《长江保护法》、《长江经济带发展规划纲要》等一系列重大战略，生态优先、绿色发展的总体方针正在形成。认识好气候变化下长江流域的复杂压力以及如何在流域治理应对气候变化，解决好长江流域的可持续发展问题，既对中国的生态文明建设具有重要意义，同时对中国其他流域的治理具有关键性的参考价值与示范作用。

### 专栏 1-2：长江与莱茵河流域问题的简要比较

长江与莱茵河流域的主要区别在于，莱茵河沿线各国已进入后工业化阶段，污染物排放量在 1980 年代后达峰，污染问题基本得到控制；近年来针对气候变化，加快推进低碳发展，碳排放总量和人均碳排放已经开始下降；未来 15 年长江流域还将保持较快增长，环境污染问题虽已得到初步控制，主要污染物排放总量开始下降，但压力仍较大；同时，碳排放总量和人均碳排放均在持续增加。

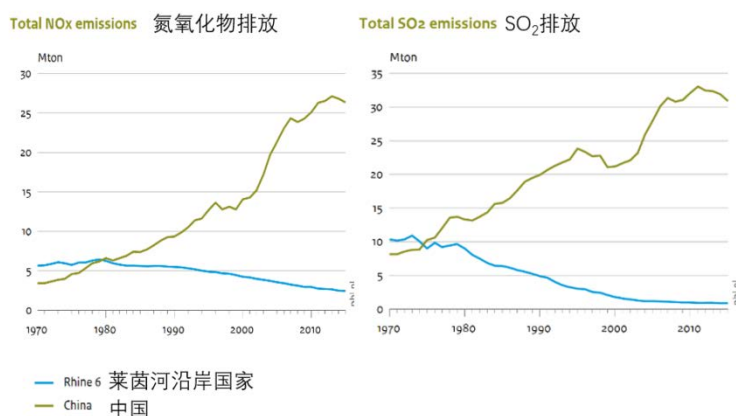
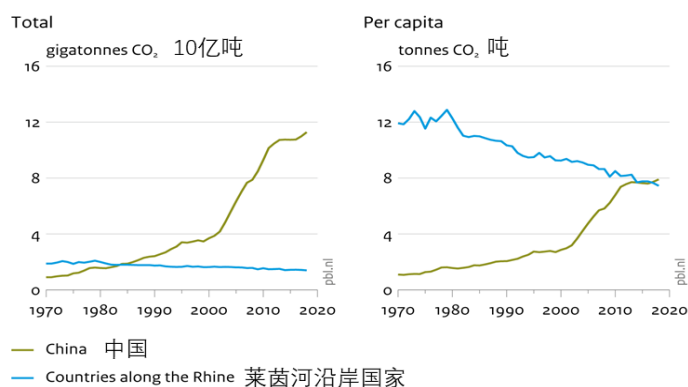


图 1-4 1970-2012 年长江、莱茵河流域氮氧化物（左）和二氧化硫（右）排放量



Source: EDGAR v 6.0, OECD

图 1-5 1970-2020 年中国和莱茵河流经国家的碳排放量（左）和人均 GDP 碳排放量（右）

## 二、新认识与流域治理的国际经验借鉴

### （一）流域可持续治理的八个关键性步骤与综合评估框架

气候变化的前景和我们为发展经济而树立的远大脱碳愿景正在加剧河流和压力与挑战，但同时也带来机遇。我们需要重新定义利用河流促进社会经济发展与确保健康、可持续的水系统之间的相互作用



用，这就要求我们向可持续的流域治理转变。这种转变是一个漫长的过程，且错综复杂。比如河流被农业营养物质污染，水力发电（脱碳的重要组成部分）破坏河流生态，扰乱水和泥沙流的连续性，而对建筑用砂的高需求又致使非法采砂，而这些仅仅是这种复杂性的几个方面。

### Redefining the interaction between Economy + land use ↔ water + ecosystems

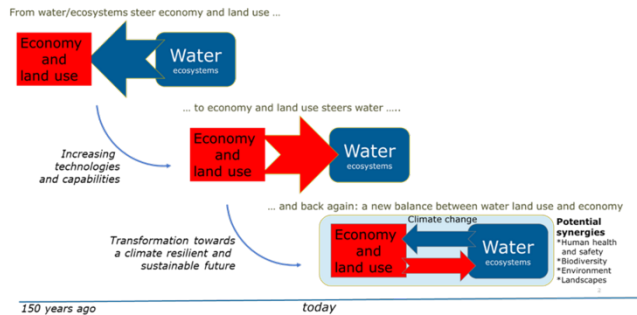


图 2-1：重新定义利用河流促进社会经济发展与确保健康、可持续的水系统之间的相互作用：水引导经济和土地利用向经济和土地利用引导水的转变

没有一种“黄金方法”能解决所有问题，因此我们倡导实现气候韧性和可持续性河流转变的八个关键步骤（见图 2-2）。通过这些努力，扭转整个社会的政策和投资战略，以向我们的预期转变。

## The way forward: 8 critical steps

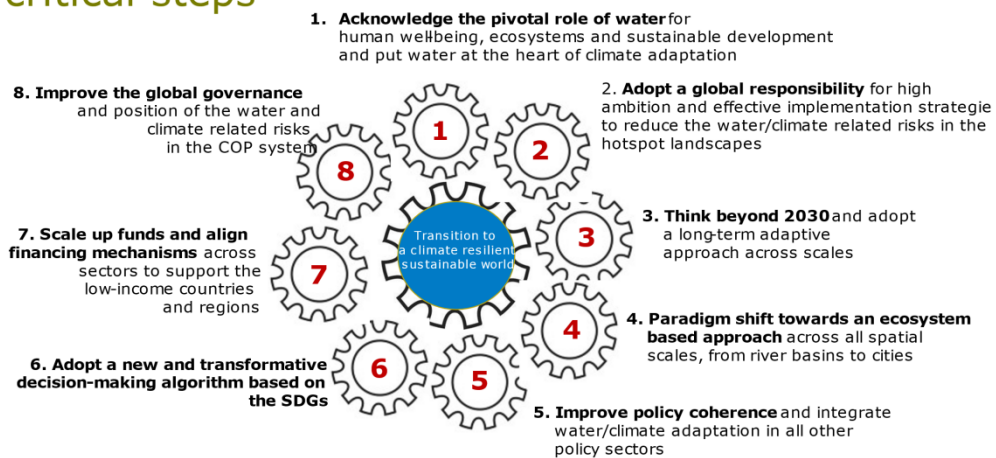


图 2-2：八个关键步骤促使向气候适应性强和可持续性的流域转变

除了以上要求外，我们还需要树立更宏伟的目标，放眼 2030 年之后，实现跨部门政策整合和统一、决策的新变革算法和一体化空间发展，并加快和扩大行动和投资，以防止人类栖息地的结构性损失，特别是在低收入、高风险地区中。

因此，我们提出了一个流域治理的概念框架。该框架重点关注因社会经济发展、土地利用和气候变化导致的流域当前和未来前景、流域韧性和适应性以及流域治理。该框架区分了流域基本特征，作用于流域的因素，以及河流系统的反应三方面要素，以便在风险和韧性、繁荣和脱碳、水、粮食和能源供应安全以及可持续发展方面获得结果（图 7）。（前文的图 1-3 是该评估框架的一次应用）

这一概念框架旨在根据莱茵河和长江流域案例研究以及世界各地河流流域的经验，提供基于案例的建议。我们可以按照结构化的方法分析每个案例，以确定最佳的驱动因素、有利环境、障碍、阈值、催化剂、决定措施和行动者。

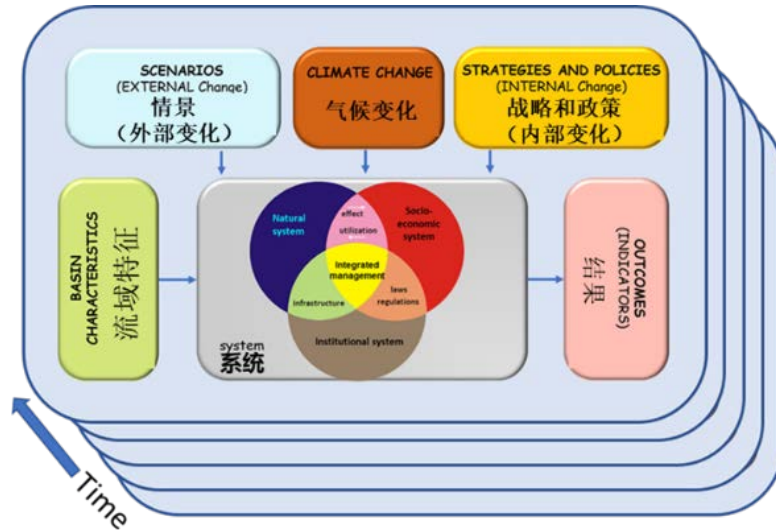


图 2-3 应对气候变化的流域治理的概念框架及组成部分 (PBL)

## (二) 直面变化：理解并建立流域韧性

气候变化、其与各种人为和自然压力源的相互作用以及脱碳的挑战正在改变河流流域的各个方面，尤其是流域内土地和水资源的利用，以及河流流域提供的相应生态系统服务。这就是我们所面临的流域管理“游戏变化”。直面流域治理“游戏变化”的关键就在于处理对河流流域治理构成重大挑战的不确定性，我们需要做出决策和规划，在水分配、存储管理、基础设施和生态系统服务提供等领域继续努力。需要我们建立并理解流域韧性的概念。

历史上，从生态学的角度来看，韧性的概念重点在于恢复到原有功能、物种和生态系统的服务，主要指对变化的抵制和从变化中恢复，即“持续性”。在流域中还应当特别关注两个互补的概念：面对变化进行调整（“适应性”）和向新的生态状态过渡（“转变性”）。这些概念如 2-4 所示。持续性、适应性和转变性，这三者共同构成了流域韧性，并适用于例如水文、生态、社会、制度/治理、文化、工程/基础设施等各方面。

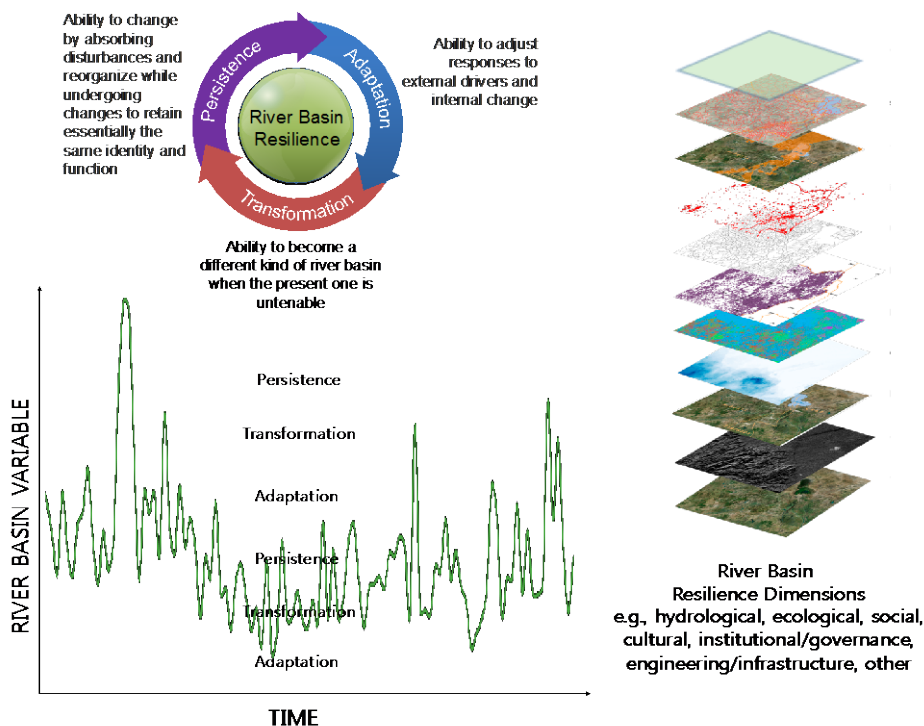


图 2-4：流域韧性的三个概念

（左上面板为持续性-适应性-转变性周期。右面板为各种韧性维度（层）。每一层均有若干变量。左下角面板为一个假设流域变量的时间序列（例如，流量、土地覆盖、人口、水需求），表明韧性模式之间的转换。）

在韧性范式下治理流域是一种比传统方法更具动态性、互动性的参与形式，通过这种方式，可以管理流域以获得所需的条件和服务（适应性），但可能表现出与其历史状态有限的物理和生物特征相似性（转变性）；在这一过程中，可能有必要制定从源头到洪泛区再到地下水的整体治理战略，而传统的单一系统方法存在不足<sup>[14]</sup>。因此，新的流域韧性科学需要将水文学、生态学和社会科学结合到一种新的、前瞻性的方法中，这一方法才刚刚开始在实际中出现。对韧性的理解和认识有可能帮助流域治理形成战略，应对不确定性挑战，并让生态系统适应新的条件。

### （三） 灾害与风险的认识及应对框架

从全球来看，气候变化将影响极端事件的数量和强度，但其程度尚不确定。我们要积极加强对各种自然灾害的认识和应对，包括洪水、干旱、野火和滑坡。对全球灾害风险的认识还必须将气候变化与社会经济因素结合起来。灾害风险在世界各地迅速增加，许多地区正遭受比过去更大的破坏和更高的损失。过去几十年，全球河流洪灾损失急剧上升，主要原因是洪水风险和损害敏感性的同时增加。IPCC（2012）<sup>[15]</sup>坚信：“人民和经济资产风险的增加是与天气和气候相关灾害造成长期经济损失增加的主要原因”。而在不发达国家和高风险地区，尤为重要。

2015年，在日本仙台召开的第三届世界减灾大会通过《2015-2030年仙台减灾框架》，确定了包括全球性防灾减灾的4项优先行动事项，以及增强抵御灾害韧性能力的6个关键维度和10项具体要素，呼吁全球各国加大减灾投入力度，加强韧性建设，减少自然灾害带来的损失。

同时，还应当认识到，恢复生态系统可以在某种程度上加强对灾害和风险的防护，重新平衡流域景观的自然和人为因素。应重点关注水和土地的共同管理，更多地利用土地上的风能和太阳能，减少



