



PBL Netherlands Environmental  
Assessment Agency

# 长江

## 与

# 莱茵河

流域 1950

—  
2050

有关城镇化、  
环境污染、  
气候适应  
及脱碳的  
比较研究

# 版权

长江与莱茵河流域 1950-2050 年有关城镇化、环境污染、气候适应及脱碳的比较研究

作者 荷兰环境评估署 Arjan HARBERS,  
Jan BAKKES, Charlotte LE VAY,  
中国城市规划设计研究院: 吕红亮, 蒋力克

联系方式 Arjan Harbers (Arjan.Harbers@pbl.nl)

我们对以下同事的贡献表示衷心感谢  
荷兰环境评估署: Arthur Beusen, Arno Bouwman, Lex Bouwman, Jan de Ruiter, Lotte de Vos, PBL Jonathan Doelman, Hans Eerens, David Evers, Jan Janse, Robert Koelemeijer, Marcel Kok, Willem Ligtvoet, Jos Notenboom, Jos Olivier, Bart Strengers, Frank van Rijn, Hans van Amsterdam 等  
荷兰基础水利工程部: Gerard de Vries, Jan Kruijshoop  
荷兰鹿特丹港口局: Resianne Dekker, Hedda Eggeling  
荷兰三角洲水利研究中心: Dirk Eilander, Judith ter Maat  
荷兰鹿特丹市政府: Marco den Heijer  
荷兰鹿特丹海洋博物馆: Irene Jacobs  
荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学: Hein Klemann  
德国法兰克福市政府: Peter Kreisl  
荷兰乌特列支大学: Rens van Beek  
荷兰奈梅亨市政府: Andrea Voskens

图表绘制 荷兰环境评估署图像部

产品协调 荷兰环境评估署出版社

中文翻译 阮晓村, 东西方城市事物咨询中心

图文排版 Textcetera, 海牙

印刷 Xerox Communication Services, 海牙

荷兰环境评估署发行号码 3913

# 长江与莱茵河流域1950-2050年

## 有关城镇化、环境污染、气候适应及脱碳的比较研究

作者: 荷兰环境评估署, Arjan HARBERS, Jan BAKKES, Charlotte LE VAY,  
中国城市规划设计研究院: 吕红亮, 蒋力克

联系方式: Arjan Harbers: arjan.harbers@pbl.nl

我们对以下同事的贡献表示衷心感谢:

- 荷兰环境评估署: Arthur Beusen, Arno Bouwman, Lex Bouwman, Jan de Ruiter, Lotte de Vos, Jonathan Doelman, Hans Eerens, David Evers, Jan Janse, Robert Koelemeijer, Marcel Kok, Willem Ligtvoet, Jos Notenboom, Jos Olivier, Bart Strengers, Frank van Rijn, Hans van Amsterdam 等
- 荷兰基础水利工程部: Gerard de Vries, Jan Kruijshoop
- 荷兰鹿特丹港口局: Resianne Dekker, Hedda Eggeling
- 荷兰三角洲水利研究中心 (Deltares): Dirk Eilander, Judith ter Maat
- 荷兰鹿特丹市政府: Marco den Heijer
- 荷兰鹿特丹海洋博物馆: Irene Jacobs
- 荷兰鹿特丹伊拉斯姆斯大学(Erasmus): Hein Klemann
- 德国法兰克福市政府: Peter Kreisl
- 荷兰乌特列支大学: Rens van Beek
- 荷兰奈梅亨市政府: Andrea Voskens

# 目录

总结	5
读者指南	9
前言	17
<b>1 与河流流域环境与空间规划政策密切相关的任务</b>	<b>21</b>
1.1 河流流域的时空任务	23
1.2 河流流域:关键概念	24
1.3 城镇化、工业化、水利工程及农业发展的后果	24
1.4 长江与莱茵河流域环境与空间规划的挑战	26
<b>2 莱茵河与长江流域简介</b>	<b>29</b>
<b>3 莱茵河及长江流域城镇化</b>	<b>37</b>
3.1 河流流域及其两岸人口老龄化加剧	39
3.2 中国长江经济带与欧洲的“蓝蕉”经济区	42
3.3 案例:成都市城镇化快速发展	50
3.4 案例:法兰克福的发展趋势	51
3.5 城镇化对河流流域作用的对比结果	51
<b>4 长江与莱茵河流域生物多样性的减少与环境污染</b>	<b>57</b>
4.1 生物多样性丧失的原因	59
4.2 长江及莱茵河流域的环境保护政策	74
4.3 案例:长江流域的工业管控	76

4.4 案例:埃姆舍公园自然修复与经济转型相结合	76
4.5 河流流域的环境与生物多样性对比结果	77
<b>5 长江与莱茵河流域的气候适应</b>	<b>81</b>
5.1 洪水与极端气候的增加	83
5.2 河流排水的改变	83
5.3 气候适应的治理政策	88
5.4 案例:荷兰奈梅亨市“河流之家”项目	89
5.5 案例:武汉市“百湖之城”项目	90
5.6 气候变化对河流流域影响的对比结果	91
<b>6 长江与莱茵河流域的脱碳</b>	<b>93</b>
6.1 始于化石燃料为基础的工业革命	95
6.2 走向能源转型,远离化石燃料	95
6.3 基于化石燃料基础设施的耐久性	102
6.4 走向零排放的气候适应政策	103
6.5 案例:走向循环经济的鹿特丹港口	104
6.6 案例:上海港的绿色倡议—岸基供电	106
6.7 河流流域脱碳发展对比结果	106
<b>7 长江及莱茵河流域环境与空间发展政策对比观察及未来策略</b>	<b>109</b>
7.1 观察:空间规划与环境规划相结合的综合政策	112
7.2 观察:可持续性发展和政治敏感性的权衡比较	113
7.3 观察:未来发展趋势	115
7.4 两个河流流域深入研究的前期报告	116
7.5 关键问题	116
7.6 数据可靠性	117

# 总结

本研究报告聚焦长江及莱茵河流域在1950-2050年期间的  
环境与发展问题。作为一个初期性研究,本报告从相关性  
和范围对比等视角进行分析,期望为今后的深入研究打下  
基础。本报告的关键性结论如下。

**1. 长江与莱茵河经济流域具有类似的问题:如污染、生物多样性的保护、城镇化、气候变化适应及脱碳。与莱茵河流域的发展经历相比,长江流域面临的挑战和机遇更加急迫。**

本研究报告肯定了2019年国会会圆桌会议的初步观察  
结论,它对规划师、政策制定者及利益相关者将会有很  
大的意义。

两个流域系统具有截然不同的特征,尤其是在整体规  
模、河坝数量(长江流域中有多个截流河坝,而莱茵河  
中几乎没有)及治理体系上。宽广的莱茵河流域中许  
多区域早在20世纪便完成了城镇化进程,而长江流域  
的城镇化则在1990年之后才开始加速。总而言之,二

者的差异与共性并存,他们在不同时间框架中所发生  
的变化需要有更深入的比较才具有意义。

**2. 从时空发展角度来看,莱茵河与长江展示了流域地区  
综合发展过程,它包括气候适应、城镇化、脱碳、环境污  
染,生物多样性保护及退化与综合生态系统的融合。**

从时空发展的角度出发,尤其是通过图表,可把河流流  
域作为一个很好的研究对象,观察并预判在现实生活  
中各种普遍的潜在问题。其中包括对个人利益都公平  
合理的新需求,以及为解决长期问题而需要的广泛支  
持—通常需要多方之间的合作,并与河流领域的文化  
经济和生态意义相连接。

这些问题还包括权衡一个或两个流域中的发展趋向,  
例如:水坝建设和运河疏通、与沿海地区的主动关系、  
包括生物质在内的再生能源的使用,各种反弹效应会  
削弱创新效应。

**3. 这些流域在各自的时间与空间范围内都发生了由工业经济向服务经济转型的变化。**

这包括二者的平衡—服务性经济与其相关的新技能、消费行为与城市形态是否将在很大程度上取代旧式经济—或者只是超越它。转型还包括过去、现在和未来对规划战略和具有持久影响的长期投资的选择。重要的是,这些选择与城市形态和在流域中以化石为基础的工业发展(如炼油厂)的未来有关。

**4. 大型河流系统的边界很少与区域行政边界重合,这使得河流系统的管理复杂且特殊。大量利益相关者和行政部门之间的有力合作是保障其管理系统正常运转及资源充足(水量、淤泥、水质、生物多样性)的基础。**

长江和莱茵河也不例外,它们跨越了许多行政辖区。有趣的是,它们具有相似的管理体系和法律系统。例如中国的长江水利委员会和流域治理管理制度,以及自2021年以来实行的《中华人民共和国长江保护法》,还有长期存在的国际莱茵河委员会和西欧的莱茵条约。这为双方的比较研究打下了良好的基础。

**5. 城镇化进程和与之相关的空间,经济和生态战略政策是两个流域形成综合生态系统的关键。**

上海和鹿特丹在城市发展、经济定位和相互连接、低碳能源和气候变化适应、利益相关者参与和旨在实现“公平转型”等方面的发展战略各不相同。这两个流域中的许多城市和行业各有特色,包括他们在过去几十年中

如何进行全面变革。在本报告中,以几个城市作为案例进行了一些简要的对比总结。

**6. 在此对比研究中最显著的结论是规模化农业生产对流域产生了普遍且持久性的影响**

结论来自于对莱茵河流域的评估,但它也必定可适用于其他地区。比如说,土壤中化肥成分污染影响长远。同时城市空间格局、发电站和炼油厂、教育或人口发展趋势等都影响甚大。

**7. 深入比较研究所面临的数据获取困难较多,但并非无法克服。**

由于涉及到大量不同的空间实体,对比研究中遇到了大多数技术性困难障碍。在案例研究中所进行的详细分析,可在一定程度解决这个问题,但仍需要投入大量时间。第二类障碍是如何通过公共渠道取得中国和德国的特定数据(由于德国的联邦政府结构导致的数据获取困难)。在中国国合会的支持下开展预期中的比较性研究,并投入适度的费用预算,将在取得数据方面会有很大帮助。



# 读者指南

## 目标

本报告是一个前期性研究。它对长江与莱茵河两大流域环境挑战及未来机遇的深入对比研究进行了相关性及可行性的调查。它将在研究机制,类别以及所需信息方面,为未来进行更加深入全面的研究提供更好的理解。

## 项目起因

本研究报告起源于中国国合会(CCICED)于2019年4月8日在海牙举办的绿色城镇化和环境质量改善圆桌会议。两个流域具有非常相似的环境与发展问题,引起圆桌会议参与者的注意及共鸣。但是,长江经济流域的发展速度在短期内加快很多。这种短时期的快速发展为有效的前瞻性战略带来了更多的发展机会,但同时也具有陷入困境的较大风险。

因此,对两个流域的过去与未来几十年的发展对比研究将对双方的决策者和利益相关者有益。从这个角度进行分析可为未来的战略规划提供参考,例如在脱碳、城市基础设施发展与适应气候变化等方面。它对许多其他流域会有潜在引导作用,尤其是那些具有高度集中经济活动的三角洲地区。

2019年的圆桌会议由荷兰基础水利工程部与荷兰环境评估署举办。由荷兰环境评估署署长Hans Mommaas教授及原中国城市规划设计研究院院长李晓江教授主持。国合会项目工作组的执行副主席也参加了讨论会。

圆桌会议后,荷兰环境评估署与中国城市规划设计研究院(以下简称中规院)共同提出了项目合作的想法。在2019年6月3日杭州举办的国合会年度会议上,通过了这一提议。荷兰环境评估署将负责研究报告的执笔及研究报告中的信息收集分析,中规院将辅助研究报告的完成。

## 研究领域

本研究报告将对两大流域的城镇化发展、环境保护、脱碳和气候适应提供系统性及综合性的思路。在圆桌会议上被充分认识到,由于这些发展事宜紧密连接,研究时间则选为一个世纪左右。本研究报告涉及到以下几个重要方面:能源与农业、教育和城市发展以及物质社会之外的方面,例如文化价值与社会管理。

圆桌会议特别指出环境与空间规划政策紧密协调的潜力,至使本报告围绕这四个主题展开:城镇化、环境保护、气候适应及脱碳。

本报告所涉及的主题与广度只是为所设想的研究目地得出结论而服务。若需深入讨论研究主题,读者还需参考更多文献,扩展其深度及广度。

## 地理分界

在本研究中,由于默兹和斯海尔德盆地 (Meuse and Scheldt) 与莱茵河三角洲相交,它们也被包括莱茵河流域中。由于缺乏流域在经济,人口发展与自然方面完整连续的信息数据,因此在统计比较中,我们经常使用“莱茵河6国”的数据,即占莱茵河流域面积较大的六个国家(比利时、法国、德国、卢森堡、荷兰和瑞士)。

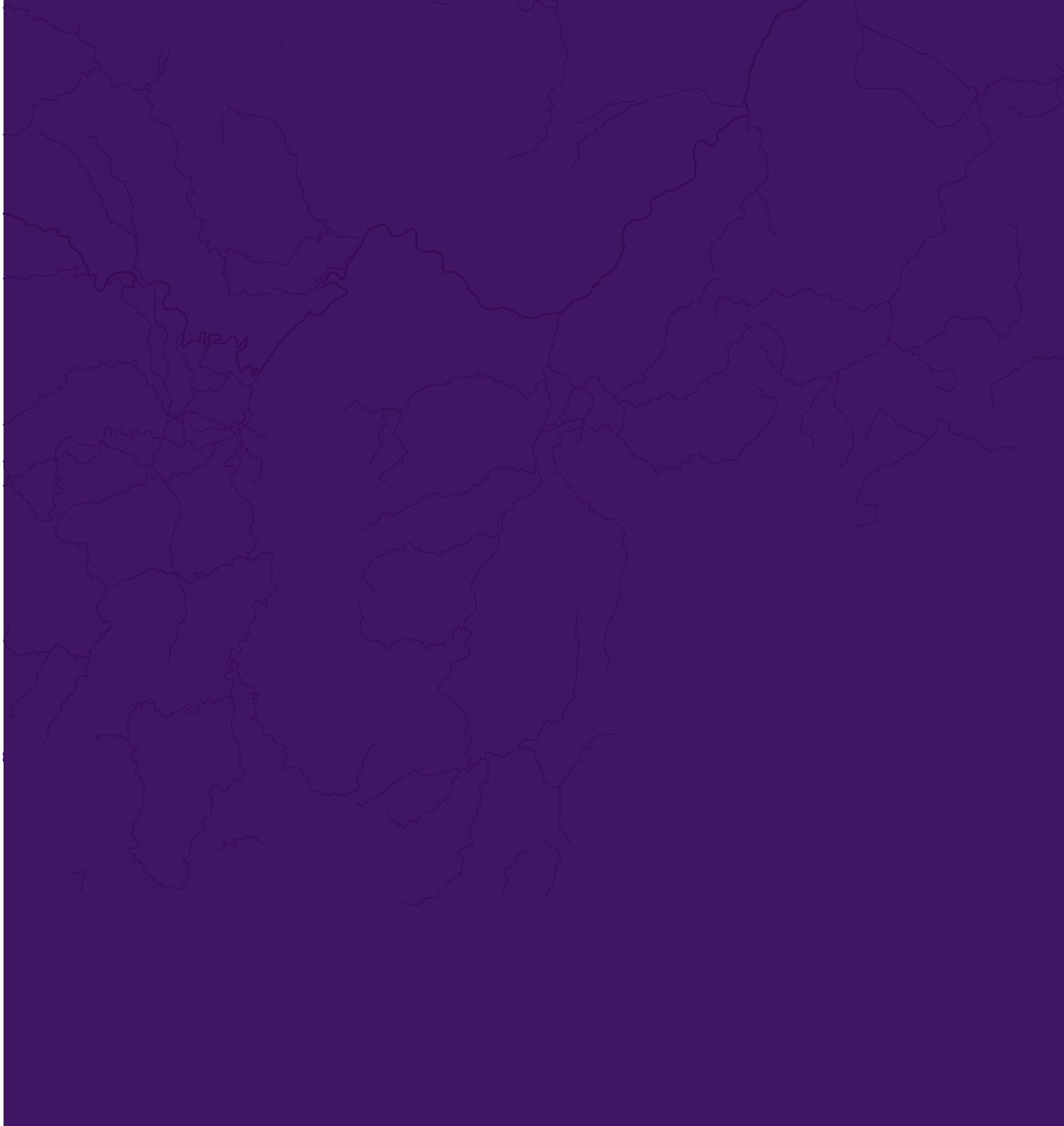
对于长江流域我们研究了长江经济带的整个区域,包括河流周围主要经济活动相关联的11省(上海、江苏、浙江、湖北、重庆、湖南、四川、安徽、江西、贵州、云南)。长江经济带是中国经济可持续发展战略之一(见图2)。