水力发电对河流系统的不利影响。此外，还应向再生农业转型，以增强土地韧性，同时在农业用地中使用可再生能源。

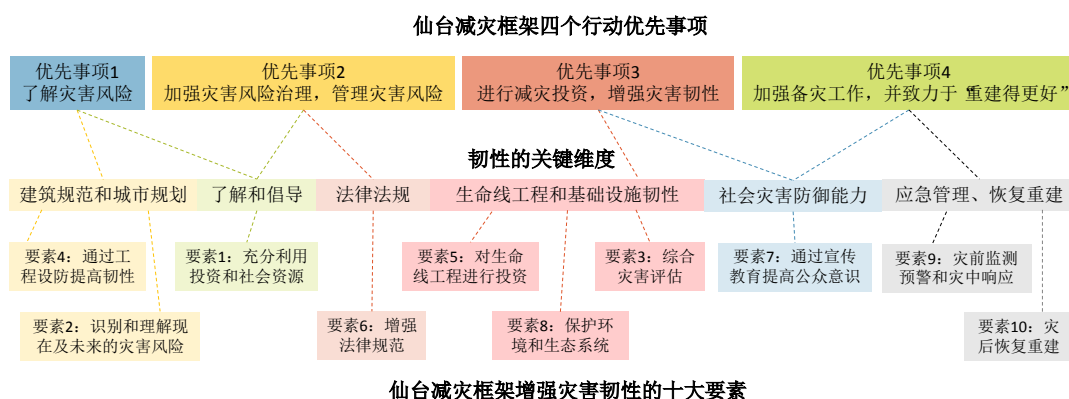


图 2-5 《仙台框架》行动优先事项、韧性关键维度和要素（根据 UNDRR 资料整理<sup>[16]</sup>）

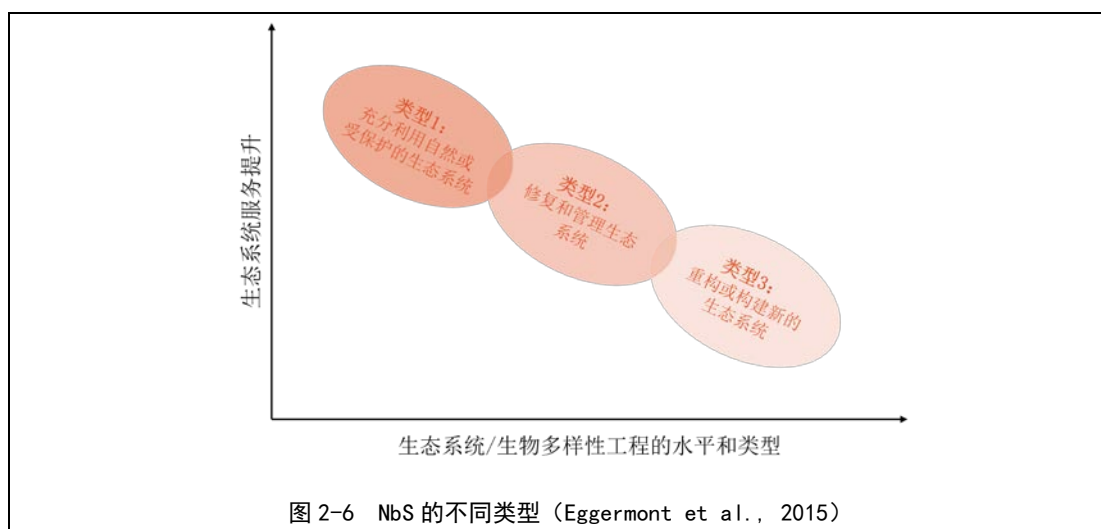
#### （四） 基于自然的解决方案（NbS）

基于自然的解决方案是流域管理多变性道路上的重要元素，可以解决河流流域韧性的多个层面和模式，同时为群体、企业和自然提供共同利益<sup>[17][18]</sup>。虽然基于自然的解决方案的某些功能可以通过已有基础设施来实现，但其高度灵活性和适应能力是其特有的优势，在不确定的未来变化下具有高度现实的意义。

气候变化和不可预测的未来带来的不确定性使得静态解决方案沉入成本变高、适应能力变低，如大型水库和类似的灰色基础设施，投资风险越来越大。与传统干预措施相比，NbS 通常更小、更实惠、更灵活、用途更广<sup>[19][20]</sup>。例如，单一的 NbS 干预措施可以缓解洪水和干旱的影响，这在工程干预措施中极其少见，或者可以通过改善栖息地、捕获额外二氧化碳、改善社会健康和福祉的干预措施来解决水质问题。因此，在未来变化不确定的情况下，NbS 更适合提倡的适应性解决方案和无憾策略。

##### 专栏 2-1：基于自然的解决方案（NbS）

是积极地利用生态系统服务来实现联合国可持续发展目标（SDGs）的伞形方法概念。世界自然保护联盟将 NbS 定义为，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<sup>[21]</sup>。Eggermont 等（2015）<sup>[22]</sup>采用两个梯度来划分 NbS 类型，即 NbS 对生态系统/生物多样性的干预程度、实施 NbS 带来的生态系统服务提升幅度。据此将以 NbS 为主要理念的自然工作实践划分为 3 种类型：①充分利用自然或受保护的生态系统；②修复和管理生态系统；③重构或构建新的生态系统。



## (五) 向全球流域学习：三个案例

上世纪 80 年代，一场化学灾难造成了欧洲莱茵河大面积的生态破坏，但人们却扭转了这种局面，解决了污染。事实证明，这一转变非常成功，如非常具有象征意义的大麻哈鱼重返河流。这种转变还包括其他河流特征的转变，目前仍在继续中。如，荷兰实施“还地于河”方案提高了排水能力，并采取措施恢复了漫滩的生态质量。未来几年，莱茵河流域将重点采取措施，减少气候变化下干旱造成的不利影响。人们在设计莱茵河转变的所有这些要素时，已考虑并将会考虑河流社会功能的延续。

鉴于莱茵河以及世界各地许多河流的经验，我们在讨论河流治理时不必全盘重来。通过借鉴全球其他河流的管理经验，我们明白如何朝着可持续河流流域转型。

### 1. 莱茵河：还河流以空间，恢复河流的自然面貌

20 世纪中期之后，莱茵河面临的河流污染、洪水灾害等问题日益突出，尤其是洪水风险始终是莱茵河治理的重点。1986 年巴塞尔化工厂火灾导致的河流污染事件、1993 和 1995 年的洪水灾害，对莱茵河治理影响深远。1986 年事件导致了更严格和越境污染控制以及河流生态恢复的治理转变；1993 年和 1995 年的洪水事件几乎导致了莱茵河一个支流的堤坝失效（和洪水泛滥），从而启动了包含 39 项措施的“还河流以空间”计划。在这之前，河流防洪政策都是关于高而坚固的堤坝；而之后则是将坚固和高堤坝与增加河流的排水能力相结合。

#### 专栏 2-2：荷兰“还河流以空间”：奈梅亨市实践项目

荷兰 1993 年和 1995 年的洪水使人们对旧的防洪战略产生了怀疑：土地复垦和筑堤是水资源管理的有效途径，进而考虑采用一种新的方法“还河流以空间”，让河流可以适应涨潮，而不是限制水的流动。这一方法通过超过 30 项的一系列措施实现：包括将“降低和扩大漫滩，并加修河流改道和临时蓄水区”；为了保护生物多样性和美学价值，还恢复了沼泽河流景观。

其中的最佳案例是奈梅亨的“还地于瓦尔河”项目。这一项目将位于奈梅亨市北侧的堤坝向内移了 350 米，并在漫滩上疏浚了一条辅助河道，以便在高水位期间协助排水。修建后的河道具有保护城市免受水灾和提高城市空间质量的双重目标，并为奈梅亨提供了城市发展的可能性 (<https://www.ruimtevoorderivier.nl/room-for-the-waal/>)。

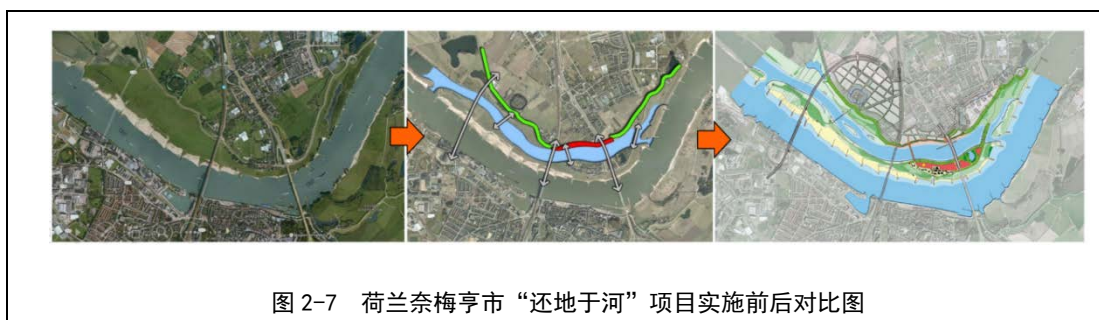


图 2-7 荷兰奈梅亨市“还地于河”项目实施前后对比图

## 2. 多瑙河：应对气候变化的措施工具包

19 世纪至 20 世纪中期，多瑙河流域早期治理的核心议题是航运和水能开发。20 世纪 80 年代后，多瑙河的水污染防治和生态保护问题成为流域治理的重点。1994 年，多瑙河 11 个沿岸各国成立了多瑙河保护国际委员会（ICPDR），协调各国开展水污染防治、防洪减灾等治理工作。

2010 年后，多瑙河保护国际委员会开始重视气候变化对多瑙河流域的影响，分别于 2012 年、2018 年制定两版《适应气候变化战略规划》。规划针对气候变化对多瑙河的冲击和挑战，从气候变化及流域脆弱性分析、水资源与水环境管理、洪灾风险管理和应对、干旱管理等方面提出一系列的措施工具包<sup>[23]</sup>。

### 专栏 2-3：应对气候变化措施工具包（Climate Change Adaptation Measures Toolbox）

ICPDR 制定了一套多瑙河流域应对气候变化的措施工具包，从治理领域、措施类型、时间尺度等不同维度，提供全面且易于使用的治理措施。治理领域包括农业、生态系统及生物多样性、航运、水能、洪水等方面；措施类型包括基础准备措施、基于生态的措施、技术措施、行动与管理措施、政策措施；时间尺度包括长期、中期、短期。该工具包可以在线查询：<http://www.icpdr.org/main/climate-changeadaptation>。

## 3. 密西西比河：下游和入海口三角洲的生态修复

19 世纪至 20 世纪中期，密西西比河的治理重点是航运和防洪，沿岸实施了一系列航运和防洪工程，对河流生态环境造成一定程度破坏。20 世纪 50 年代开始，密西西比河流域开始注重河流生态系统的恢复。20 世纪 80 年代以来，密西西比河实施了“密西西比河上游恢复计划”、“修复美国最伟大的河流计划”等流域生态修复计划<sup>[24]</sup>。特别是 2006 年后，密西西比河对下游地区和三角洲海岸线开展全面性的生态修复工作。具体措施包括恢复河岸两侧、河心洲岛的湿地、林地，对入海口三角洲开展岸线修复、保护等措施<sup>[25]</sup>。

### 专栏 2-4：密西西比河下游生态修复措施（“恢复美国最伟大的河流计划”）

2006 年后，密西西比河对下游河岸和三角洲海岸线开展全面生态修复工作，协调沿岸 6 个州的政府确定 200 多个实施项目。该计划重点推进 3 方面工作应对气候变化。一是对堤坝开槽以恢复支流流量，恢复水生生物栖息地；目前下游 30% 的堤坝已开挖水槽。二是将洪泛区内频繁被淹的土地恢复为湿地和林地，已认购约 110 平方公里（27000 英亩）的土地恢复为生态空间<sup>[26]</sup>。三是在河口三角洲实施沉积物转移、海岸线恢复等措施，减缓由于风暴、海平面上升导致的岸线侵蚀、洪涝等问题。河流入海口的路易斯安那州规划两个“分流”项目，让更多的河流沉积物从城市重新转移进入河口三角洲。

### 三、 长江流域面向 2050 年的治理愿景、准则与行动

2050 年是中国实现“第二个百年”宏伟发展目标迈向 2060 年“碳中和”最为关键的十年，也是欧盟实现“2050 战略性长期愿景”，美国实现“2050 净零排放长期战略”的关键节点。在全球应对气候变化的背景下，长江流域以其高度的复杂性，以及在中国和全球流域中的重要地位决定了应率先探讨气候变化下长江流域治理的愿景、理念与行动方案，为中国乃至全球其他流域提供示范。

#### （一） 长江流域治理的愿景与准则

##### 1. 流域治理愿景

深刻把握气候变化下的长江水资源变化特征，流域经济社会发展与生物多样性保护协调关系，坚持“共抓大保护，不搞大开发”，将长江流域建设成为更绿色低碳、更协调均衡、更安全韧性、更共享包容、更开放共治的“流域生命共同体”，为国际大河流域治理提供“长江样本”。

##### 2. 八大治理准则

**准则 1：共创愿景，流域共治。**重视中央与地方、部门与行业、地区之间、政府与市场社会的协同，关注流域的干支流、上下游、城乡密集地区与流域边缘地区、乡村与城市的协同。基于对问题和价值观的共同理解形成长期愿景，作为多方政策和一致行动的基础；制定跨部门事权、跨行政级别、跨地区边界的政策与行动纲领；充分发挥市场和社会的力量，实现真正的流域可持续治理。

**准则 2：从源头到沿海，责任共担。**将流域作为一个整体，不要将问题从上游转移到下游，也不要通过时间来转移问题。采取以流域为基础的综合办法，认识到水对流域发展的关键作用。将气候变化与社会经济发展结合起来，履行从源头到海口的整体责任，履行不同地区、不同部门、不同人群的共同责任。发挥流域整体功能，建立一体化协同治理体系，以适应和减缓气候变化。

**准则 3：以百年为计，规划蓝图。**流域治理应当具有长远的目标与价值取向，综合考虑碳中和、生物多样性等关乎未来人类文明生存与发展的重大问题，将流域治理问题纳入联合国生物多样性公约、气候变化公约的重点行动内容。

**准则 4：重视并应对不确定性。**流域治理既要面对气候变化的长期压力，更要应对灾害风险的短期冲击，以及可能的不确定性。应通过长期监测、综合建模与分析等技术，系统认识流域水文的长期作用；通过多情景分析以应对不确定性。

**准则 5：把握好流域与聚落的关系。**既要尊重并把握流域的宏观整体性，也要尊重并认识流域的中微观分区差异性，特别是人口经济高度密集的城乡聚落地区。重视这些高暴露度地区的脆弱性，以城乡聚落为依托，从生态保护、空间优化、设施建设、协同响应等环节制定分区分类的治理策略。

**准则 6：把握区域发展与社会公平的关系。**流域发展应提升全流域居民的福祉，因此需高度关注流域发展的不均衡性，关注乡村、小城镇、蓄滞洪区、生态保护区等流域发展的边缘易灾地区，关注女性、老龄人口、留守儿童等弱势群体，加强区域、社会与性别公平机制建设与易灾弱势群体的安全保障。

**准则 7：把握好人工措施与自然解决方案的关系。**应对气候变化的流域治理，应当以人为本，尊重自然，充分了解流域的系统运作方式与生态服务功能。既要重视系统性防御工程对于提升流域安全的基础性作用，也要重视基于自然的解决方案在缓解水安全压力、维持生态系统完整性、灵活性和适应能力方面的优势，加强统筹结合，有效增强流域抵御灾害风险的韧性。

**准则 8：创新探索，加强行动。** 继续加强在管理方法、知识计划、政策工具、前瞻性融资机制等方面的创新探索；继续加强气候变化下的流域治理雨可持续发展的知识，在世界范围内的交流与共享，进一步将知识转化为全球共同行动。

## （二） 需要持续关注并开展行动的重要领域

**提升流域城乡聚落的韧性。** 随着气候变化与社会经济发展，长江流域最紧迫的问题就是应对灾害风险并降低脆弱性，必须牢守水安全底线，高度重视流域沿线的城乡聚落，采用分类分区的应对策略，提高气候变化适应性。

**开展流域岸线综合治理工作。** 集水区是流域的主要压力源所在，会对其他系统产生大面积且长时间的影响，其突出表现为岸线空间的利用给流域带来的压力。因此，加强岸线综合评估，优化岸线治理是当前流域城乡聚落密集地区应对污染治理的关键性抓手，同样应当予以重点关注。