## 时间期限

本研究的时间跨度为100年(1950年至2050年),它为人们解决两大流域环境与空间规划问题及经验积累提供了进一步认识,这些问题在行政管理和经济发展方面各有不同。这期间西欧及中国各有显而不同的历史发展及社会背景。欧洲的工业化发生在1950年之前,在1960年及1970年后逐步衰退。而中国的快速工业化进展始于1980年改革开放以来,直到今天它的速度才逐步放缓。

## 报告结构

第一章以空间和时间有序,对河流流域由于城镇化、水利工程和农业发展而引起的环境和空间改变进行了简要概述。第二章以实情和数据为基础,对两个河流流域进行了分析。第三、四、五和第六章,各章分别阐述了与之有关的大量政策问题:城镇化和城市形态;污染和生物多样性;气候适应及经济活动的脱碳。在这四章的每一章中,都包括了对这两个流域的分析与描述。而且每一章结尾处都有两个流域中有代表性的案例。第七章为总结:列出观察结论,并确定计划中未来深入研究的相关性和研究领域。



图：莱茵河流域与长江经济带的位置

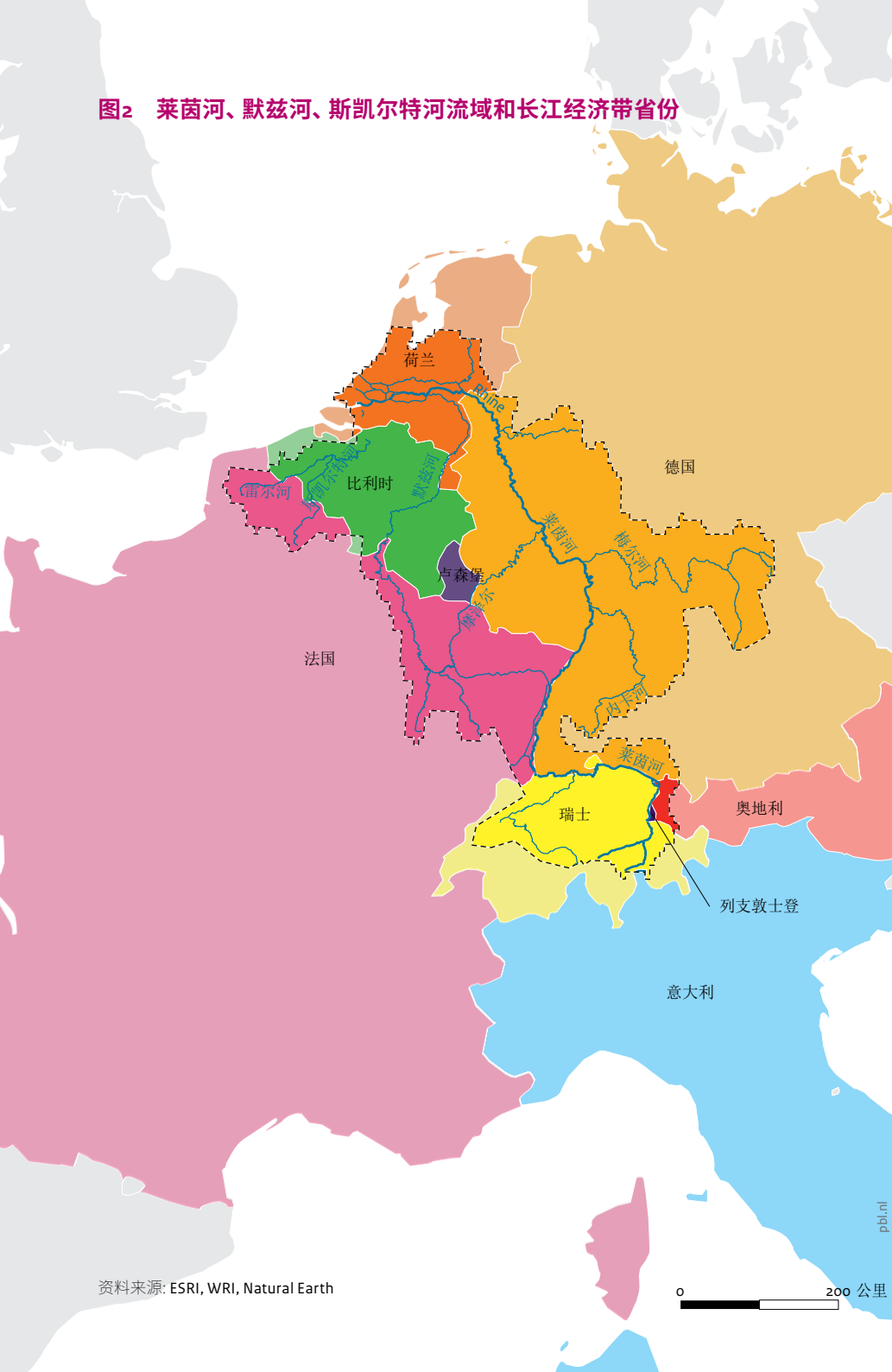


包括默兹和斯凯尔特盆地在内的莱茵河流域 (蓝色) 在西欧的位置, 长江流域的边界为虚线所标。与长江经济带 (紫色) 相比, 长江流域比莱茵河流域要大得多。

资料来源: WRI, Natural Earth

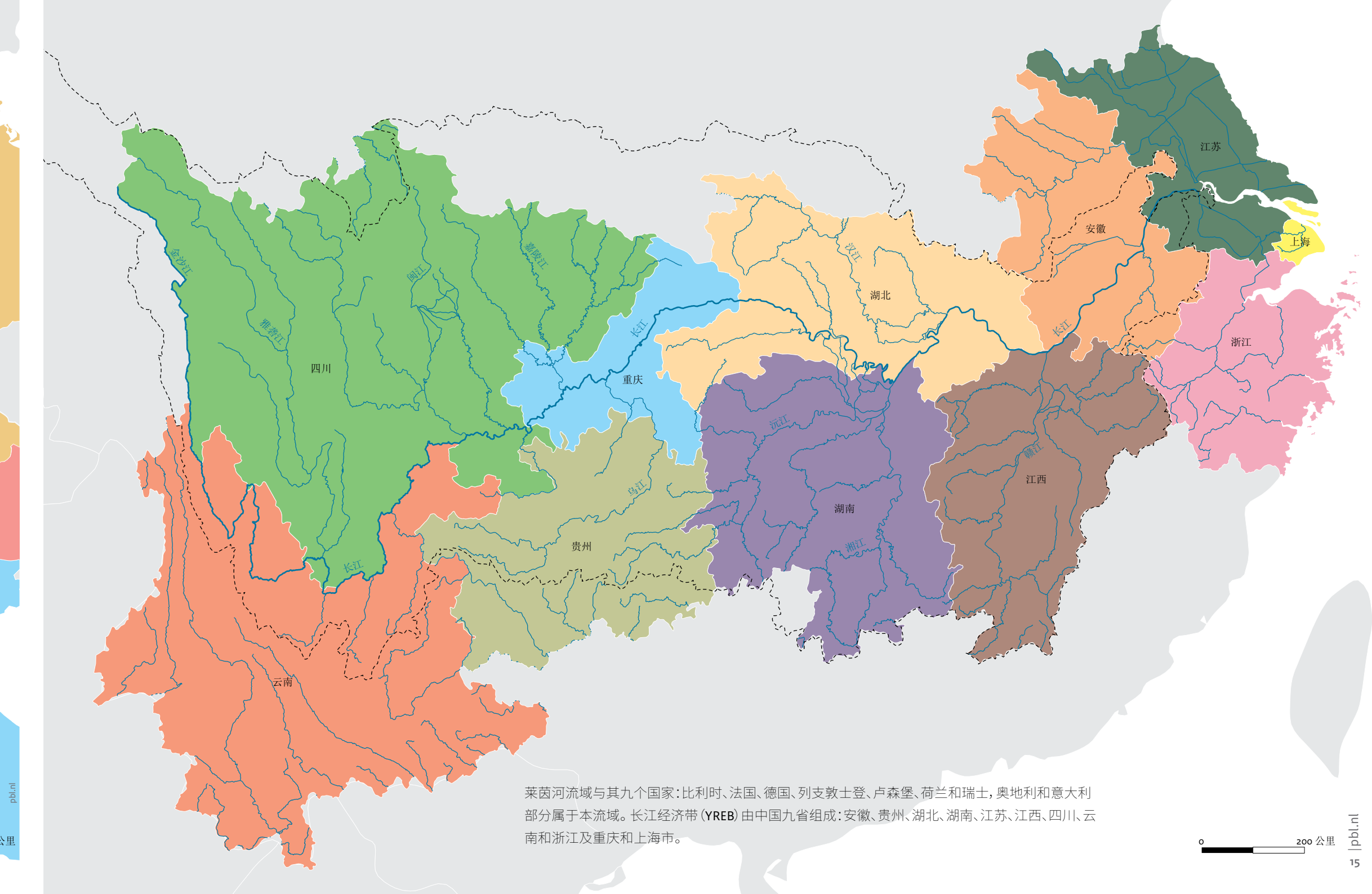


图2 莱茵河、默兹河、斯凯尔特河流域和长江经济带省份



资料来源: ESRI, WRI, Natural Earth

0 200 公里



莱茵河流域与其九个国家:比利时、法国、德国、列支敦士登、卢森堡、荷兰和瑞士, 奥地利和意大利部分属于本流域。长江经济带 (YREB) 由中国九省组成: 安徽、贵州、湖北、湖南、江苏、江西、四川、云南和浙江及重庆和上海市。

0 200 公里

# 前言

长期以来,对大型社会环境体系明智和有效的全面综合管理是非常重要的。全球性的气候变化更加证明了这一点。流域尺度是管理这种复杂性体系的空间单位,也是研究综合管理经验的好单位。

河流流域始于山脉,入之于海。货物及燃料在河流中运输,许多与人类发展相关的经济和文化活动都起源于河流沿岸。长江流域和莱茵河流域的驱动力包括城镇化和经济发展,可持续性发展问题包括污染、景观、生物多样性管理以及脱碳需求。在有些河流系统中存在着以下问题:建立水电大坝的决策以及与其相关因素的权衡,包括未来是否需要建设更大的能源综合体。全球性的气候变化不仅加剧了这些问题,如洪水及干旱更加频繁,而且使所有现有问题变得复杂和困难。

在2019年4月8日于荷兰海牙举行的国合会有关绿色城镇化及环境质量改善的圆桌会议上,大多数与会者都认识到,中国和西欧在城镇化与流域管理上面临着相似的挑战与机

遇,但它们始于不同的出发点,也以不同的速度发展。其结果是,长江经济流域的大多规划者和决策者必将经历与解决莱茵河流域所经历的同样过程,所不同的是这一过程将大大缩短。

我们认为,这一中心问题需要进一步分析研究。通过对长江流域与莱茵河流域的历史经验与未来预测对比,会对中欧都有益的战略管理经验。这对于掌握时机、投资变化和社会贫富悬殊缩小非常重要。还需指出:城市空间布局对周围环境具有长期影响,比如说能源工业设备(其特征及外观)的长使用期及其扭转一个地区经济所需的时间。

因此,本研究报告是为今后更深入的比较研究而迈出的第一步。虽然长江流域与莱茵河流域的长度不一,但都代表了各自所包含主要经济区的特征。本报告呈现了与此相关的典型案例,特别是在城镇化和经济活动的平衡增长与可持续发展以及保护自然和生物多样性方面。两个河流流域还包含了大规模的城市群,因此它们代表了具有全球意义的“三角洲经济”。

圆桌会议的参与者还强调环境污染,实现气候适应及脱碳,以及经济行业与其有关地区的革新,都与两个河流域密切相关。如果只解决单一方面而放弃另一方,则会导致环境与社会效益降低。因此,应该加强相关部门间的综合合作。

然而,实践中还有许多事宜需要改进。人们争论,是否通过更好地空间规划政策和环境政策的协调,能获得很多益处。我们对此表示赞同,并期望在本报告就其相关性和可行性探讨的基础上会产出更深入的研究报告,能获取更多的优秀案例及指导经验。

由于新冠疫情,推迟了本报告的完成。鉴于国合会正在考虑其下一个五年工作计划(2023-2027年),并在与城市研究议程密切相关的气候变化适应行动中启动河流流域的管理工作。我们希望本报告是非常及时且有借鉴意义,目前的报告及计划中的深入研究将进一步促进中国与其他国合会成员之间相互学习,研究最佳实践并吸取教训。

Jan Hendrik DRONKERS (荷兰基础设施和水利部总秘书长),  
国合会成员

André VAN LAMMEREN 荷兰环境评估署(代理) 署长



River-basin-  
related tasks for  
environmental  
and spatial  
planning policies

1

与河流流域  
环境与空间  
规划政策密切  
相关的任务



中国与荷兰都面临着环境与空间规划的挑战。两个国家都具有高度城镇化及急需解决的环境污染问题。生物多样性急剧下降，气候适应及脱碳面临重大挑战。这些问题非常适合从河流流域的角度开展全面的研究。本报告将研究河流流域的主要挑战，以及它们在时间和空间上是如何相互关联的。

### 1.1 河流流域的时空任务

通常河流是生态与经济的主动脉，人类通常在河流两岸定居，在河流交叉的地区发展控制贸易。除此之外，河流两岸具有肥沃的土壤，丰富的渔业资源，充足的淡水及方便的运输，成为城镇化与工业化的自然生长地。由于无地形高差，通常道路与铁路的建设与河流流向相平行。所以，河流与它的支流成为城镇化的脊柱。工业化过程中与船运及冷却相关的工业设备集中于河流两岸及港口地区，在很大程度上对释放温室气体负有很大责任。

水电站的建设与河流密切相关，生态系统也与河流的集水区紧密相连。污染总是随河而下，对当地的生态多样性与环境质量有很大影响。此外，河流沿线的洪水风险与上游水管理措施等有关。由于气候变化的影响，这些防预措施的频率和强度正在增加。

所有以上因素使河流流域成为制定及强调生态多样性、污染、城镇化、脱碳及气候适应综合政策研究的最佳地区。这些挑战是紧密相连的，每一个都与空间和时间相关，而且过

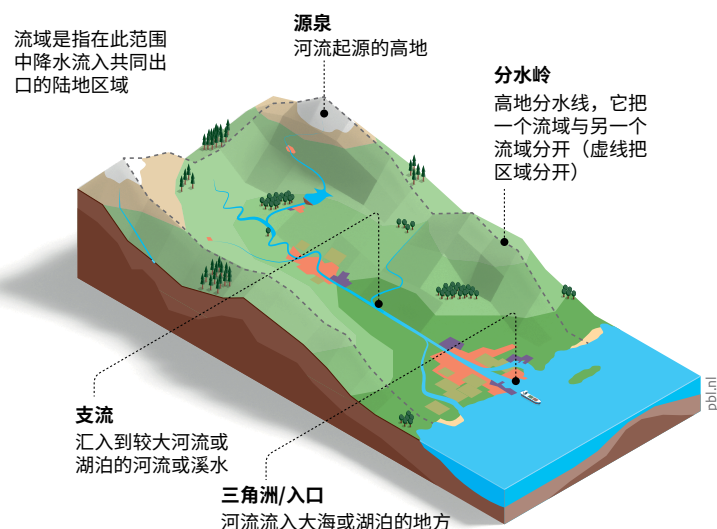
程变化都会在未来产生不同的影响。独立式的解决方法可能会导致在决策过程中无法充分考虑权衡取舍。只考虑近期效益的决策可能会导致其结果不再适合未来的需要。

环境与空间规划发展问题不仅仅影响到当地环境，而且其地点位置为首先考虑要素；解决特定地点发展并同时考虑与其相关问题会产生协同共响效益。此外，解决问题的顺序对产生协同共响效益也至关重要。

气候变化将加剧环境与空间规划发展并使之更加复杂。例如：气温上升和更极端的天气状况很可能会增加农业径流，影响水质；干旱会降低水位与增加集中污染。洪水会将污水及废物冲上河岸，也会再次汇入河流。

在莱茵河流域，有许多提高水质与水管理的国际协议。同期，中国也在强调更加综合的河流流域管理政策 (Wang et al., 2007)。

图3 河流流域



来源：荷兰环境评估署

河流流域特性概图, 从山脉到海洋, 包括自然, 农业用地, 城镇化区域, 工业区及港口。

## 1.2 河流流域:关键概念

河流流域主要是一个水文单元, 如果无蒸发, 本地区的全部降水最终将汇集到同一河流, 或通过其支流, 进入大海。在高山地区, 例如山脊可作为地区边界, 水受高度边限制流向它的中心河流及其支流。区域境内的经济活动会影响到河流, 因此它们相联紧密。

河流流域的水文边境很少与其行政管理边境相符。大型河流地区基本上是跨越多个区域的。在这些区域中, 相邻国家因为共需清洁水源, 多样性的生物, 充足渔业资源及适量泥沙流量而相互依赖。在跨越多地区的河流中, 河流上游的水质情况将大大影响到河流下游地区。这种跨越多地区的特性使制定河流流域管理政策更加困难, 但却非常必要。

河流流域通常还在经济, 物流以及社会和文化方面紧密连接。例如, 长江流域的很大一部分被称为长江经济带。考虑到它的尺度面积及其相关性, 本报告所研究的河流盆地, 实际上是指整个河流流域地区。

## 1.3 城镇化、工业化、水利工程及农业发展的后果

许多环境问题最终起源于城镇化、工业化、水利工程及农业过度发展。基于这些原因, 将描述与河流流域及其实行机制直接相关的政策。第三章至第七章将按主题阐述长江及莱茵河发展及其有关政策。

### 1.3.1 城镇化及工业化对环境与气候适应的影响

城市产生了全球80%的人均国民生产总值(GDP), 但它也在温室气体排放量中占了很大地位(World bank 2021)。世界人口继续增长及城市人口也随之增加。但是, 人口增长和城镇化将对自然资源及城市生活质量产生更大的压力。城市和基础设施的发展使动植物被迫迁移并使其栖息地减少。

大气中温室气体(二氧化碳)的增加主要来源于城市, 它导致对人类环境具有深远影响的气候变化。尤其是城市对气候变化的效果极其敏感, 因为城市中人口、基础设施及货物

大量集中, 以及世界中大部分地区人口老龄化逐步加剧。世界气温升高会导致城市热岛效应, 增加极度天气气候的频率, 同时表现在过度降雨与极度干旱, 会增加洪水及其他灾难的危险。从长远来看, 海平面上升会加剧沿海城市地区问题的复杂性。

在河域地区, 城镇化还具有其他几方面的效应:

- 城市、农业及工业经济活动的扩展涉及到土地使用性质的改变, 它会直接影响到河流系统。水塘及湿地被填平, 改变为建设用地; 河流的支流被填充; 河流两岸的洪水冲击区也被改造为防洪堤坝, 其结果使河流丧失了其空间、储洪量和洪水输送能力。沿岸和河口的浅水区被填海造地, 用于城市扩建。由于这些措施, 水系统的蓄水能力和湿地生态被大大减少与破坏(CCICED 2021)。
- 自1990年以来, 由于经济增长与城市发展, 全世界对沙, 砾石及二氧化硅建筑材料的需求不断增加(CCICED 2021)。从河流中开采泥沙会导致河床地形、水文和水力状况、生态系统发生变化并使污染扩散(CCICED 2021)。
- 土地硬化, 由于房屋与基础设施的建造, 造成城市中大量土地硬化。它会影响到河流的径流率, 并可能导致山洪暴发并减少含水层的自然补给(Bertrand-Krajewski, 2020)。
- 空气污染起源于工业、道路交通、家庭生活、农业及能源制造, 但它也会通过降水和径流的方式造成水源的污染。
- 河流污染物也以营养物的方式出现, 如种类繁多的有毒物质—药品、塑料和废物。它们来自于城镇化及工业化地区、港口及运输业, 它们随河而进入湖泊、河岸及海洋。在沿海区及海洋, 这些污染物大大影响生物多样

性的发展, 它体现在许多方面, 如从食物链的底部到首部。此外, 河流上部河床底部的污染物会数十年持续影响到河流下游的水质。

- 由于大量及频繁不受监管的地下水抽取导致土壤沉降。

### 1.3.2 农业发展对环境的影响

通常开垦新农业用地不利于地区自然性与生物多样性的发展。河流流域在以下环境和生物多样性方面存在着显著问题:

- 土壤流失: 机械化农业比天然土地会有更多的土壤流失(Montgomery, 2007), 它明显增加了河流下游的河水含泥沙量与它的径流。
- 除了城镇化与工业所带来的污染外, 还有由于集中畜牧业和过度对耕地施肥造成的粪便污染, 从而进一步对水污染。如果这些营养物最终进入地下水和地表水中, 则会对河流下游的水质产生影响。高浓度的营养物会导致大面积的藻类重重繁殖和杂草丛生, 对生态系统和经济产生负作用。大量杂草生长最终可能会在海滩上蔓延从而损害旅游业(CCICED, 2021)。

### 1.3.3 水利工程对环境与气候变化的影响

人类对水系统的干涉活动会导致生态系统及水利能力的降低。

- 建设水坝、运河、水闸及船闸会改变水道。水利发电以及河流大坝的其他用途—如灌溉、防洪和供水管理比靠碳排放而产生能源更具有优势。然而, 水坝建设对河流系统产生的重大影响是极为突出的(CCICED, 2021)。用于水电生产的大坝存水和放水通常破坏了河流下游生态系统发展的需要。

- 水库中的泥沙截留直接影响到河流下游的水流和生态系统,并影响其入海过程,增加了沿海地区的洪水风险。
- 疏浚(河底清洗)也可能改变河流局部流量和泥沙通量,从而带来沿海地区河道加深和盐度入侵等影响因素。
- 为防止洪水侵袭,提高水质或为发电需要,河流经常被截流来弥补水量的不足。此外,不同河流可被人为连接来增加河运路线。由运输而带来的外来生物会影响到本地区生物多样性的平衡。外来动植物种类的入侵对河流本生态系统,生物多样性和生态结构平衡发展造成了很大的威胁。

#### 1.4 长江与莱茵河流域环境与空间规划的挑战

以上所描述的有关不同主题政策之间的机制与关联,引发了对两个河流流域的比较研究。以下章节中将对长江及莱茵河流域产生重大影响的因素进行分析。此外,还有其他与改善环境相关的因素,但是它们都不直接与河流流域的发展动力有关。

以1950-2050年时间段为基础,莱茵河流域与长江流域将以空间发展为视线,通过以下几个主题:城镇化、生物多样性及环境污染、气候变化和脱碳进行对比。





Introducing  
the Rhine and  
Yangtze basins

2

莱茵河与长江  
流域简介





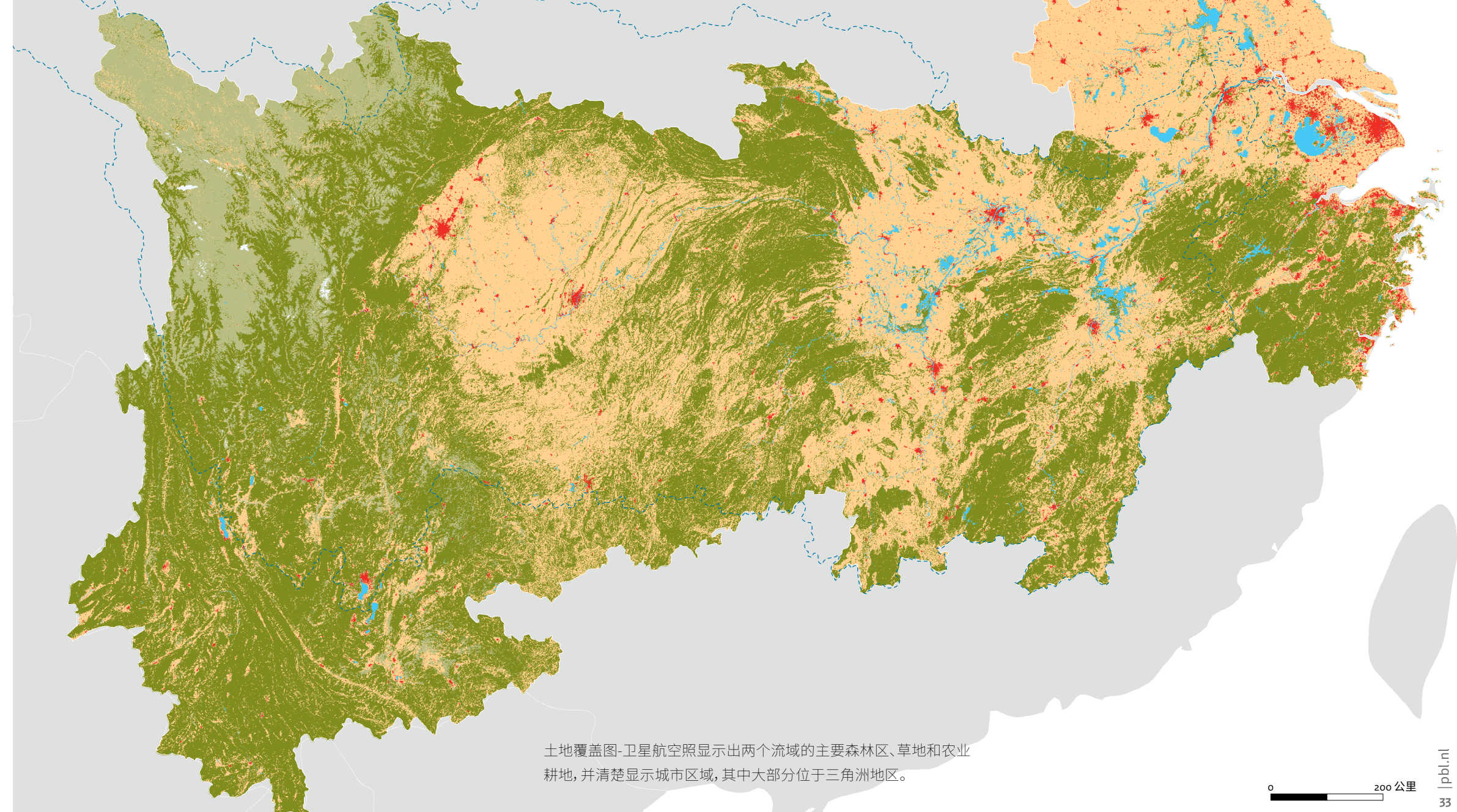
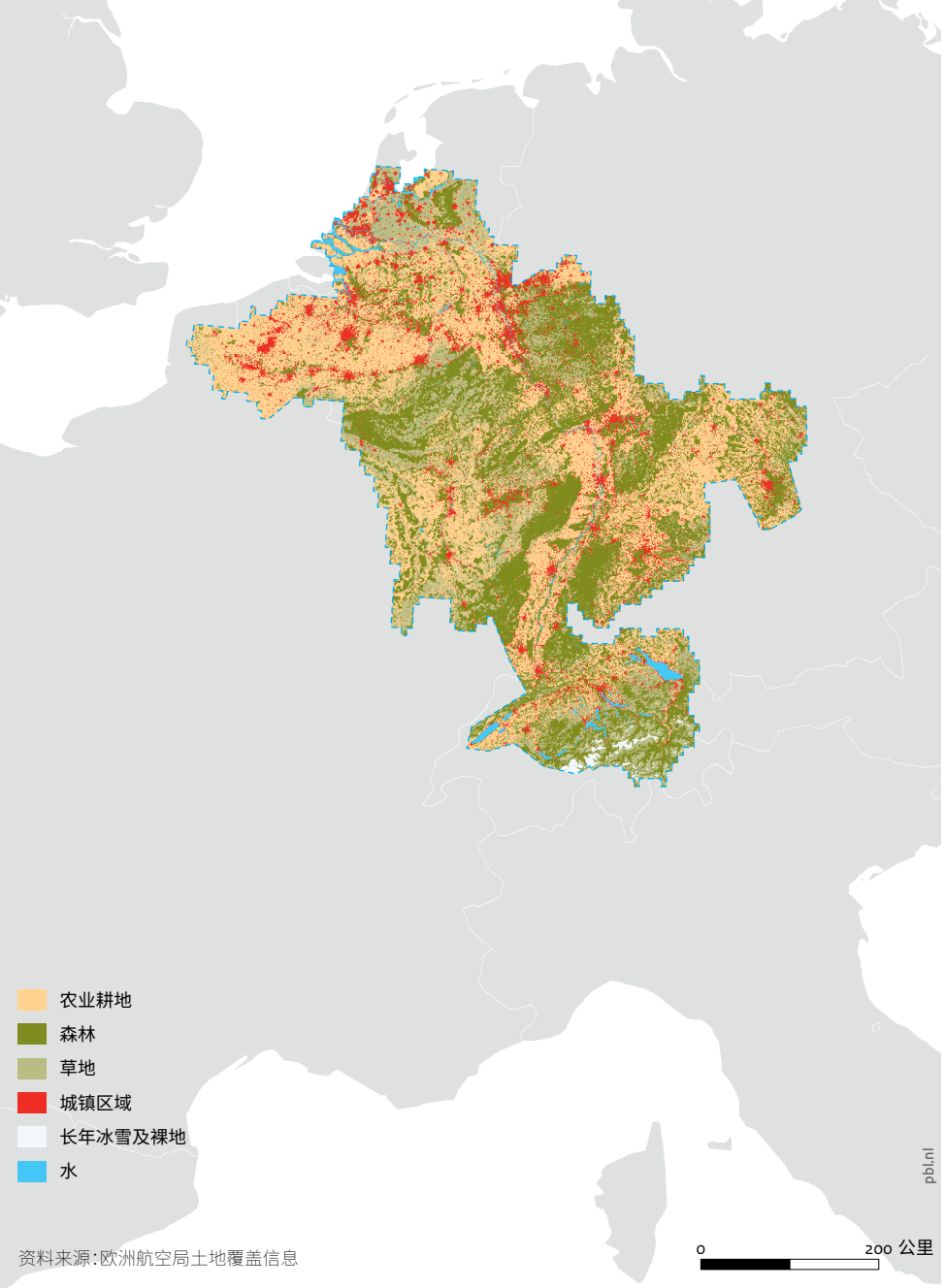
## 莱茵河与长江流域面积相差极大，但它们的经济动力相似