**加强对三角洲等关键地区的关注。** 三角洲通常是大河流域保护与发展矛盾相对突出的地区，也是未来对气候变化影响最敏感的区域之一。因此，除了城乡聚落、河流岸线，还应当高度关注河海口三角洲、蓄滞洪区、重要农业自然生态地带等关键地区，加快识别关键地区内的各类风险并加强气候变化下的风险应对。

**加强对易灾地区、易灾群体、易灾领域的关注。** 充分考虑气候变化对流域在空间、要素影响的差异性，监测识别流域内受气候变化影响明显的易灾地区、易灾群体、易灾领域。采取针对性、多样化的措施，确保不同区域、人群在面对气候变化带来的灾害风险时具有平等的防灾能力和公平发展的权力。

**优化流域规划设计的理念和方法。** 在流域规划与建设中充分考虑气候变化影响，提出融合工程和非工程措施的综合解决方法体系。以整体性、系统性思维协调流域发展规划、国土空间规划，以及生态保护、资源利用、防灾等各类专项规划，加强规划编制过程中的多元主体参与和共同实施机制。

**建立长期跟踪监测气候变化对长江流域压力的机制。** 加强监测，建立覆盖全流域的监测评估信息网络，及时了解流域气候变化的长期趋势与短期风险；通过组合建模场景和数据分析实现预警，科学并务实的制定适应性路径及相关措施，并围绕不确定因素进行及时调整。

**倡导和推广基于自然的解决方案。** 将 NbS 作为流域缓解水压力和保护生态安全的重要工具，并与传统的工程解决方案相结合，在减少洪水等灾害风险的同时维持生态系统完整性。运用 NbS 可提高流域治理的灵活性和适应能力，以应对长江流域复杂的地理和社会经济空间差异，以及气候变化带来的不确定性影响。

## 四、 长江流域气候变化的现象和灾害风险分析

灾害风险是当前长江流域面对气候变化的首要紧迫问题，主要受到强降水、升温、干旱和极端天气四大气候变化因素的影响。通过回溯历史上灾害发生的频次、影响规模、损失以及空间分布，结合流域人口、城镇和经济产业分布，以研究灾害影响暴露度，并进一步研判气候变化影响下长江流域灾害风险空间特征。



## （一）长江流域基本特征

长江是中国第一、世界第三大河，干流全长约 6300 公里，流域面积约 180 万平方公里；自西向东流经 11 个省区市，注入东海。

**地理特征。**流域跨越中国三级地形阶梯，上中下游的自然地理特征差异巨大。流域地势西高东低，河源至河口总落差约 5400 米。上游段以高原、山地、峡谷地形为主，河床比降大，水流湍急；中游段平原、丘陵、山地相间分布，河流迂回曲折、江面宽展、支流众多；下游段以平原地形为主，江阔水深，支流较短小。

**气候特征。**流域大部分地区处于亚热带季风区，受地形影响，地区间气候差异明显。冬寒夏热、干湿季分明为气候的基本特征，多年平均年降水量 1067 毫米。流域年降水量和暴雨的时空分布不均，受极端气候事件的影响较大。

**水文特征。**水资源丰富，但上中下游分布不均。流域多年平均水资源量 9959 亿立方米，约占中国水资源总量 36%，单位国土面积水资源量为 59.5 万  $m^3/km^2$ ，约为中国平均值的 2 倍。地表水资源量中游更为丰富，上、下游相对较少。



图 4-1 长江流域水系图

**人口特征。**是中国人口和经济活动的主要聚集区。国土面积仅为全国的 21.3%，但聚集了全国 42.9% 的人口，2020 年区域总人口约 6.06 亿人，人口密度约 296 人/平方公里，为全国平均水平的 2 倍。

**经济特征。**流域上、中、下游地区经济与城镇化发展水平梯度差异显著。下游的长三角地区人口密集、经济发达，人口密度约 800 人/平方公里，人均 GDP 已接近 2 万美元，城镇化率普遍高于 70%。中游地区人口密度约 330 人/平方公里，人均 GDP 约 1 万美元，平均城镇化率约 60%，与世界银行中高收入国家水平相近。上游地区人口密度较低，约 180 人/平方公里，人均 GDP 低于 1 万美元，城镇化率在 50%-55% 之间，仍处于相对欠发达阶段。

**城镇化特征。**长江流域城镇分布密集，2020 年城镇化率达到 63.2%。现有设区市 243 个，县级城市 584 个。绝大多数城镇都沿江分布，长江干流及主要支流两岸分布有 28 座百万人以上的大城市，以及大量的中小城镇。流域内已形成长三角、成渝、长江中游等城市群。

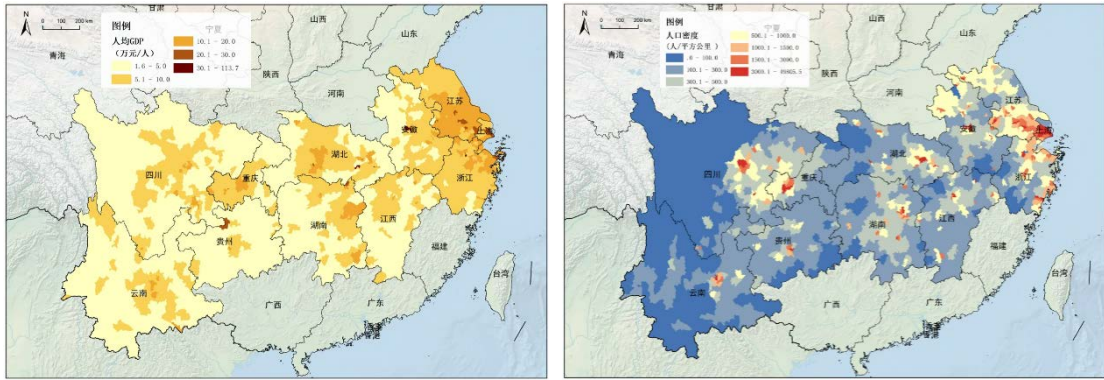


图 4-2 长江经济带 2020 年分区县人均 GDP (左)、人口密度 (右) 分布图

## (二) 长江流域气候变化现象

气候变化作用于长江流域的压力主要表现为强降水、干旱、升温和极端天气。

**强降水。**气候变暖引发强降水频率增加。研究指出，全国降雨总量的时间变化趋势并不明显，但是降雨强度在增强。长江全流域及各支流的极端降水情况（极端少雨和极端多雨）在时间变化上呈现一定规律性：1960 年以来强降水变化率存在增加趋势<sup>[27]</sup>。2017 年国务院确定的 60 个内涝严重城市中，有 36 个位于长江流域。2018 年长江经济带共有地质灾害及隐患点 16.6 万处，约占全国的 58%。

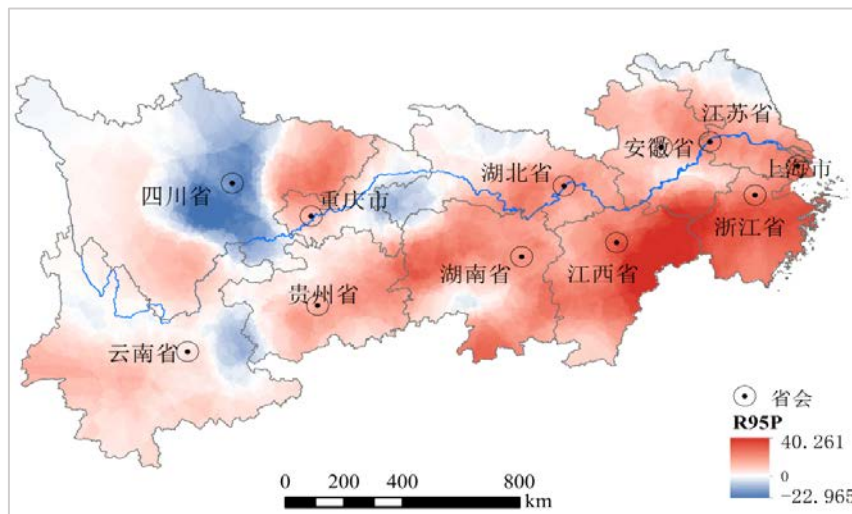


图 4-3 1960-2015 年长江流域极端降雨变化率

**升温。**受全球变暖现象影响，长江流域 1970-2014 年平均气温显著增加(气温倾向率约  $0.4^{\circ}/10a$ )，流域四季均温、最冷月和最热月平均气温均呈明显上升趋势<sup>[28]</sup>。1970-2015 年长江流域冰川面积退缩 14.5%，1984 年以来三江源地区冻土厚度每 10 年减少 5.6 厘米<sup>[29]</sup>。2018 年全流域夏季高温日（温度  $\geq 35^{\circ}$  数大于 30 天的涉及 40 个市约 2.2 亿人<sup>[30]</sup>。海岸线上升速率略高于全球平均水平，至 2050 年根据预测将升高 0.145-0.2 米。

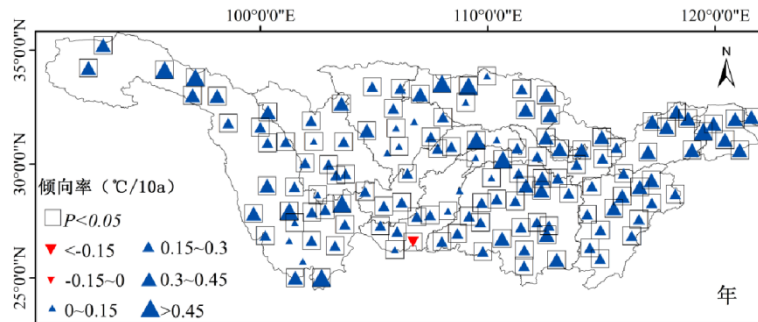


图 4-4 1970—2014 年长江流域年平均气温变化的空间分布

**干旱。**气候变化可能导致长江流域局部地区出现干旱。研究表明，全球升温 1.5℃ 情景下，长江中下游年降水量相对于 1986—2005 年减少 5%；全球升温 2.0℃ 情景下，长江中下游年降水量下降 3%<sup>[31]</sup>。干旱风险主要分布在上游地区，1961—2015 年贵州、云南等上游地区干旱日数每十年增加 5—10 天<sup>[32]</sup>，但干旱带来的饮水困难、农作物减产都呈减少趋势。2018 年全流域森林火点数共计 862 处，随着防火措施加强，2010—2018 年火点数量呈下降趋势<sup>[33]</sup>。

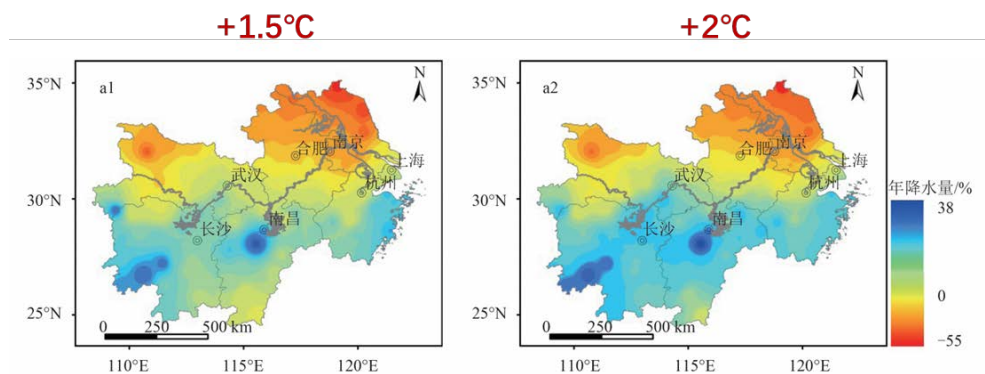


图 4-5 气候升温情景下长江中下游年降水量变化预测

**极端天气。**相关研究预测，全球升温 1.5℃ 目标下，长江流域 20 年一遇与 50 年一遇极端降水量相比 1986—2005 年将增加 10% 和 9%；全球升温 2.0℃ 目标下，将增加 14% 和 15%。空间上表现为中下游普遍增加，上游地区则主要表现为减少趋势<sup>[34]</sup>。长江下游地区台风灾害频繁，1949—2010 年 61 年间，长三角各城市平均受台风影响次数为 65.4 次<sup>[35]</sup>，近年有增加趋势。长江流域的江苏、安徽、湖北、湖南、云南等低温冻害较严重<sup>[36]</sup>，近年呈减少趋势。从极端天气的灾害损失来看，人员伤亡和房屋损坏情况有所降低，但基础设施损坏等直接经济损失持续增长。



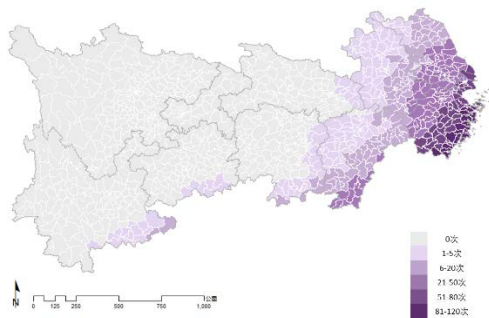


图 4-6 长江流域 1980-2016 年台风灾害影响频次图

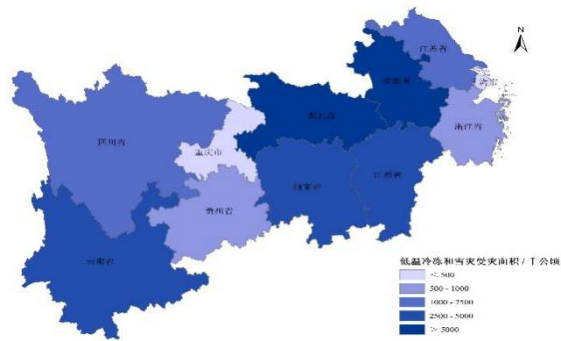


图 4-7 长江流域 2004-2020 年低温冷冻和雪灾受灾面积空间分布图

根据中国气象局热带气旋资料中心资料绘制 数据来源：《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》

### (三) 强降水引发的风险

长江中下游干流和主要支流的洪水风险增大。1840 年以来，长江流域的特大洪水和大洪水主要分布在中下游干流沿线以及湘江、汉江、赣江等主要支流沿线。1998 年长江发生流域性洪水，中下游五省受灾严重，受灾范围遍及 334 个县（市、区），倒塌房屋 212.85 万间，死亡人口 1526 人<sup>[37]</sup>。2020 年长江发生流域性洪水，干流发生 5 次编号洪水，三峡水库出现建库以来最大入库流量，全流域共 378 条河流发生超警以上洪水，156 条河流发生超保洪水，51 条河流发生超历史洪水<sup>[38]</sup>。从 2010-2020 年统计来看，中下游地区的人口正持续向沿长江干流和湘江、汉江、赣江等主要支流的大城市集中，大城市洪水安全风险进一步提升。