莱茵河始于瑞士山脉自南向北，经过中部高山及高原地区（流经法国及德国部分地区最后进入低地的荷兰）进入沿海平原。它流经德国法兰克福/莱茵-美因和莱茵-鲁尔城市群及荷兰的兰斯塔德城市群。莱茵河流域也包括列支敦士登，卢森堡的大部分地区及奥地利，意大利和比利时的少数地区。本河流的长度为1250公里，流域面积为18,5万平方公里。莱茵河的支流主要为梅恩、摩泽尔和内卡河。

长江是亚洲最大河流，长度为6300公里，流域面积为180万平方公里。长江自西向东，始于青藏高原，流经具有主要工业增长及城市化高速发展的中西部腹地，进入高度发达的三角洲地区（上海）。长江流经成渝城市群（成都、重庆）、长江中游城市群（武汉）和长三角城市群（上海、南京、苏州、扬州、杭州、宁波、合肥）。长江主要支流有汉江、雅砻江、闽江、嘉陵江、乌江、金沙江、湘江、沅江、赣江。

如图4所示，虽然长江只包括一个国家，它所包含流域的面积要比莱茵河所含大得多。长江与莱茵河流域都包括农业耕地与森林。城镇化地区与自然和农业地区相比要小的多，长江流域的城市群要比莱茵河流域的城市群大得多（表1）。两个流域都大大影响了他们周围更广泛地区的经济发展。

图4 2015年莱茵河流域与长江经济带的土地覆盖



土地覆盖图-卫星航空照显示出两个流域的主要森林区、草地和农业耕地,并清楚显示城市区域,其中大部分位于三角洲地区。

表1

	长江		莱茵/默兹/斯凯尔特河			
<b>人口 (河流流域)</b>	400	百万人口(2018年)	77	百万人口(2018年)		
<b>河流长度</b>	6300	公里	1250	公里		
<b>流域面积</b>	1,808,500	平方公里	242,123	平方公里		
<b>主河流流量</b>	900	立方千米/年	72.5	立方千米/年		
<b>主要城市</b>	上海	24.2	百万人口 (2018年)	布鲁塞尔	1.2	百万人口(2018年)
	成都	16.3		科隆	1.1	
	武汉	11.1		阿姆斯特丹	0.8	
	杭州	10.4		法兰克福	0.7	
	重庆	8.7		杜塞尔多夫	0.6	
	南京	8.5		鹿特丹	0.6	
	宁波	8.5		斯图加特	0.6	
	长沙	8.2		安特卫普	0.5	
	合肥	8.1		杜伊斯堡	0.5	
	昆明	6.8		斯特拉斯堡	0.4	
	南昌	5.5		苏黎世	0.4	
	贵阳	4.9		巴塞尔	0.2	
	<b>主要城市群</b>	长三角城市群	153	百万人口 (2018年)	莱茵-鲁尔大都市地区	12.9
长江中游城市群		125		兰斯塔德	8.2	
成渝城市群		106		法兰克福/莱茵-美因大都市地区	5.8	
<b>主要海港</b>	上海	42,010	集装箱运输量 (2018年) (以千标准箱为单位)	鹿特丹	14,510	集装箱运输量 (2018年) (以千标准箱为单位)
	宁波-舟山	26,350		安特卫普	11,100	
	太仓	5,071				





Urbanisation in  
the Yangtze and  
Rhine river basins

3

莱茵河及  
长江流域  
城镇化



本章将对长江与莱茵河流域的城镇化发展进行探索，以图表明城镇化地区，与经济有关的主题及基础设施网络，也将显示人口发展趋势对城镇化的影响。并且探讨城镇化与环境规划，气候变化与脱碳的关系。

### 3.1 河流流域及其两岸人口老龄化加剧

从历史来看，人类总是在河流两岸落居，因为河流能够为人们提供新鲜的水源，便于渔业和交通运输的发展。此外，周围肥沃的土壤使得农业收成更高。在西欧与中国，随着工业化的发展，城镇地区大大扩展。在20世纪特别是21世纪，尽管河流在城市中所起的主要经济作用已经减弱，但城市基于道路网在河流两岸扩展。

在欧洲的工业革命中，城市首先在主要河流与港口发展，这些靠近自然资源（如煤、铁及水）的城市发展尤其成功。在长江经济带，主要城市也大量的聚集在河流两岸。

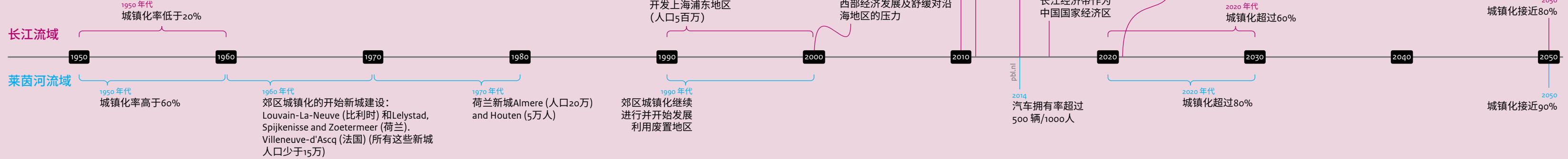
中国人口目前已达1950年的2.5倍，预计还将持续增加至2030年。之后，人口会有所下降。欧盟国家（2020年5亿人口）有渐缓的人口增长。2035年之后会稍有下降。在欧盟与中国，人口中65岁（图5）以上所占比例会增加，对住房会有特殊要求并更容易受到污染的影响。中国的工作年龄段人口将大大减少，它意味着未来经济也将随之变化。

中国自从上个世纪80年代以来，由于城市拥有大量工作岗位，大量农村人口流入城市。城镇化使得城市高密度扩展。在过去30年，2亿6千万人口从农村迁入城市，40%的新城市居民之所以成为城市居民，是由于附近的城市区扩展到包括附近农村的地区（世界银行，2014年）。

莱茵河流域国家的城镇化已超过70%并还会有微增长。中国城镇化比率将从1950年的12%增长到2050年的80%（图6）。当前长江经济带的城镇化已达到57%左右。长江流域中大部分省的城镇化比率要超过中国的平均水平。长江经济带城镇化率的增长速度快于全国平均水平。

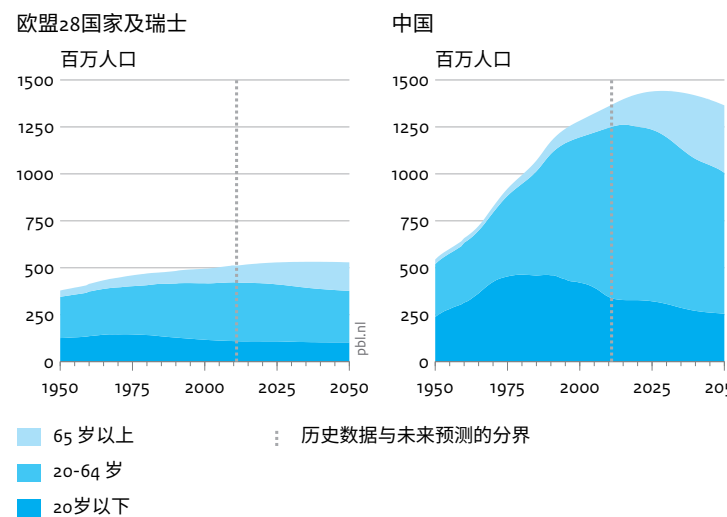
莱茵河流域的城镇化率与长江流域不同（图7及图8），其下游国家的城镇化率要高于上游地区。长江的中上游地区具有超大城市（武汉、重庆和成都）。而在莱茵河流域，人口集中在兰斯塔德城市群、莱茵鲁尔地区和布鲁塞尔地区。虽然长江流域的城镇化率低，但总的来说，长江流域的人口密度要比莱茵河流域的人口密度要高得多。

### 城镇化发展时序表



来源: 荷兰环境评估署

图5 按年龄而划分的人口



资料来源：世界经济发展合作组织

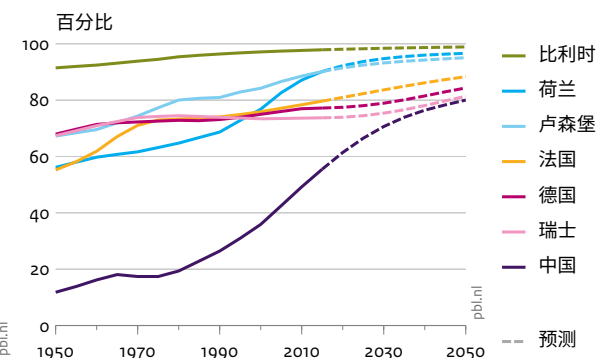
欧盟人口比中国人口要少得多。欧盟与中国人口先会增长，2030年之后将减少。65岁以上人口比例的增加将会对住房，休闲及生活环境质量有特殊要求。

### 3.2 中国长江经济带与欧洲的“蓝蕉”经济区

无论是在中国还是在西欧国家，全国人均国民生产总值在过去的几十年中增长很快。但是，西欧国家人均国民生产总值比其在中国要高的多。长江流域中11省的人均国民生产总值各不相同，比如说上海市人均国民生产总值是云南省的3倍(图9与图10)。

从历史发展角度来看，长江的经济动力位于东部，沿海地区与中西部城镇化差距已减少，中西部地区城市人口的比例

图6 中国及莱茵河流域国家城镇化率



资料来源：2018年联合国

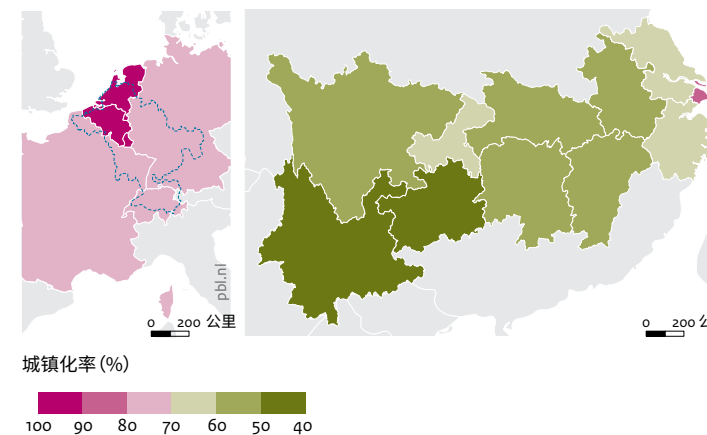
中国城市居民比例增长极快。许多人由于工作就业从农村迁移到城市。中国城镇化率将赶上莱茵河流域。

已大大增加。但是，各省间人均国民产值的差距使他们无法在可持续性发展及气候变化措施方面有同等投资。

莱茵河流域的大部分地区位于欧洲的“蓝色香蕉”经济地区（以下简称蓝蕉）。罗杰·布鲁内 (Roger Brunet) 提出了欧洲经济发展的“蓝蕉”理论，将英国中部地区到米兰的弧线地区被称为“蓝蕉”经济区，它具有欧洲最高的经济活动率 (Brunet, 1989)。“蓝蕉”的俗名来自于所出版地图上所标明的蓝色弧线。根据地理学家的说法，这条弧线可以追溯到中世纪时期，它反映了古老的贸易路线。从1800年代起，工业革命就在欧洲沿此带而蔓延。“蓝蕉”地区包括大量的大中型城市，如阿姆斯特丹、法兰克福、布鲁塞尔和苏黎世。

河流也主导基础设施的建设发展。大多数基础设施把沿河城市连接起来并顺河谷而发展延伸。两个河流域都集中

图7 2018年莱茵河沿岸国家与长江经济带地区省的城镇化



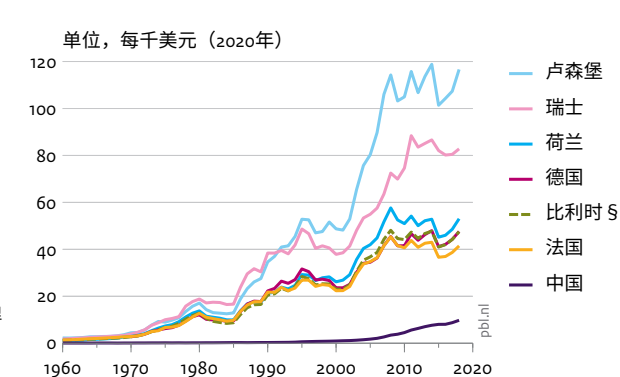
资料来源：联合国，中国国家统计局2019年

河流域中城市人口分布并不均匀，三角洲地区的城镇化率要比内地高。

了三角洲中的大量基础设施。引人注目的是长江经济带比莱茵河地区具有更为广泛的高铁网络(图11)。

港口不仅仅通过水路交通与内地相连接，也通过管道相连接。鹿特丹港口具有1500公里长的管道网络可运输原油、石油、化学及工业气体。这些管道连接港口中的各个工厂并与其他港口相连，如比利时安德卫普港口，荷兰格琳 (Geleen) 的Chemelot 及德国韦瑟林 (Wesseling) 的Solvay、德国路德维希港 (Ludwigshafen) 的BASF 著名石化工厂和机场(图12)。图13显示了从长江流域海港到内地的石油管道。管道的布局独立于河流走向，但最终管道会与通常与河流相关的工业中心相连。

图9 中国与莱茵河流域国家人均国民生产总值



资料来源：2019年世界银行

中国人均国民生产总值 (GDP) 正在增长，但远低于莱茵河流域的国家。注：这是全国平均水平。

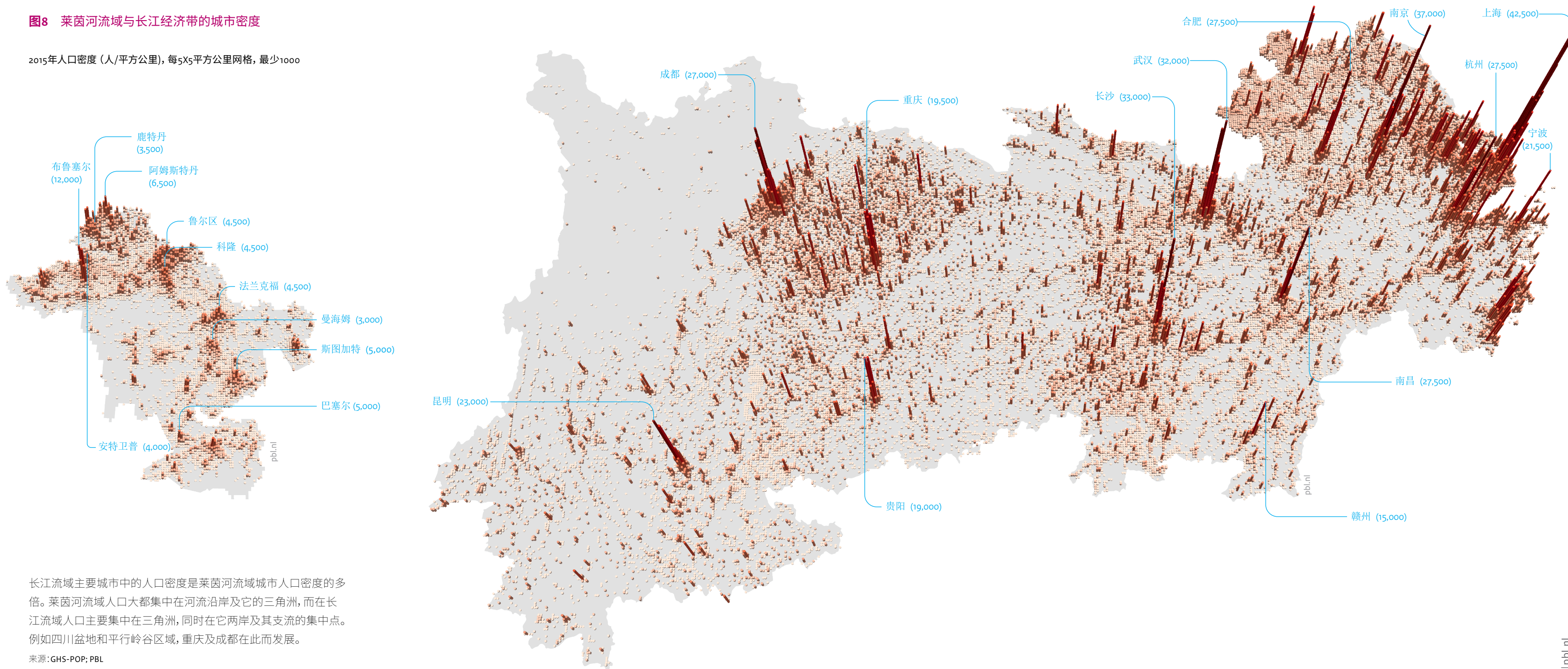
### 3.2.1 城镇化的影响

城镇化为人们带来很多益处：城市中人口、新产业功能与基础设施的大量集中，为人们的创新活动打下基础。多功能综合分区，以更新转型为导向的开发和建筑高密度可以减少能源和资源的使用，使其居民通过增加体育活动来改善健康。此外，城市空间的紧凑发展和智能密集化可以更好地保护土地，使其用于农业耕作及自然绿地 (IPCC 2014)。另一方面，与其他 (拥有更多空地可建风力涡轮机和太阳能电池板) 建筑稀疏地区相比，在城市中发展可再生资源的潜力 (如风能和太阳能) 会有所限制。

由于城市中土地所有权分散、房地产和基础设施折旧期长以及路面下所埋设的各种缆线管道的不易改变等因素，城市布局很难改变且代价昂贵。如果需要改变，只能逐

图8 莱茵河流域与长江经济带的城市密度

2015年人口密度 (人/平方公里), 每5x5平方公里网格, 最少1000

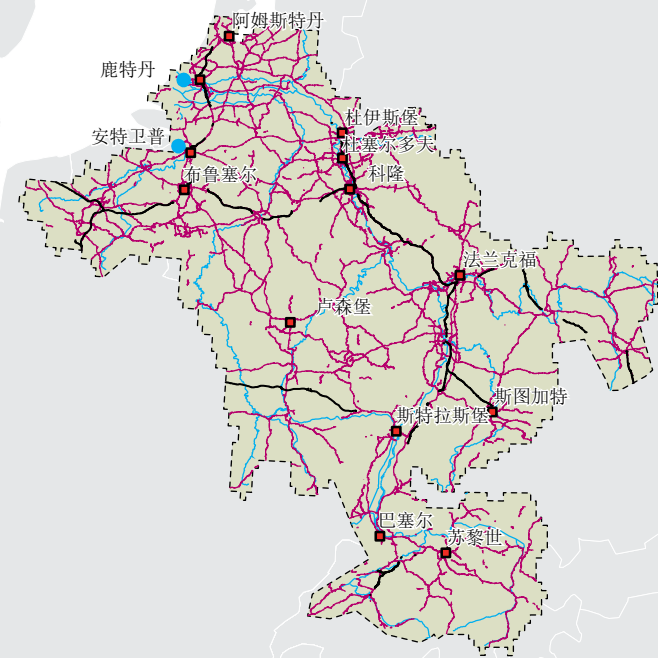


长江流域主要城市中的人口密度是莱茵河流域城市人口密度的多倍。莱茵河流域人口大都集中在河流沿岸及它的三角洲,而在长江流域人口主要集中在三角洲,同时在它两岸及其支流的集中点。例如四川盆地和平行岭谷区域,重庆及成都在此而发展。

来源: GHS-POP; PBL



图11 莱茵河流域及长江经济带的运输基础设施

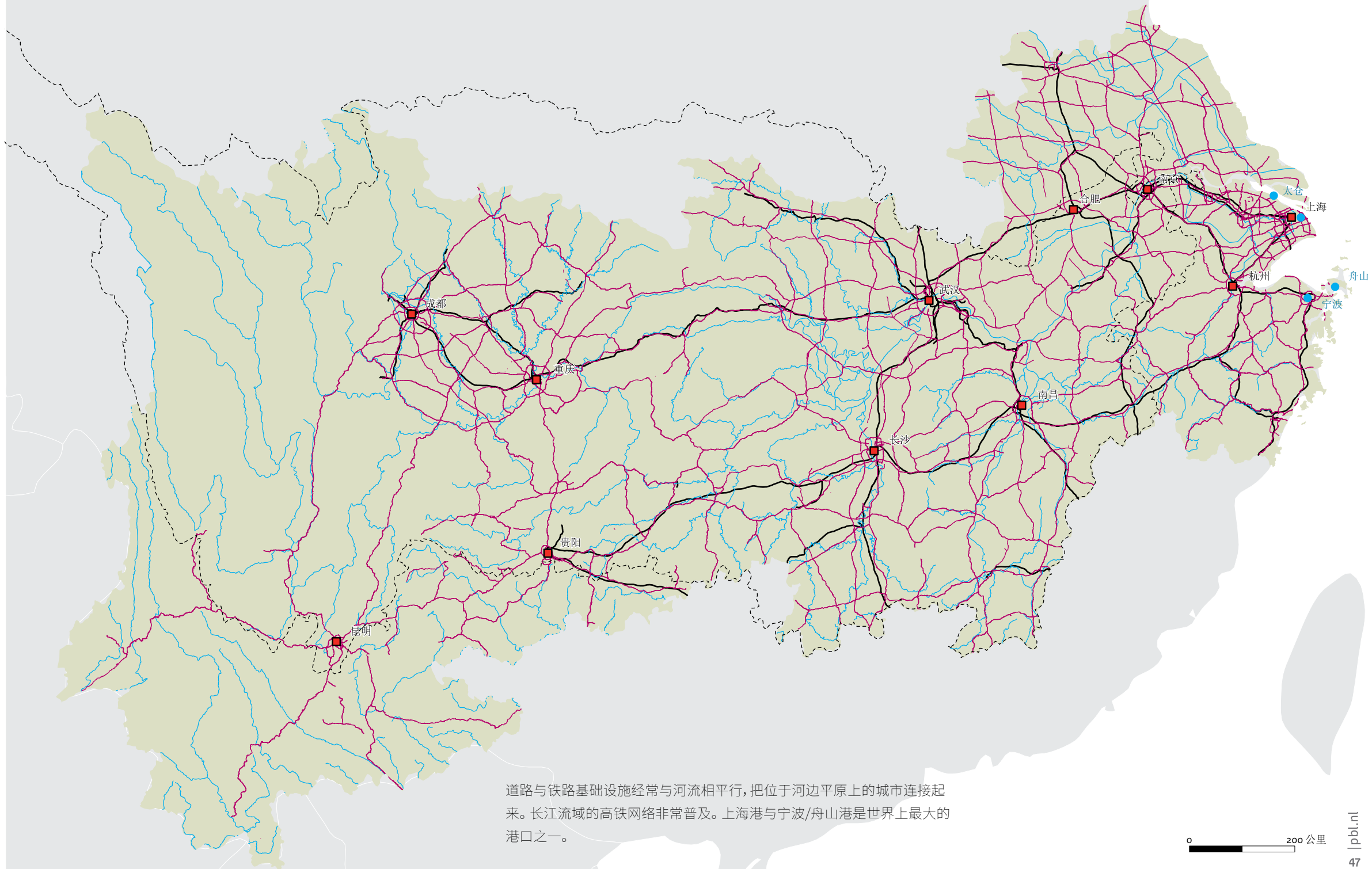


- 主要海港
- 主要城市
- 高铁线路
- 主要道路
- 河流

资料来源: Li 2016; EuroGlobalMap 2012; ESRI 1993; GRIP global roads 2015

0 200 公里

pbl.nl

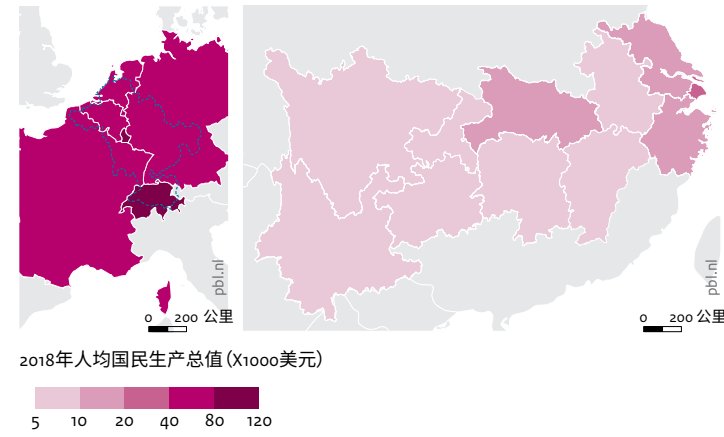


道路与铁路基础设施经常与河流相平行,把位于河边平原上的城市连接起来。长江流域的高铁网络非常普及。上海港与宁波/舟山港是世界上最大的港口之一。

0 200 公里

pbl.nl  
47

图10 2018年莱茵河流域国家及长江经济带各省人均国民生产总值



资料来源：联合国，中国国家统计局2019年

长江流域各省人均国民生产总值大大低于莱茵河流域国家数据，在长江流域中的湖北省和三角洲省市，如上海市人均国民生产总值大大高于其他省。

步进行。因此，一旦建成，城市结构就决定了未来几个世纪的交通运输及私人交通的能源消耗方式。Newman 和 Kenworthy 的图示14说明了这一点，他们在城市密度方面的研究表明，城市密度与人均汽车使用量之间具有显著而直接的联系。城市人口高密度为周边设施和公共交通创造了有利条件，并缩短了它们之间的距离，他们之间的通勤并不一定使用汽车。在图表中，低密度城市（主要在北美）中人均私人交通的能源消耗量最高，而高密度城市（主要是亚洲）的人均私人交通的能源消耗量要低得多。欧洲城市的密度中等，在汽车使用方面的能源消耗介于美国和亚洲之间 (Newman & Kenworthy, 1990)。

图12 鹿特丹港口管道网络系统



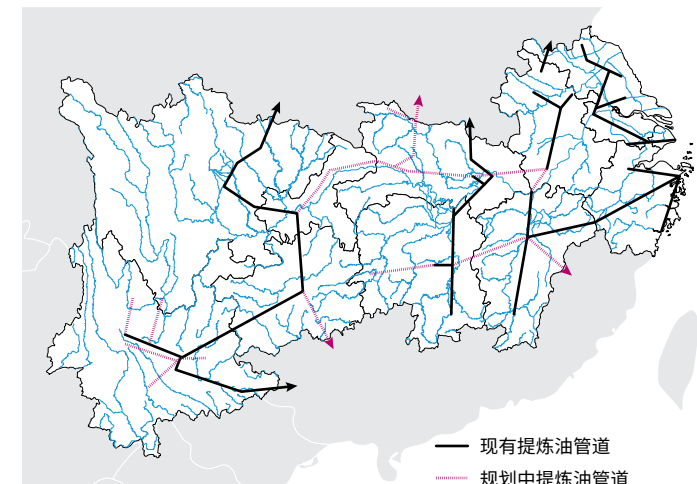
资料来源：鹿特丹港口，荷兰环境评估署修改

管道网络连接鹿特丹港口与欧洲国家重要港口，机场与化工厂（2019年）。

城镇化发展的另一结果是农业耕地及自然绿地大大减少，如图15。中国在1990至2010年之间，有2800平方公里以上的湿地被城镇化 (CCICED, 2021)，主要河流的支流被填充或覆盖，损害河流系统的水渗透及河岸对河水的滞留能力以及湿地生态发展。

但是，城镇化对生物多样性的负面影响要比对建成区的影响要大的多。基础设施的纵横交叉发展打破了连续的生物栖息地，它影响到城市之外的广泛地区。

图13 位于长江经济带地区国家炼油系统



资料来源：2017年国家发改委，荷兰环境评估署修改

长江经济带精炼油网络连接城市并延展上千公里。

城镇化的另一后果是土地硬化化：土地和建设用地被建筑大楼以及不透水的人造材料所覆盖（比如：沥青、混凝土）(Siebielec et al., 2013)。土壤硬化化在多个层面上对环境造成危害，它会影响土壤中的生物多样性，并增加洪水和山体滑坡的危险。由于土壤吸收的水份减少，至使水流流向低洼地区。

城镇化至使水泥需求量大大增加，水泥由沙而产。但是，不是所有的沙都适于制造水泥。沙漠沙由于其颗粒大小和缺乏棱角，不适合生产混凝土。此外，海砂质量不佳，由于其盐度较高，会加速混凝土的分解。因此，建筑所需要水泥制造的大量沙子来自山谷与河床。采砂矿会影响到沉积物平衡、水质和水量、生物多样性变化等因素。此外，由于河流

中沉积物被冲击到沿岸地区，造成对河岸的腐蚀，采砂会增加在沿海地区的洪水风险。采砂导致了我国主要河流中沉积物流量的减少 (Chu et al., 2009)，也导致环境破坏，例如洞庭湖大型无脊椎动物种类的减少 (Meng et al., 2021)，长江豚和豚类等独特物种的灭绝 (Chen, 2017)。

### 3.2.2 城镇化政策与设计指引城镇化发展

二次世界大战后，莱茵河流域的城镇化政策鼓励开发郊区及建设卫星城。由于私家车与公共交通的加速发展，人们不再需要住在工作岗位的附近。重工业撤离城市之后，这些地区及其建筑被改为居住性质。自1990年以来，城市扩张有所限制。与欧洲城市发展相比，中国城市则以相对高密度的形式开发。

国家和地方政府已经尝试通过城市遏制政策（例如城市边界和绿化带的增长）来减轻城市蔓延的负面影响 (OECD, 2018)。莱茵河与长江流域都经历了这样过程。由于城市蔓延的结果是环境被破坏，加上中国城市的快速增长，在2018年，中国政府通过了“生态红线”的控制发展政策。它旨在严格控制位于城市密集化发展的城市边界之外的新建筑。

为促进可持续城市发展，规划与设计决定了城市布局与建筑种类。城市并非要集中发展：多个城市可形成扁平化的城市群。条状城市更容易组织有效的公共交通，并与其附近绿色环境相接。在欧洲与中国，为了给大都市纾缓减压，发展建设了许多卫星城。在中国，这些新城的建设经常作为可持续城市发展的国家样板项目。这些新城的设计目标是要防止城市（如北京）更加密集化，疏散人们居住及其工作岗位，使城镇化在全国范围内进行。