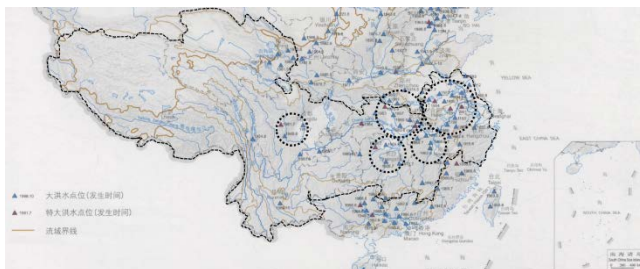


图 4-8 全国重大洪水点位

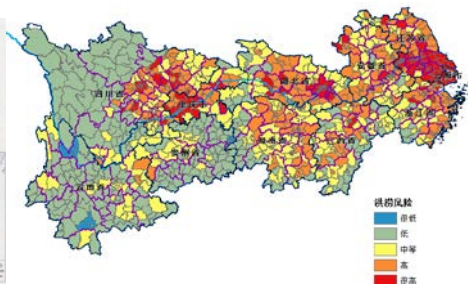


图 4-9 长江流域洪灾风险等级分布图

资料来源：史培军，中国自然灾害系统地图集，科学出版社，2003

干流和主要支流大中城市内涝风险进一步加大。国务院确定的长江流域共 36 个内涝灾害严重城市，主要分布在中下游湖北（10 个）、湖南（9 个）、安徽（6 个）以及上游四川盆地（5 个），主要为沿长江干流和嘉陵江、汉江、湘江、赣江等主要支流沿线城市。36 个城市市辖区总人口 9337 万人，2010-2020 年共增长 1897 万人。受强降雨影响，未来成都、重庆、长沙、合肥、武汉、南昌等大城市内涝风险有进一步加大的可能。

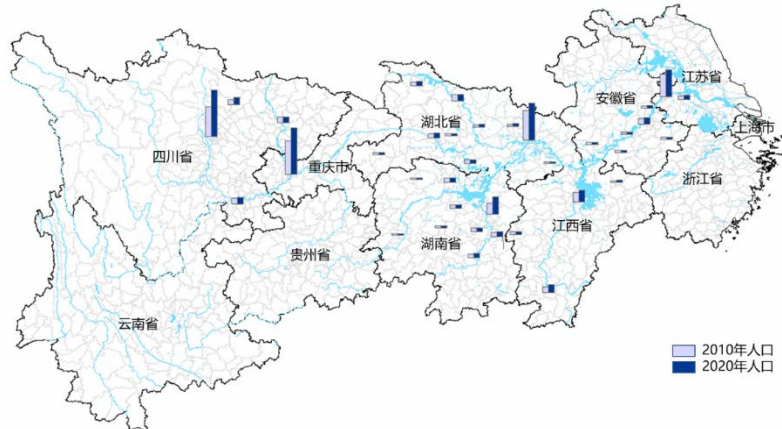


图 4-10 长江流域 36 个严重内涝城市 2010-2020 年常住人口变化

上游的川渝、云贵山区地质灾害风险较大。长江流域地质灾害主要集中在川西山区和川南局部地区，重庆渝东北和渝东南地区，贵州黔西、黔南地区，云南小江、澜沧江和金沙江地区。上述地区整体人口密度不高，但近年来，川西、渝东北、渝东南、黔西、黔南、滇西等部分县（区、市）人口增加，其中，滇西大理市、黔西大方县等人口均增长 8 万以上，人居安全风险或许将继续提升。

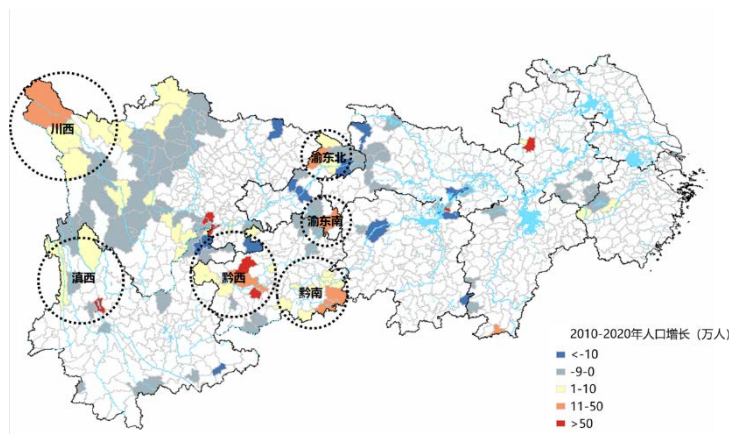


图 4-11 长江流域地质灾害频发地区 2010-2020 年常住人口变化

#### （四） 区域升温影响

**长江源头冰川退缩和冻土融化威胁生态系统。**冰川退缩和雪线上升主要集中在唐古拉山和巴颜喀拉山地区，威胁三江源等上游生态地区，可能导致生物多样性降低、群落结构和功能改变。冰川退缩还将影响长江流域水文循环，引发下游地区的洪水风险，1935 年以来青藏高原发生了约 40 次冰川湖洪水灾害，长江源沱沱河流域 1960-2000 年的冰川平均融水径流增加了 120.89%<sup>[39]</sup>。三江源地区地区的曲麻莱、杂多、称多、玛沁等地区冻土深度减少幅度较大<sup>[40]</sup>。冻土退化导致土壤温度湿度变化显著，土壤表层有机质含量减少，存在植被退化、植被覆盖率下降、植株高度变矮等风险，尤其对对高寒草甸、高寒沼泽草甸的影响更为明显。

**上游重庆、中游大部和下游南部都市圈地区的高温热浪威胁加大。**2018 年全流域夏季高温日数（温度 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ）大于 30 天的范围共涉及重庆周边，中游湖北、湖南和江西大部，下游安徽和浙江南部。若全球升温从  $1.5^{\circ}\text{C}$  增加到  $2^{\circ}\text{C}$ ，有可能使长三角、长江中游、成渝极端高温的强度加剧 4.1 倍<sup>[41]</sup>。

长江流域都市圈人口密集且增速快，2010-2020 年各都市圈增长 3000 万人，占总增量的 91%，未来重庆、武汉、长沙、南昌等都市圈将面临更加严峻的高温热浪风险。

**下游沿海和沿湖地区受海平面上升威胁。**上海、南通和舟山等沿海地区，地势较低，受海平面上升影响的风险较高。中下游的洪泽湖、巢湖和鄱阳湖周边地区，地势低洼，存在沿江倒灌风险。下游上海、浙江、江苏、安徽四省人口密集且增长快，海平面上升影响的高和较高风险区 2020 年人口为 1546 万人，2010-2020 年共计增长 55 万人；中风险区 2020 年人口为 6398 万人，2010-2020 年共计增长 864 万人。随着人口进一步聚集，海平面上升带来的威胁进一步加剧。

### （五） 干旱引发的风险

**中上游局部地区存在水资源短缺风险。**1981-2010 年，年干旱日数超过 50 天的区域主要包括四川盆地、四川攀西地区、云贵川交界、云南东南部和南部等地区；超过 40 天的区域则还包括云南大部、贵州东南部、湖北北部、湖南北部、江西南部等地区<sup>[42]</sup>。四川盆地、云南东南部、江西南部等地区用水量还在继续增加，需进一步提升应对旱灾的能力。

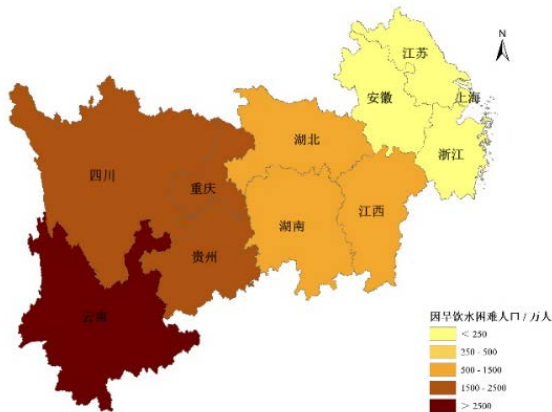


图 4-12 长江流域 2006-2020 年  
因旱饮水困难人口空间分布  
(数据来源：水利部《水旱灾害公报》)

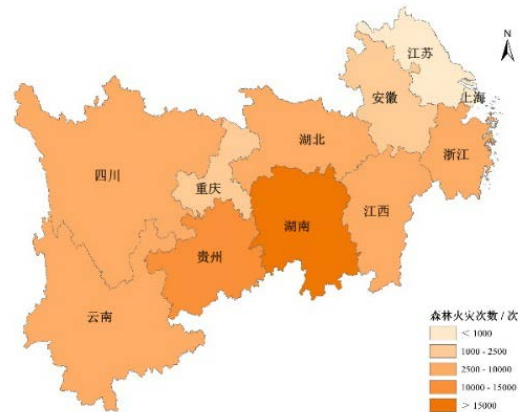


图 4-13 长江流域 2003-2020 年  
森林火灾发生次数  
(数据来源：中国统计年鉴)

**中上游南部山区的森林火灾风险较大。**四川南部、云南南部、贵州西部、湖南南部、江西南部、湖北北部山区森林火点数较多。上述地区总体人口密度较低，但 2010-2020 年人口普遍增长，人居安全风险可能会有所增加。此外，四川南部、云南南部等地区生态保护重要性较高，森林火灾可能对生物多样性造成一定威胁。

### （六） 极端天气引发的风险

**沿海地区台风威胁加剧，云南局部受热带气旋影响。**台风主要影响长江下游江浙沪沿海地区，存在一定海岸淹没风险。上海堤防水平相对较高，可以抵御中、低强度的风暴潮，但极端天气下的台风仍有很大风险。云南局部受南海登陆的热带气旋影响，表现出大风、强降雨等灾害性天气。

**长江中游地带农业生产受低温冻害影响。**低温冻害及雪灾主要影响湖北、湖南等中游地区，上游云南、贵州和下游安徽等地也有部分地区受影响。在低温冻害影响区内分布了长江中下游平原优质农业产区，需要提高农业应对风险的能力。



长江上中游交界地带受风雹影响。风雹以重庆、云南、贵州最为突出，湖南、江西较为频发。上游包括川渝交界地带的重庆主城、宜宾市、毕节市、六盘水市等；中游包括常德市、九江市等。其中重庆、长沙和南昌等都市圈，人口较为密集，风雹灾害风险较高。风雹灾害还覆盖川东北、湘北等优质农业地区，对农业生产造成一定风险。

## (七) 主要灾害的空间特征与风险分析

### 1. 主要灾害的空间分布

长江上游地区强降水引发的洪涝和地质灾害最为突出，发生频次高、影响范围广、灾害损失严重，还常见风雹、低温冻害等灾害。其中，四川盆地盆周地区，包括龙门山、大巴山、巫山一带，主要灾害为强降水引发的山洪和滑坡、泥石流等地质灾害；四川盆地盆中地区，以成都平原为代表，主要灾害为高温、城市内涝；云贵高原地区，主要灾害包括山洪及地质灾害、干旱、低温冻害；四川攀西地区和滇南山地地区，主要灾害为森林火灾、山洪及地质灾害等。

长江中游地区受洪涝灾害影响较大，干旱和低温冻害同样频发。江汉平原地区主要灾害包括洪涝、干旱和地温冻害；中游沿江地区主要灾害包括高温、城市内涝、河流洪水等；洞庭湖平原地区，主要灾害包括洪涝、干旱和低温冻害；鄱阳湖平原地区，主要灾害为洪涝；南岭地区，主要为森林火灾、滑坡等地质灾害。

长江下游地区及沿海受海平面上升和台风影响较大。长江河口地区面临海平面上升和台风风暴潮风险；淮河沿线地区主要面临洪涝和干旱风险；下游沿江地区主要受洪涝、台风影响；浙南山地地区主要受山洪及地质灾害、台风灾害影响。



图 4-14 长江流域气候变化导致的主要灾害的次级分区

### 2. 重点地区的风险分析

直辖市、省会城市及其都市圈，人口增长快，气候变化导致的灾害风险较大。其中成都、重庆、长沙等以高温、内涝为主；贵阳、武汉涉及洪涝灾害、干旱、低温冻害；南昌、合肥、南京主要为洪涝灾害；上海、杭州主要风险为台风，浙南城市涉及山洪和地质灾害影响。上述地区近十年内人口增长普遍在 10 万以上。

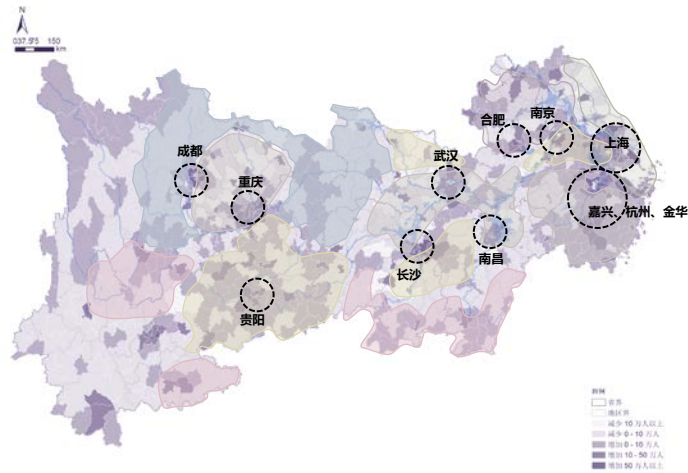


图 4-15 灾害分区与人口增长叠加分析

上中下游北部的农业生产区受洪涝、干旱、低温冻害等影响风险较大。四川盆地、汉江平原、中游沿江地区、洞庭湖平原、鄱阳湖平原、淮河流域农业广布，受到洪涝、干旱、低温冻害等灾害影响，在气候变化影响下农业产业风险可能加剧。其中，上游四川盆地盆中主要为短期洪涝灾害；中游地区江汉平原、两湖平原是我国重要水稻产地，五月下旬早稻孕穗扬花期易受到低温冻害，夏季低洼洪涝渍水和春秋旱均易造成农业减产；下游地区则受洪涝和台风影响较大。

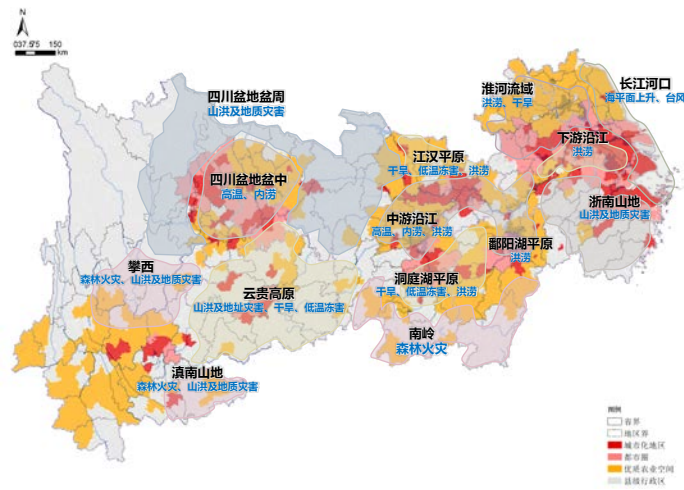


图 4-16 灾害分区与优质农业地区、城市化地区叠合

## 五、 长江流域应对气候变化的韧性策略

长江流域沿线城乡聚落的安全韧性是当前应对气候变化与灾害风险的关键所在，需要提高长远的灾害防御能力、适应能力，也要为极端气象的短期冲击做好更充分的应对与准备。具体而言，应当统筹工程措施与基于自然的解决方案（NbS），通过生态保护、空间优化、设施建设、应急管理四个方面形成综合性安全韧性策略。