随着中国城镇化的进展,由于城市中资金的大量集中,城乡差异也大大增加。这就是中国近年来提出了乡村振兴政策的原因,它包括农业提升与转型、食品安全、环境保护、城乡相联、加强乡村管理、乡村旅游业的发展等等。现代的通讯技术与高铁使人们能够做到在农村居住而在城市中工作。

从工业经济转型到以服务业为主的经济意味着对空间及其特定地点需要的减少。现代电讯通信技术使居家办公成为可能,而使这些经济活动的邻近性变得不那么重要。人们对城市的依赖性将会减轻。另一方面,几个世纪以来一直在逐步发展及转变的城镇化,从化石燃料经济走向循环经济,城市得益于封闭循环周期和邻近性(Rood & Hanemaaijer, 2017),这意味着后者将更为重要,从而再次增加了人们对城市的依赖。

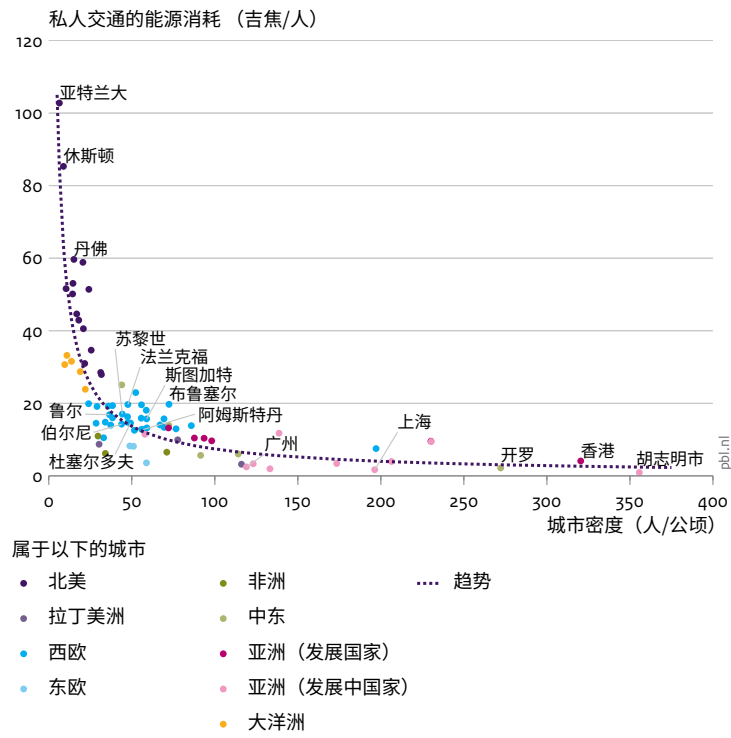
### 3.3 案例:成都市城镇化快速发展

成都市是长江流域中城镇化快速发展的典型案例。自中国改革开放以来,成都市中心城区迅速扩展,城市面积也大大增加。

1980年成都市中心建成区面积约为60平方公里,到2005年发展为290平方公里,居全国第八位。1990年,成都市中心城区城市人口为160万,而到2018年则突破了1020万,成为名副其实的特大城市。

成都市城镇化发展的三大动力:一是成都市作为四川省会城市,处于中心位置,成为全省乃至西部地区(尤其是西藏、贵州、云南)城镇化人口的聚集地。二是在国家行政部门的支持下,成都市辖区不断扩大,乡镇数量不断增加。三是新城镇、新区的建设推动了沿公共交通网络发

图14 1995年私人交通能源消耗及城市密度



资料来源: Newman and Kenworthy 1995; 荷兰环境评估署修改

城市人口密度越高,私人交通的能源消耗则越低(主要为私家车)。亚洲城市拥有相对高人口密度但低私家车使用率。与之相反,北美城市的人口稀少,高私家车使用率。莱茵河流域城市在这二者之间。

展的城市市区规模扩大。其中,以天府国家新区和第二个国际机场及在筹建中的未来航空新城为核心。

成都天府国际机场位于成都市东南部简阳市附近,于2021年正式通航。机场第一期建造目标是要在2025年达到4千万的客运量,70万吨货运量及32万飞机起降次数。

### 3.4 案例:法兰克福的发展趋势

法兰克福案例表明欧洲城市如何提高城市密度并促进为休闲,生物多样性及蓄水增加绿地。

德国法兰克福市位于莱茵河的支流美因河。城市在财政金融界占很重要的地位,是欧洲中央银行及德国中央银行首部的所在地。此外,它集中了大型化工产业,拥有大量贸易展览会和欧洲最繁忙的机场之一。在未来的几十年中,这座城市面临两个主要挑战。首先,该市力争到2050年实现100%可再生能源的使用,其次是满足对新建住宅的巨大需求。除了法兰克福的74万5千名居民外,预计到2030年城市还会增加有7万5千名居民。要满足当前的需求,还需要新建9万套住宅。相反,对工业和商业园区的需求可以在其现有基础上解决。

在空间规划方面,法兰克福拥有7个现存城区,其住宅大多建于1930-1950年间。为实现气候变化适应、休闲及生物多样性的目标,一方面要以综合功能为主导来提高城市密度,另一方面加强其绿色结构及相互连接(图17)。例如,具有3800公顷面积的城市森林,是法兰克福绿带的一部分。城市也与550公里的区域性公园森林相连接并拥有68公里绿带山道。此外,城市提倡在城市肌理中创造更多的绿色空间及应用绿色技术,通过屋顶绿化、内院绿化、建筑表面绿化使城市变得更绿。例如,位于崭新的“全球商业区”中的主导花园紧邻自然保护区,本区立志成为第一个拥有电动汽车充电站和通往莱茵-美因地区的自行车道的“电动交通城”。该计划可解决城市所需9万套中的7.8万套新住宅。

除了以上增加城市密度的计划,剩余的1万2千套住宅也许会建在有便捷公共交通的190公顷绿地上。另一个方案是

由区域政府提出在法兰克福周围火车通勤30分钟的小城市加大其密度。这些方案的选择要经过公众讨论而定。

### 3.5 城镇化对河流流域作用的对比结果

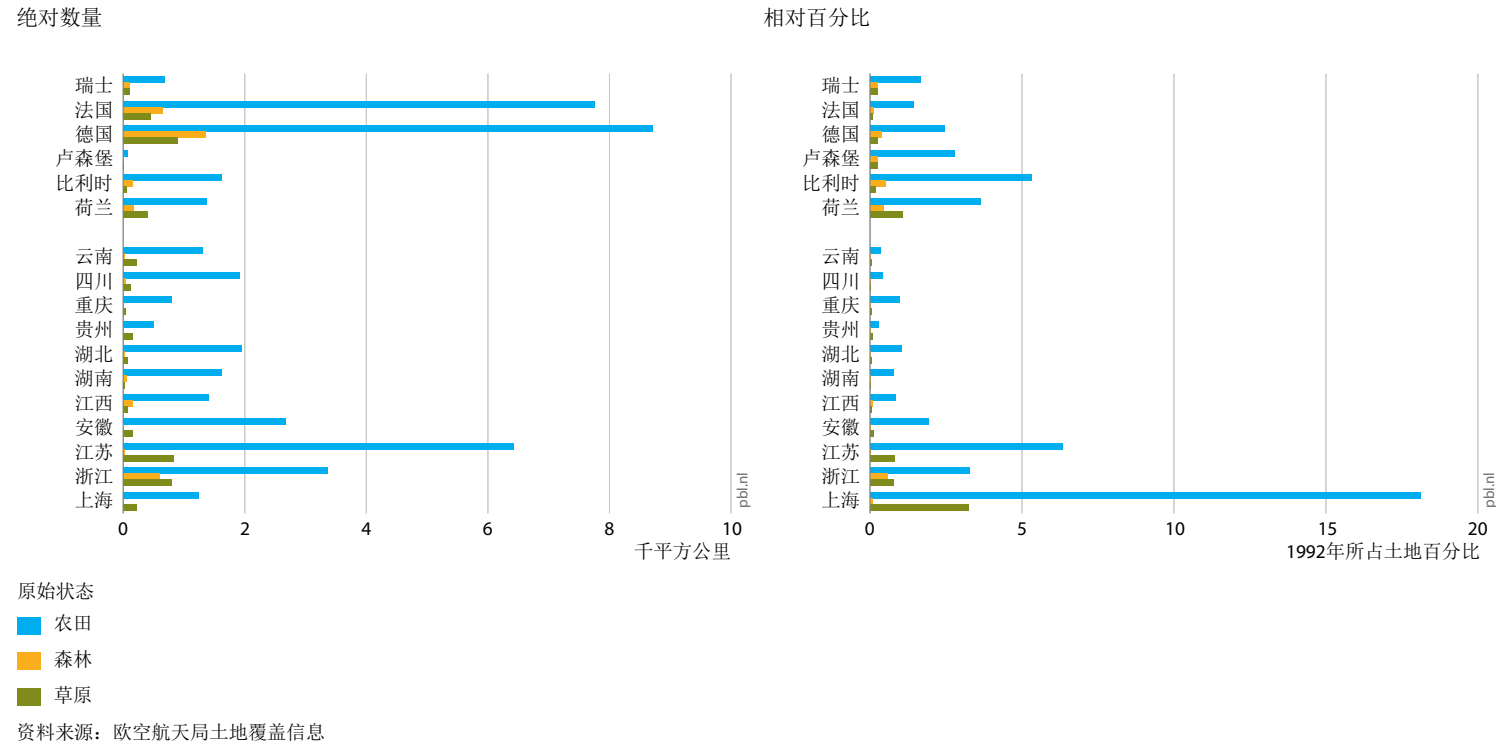
城镇化多发生在河流流域两岸。莱茵河流域的工业化继续发展到二次世界大战以后,自1980年以来,服务行业才大大兴起。

由于廉价的劳动力,长江流域在20世纪末期经历了快速工业化,并转型为服务性经济。工业与服务行业提供大量的工作岗位,这导致了农村人口流向城市,因此也提高了人均国民产值收入。2020年,城市人口继续增加并且人口老龄化问题加剧。所有这些发展导致城市扩展,城市居民对住房、休闲、出勤、食品的需要不断变化。

成都与法兰克福两个城市的发展政策代表了长江流域与莱茵河流域在21世纪城镇化发展政策。成都城市人口在30年中增长了6倍,其面积也增长了同样的倍数。法兰克福发展到城镇化的末期。与成都相比,它发展缓慢。法兰克福力争在其城市边界内进行城市发展建设,同时为增加休闲、对付气候变化适应和丰富生物多样性而改善城市的绿色结构。

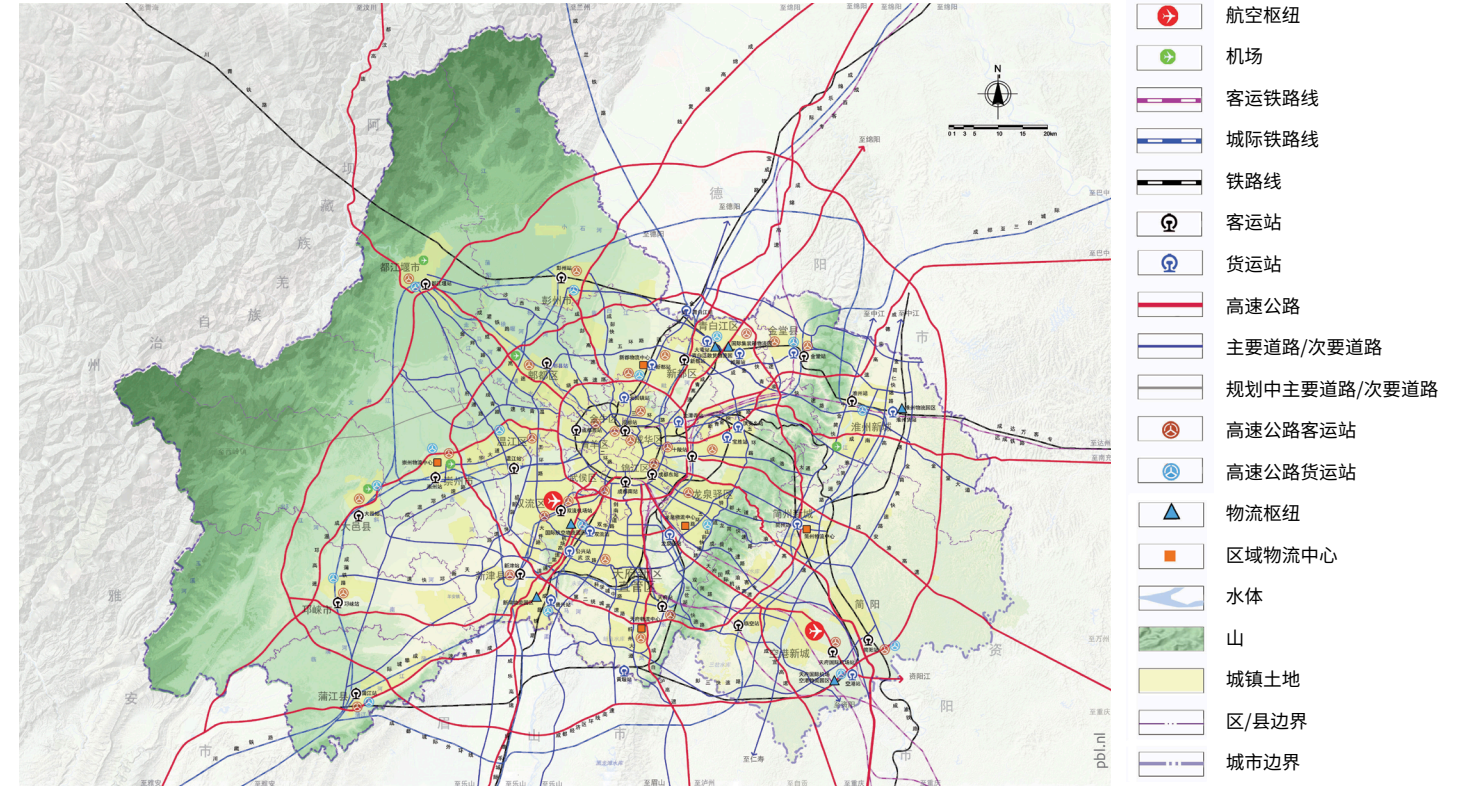
城市区域的形状与位置大大决定了人们生活质量与城市可持续性,城市一旦建成,就不易改变。城镇化可使城市取代及削减生物自然栖息地,特别是在沿河两岸,这对生物多样性有很大影响。在下一章中,我们将更深入地研究流域中的这些环境问题。

图15 1992-2015年间土地性质改变, 由绿地变为城市用地



城镇化在莱茵河与长江流域都发生在农业地区, 而很少发生在草原, 森林及灌木丛地区。在莱茵河沿岸国家和更大的长江经济带, 卫星图像显示, 1992年至2015年间, 城市面积增加了约2万5千平方公里。相对而言, 这涉及2.4%的莱茵河国家和1.3%的长江经济带。

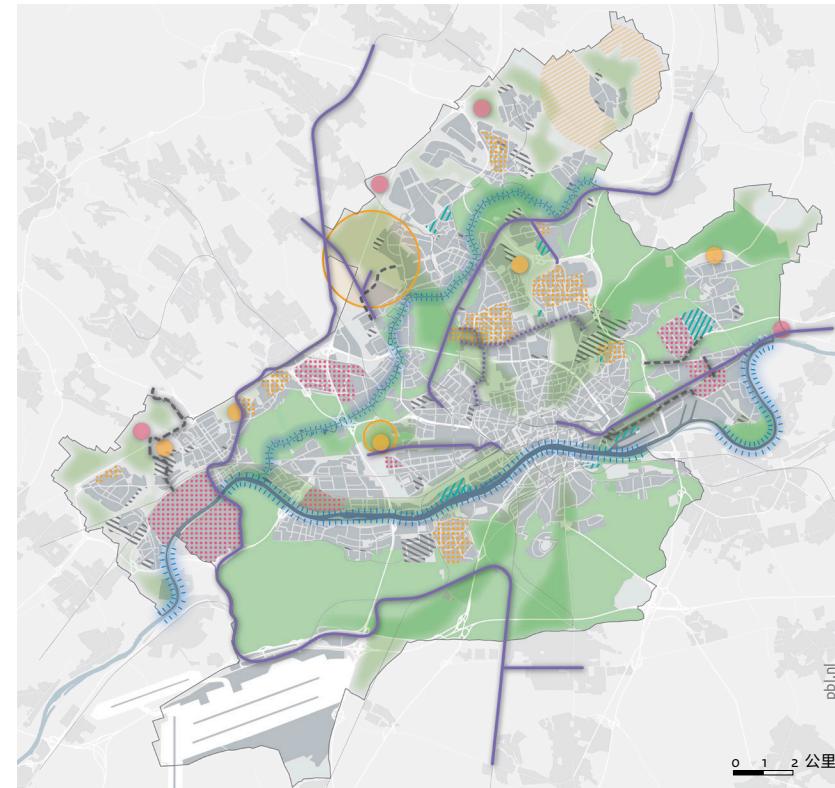
图16 成都市总体规划 2016-2035



资料来源: 成都综合规划2016年

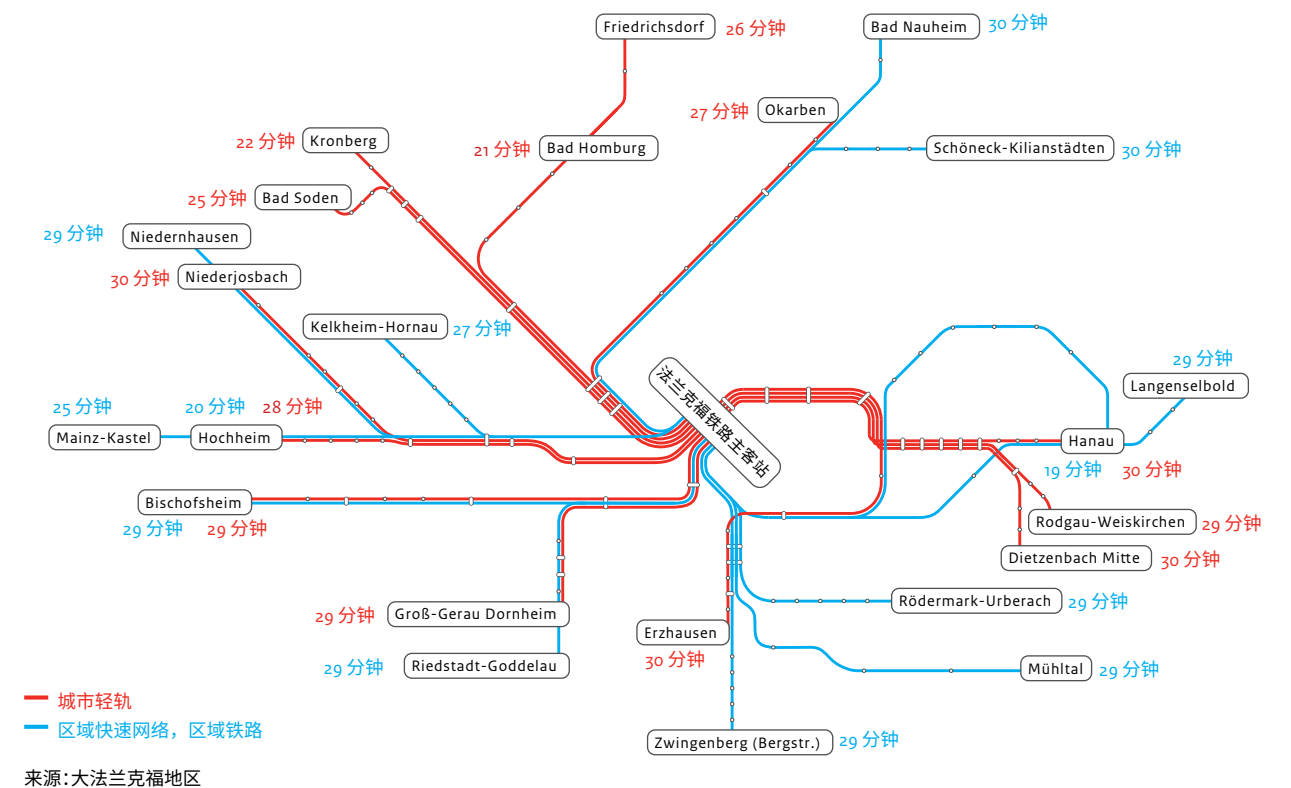
成都2035年总体规划图, 包括南部的天府新区及新机场。

图17 2030年法兰克福市发展策略图



法兰克福的策略规划方案, 包括各城区的更新加密改造及绿道连接。

图18 区域铁路图: 展示距离法兰克福半小时火车通勤的城市与村镇



Biodiversity  
loss and  
environmental  
pollution in the  
Yangtze and  
Rhine basins

4

长江与莱茵河  
流域生物多样  
性的减少与环  
境污染



长江与莱茵河流域中的生物多样性与环境都受到威胁。这一章将阐述并列表比较随时间的发展，污染的严重结果及生态多样性的变化状况。随后，我们会指出河流流域系统受到污染点位置及污染强度的影响。此外，不同地域的淡水储量受到威胁，使得当地的生物多样性、农业及居民用水供应也受到大大的影响。

#### 4.1 生物多样性丧失的原因

长江与莱茵河流域的生态系统受到威胁。无论在水系中还是在陆地上，本土生物正在减少。总而言之，生物多样性的减少有多种原因。其中最主要的是由于经济活动发展，如农业，森林及渔业 (Karlsson-Vinkhuyzen et al., 2018)。除了快速的城镇化发展及基础设施的建设，农业的扩展占了全球陆地表面的 $\frac{1}{3}$ 。这些发展有损于现存森林、湿地及草原 (IPBES, 2019)。除此之外，温度及水位变化也会影响生物多样性及生态系统 (IPBES, 2019) 平衡。河岸的人工硬化会破坏天然河岸及影响到在这儿以水和土地为栖息地特定动植物的繁殖。

“平均物种丰富度” (MSA) 是表明生物多样性丧失的一个指标，即原始物种的平均丰度与它们在未受干扰的生态系统中丰度 (Alkemade et al., 2009) 比例。在 2015 年，莱茵河和长江流域大部分地区的陆地 MSA 在 20% 到 40% 之间，这意味着陆地上 20% 到 40% 的原始生物多样性仍然存在。在长江和莱茵河流域的大部分水体中，该值甚至低于 20%。只有少数地区的陆地或水生 MSA 超过 80% (图 19)。

以下为长江及莱茵河流域造成生物多样性丧失的多种原因：

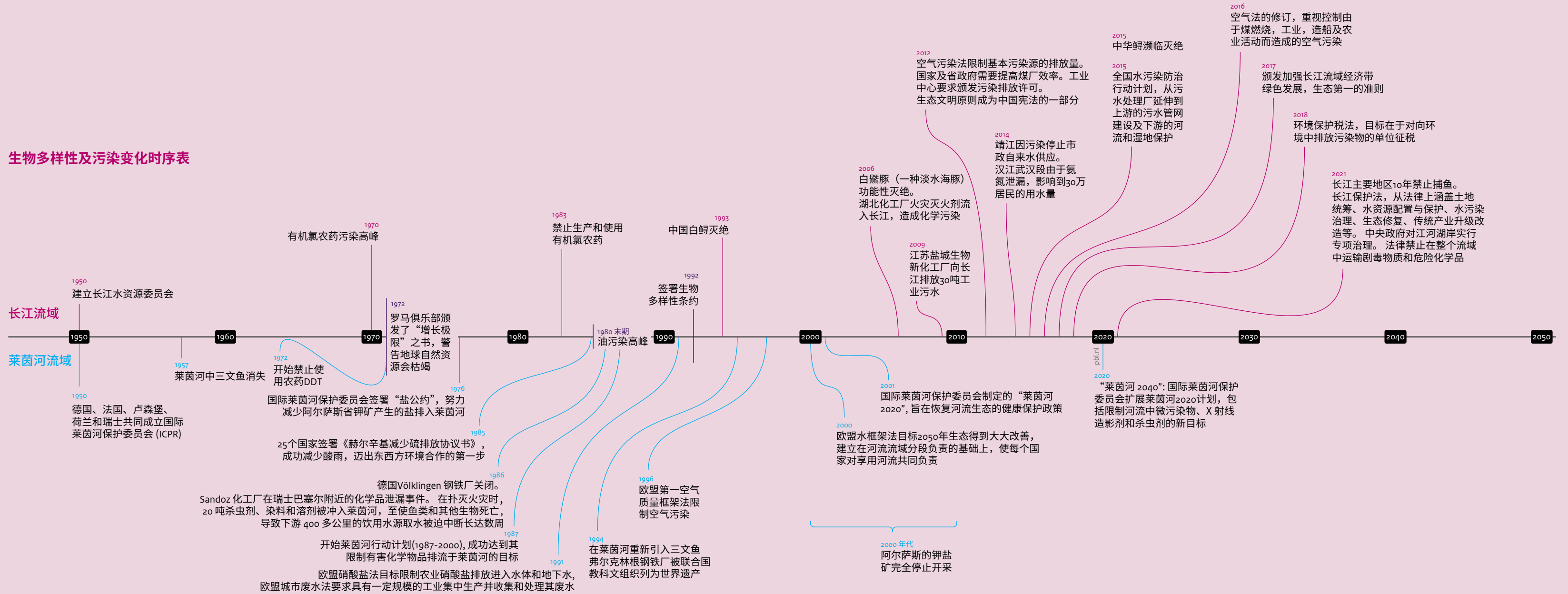
##### 4.1.1 外来物种排挤本地物种

外来物种有可能会把本地物种排挤掉。这些外来物种常常是由商业和旅游活动而被输入，如通过压载水、鱼饵桶、船及拖船和渔业运输 (Lodge et al., 1998)。

位于河流入海口的海港是加剧莱茵河尤其是其上游外来物种大量繁殖的原因之一 (Leuven et al., 2009)。此外，莱茵河流域中的运河系统也使外来物种增长加快。1992 年莱茵-多瑙河运河的开通，使两条河流相连，成为外来物种入侵的主要通道。由于这些水道，在 1800 年至 2005 年期间，每十年非本土大型无脊椎动物的数量从 1 个增加到 13 个以上。与本地物种相比，入侵物种似乎更能承受河水中更高的含盐量、温度、有机污染和水流量 (Leuven et al., 2009)。

长江流域自从 2000 年以前即通过大运河与北部河流相连并持续发展。由于生态环境威胁，计划中位于中国西部的另一连接南北的运河是否要建造还在辩论之中。

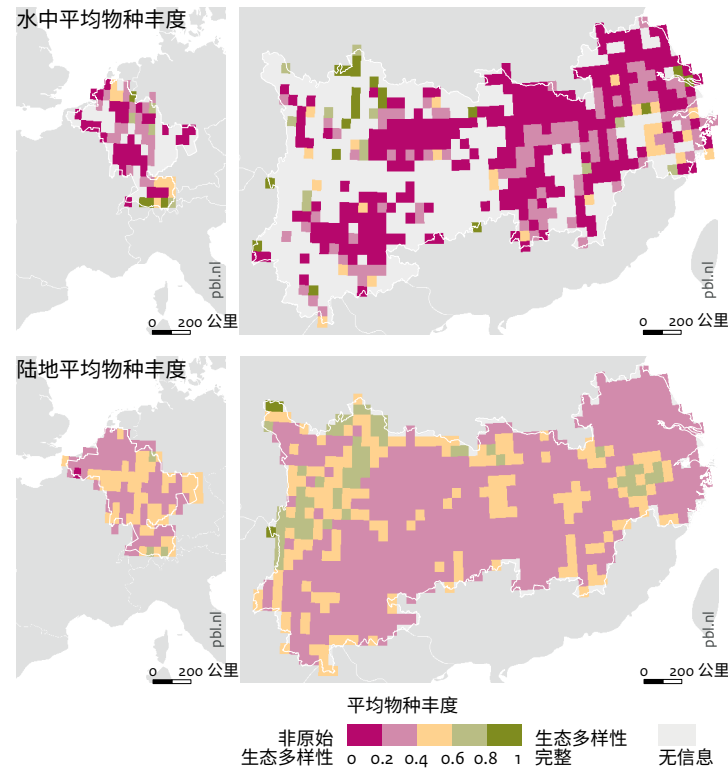
## 生物多样性及污染变化时序表



来源：荷兰环境评估署



图19 2015年平均物种丰度



资料来源: GLOBIO

平均物种丰度代表着相对于原始状态下本地物种的剩余丰度。例如,如果森林被清除,则 MSA 将基于幸存的森林物种。以长江和莱茵河流域的水系及陆地为基础,MSA 建立在以从 0% (生态系统被完全破坏) 到 100% (生态系统完好) 的相对模式。

#### 4.1.2 工业污染对土壤及水体的影响

由于靠近新鲜水源及冷却水源,以及具有便捷的交通运输,设置于河岸的工业通常也会给河流流域造成多方面的污染。

严重的工业污染事件,例如 1986 年在瑞士发生的山德士化学品泄漏事件,对莱茵河下游数百公里甚至数年的生活造成了严重后果。除重大污染事件外,持续的工业生产活动、垃圾填埋场和石油工业也会影响周边地区的空气、水和土壤质量。在整个欧洲,化学品的过度使用已导致许多地区严重污染。受污染的土壤可通过多种途径影响人类健康,包括摄入、皮肤接触和皮肤对污染物的吸收。

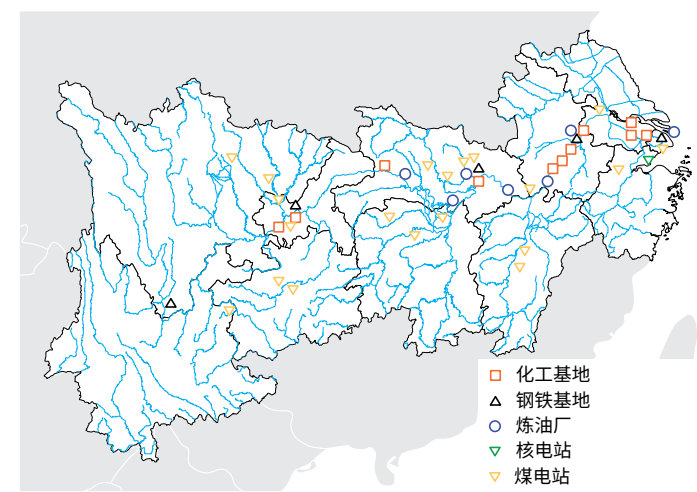
长江沿线有五个主要钢铁生产基地、七个主要炼油厂以及许多石化生产基地(图 20)。长江上下游城市取水与排污矛盾突出:沿线179个饮用水水源区和173个工业用水区往往紧凑相邻,缺乏相互间的协调。