## (一) 长江流域提升韧性的策略

### 1. 生态保护策略

生态保护策略通过减少灾害事件发生的频率和强度，从源头降低风险，并对增加碳汇、帮助中国实现“双碳战略”起到重要作用。

**管控生态功能区与自然保护区。**长江流域分布有多个重要生态功能区，实施严格的“生态保护红线”制度与“环境损害赔偿”制度，可以维持与提升重要生态功能区与自然保护区的生态水平。鼓励探索利用自然保护地碳汇增量实现碳中和，提高生态补偿环境效率。 [43][44][45][46][47]

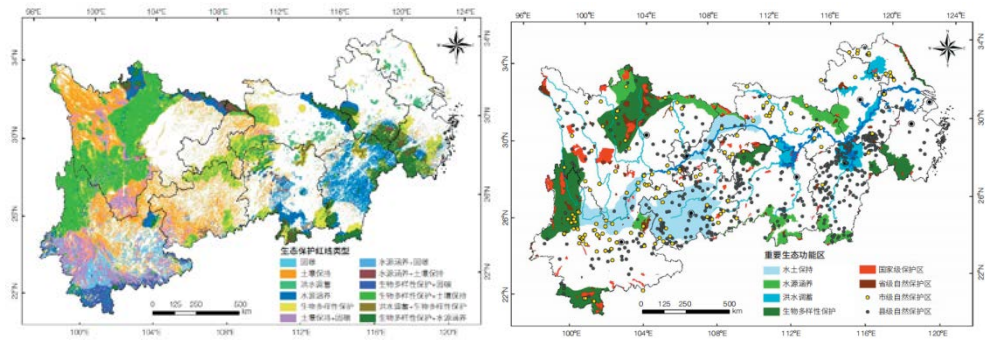


图 5-1 长江流域生态保护红线（左）与重要生态功能区和自然保护区（右）的空间分布

**加强水土保持综合治理。**长江流域是中国水土流失最严重的区域之一，气候变化将对水土流失形成更大的压力。应尽快依法划分并公告水土流失严重、生态脆弱的地区，科学推进严重水土流失区的综合治理，提升监测服务能力和发现问题水平，强化行业水土保持监管。综合治理可以采取一系列技术理念，包括：拦截排导坡面径流和壤中流，在雨季存蓄一定水量；陡坡地退耕还林还草、荒山丘陵绿化；缓坡推广坡改梯工程、保土耕作等保土措施；种植林果时可合理布设坡面小型截排蓄工程和田间道路；配置互相配合的工程措施控制沟道侵蚀发展。总体来看长江流域水土保持科学研究基础还比较薄弱，水土机理、气候变化下流域水沙动态等关键领域应成为当前研究的重点。 [48][49][50]

### 2. 空间优化策略

城乡聚落的空间布局不能仅以发展效率为依据，还应充分考虑安全、宜居、生态等多元目标。空间优化策略可以通过科学的城市用地选址，避让灾害冲击空间，降低灾害风险；通过增加容灾缓冲空间，实现与灾害共生、适应灾害发展。在空间优化策略的选择中，应注重基于自然解决方案的选择与实施。

**建立严格的新城新区选址灾害安全评估制度。**长江干流及主要支流地区易受河流洪水影响，与城市选址关系密切，重大地震或地质灾害后涉及异地重建，新城与搬迁地的选址应当进行严格的灾害安全性评估，尽量选用安全的场地，利用自然条件降低灾害风险，从源头降低场地暴露度。滨水地区开发要以安全防御体系规划、场地竖向规划为依据；严格限制填河湖、削山填谷的选址与建设方式。

**控制居住、就业人口布局和土地开发强度。**防止人口密度过高导致灾害损失扩大。我国大城市有大量居住地区的人口密度在 2 万人/km<sup>2</sup> 以上，应继续降低。

**推行城市空间的组团布局模式。**要优化和改善快速发展中忽视安全与生态的城市用地布局，把“摊大饼”布局转向组团式布局，引入大型绿带绿楔与风廊，既可以减缓热浪、强降水的灾害影响，又为城市提供更多的避灾空间。

**“还河流以空间”。**河流滨水地区的空间组织十分关键，具有长时间尺度的重要性。尊重自然水系、历史水系，把被产业用地、住房开发等占领的历史河道、行洪河道还给河流，发挥行洪、蓄洪的

功能。尽可能保留自然的滨河用地，为未来的适用性举措提供灵活性。由荷兰提出的这一理念在实践中总结了“保留、储存、排水”的解决方案，通过改造河道，形成河道对降水的韧性缓冲能力。“还地于河”的主要技术措施有堤防后移、恢复河漫滩和降低河床等。

**划定灾害风险区，留出容灾空间。**根据灾害影响范围与强度划定容灾缓冲空间，尤其是山洪、地震、滑坡、泥石流等山地灾害风险区；必要时实施高风险区移民迁建工程，并加强人口聚集点防灾工程设施建设；同时完善灾害风险区及周边的灾害监测预警与应急响应体系，及时引导人员疏散撤离。

### 3. 设施建设策略

灾害防御体系、基础设施建设是城市安全韧性的基本保障，长期以来地方政府重发展轻安全，重地上轻地下的惯性思维必须从根本上改变。设施建设中，要避免单个项目的工程思维，重点落实灾害防御体系的系统性。应特别重视流域城乡聚落的灾害防御体系、海绵城市韧性适应体系、应急供应保障体系和生命线设施体系的建设。

**加强系统性、工程性灾害防御体系的建设。**流域尺度上，将长江及其干支流堤防加固与蓄滞洪区建设和长江干支流水库群联合优化调度有机结合，形成较为完备的“堤防+水库+分洪区”长江综合防洪体系，实现对洪水的防、堵、疏、排、截；要高度重视城市防洪能力与流域防洪能力的统筹协调，避免流域防洪标准不一造成的城市灾害风险。在城乡聚落层面尽量“蓝绿灰”设施相结合的主动适应性防灾减灾措施，形成综合性的防灾减灾策略。

**推进海绵城市建设。**以源头减排为先，建设绿色设施，增强城市在应对气候变化和抵御暴雨灾害等方面的“韧性”，促进形成生态、安全、健康、可持续的城市水循环系统。根据长江流域具体城市降雨特征、内涝问题和水资源问题等，在充分分析论证的基础上，选择合理的目标，并结合当地地下水位、土壤地质、气象特征等因素进行合理设计，灵活选取“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种措施组合，增强雨水就地消纳和滞蓄能力。<sup>[51][52][53]</sup>

**重视应急供应保障体系。**区域化、本地化的生产、流通和消费体系建设可以大大减少日常食物和产品消费的成本和碳排放，是发达国家减碳、零碳的重要措施。区域化、本地化的供应体系也是城市安全韧性的重要保障，在长历时自然灾害、疫情管控等情况下，本地化的生产消费体系的优势十分明显。城市应急供应保障系统采用可再生、分布式能源不仅绿色低碳，还可以提高灾害中的供应韧性。

**强化生命线设施建设。**电信、医疗、救援等生命线系统强韧可降低城乡聚落的脆弱性，保障灾时城市维持基本运行，并支撑灾后快速恢复。工程措施上，可以加强管网系统柔性连接，以应对不均匀沉降、地震等灾害。在网络可靠度提升方面，构建多源多路联系，采取分布式布局以提高供给可靠性；采用分级设防，以应对不同等级灾害情景，适应灾时应急保障需求；结合应急服务设施配置应急供应保障设施，提升巨灾下救援保障能力。在市政管网的规划中，可针对中震、大震、巨震多情景下供水节点的可靠性分析，最终确定可靠度提升的韧性措施。

### 4. 应急管理策略

完善的应急策略能够提升灾害发生时的系统动员能力和居民响应能力，尽可能保护生命财产、减少系统功能的恢复时间。

**完善跨区域、跨部门的应对气候风险合作机制。**落实《长江保护法》要求，推进长江及其主要支流上下游、左右岸的城镇建立流域合作治理机制；以次级流域为单元建立流域联合调度、守望相助机制。

**建立长江流域气候变化与灾害评估监测信息网络。**以流域为单元共建监测预警体系，建立风险评估与情景模拟平台，通过信息平台为流域内的政府部门以及居民提供风险评估和避灾引导。推进卫星雷达遥感、人工智能、云计算、5G等先进信息技术与灾害监测业务的融合，实现洪涝、地震、台风等多灾种的灾害风险信息的采集存储和共享交换。建设“灾害风险地图”信息平台，在灾害形成后第一



时间向相关部门、社会团体和居民发送预警信息，减少信息差，助力居民利用黄金 72 小时的时间开展自助互助。

**提升地方政府、基层组织、公众的应急响应能力。**因地制宜制定基层应急预案，缩短面对突发灾害的应急决策环节；借鉴香港“风球响应机制”经验，加强社会公众应急培训；建设韧性社区，提升社区应急响应的自主性。

## (二) 上中下游区域韧性策略



图 5-2 长江流域上中下游地区次级地理分区与灾害特征图

### 1. 上游区域韧性策略

**长江源头地区：**为应对冰川冻土融化带来的生境改变，继续加强生物多样性保护，并健全冰川监测机制。对三江源等生态重要地区持续开展生态修复。结合动物生活迁徙地域的改变，优化调整保护区范围，控制野生动物迁徙通道。在管理手段方面，建立健全冰川生态监测体系和预警机制。

**四川盆地盆中地区：**在应对高温热浪方面，一是优化城市生态空间布局，预留城市风廊和上风向冷源空间，利用自然方式减少热岛效应；二是加强高温预警，有条件的调整高温作业时间。在应对城市内涝方面，恢复自然河湖水系，控制好城市蓝线绿线，增加洪水消纳空间；二是建设海绵城市等绿色基础设施，强化排水管网、排涝泵站等灰色基础设施建设，并针对易涝片区进行排水防涝设施改造。

**四川盆地盆周地区：**为应对滑坡泥石流等地质灾害，以灾害预警和分阶段转移为主，局部采取工程措施。一是加强生态保护，推进生态退耕，减少地质灾害发生风险；二是加强空间优化，逐步推进地质灾害移民搬迁；三是强化生命线工程建设，优化市政设施选址，降低设施的脆弱性；四是完善应急管理手段，及时发布灾害监控预警，加强保障应急物资储备等；加强三峡库区消落带的综合治理。

**云贵高原：**应对旱灾方面重点加强监测，合理修建水利设施。一是加强生态保护，优化植被结构，减少强蒸腾作用；二是适度调整农业种植结构和布局；三是加强工程措施，建设农田水利设施建设、应急水源，实施人工降雨；四是完善管理手段，建立动态分析预警制度，建设节水型社会。

**云南和四川南部山区：**应对森林火灾风险，综合生态、工程与管理措施，提高森林防火能力。一是加强生态措施，引入耐火树种，建设防火林带；二是采取工程措施，增加消防取水点与森林消防通道；三是改进管理手段，包括设立禁火区，建立智能监测和预警系统等。

**缓解上游水电开发对生态环境的影响。**加强长江上游珍稀特有鱼类自然保护区的保护。加强水电开发的环境影响评价，通过增殖放流、设立过鱼通道、水库生态调度等措施，满足鱼类栖息繁殖需求。研究在生态敏感地区河流，拆除中小型水电站，恢复河流自然状态和生境，实施流域生态修复。



## 2. 中游区域韧性策略

**湘鄂西部山区：**应对地质灾害，重视源头生态治理与工程措施，加强监测预警预报。通过生态造林、边坡治理等源头治理方式涵养水土；预留容灾缓冲空间，灾害高风险区进行避让；建设截洪沟、护坡等地质灾害防治工程，塌陷工程处理；完善监测预警与信息发布机制，引导民众转移避险，保护生命财产。**低温冷冻方面提升监测预警能力，推进设施建设。**注重科技创新，建设能源供应工程；完善监测预警与信息发布机制，引导民众避险；完善区域协调互助机制。

**两湖平原与鄱阳湖平原：**应对暴雨洪涝，采取河湖水系保护联通、堤防建设、泵站提标、河道治理、生态修复、海绵城市相结合的系统方式。通过进行严格生态空间管控，维持与增加城市湖泊面积和岸线长度，保障调蓄功能；构建河湖贯通、生态积蓄的水资源利用体系，发挥内涝防治作用；加强源头海绵设施建设，构建超标行泄通道以及雨污分流改造；开展超标应急研究，制定超标暴雨内涝防治预案，通过宣传教提升公众防灾避险意识和自救互救能力。**应对高温干旱，改善通风条件。**通过改善局部小气候缓解热岛效应；改善通风条件，打造通风廊道。

**南岭区：**注重防火隔离，完善救援体系，培养公众防火意识。设置防火隔离带，种植防火树种；建设与完善森林及周边区域的监测站点，配备高效监测设备；加强公众教育与宣传，培养防火意识；完善监测预警与信息发布机制，引导民众避险；完善森林消防救援体系，加强专业人员队伍建设，构建区域协调联动机制。

## 3. 下游区域韧性策略

**长江干流及大湖地区：**构建水陆域生态安全网络，保护湿地、滩涂、洲岛等重要自然空间，建设滨江陆向缓冲带，修复垂江水陆生态通廊。应对梅雨期洪涝灾害的影响，开展“退圩还水”，增加流域的蓄洪空间，通过河湖联动增加大湖地区的排洪通道。提高长江干流和大湖防洪标准，以绿色、低冲击方式加强长江下游防洪堤、水闸水泵等设施建设。

**河口及沿海地区：**应对海平面上升与台风风暴潮的影响，调整岸线用地结构，制定海岸带分区分段的管控体系。结合河口地区生态系统复杂性和脆弱性，加强湿地滩涂恢复和重点保护区、生物栖息地建设。利用滨海盐碱化空间，增加弹性蓄水区。设施建设方面，加强应对极端风暴潮的海防工程建设，加强城市排涝工程建设。应急管理方面，完善河口和海岸线安全预警机制。

**皖南、浙北山区：**建立上中下游通畅的水系网络，构建河湖、水库、湿地等组成的相互补充的雨洪调蓄系统。恢复自然水系洪泛区域，把雨洪纳入场地。设施建设方面，上游修建调蓄水库，错峰调节过境洪峰；中游加强堤防建设，保障行洪安全；下游河道疏浚及卡口清障，提升河道过流能力。生态保护方面，加强山区林地、湿地建设，增强水土保持功能。应急管理方面，建立上中下游联防联控体制机制。

**淮河流域地区：**应对洪水的影响，加强蓄滞洪区和滨水缓冲带建设；建设缓坡河流泛洪区，提高河道库容能力。完善水库调度、蓄滞洪区、跨流域调水等区域工程性措施。应对干旱的影响，加强节水设施利用，提高农业灌溉效率，鼓励种植节水型农业；加强河流集水区管理，对大型湖库进行补水。

# 六、 长江下游岸线利用问题与优化策略

长江下游地区作为中国的经济发展引擎和人口密集区域，面临着前期发展积累的阶段性问题，即以环境为代价，高资源消耗的粗放发展模式，主要表现之一就是岸线利用。因此，下游地区如何围绕岸线的更高质量保护利用，助力流域可持续发展，十分关键且有益。

## （一）岸线利用的现状分析

本次研究基于 2010 年、2020 年谷歌地图影像数据，系统梳理了长江干流南京以下至入海口段的干流岸线和洲岛岸线利用情况（见表 6-1），并绘制成图纸。

表 6-1 岸线绘制分类方法

岸线分类		绘制方法与具体解释
大类	小类	
自然岸线	生态保护岸线	包括省、市生态保护红线名录中涉及到的相关岸线
	自然保留岸线	陆域进深 1 公里以内是生态、农业主导功能
人工岸线	港口岸线	根据沿江城市港口现状等资料绘制
	工业仓储岸线	陆域进深 1 公里以工业园区和工业企业岸线（含港口规划中的工业业主码头岸线）
	生活岸线	陆域进深 1 公里是城市生活功能，包括生活游憩、景观岸线、城市取水口岸线等
	其他利用岸线	包括过江通道、市政基础设施、特殊用途岸线等

据统计，2020 年长江南京以下岸线总长度约 2020 千米，其中自然岸线占比 61%，人工岸线占比 39%。人工岸线中，工业仓储岸线占比 41%，港口岸线占比 32%，生活岸线占比 23%，其他占比 4%。2010-2020 年十年间岸线净增加 42 千米，自然岸线减少 170 千米，人工岸线增加 212 千米。从人工岸线变化看，生活岸线增加 109 千米，工业仓储和港口岸线增加 96 千米，其他岸线增加 7 千米。

**岸线利用粗放、低效，缺乏统筹安排。**主江岸线接近六成已开发为人工岸线。其中，港口岸线长度 251 千米，占人工岸线 32%。港口岸线使用效率相差巨大，按照万吨每千米吞吐量计算，使用效率最高的上海是最低的南通的 3.5 倍。大量优质岸线被企业码头占用，导致岸线资源闲置和浪费的情况很普遍。长江下游有造船厂岸线 107 千米，其中低小散造船厂岸线达到约 30 千米，占全部造船厂岸线 28%，主要分布在仪征、扬州、泰州、泰兴、靖江等地。

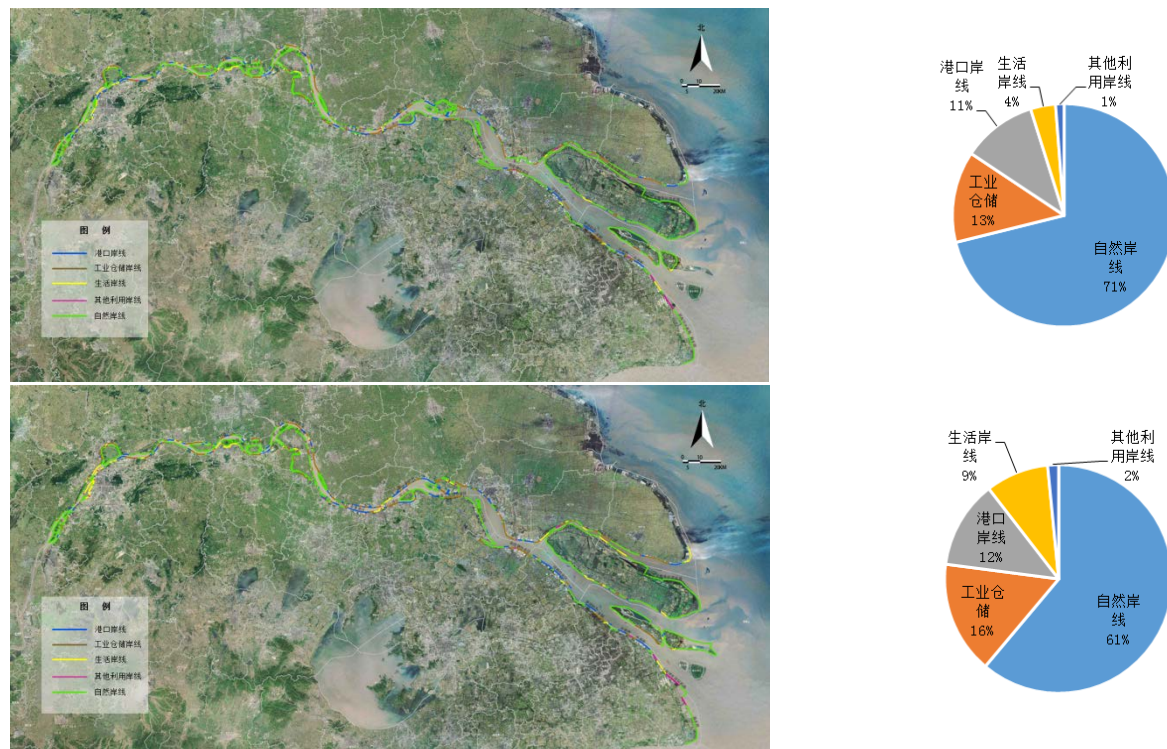


图 6-1 2010 年（上）、2020 年（下）长江下游岸线分类统计情况图

**沿江重化工产业集聚，节能降碳压力大。**长江下游有工业仓储岸线 322 千米。其中，化工企业岸线 72 千米，包括江苏省 13 家省级化工园（集中区）和若干小散化工园区；钢铁企业岸线 28 千米，以宝钢、南钢、沙钢等大型钢铁厂为主；火电厂岸线约 25 千米，主江两岸分布了 14 处大型电厂。高密度的重化工、能源企业分布带来极高强度的碳排压力。



图 6-2 长江下游化工园区分布情况

**“化工围江”面临生产安全隐患。**长江下游地区化工园区密集，间距最近仅 7 千米。人工岸线段的水域污染带显著，港口、城市岸带、城市内河入江口以及入海口氮磷污染物含量普遍高于自然江段和滨江湿地。中下游工业岸段水域重金属污染风险突出，紧邻岸线的水域表层沉积物和持久性有机污染物从上游到下游呈增加趋势<sup>[54]</sup>。同时，长江下游 23% 的环境风险企业位于饮用水源地周边 5 千米范围内<sup>[55]</sup>，取水口和排污口交错分布，饮用水安全保障形势严峻。

**沿江高强度连绵开发压缩水陆生态空间。**从近十年变化看，自然岸线减少了约 170 千米，自然岸线与人工岸线之比由 2010 年 7: 3 转变为 2020 年 6: 4。以张家港至常州段为例，人工岸线连绵超过 55 千米，密集布置了工业、码头以及城市生活功能。高强度开发导致生态保护红线、饮用水水源地等重要生态敏感区域上下游被化工园区、港口包围；并侵占了滩涂、湿地、江心岛屿等。

**大量人工建设和活动影响生物多样性。**一是中下游地区“江湖阻隔”导致生态系统被阻断。自 1950 年代中后期开始，中下游地区湖泊被大量围垦成农田，湖泊被节制闸与长江隔离开来，目前仅“两湖”保持与长江的自然连通，支撑长江鱼类的有效湖泊面积减少 76%<sup>[56]</sup>。二是沿江高强度人工岸线大大压缩了鱼类的生存环境。工业、港口岸线会严重影响鱼类幼苗生存空间。同时，长江中下游沿江地区的硬化堤防，及河道裁弯取直，也在一定程度上减少了河道中鱼类的栖息或繁殖地。

**为市民服务的滨江公共空间有待增加。**尽管 2010-2020 年十年间长江下游生活岸线增长幅度居各类人工岸线之首。但生活岸线的比重仍较低，仅为 23%（2020 年），且集中在南京主城区、镇江城区、江阴城区北侧、上海宝山吴淞口、启东圆陀角等地。部分城市从城区通往滨江的道路不贯通，通江的视线视廊被码头起重机、堆场和低效工业厂房阻挡。镇江、靖江、仪征等地沿江郊区段土地使用混杂，大量岸线被小型造船厂、散货码头、建材企业等低端功能占据仍然普遍。

**水域、岸线、陆域管理部门分治矛盾突出。**在《长江保护法》颁布实施前，相关管理部门较少从水、陆协同角度协同管理，从而造成非临港产业沿江布局、岸线多占少用、占而不用等问题。同时，岸线开发管理涉及到发改、水利、国土、交通、环保等诸多部门。在局部岸段管控上不同部门职责分工过细，缺乏从流域层面上跨部门统筹管理<sup>[57]</sup>。典型的如污染治理，尽管过去“水上不管岸、岸上不下水”的现象有所改观，但目前水陆域污染排放矛盾仍然存在。

**跨区域岸线协同治理缺乏统筹。**经济高速发展时期，沿江各城市围绕“GDP 锦标赛”，将开发岸线作为招商引资、做大经济规模的砝码，相邻行政主体之间缺乏岸线统筹规划和开发利用，沿江高强



度连绵开发导致缺乏生态缓冲空间和设施布局空间。甚至在同一地级行政区内，例如同属苏州市的太仓港、常熟港和张家港港，在大开发时期都形成了较完整的泊位类型，存在港口重复建设问题。

## （二）岸线利用与管理的国际经验

**采用更加主动灵活的岸线利用策略，适应防洪安全新形势。**在全球极端气候频发、重大自然灾害加剧影响下，保障岸线和陆域的长远安全成为首要关切。关注水陆域整体韧性，将工程手段与自然解决方案相结合，给高强度开发的下游岸线“透气松绑”。学习荷兰“迈向自适应三角洲管理”，倡导“给河流更多空间”，在河流沿线土地留白，为未来的适用性举措提供战略灵活性。

**通过岸线优化利用和腾退置换，支持流域绿色减碳目标。**沿江化工、钢铁、电厂等高耗能行业以及港口航运一直以来是碳排放的主体。学习莱茵河等经验，价值观上从“功能控制水”到“水引导功能”，制定长远计划，通过岸线使用方式的广泛调整，推动产业结构、能源结构和运输结构迭代升级，从过去高碳、高污染发展模式转变为低碳、清洁发展模式。

**保护、改善和扩大具有生态重要性的地区，恢复典型的长江生境。**长江下游是生物多样性的宝库。时至今日，下游地区承受着巨大的压力。对生物多样性的保护依赖于我们的自然价值观。学习历版《莱茵河行动计划》，逐步修复适宜动植物栖息的场所，恢复河流的自然面貌，保护一个拥有所有生态系统、种类繁多的动植物、肥沃的土壤、纯净的水和清洁的健全的生态圈<sup>[58]</sup>。

**还水岸于生活，不断提升市民的幸福感和满意度。**收入水平的提高让人们追求更高的生活品质。闲暇时间的增加使人们有更多机会接触自然，提升对自然的向往和审美，并对其未来发展产生共鸣<sup>[59]</sup>。学习阿姆斯特丹等城市做法，通过岸线从生产功能向生活功能置换，塑造富有地方特色的滨水空间，满足市民休闲、游憩、运动等多方面需求。以岸线和港口更新为触媒，带动城市整体功能升级。

## （三）绿色低碳与民生导向的岸线优化策略

### 1. 推进沿江产业带产业功能腾退和岸线绿色转型

**加快重化工搬迁转型，低小散工业岸线、造船厂岸线清退。**建议将安全、环保、能耗作为前置条件，将下游沿江重化工企业向流域外转移。针对陆域进深 1 千米以内、集中化工园以外的化工企业，加快引导企业搬迁、向省级化工园区、化工集中区深度整合。推动低小散造船岸线逐步退出，减少对临水优良岸线资源占用。结合国家绿色能源转型方向，压缩火电厂岸线规模，推动高污染火电厂向新能源转型。针对现状相对较为集中的钢铁冶炼岸线，建议优化、压缩并开展清洁化生产。

**鼓励港口整合兼并，推动低效码头转型退出。**应对今后能源结构和产业结构的广泛调整，提前预判运输结构、流向变化趋势。未来加快推动大宗物资“公转铁、公转水”，加快构建以沿江大港、内河港、内陆港组成的高效绿色多式联运体系。发挥市场基础性配置作用，推动长江下游港口间整合兼并。协调港口运输功能，一方面实现货类发展专业化，推进错位发展；另一方面对吞吐量不足、利用率不高的工业配套码头，引导公用化改造，向社会开放经营。

**推动“水陆共治”，开展减污降耗综合治理。**借鉴生态环境部“三线一单”制度，建立岸线利用生态环境分区管控和岸线利用准入门槛，包括自然岸线保护红线，岸线资源利用上线，环境质量与经济效益控制底线，以及岸线利用准入负面清单。健全国家与地方、上下游、左右岸水陆域协同管理机制。

### 2. 强化保护修复典型的水陆生境网络

**恢复动植物栖息环境。**完善流域生物多样性调查与观测网络建设，应对气候境变化，充分研究保护生物的习性特征，通过岸线近自然形态设计、自然生境重建等手段，营造更好的生物生存环境。不断充实完善长江沿线鱼类、鸟类生物保护区，加快完善自然保护地名录，开展勘界定标锚定保护空间。

**建设滨江陆向缓冲带，修复垂江水陆生态通廊。**为有效拦截与净化面源污染，应在长江下游干流构建宽 0.5-1.0 千米的陆向缓冲带<sup>[60]</sup>。通过植被恢复、水系连通、用地腾退、环境整治等手段，设立滨江城镇组团间生态隔离廊道，修复支流、湖泊、山体等重要陆域生态空间与长江干流间的生态通廊。

**自然和工程措施结合，形成更安全的韧性防线。**一方面，以低冲击、更绿色的方式加强防灾安全工程建设。通过绿色生态的堤防岸线建设、推动“灰、绿、蓝、管”多措并举提升城市排水防涝能力，倡导海绵城市。另一方面，寻求自然解决方式。如应对大湖流域频发的洪涝问题，倡导“退圩还水”，恢复自由水面，增加流域的蓄洪空间，通过河湖联动增加大湖地区的排洪通道。

### 3. 创造更具活力的滨水空间

**积极创造以人为本的滨水生活空间。**统筹考虑港口和产业生命周期，推动生产型功能向综合服务型功能转换，贯通滨水公共空间，逐步成为多功能的生活岸线。岸线更新过程中充分发挥规划引领作用，促进政府宏观引导和市场化运作相结合，引导多元投资、社会共同参与，实现多方共赢。

**重视水的文化价值，塑造宜人的滨水景观，延续城市文脉。**充分尊重原有空间肌理和格局，保护工业遗产、历史建筑、构筑物 and 元素符号，与后续功能紧密结合。通过促进工作、居住、休闲等有机融合，组织多样化的公共活动，塑造宜人的开放空间系统和滨水步行环境。以滨水历史人文空间为触媒，植入文化活动、节庆等，带动港口和老工业基地整体更新。

**建设郊野风光休闲带，提升城乡环境品质。**还原自然原生态环境，成为都市人欣赏风景，休闲游憩的空间。开展生态修复，拆除低效船厂、建材等用地，营建具有地域特色的大地景观。同时，结合防洪堤、县乡道等建设郊野绿道和驿站，串联滨江沿线景点和城镇。

表 6-2 近年来长江下游地区岸线转型案例

案例分类	工业码头岸线转型		自然岸线生态修复
	转型为自然岸线	转型为生活岸线	
长江岸线	南通五山地区和滨江生态修复，桥林“春江十里长江”线，仪征十二圩造船带整治	上海“一江一河”贯通，上海杨浦滨江、徐汇滨江等，南京下关、浦口滨江更新，江阴滨江公园建设	南京江北新区绿水湾湿地，南京龙袍湿地
重要洲岛	如皋长青沙生态修复，崇明东滩、九段沙湿地，镇江豚类保护区整治修复，南京新济洲国家湿地公园，张江港双山岛生态修复		

## （四）持续关注三角洲地区的可持续发展

### 1. 三角洲地区是国际上广泛关注的高价值、高敏感地区

在气候变化的背景下，三角洲地区普遍面临海平面上升、洪水侵蚀、风暴潮等极端气候问题的挑战。长久以来三角洲地区过度的人为活动，造成了水文条件、自然地貌的改变，导致生态环境脆弱，生物多样性受到严重威胁。以荷兰为例，其流域系统沉积形成的三角洲地区，正积极提倡从“抵抗水”到“与水共生”的转变<sup>[61]</sup>，逐渐形成“如有选择不触及未曾开发的河口和三角洲地区”等共识<sup>[62]</sup>。

**各国积极探索三角洲地区的合理开发利用。**三角洲地区是人口和经济高度密集地区，也是城市空间拓展和经济增长的重要载体。一方面，独特的水系、湿地、圩田景观，有利于开展广泛的工程技术、农业和水上城市试验，塑造独特的三角洲景观。如 1970 年代荷兰在圩田区上诞生了新一代“田园城市”，

以阿尔梅勒，莱利斯塔德为代表。另一方面，在全球化背景下，国际性港口航运功能一直是入海口地区关注的重点之一，如荷兰鹿特丹港通过不断向河口地区拓展巩固其国际航运中心地位。

#### 专栏 6-1：荷兰三角洲地区鹿特丹港“向海拓展”阶段历程

鹿特丹港位于北海沿岸、莱茵河与新马斯河汇合口。19 世纪的鹿特丹瓦尔港的修建使其成为世界上最大的疏浚港口之一。1946 年至 1960 年间鹿特丹港进行了重建，1960 年至 1970 年进行了扩建，成为当时世界第一大港和欧洲之门。1970 年鹿特丹港启动了“玛斯平原垦地项目 (Maasvlakte)”，在三角洲海河交界处打造一个人造港口。2008 至 2013 年开展了二期工程。该项目总面积 1000 公顷，建设后将使得鹿特丹港现有范围扩大 20%，集装箱吞吐量增至原先的 3 倍。（资料来源：<https://www.portofrotterdam.com/en>）

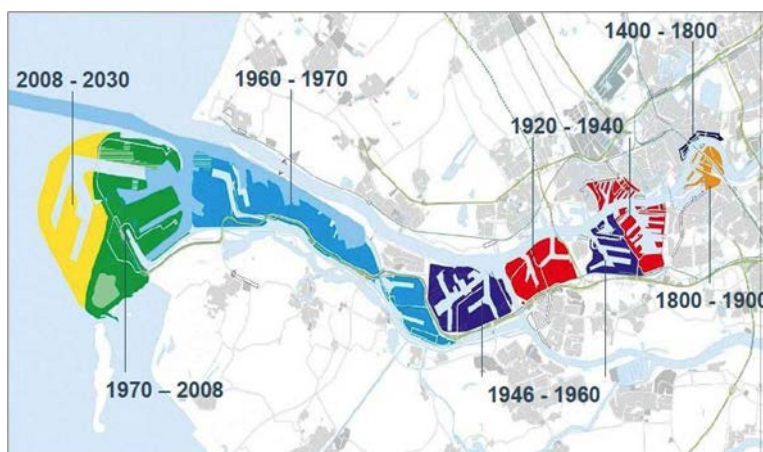


图 6-3 鹿特丹港向海拓展历程

### 2. 长江口地区可持续发展具有高度复杂性

一是三角洲地区水文地貌的演变趋势，是长远发展首要考虑的基础因素。从历史演变来看，长江口两千年的发育模式可以总结为“南岸边滩推展、北岸沙岛并岸、河口束狭、河道成形、河槽加深”<sup>[63]</sup>。从百年尺度看，河口地区的水文和地貌演变受到气候变化和人为工程建设影响较大，导致了长江口径流量和输沙量减少、整体淤积趋势放缓<sup>[64]</sup>。因此，需要加强对水文地貌的持续监测，从而对未来发育趋势进行更精细化的模拟和预测。

二是从自然灾害角度，长江口地区易受海平面上升、台风和风暴潮影响，是高脆弱性和高暴露度地区。该地区海平面上升速率略高于全球平均水平，且近年来面临台风风暴潮的频次和强度呈现增大趋势<sup>[65]</sup>。在此叠加影响下，长江口地区的保护开发需应对自然灾害动态调整海岸带土地利用结构、制定韧性防洪策略。

三是长江口地区作为陆地与海洋物质交换的通道，有着丰富的生物多样性和生态环境特殊性。长江口不仅是鱼类的产卵场、索饵场、育幼场和洄游通道，也是 200 多种迁徙鸟类的栖息地，同时还是城市重要的水源地。为巩固和提升生物多样性，还需加强针对性的多类生态保护区建设，严控渔业捕捞、水利工程建设、航运等人为活动影响。

四是长江口地区需在统筹生态保护前提下，满足繁忙航运压力和国际性大港建设需求。国际航运船舶大型化的趋势导致港口建设不断向深水岸线延展。在港口开发过程中，首先要评估可能带来的生态破坏和污染问题，并进行相应的生态补偿及修复措施。其次，港口建设需全面智慧化和绿色低碳化，提高港口竞争力和适应气候变化能力。

### 3. 建设长江口生态绿滩，为未来预留战略性空间

一方面，关注长江口安全韧性能力提升。结合气候变化影响模拟，工程措施与自然手段相结合，构建生态防洪绿色屏障。围绕三角洲独特的生物多样性保护要求，划定湿地滩涂重点保护区和生物栖息地保护区。另一方面，建设长江口生态绿滩，为长远可持续发展预留弹性空间。在统筹多方面因素的前提下，合理利用航道疏浚的泥沙资源，通过促淤圈围等措施增加入海口地区生态用地，为长远发展预留国家级战略空间，以应对未来国际航运、能源革命、科技农业等外部环境的不确定性。

## 七、 长江流域中的社会公平与性别问题

### （一） 状况分析与问题识别

性别与社会公平是当今全球流域治理的关键性议题。一方面妇女、儿童、老人、贫困人群等弱势群体在气候变化导致的粮食短缺、高温、洪水等灾害中明显承担更大风险、身心健康受到更大伤害<sup>[66][67][68][69]</sup>，并缺乏应对能力。世界各地受气候相关的灾害和变化影响的人中，80%是妇女和女孩<sup>[70]</sup>。另一方面，弱势群体在流域治理中的参与意识低、机会少。在所有不利因素中，贫困的影响尤为关键，使得发展中国家乡村地区成为性别公平和社会公平问题最为突出的地区<sup>[71]</sup>。

城乡与区域差异及其灾害抵御能力差距是影响流域性别和社会公平问题的关键因素。长江流域范围内原国家级贫困县（2014年），主要分布在上中游地区。由于房屋和基础设施标准低、山区等环境灾害隐患多、农林牧渔行业敏感度高、基层抗灾救灾力量弱。据应急管理部统计，我国70%以上的气象灾害发生在农村地区，尤其是西部地区；农村地区灾害链、多灾种和灾害遭遇现象呈现上升态势。

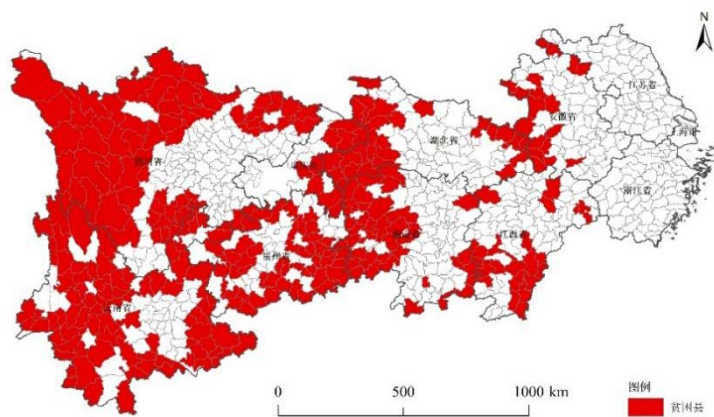


图 7-1 长江流域国家级贫困县分布

（数据来源：根据国家乡村振兴局全国原贫困县名单绘制）<sup>1</sup>

人口外流导致乡村地区的女性、老人、儿童等聚集度更高、贫困度更深。根据人口普查的数据，长江流域乡村地区年轻人口普遍外流，乡村人口中老人的比例明显高于城镇地区。以长江流域上游的四川省为例，2020年四川省60岁以上老年人口占比27.32%，比城镇多9.89个百分点。长江沿线的江西、四川、贵州、安徽等省份的留守儿童均超过70万。长江流域地区有限的灾害记录均证明乡村中的

<sup>1</sup> 中国通过近年来的扶贫工作，2020年底832个贫困县均已脱贫；但这些地区的经济水平仍相对较低。

儿童、老人、女性均在灾后受到了更大的心理和身体健康影响<sup>[72]</sup>。保障这些人群的韧性安全和生计生活是长江流域的可持续管理应落实的重点。

## （二）流域治理的社会公平与性别策略

制定并监督落实性别敏感和社会包容的流域气候战略规划，使性别和社会包容目标成为各领域在政策和项目的规划、实施、评估阶段的优先考虑因素。在此过程中，审查和修正流域资源、环境、产业的相关法律框架和政策至关重要。与此同时，应通过参与式方法制定流域可持续发展的性别和社会公平敏感的多维度绩效指标，对各类政策进行社会公平影响评估。可将衡量环境和公平的指标汇总，进行综合评估。最后，在各领域社会、社区信息以及灾害影响统计当中，需要特别保证性别和人群划分数据的获得。

### 专栏 7-1：科西河流域项目通过数据系统将性别和社会公平问题充分纳入评估环节

从 2012 年至 2022 年，国际山区综合发展中心 (ICIMOD) 主持开展科西河流域项目 (Koshi Basin Initiative) 将性别平等作为可持续发展的先决条件，认为妇女和弱势群体是科西河流域建设强大和韧性的社区方面的关键变革力量，因此在流域的远景规划、问题评估、政策选择、计划实施阶段都优先考虑性别和公平问题。项目建立了一个科西河流域的长期公开信息系统，其中包含性别数据子系统。整合了关于男女在获取和控制资源方面的不平等，以及与水、粮食和能源不安全有关的性别差别知识。通过详细的性别数据分析，提出若干流域性别平等的工作建议<sup>[73]</sup>。

**关注贫困、落后地区，重新发现乡村留守人群的社会贡献价值。**采用多种支持政策提高留守妇女和老人经济收入，提高气候适应型现代化农业能力。健全留守人群气候压力下的健康服务长效体系，加强人才培养、专业研究和奖励措施，建立乡村文化、健康等服务场所。鼓励企业和民间资本共建为妇女和其他边缘人群提供的特殊应灾空间。针对女性和老人、儿童的需求，更新基于社区的信息化医疗和灾害管理系统，并统筹跨部门和跨体系的服务保障能力。提高新型养老保险的保障标准，提高农村留守儿童和妇女意外伤害风险防范工作的经费。

**促进流域治理决策过程中的性别公平。**为女性赋能，鼓励和支持其平等参与和领导流域治理决策及气候变化相关政策。培养技术人员将性别问题纳入工作计划和项目实施中的能力，开展性别及公众参与方法的培训以提高认识。在基层妇女组织、儿童和老年人组织、非政府组织等进行能力建设，协助其参与流域治理过程，并鼓励各组织中的女性制定和实施自身的气候行动。在中央和地方政府内做能力建设，使其能够在自己的分析工作和计划工作中涵盖性别视角。在气候变化相关的组织和机构间建立性别联盟与机制。以性别和社会公平参与为契机，扩大全社会针对气候变化应对议题的讨论和合作。

### 专栏 7-2：尼罗河流域倡议关注贫困与性别平等问题并制定一系列政策措施

世界银行和捐助国通过非洲国际水域合作组织 (CIWA) 开展了尼罗河流域倡议 (NBI)，以建立综合水资源管理 (IWRM) 中的跨界问题的能力。NBI 首先制定了正式的性别主流化政策和战略。附属行动方案中，预留了社会发展预算的 0.14% 用于与性别有关的活动，并且追踪资金的分配和落实，以评估项目对改善妇女生活的切实效果，同时在一些项目中尝试制定对性别问题有敏感认识的预算。制定了一个建设国家履行机构工作人员能力的项目，积极鼓励女性参与区域性流域管理机构实习并大获成功。NBI 的工作经验指出：性别平等培训应该是持续并不断更新，也应该是具体的、适合于业务活动，明确显示性别与各优先事项的相关性；必须分配足够资源来进行性别分析和促进性别平等的规划<sup>[74]</sup>。



**加强对性别与社会公平的流域管理机制和资金保障：**性别平等和社会包容的角度审查和更新流域相关管理手段和激励措施，使其更关注弱势人群的经验、优先事项和需求。适当开展试点研究工作，提高地方一级主动进行参与性和包容性的风险管理和可持续规划的意识。为社会保障类财政补偿和奖励计划进行性别和社会公平审计。将性别观点纳入预算编制、审计和筹资的主流。在气候问题相关行动融资过程中为男性和女性创造平等的参与和获利机会。

## 八、 流域治理的政策建议

**（一）立即采取行动应对气候变化，共建“流域生命共同体”。**对于因人类干预和气候变化导致中国大型河流流域在目前和未来几十年可能发生的变化，应该组织并倡导对其影响进行全面了解。倡导“流域生命共同体”愿景，坚持以百年为计，建立新的监测机制，重点关注人为压力和气候变化的影响，开展长期（2050–2100年）风险评估，为可能的多种情形做好准备。

**（二）加强极端事件防护，恢复生态系统。**气候变化将影响极端事件的数量和强度，但其程度尚不确定。我们需要积极加强对各种自然灾害的防护，包括洪水、干旱、火灾和滑坡。采取基于自然的解决方案（NbS），如实施“还河流以空间”行动，恢复河湖水系，重新平衡流域的自然和人工要素。通过向再生农业转型来增强土地韧性；可再生能源设施选址应考虑土地功能的适宜性。

**（三）建设“韧性城乡聚落”，提升安全韧性。**通过城乡空间布局优化可以减少对极端事件的暴露和脆弱性，从源头减少灾害风险、提高城乡聚落（包括弱势群体）的抗灾能力；把包括河流和溪流在内的自然环境布局（蓝绿空间）作为空间规划的起点。将经典工程措施与基于自然的解决方案相结合，加快推进来自中国的成功经验“海绵城市”建设；倡导城市组团式布局，降低建成区人口密度和土地开发强度；重视城市与流域防洪能力的统筹协调，避免防洪标准不一造成灾害风险。

**（四）制定低碳时代重点工业港口城市综合规划，选取主要支流、三角洲地区开展试点探索。**至2050年的经济发展将受到全球向低碳转型的深刻影响，尤其是对主要工业港口城市而言。今后，区域增长将从依靠大量使用化石燃料向依靠可再生能源转变，为应对这一转变，港口工业转型是必然趋势，港口的空间布局将发生变化，航运、工业和城市环境也将发生变化。考虑到相关设施使用期限长、区域气候预测的不确定性以及港口城市经济变化的复杂性，迫切需要从现在起开始规划和商讨。建议选取高价值高敏感性的主要支流、长江三角洲地区开展综合性规划的试点探索。

**（五）加强流域岸线的水陆统筹治理，推进下游工业港口岸线向生态岸线、生活岸线的转型。**重点关注水和土地的统筹管理，将河流岸线作为长期资源管理，为保证未来战略灵活性，应尽可能保持岸线自然状态。通过岸线优化利用和腾退置换，支持流域绿色减碳目标；重视水的文化价值，推动岸线更新和公共空间建设。在国家层面应尽快制定岸线治理的“三线一单”，监督落实。

**（六）加强应对能力建设，提升地方政府和公众的应急响应能力。**能够对紧急情况作出快速和充分的反应是韧性的重要特征。为适应气候变化的后果，需要对监测和预警系统以及地方政府和公众的应对能力进行投资。除在灾害风险管理方面投资外，创新的保险工具也将有助于提高对极端事件的抵御能力。政府应更加关注易灾地区、易灾人群的性别平等与社会公平问题；并为不同情景同时做好规划，如洪水和干旱。

## 九、 第七阶段工作建议

本次 SPS 研究我们确定了流域发展的愿景与八项准则，以作为未来分析的框架，并计划为 2023 年联合国水十年会议提出 CCICED 建议。这些准则解决了从源头到沿海的系统方法、长期愿景、所有利益相关者参与、所有压力源，以及持续加强创新的必要性。这些准则在不同流域中将发挥不同作用，并不断优化。

我们选取了其中的五条准则，作为未来五年计划中的“年度研究主题”。围绕五个主题，需要解决的重要方面包括脱碳和绿色发展（包括生态系统和湿地恢复，保持河岸不受城市和工业发展的影响）、三角洲地区可持续发展、生物多样性保护、河流污染系统治理、航运现代化、泥沙流（包括与生物多样性和生态的联系，以及与水力发电的联系）、为冰川融化加剧导致的洪水和干旱情景进行规划、平衡适应性和缓解措施，以及平衡工程和基于自然的解决方案。

表 9-1：五项指导原则及未来 5 年研究重点建议一览表

研究年份	年度研究的原则/主题	可能的研究重点 <sup>#</sup>
2022-2023	从源头到沿海履行责任	区域合作机制
2023-2024	根据百年愿景规划步骤	积极主动适应预计的气候变化并提高韧性
2024-2025	人人参与，形成共同愿景	基于多学科利益的协作组织
2025-2026	在河流区域管理各方面适应气候变化和其他主要河流压力源	应对气候变化、其他压力源和灾害的不确定性
2026-2027	持续加强和创新	管理方法、知识计划、政策工具和前瞻性融资机制等；国际交流

# 为与国际活动保持一致，年份顺序可微调

研究重点问题应考虑政策之间的反馈，如脱碳（远离化石燃料）对土地和水资源（如生物质燃料作物的灌溉用水）影响，而不能孤立地解决问题。因此，未来的流域管理应始终考虑多个场景。

拟定的五年计划可借助重大活动发挥作用，如 2023 年初的“联合国水大会”。每年的工作方案将包括：1）一份总结性文件；2）工作会议，如有可能进行实地考察（若无，则为视频报告）；3）向年度大会和更大的群体汇报经验教训并重点确定发展领域。

按照这一设想，建议共同组织或配合以下活动：

2022/2023：（1）关于长江、莱茵河和密西西比河流域和三角洲地区的国际研讨会，特别关注港口城市经济的转型挑战-2022 年 10 月；（2）以生物多样性缔约方大会的预期活动成果为基础，在“联合国水大会”期间或前后举行会外活动或类似活动-2023 年 3 月。

2023/2024：关于量化河流流域健康、沉积物等重要水文环境，以及向公认目标进展情况的工作会议。

## 参考文献

- [1] Eisner et al., 2017. An ensemble analysis of climate change impacts on streamflow seasonality across 11 large river basins. *Climatic Change* 141: 401-417.
- [2] Van Vliet, M.T.H. et al., 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change* 23: 450-464.
- [3] IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- [4] Global Facility for Disaster Reduction and Recovery.(2016).GFDRR Annual Report 2016: Bringing Resilience to Scale. [gfdrr-2016-annual-report.pdf](#).
- [5] Kramer, H.A., 2017. A future on fire. *Science* 358 (6360): 178.
- [6] Marvel, K., Cook, B.I., Bonfils, C.J.W., Durack, P.J., Smerdon, J.E. and A.P. Williams, 2019. Twentieth-century hydroclimate changes consistent with human influence. *Nature* 569: 59-65.
- [7] Smirnov, O., Zhang, M., Xiao, T., Orbell, J., Lobben, A. and J. Gordon, 2016. The relative importance of climate change and population growth for exposure to future extreme droughts. *Climatic Change* 138: 41–53.
- [8] Tickner, D. et al., 2020. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: An emergency recovery plan. *BioScience* 70: 330-342.
- [9] UNECE, 2020. Climate change impacts and adaptation for transport networks and nodes. Report ECE/TRANS/283, 199 pp.
- [10] IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom) and New York (USA), 1131 pp.
- [11] Van Vliet, M.T.H. et al., 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change* 23: 450-464.
- [12] Sabater, S., Elosegi, A. and R. Ludwig, 2019. *Multiple stressors in river ecosystems: Status, impacts and prospects for the future*, Elsevier, 404 pp.
- [13] Sabater, S., Elosegi, A. and R. Ludwig, 2021. Framing biophysical and societal implications of multiple stressor effects on river networks. *Science of the Total Environment* 753, 141973, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141973.
- [14] California Department of Water Resources, 2018, *Using Flood Water for Managed Aquifer Recharge to Support Sustainable Water Resources*, [https://water.ca.gov/-/media/DWR-Website/Web-Pages/Programs/Flood-Management/Flood-MAR/DWR\\_FloodMAR-White-Paper\\_a\\_y20.pdf](https://water.ca.gov/-/media/DWR-Website/Web-Pages/Programs/Flood-Management/Flood-MAR/DWR_FloodMAR-White-Paper_a_y20.pdf)
- [15] IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- [16] UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). 2015. *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. Geneva: UNISDR.
- [17] WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2018, *The united National World Water Development Report 2018: Nature-based solutions for water*. Paris: UNESCO.

- [18] Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S., (2016) Nature-based Solutions to address global societal challenges. IUCN, Gland, Switzerland, p. xiii + 97.
- [19] Ochoa-Tocachi BF, Bardales JD, Antiporta J, Perez K, Acosta L, Mao F, Zulkafli Z, Gil-Rios J, Angulo O, Grainger S, Gammie G, DeBievre B, Buytaert W., 2019, Potential contributions from pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security. *Nat Sustain*, 2:584–93.
- [20] Palmer M.A., Liu J., Matthews J.H., Mumba M., D’Odorico P., 2015. Manage water in a green way. *Science* 349 (6248): 584-585.
- [21] IUCN 2016 : International Union for Conservation of Nature annual report 2016
- [22] Hilde Eggermont, Estelle Balian, José Manuel N. Azevedo, Victor Beumer, Tomas Brodin, et al..Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe Nature-based Solutions, an Emerging Term. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society, oekom verlag, 2015, 24 (4), p. 243-248. ff10.14512/gaia.24.4.9ff. ffhal-01245631
- [23] <https://www.icpdr.org/flowpaper/app/#page=1>.
- [24] 肖春蕾, 郭艺璇, 薛皓. 密西西比河流域监测、修复管理经验对我国流域生态保护修复的启示[J]. 中国地质调查, 2021, 8(6): 87 – 95.
- [25] <https://www.lmrcc.org/wp-content/uploads/2020/12/RARG-plan.pdf>.
- [26] <https://www.lmrcc.org/our-work/success-stories>.
- [27] 张俊, 高雅琦, 徐卫立, 熊开国, 杜良敏. 长江流域极端降雨事件时空分布特征[J]. 人民长江, 2019, 50(08): 81-86+135. DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2019.08.014.
- [28] 时光训. 1970-2014 年长江流域气候变化的时空特征分析[D]. 江西师范大学, 2016.
- [29] 朱宇蓉, 徐开宇, 付永超. 三江源地区 1961-2017 年冻土变化特征及影响[J]. 研究与发展, 2018: 73-76
- [30] 中国灾害性气候图集 (1961-2015), 国家气候中心.
- [31] 刘俸霞, 王艳君, 赵晶, 陈雪, 姜彤. 全球升温 1.5 ℃ 2.0 ℃ 情景下长江中下游地区极端降水的变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(05): 778-788.
- [32] 中国灾害性气候图集 (1961-2015), 国家气候中心.
- [33] 2019 年中国气象灾害年鉴, 中国气象局.
- [34] 刘俸霞, 王艳君, 赵晶, 陈雪, 姜彤. 全球升温 1.5 ℃ 2.0 ℃ 情景下长江中下游地区极端降水的变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(05): 778-788.
- [35] 陈文方, 方建, 徐伟, 史培军, 聂建亮. 长三角地区台风危险性定量分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(01): 1-8.
- [36] 桑婧. 近 30 年中国主要农业气象灾害典型场时空格局及干旱风险评估[D]. 南京信息工程大学, 2018.
- [37] 史培军, 中国自然灾害系统地图集, 科学出版社, 2003
- [38] 尚全民, 褚明华, 骆进军, 闫永奎, 李荣波. 2020 年长江流域性大洪水防御[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 15-20.
- [39] 姚檀栋, 邬光剑, 徐柏青, 等. “亚洲水塔”变化与影响[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11): 1203-1209.
- [40] 朱宇蓉, 徐开宇, 付永超. 三江源地区 1961-2017 年冻土变化特征及影响[J]. 研究与发展, 2018: 73-76
- [41] Guwei Zhang et al 2021 *Environ. Res. Lett.* 16 064073.
- [42] 中国灾害性天气气候图集 1961-2015.
- [43] 刘振中. 促进长江经济带生态保护与建设[J]. 宏观经济管理, 2016(09): 30-33+38.
- [44] 甘元芳, 张璇. 长江经济带国家重点生态功能区生态状况分析与评价[J]. 测绘, 2019, 42(01): 36-41.
- [45] 曲超, 刘桂环, 吴文俊, 王金南. 长江经济带国家重点生态功能区生态补偿环境效率评价[J]. 环境科学研究, 2020, 33(02): 471-477.
- [46] 国家林业和草原局. “关于提升自然保护地在实现‘碳中和’目标中作用的建议”复文 (2021 年第 2399 号) [R]. 2021
- [47] 国家发展和改革委员会. 统筹资源开发与生态保护 促进人与自然和谐发展 —— 将碳达峰碳中和贯穿于自然资源开发利用和保护的方方面面[R]. 2021
- [48] 张安田, 张小林. 《长江保护法》对长江流域水土保持工作的启示[J]. 长江技术经济, 2021, 5(02): 21-25. DOI:10.19679/j.cnki.cjjsj.2021.0203.

- [49]刘纪根,丁文峰,黄金权.长江流域水土保持科学研究进展及展望[J].长江科学院院报,2021,38(10):54-59.
- [50]张平仓,程冬兵.长江流域水土流失治理方略探讨[J].人民长江,2020,51(01):120-123.
- [51] 郭铁女,余启辉.长江防洪体系与总体布局规划研究[J].人民长江,2013,44(10):23-27+36.
- [52] 国家防汛抗旱总指挥部. 长江防御洪水方案(2015) [EB/OL]. 2015
- [53] 章林伟,牛璋彬,张全,马洪涛,任欣欣,任希岩,王家卓,王文亮,陈玮,胡应均,赵晔,吕永鹏.浅析海绵城市建设的顶层设计[J].给水排水,2017,53(09):1-5.
- [54] 姚瑞华, 等. 长江流域水问题基本态势与防控策略[J]. 环境保护, 2017, 45(19): 46-48.
- [55] 林剑波, 等. 长江下游地区生态环境监督管理工作实践研究[J]. 长江技术经济, 2021, 5(05): 48-51.
- [56] 谢平. 从历史起源和现代生态透视长江的生物多样性危机 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [57] 虞孝感. 长江产业带的建设与发展研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [58] 1992年《里约环境与发展宣言》.
- [59] 1966年《荷兰空间规划第二政策文件》.
- [60] 宋春雷, 等. 长江中下游干流及湖泊陆向缓冲带构建方案, 2019.
- [61] 汉·迈耶. 荷兰三角洲——城市发展、水利工程和国家建设[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2021.
- [62] 郭巍, 侯晓蕾. 荷兰三角洲地区防洪的弹性策略分析[J]. 风景园林, 2016(01): 34-38.
- [63] 陈吉余, 等. 两千年来长江河口发育的模式[J]. 海洋学报(中文版), 1979(01): 103-111.
- [64] 茅志昌, 等. 上海市滩涂促淤圈围研究[J]. 泥沙研究, 2003(02): 77-81.
- [65] 易思. 海平面上升与可能最大风暴潮复合作用的风险评估及其适应策略研究[D]. 华东师范大学, 2018.
- [66] International Water Management Institute: A framework to understand gender and structural vulnerability to climate change in the Ganges River Basin: lessons from Bangladesh, India and Nepal [R], 2014
- [67] ADB: Initial Poverty and Social Analysis. Philippines: Integrated Flood Risk Management Sector Project [R], 2018
- [68] European Institute for Gender Equality: Gender in environment and climate change [R], 2016
- [69] UN WomenWatch: Women, Gender Equality and Climate Change [R], 2009
- [70] UN News. "Women Bear the Brunt of the Climate Crisis", 9 November 2021. <https://news.un.org/en/story/2021/11/1105322>.
- [71] UN News: Women Bear the Brunt of the Climate Crisis, November 2021.
- [72] 肖群鹰,刘慧君.突发灾难事件对老人生存质量的影响[J]. 人口与社会, 2019, 35(4): 18-27.
- [73] ICIMOD. "Koshi Basin Initiative", Accessed 8 May 2022. <https://www.icimod.org/koshi/gender-portal/>.
- [74] CIWA: Gender equality and social inclusion in Nile basin transboundary water resources management and development [R], 2022.

## 致 谢

非常感谢中国环境与发展国际合作委员会（国合会）设立并支持“低碳韧性城市发展与适应气候变化——气候变化背景下的流域治理”政策研究课题，为中外方专家提供了一个充分讨论和交流的平台。特别感谢国合会中方首席顾问刘世锦先生、外方首席顾问 Scott Vaughan 先生、生态环境部国际合作司司长周国梅女士，以及生态环境部对外合作与交流中心副主任、国合会助理秘书长李永红先生在课题实施过程中提供的咨询建议，感谢国合会秘书处副处长刘侃女士和穆泉女士，以及国合会秘书处和国际支持办公室为本课题提供的组织和协调等方面的支持。

“低碳韧性城市发展与适应气候变化——气候变化背景下的流域治理”政策研究课题项目组在研究工作中得到了国内外有关部门、机构和专家的大力支持和协助，在此特别表示感谢：尤其感谢参与此项目的中国城市规划设计研究院专家与工作人员为项目的顺利开展和报告的最终完成做出的贡献。他们分别是：

中国城市规划设计研究院：李昊、秦奕、冀美多（学术信息中心）；张圣海、杜晓娟、雷夏、苟倩莹、唐川东、蔡磊（西部分院）；吴春飞、潘晓栋、张尊昊、郑铄、唐铃琳（上海分院）；邹亮、沈哲焱、陆晶晶（生态市政院）。

感谢所有曾经帮助过我们，但由于篇幅关系原因没有提及到的专家、学者、朋友、同仁，在此一并致谢！