在2005年,中国7555个化工石化建设项目的81%位于河流、人口密集区等环境敏感地区,45%为造成周围地区灾难的主要风险源(MEP 2006)。

#### 4.1.3 已污染的降水、工业及生活中的废水

在欧洲,特别是由于二次世界大战后的德国工业复兴,莱茵河经历了由于城镇化及工业发展而增加的废水污染,大大减少了河流中生物多样性及其生存,也威胁到河水作为饮用水及为农业灌溉的可能性。

图20 2010年长江经济带中的主要工业基地及发电站



信息来源:国家发改委,中国城市规划设计研究院

长江经济带中的工业基地及发电站都与长江及其支流相连。

虽然莱茵河流域中96%的降水、工业和家庭产生的废水会通过市政污水处理厂处理(ICPR, 2021),但微污染物仍会影响河流水质并常生问题。近年来,莱茵河流域的废水污染急剧减少。莱茵河包括其支流在内的市政废水都通过污水厂进行处理。工业废水则通过市政污水厂处理,或经过现场处理后直接排放到河流中。

直到 40 年前,中国几乎没有污水处理厂。然而,随着国家经济的发展和河流污染的急剧增加,中国的废水处理能力也得到了发展。但是,它并没有像经济发展同样迅速。特别是在长江三角洲,污染仍然威胁着饮用水。

#### 4.1.4 农业及污水排放中的养分

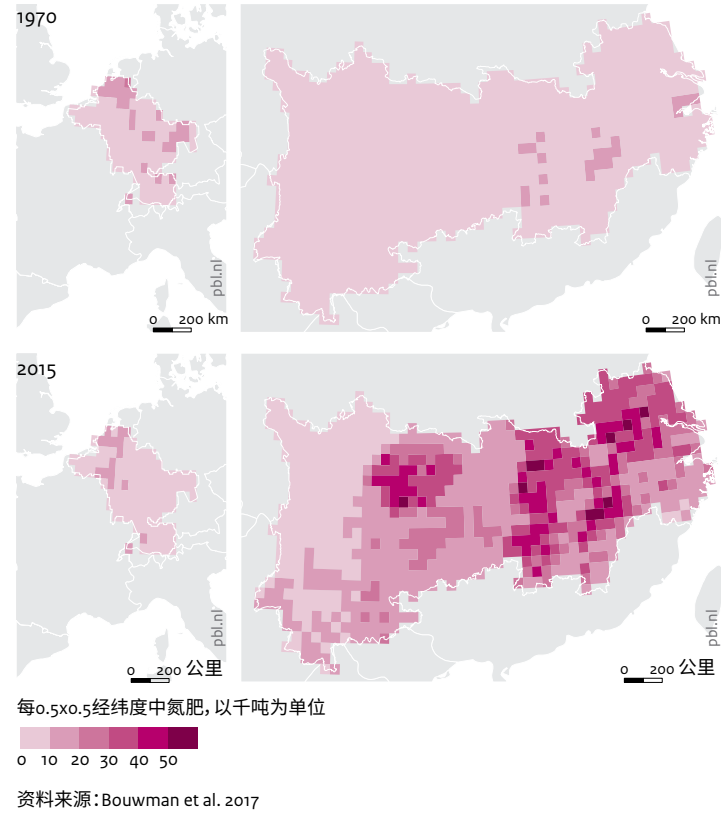
氮和磷是植物中最基本的营养。化肥中的氮和磷会提高全球食品产量,由于废水及农业排水的原因,在全世界广泛的水体中都会发现它的足迹。

污水处理厂对这些营养成分的处理非常有效。至今,农业生产中过度使用化肥及人工肥而致使氮和磷渗入河流的问题仍然存在。由于其扩散性强,难以得到缓解和控制。

农业土地中养分流失是通过气体排放到空气(氮化合物)、地表径流和侵蚀(氮和磷化合物)以及从土壤渗漏到地下水并最终渗入地表水体而发生的。通过气体排放而损失的氮化合物会影响空气质量和人类健康,并可能在重新沉积后导致营养成分的积累。渗入地下水的氮化合物会影响到地下水作为饮用水的可能性。内陆和沿海水域养分过剩是产生生物坏死区和至使有害藻类大量繁殖的主要原因。

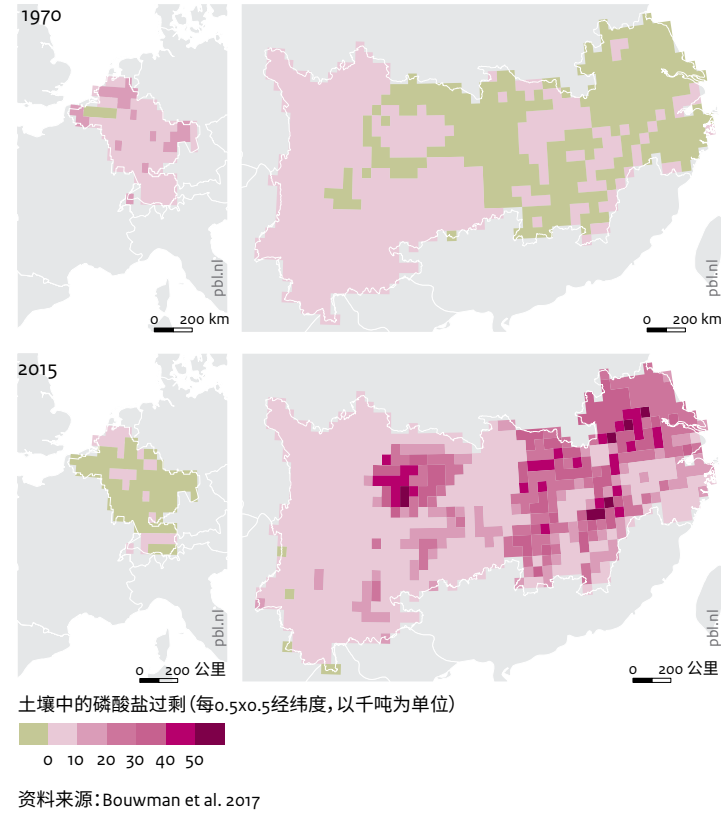
农业土壤养分限量值(图 21 和 图22)表明农田养分的过量应用,是衡量环境损失的有效指标。它是通过施用化肥及人工肥输入土壤的养分减去动植物产品以及从农业中排除粪肥中所含养分。中国和西欧农业系统排放量和特定时期不同。在莱茵河流域,氮和磷限量值(作物投入与排出的差值)在第二次世界大战后开始迅速增加。而在 1970 年代磷的使用和 1980 年代氮使用开始下降。图 22 表明,与 1970 年相比,2015 年氮限量值在减少。目前以及在今后的许多年中,许多欧洲国家的可用土壤磷限量值甚至为负数(图 23)。这与以往使用化肥而使土壤养分的积累有关。由于土壤含磷的成分高,可减少施肥,农作物产量仍然可以增加。而氮在土壤中却不会积累。

图21 莱茵河流域和长江经济带的氮肥过剩



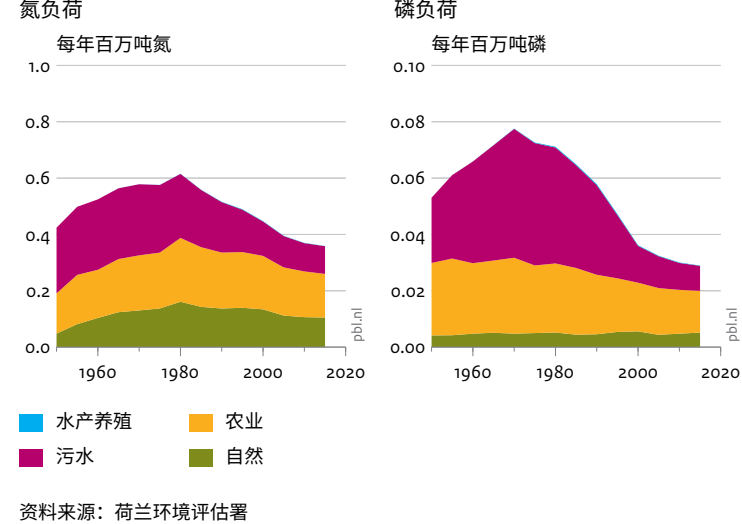
土壤中氮过剩是指土壤通过施化肥和粪肥减去动植物产品及任何除去粪肥中所含的氮素。在莱茵河流域的部分地区，养分流失问题依然存在。但与1970年相比，2015年长江流域沿线地区土壤中的氮肥过剩量大大增加。

图22 莱茵河流域和长江经济带的磷肥过剩



土壤中磷酸盐过剩源于化肥使用和人工粪多余动植物产品及其粪便中输出的磷酸盐。磷作为磷酸盐与土壤其他化学物质结合，释放缓慢。因此，在过剩的条件下，它必然会积累，直到土壤饱和。与1970年相比，2015年的长江流域地区土壤中的磷过剩大大增加，而莱茵河流域的磷过剩则有所减少。

图23 莱茵河的氮磷负荷

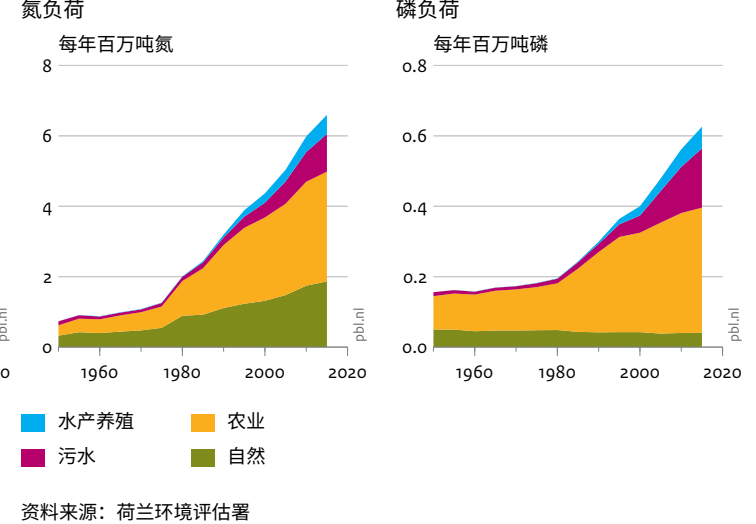


自20世纪最后几十年以来，莱茵河河水中养分流失有所减少。特别是由于污水处理的结果。

长江流域则显示了不同的发展趋势。从1970年开始大量使用化肥，并持续到现在。与莱茵河流域相似土壤中磷含量过剩，因此在近期可减少磷肥的使用。

在二次世界大战之前，莱茵河流域的污水排放是造成氮和磷污染的主要因素；1970年后则大大减少，尤其是磷（图23）污染的减少更为显著。20世纪初长江流域氮的产量以自然生态系统为主，1970年后由于农业用肥为主要原因，而在1990年以后，是由于包括上海在内的长三角特大城市的发展，其污水排放量的增加而引起（图24）。

图24 长江氮磷负荷



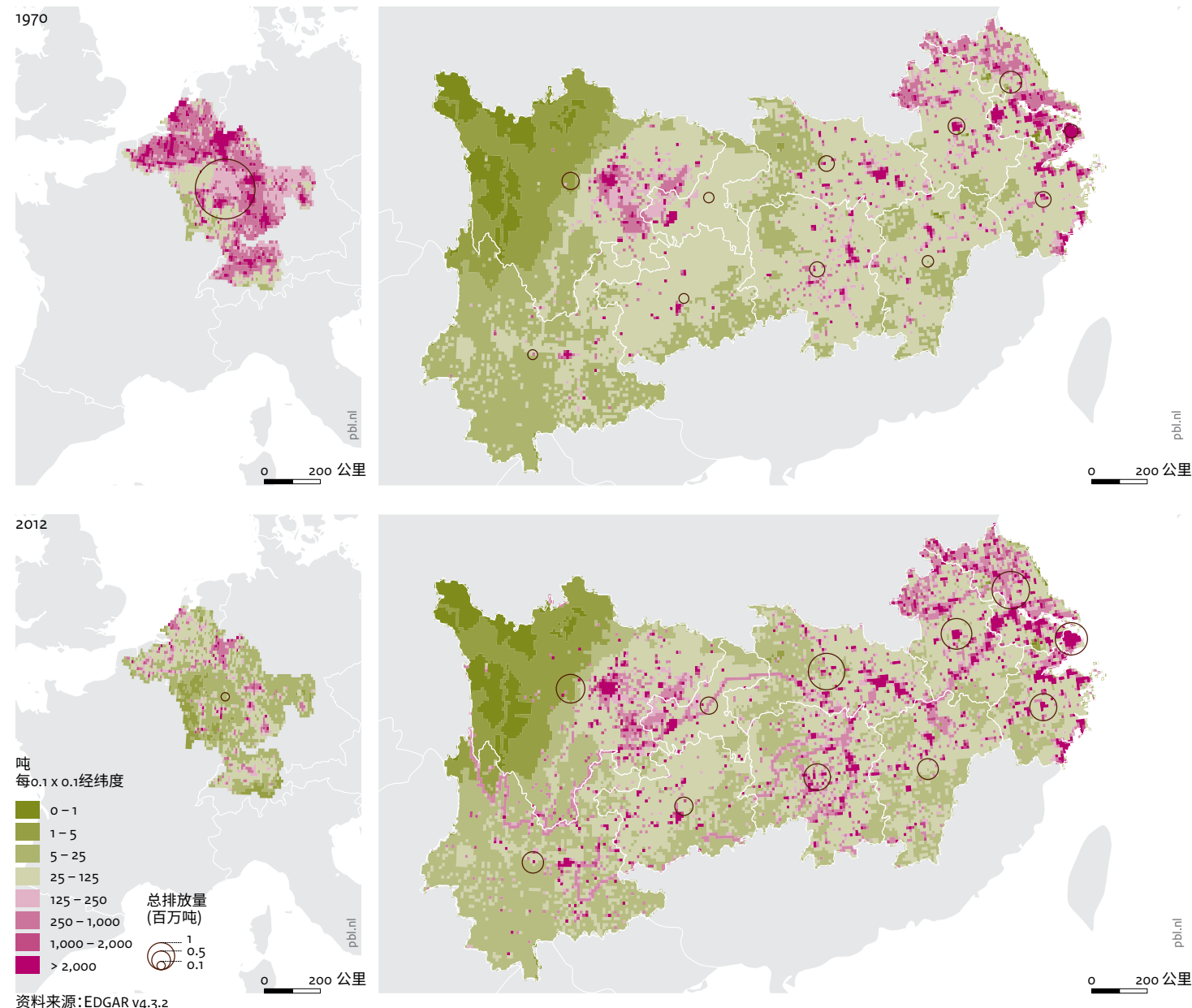
自20世纪末期因农业化肥的使用，长江流域中氮和磷流量大大增加。

相对来说，确定污水排放点源是比较容易的。然而，未来农业养分流失于河流仍然是长江流域和莱茵河流域的一个长期问题。

#### 4.1.5 空气污染，一个长期存在的问题

工业生产，城市供暖和机动车的使用产生了大量的空气污染（包括空气中微颗粒）。虽然河流不会增加空气污染，但河流两岸是城市与工业聚集的地方。空气污染的影响甚大，莱茵河与长江都有此持久问题，但它们随时间发展所表现的情况大不相同。

图25 莱茵河流域及长江经济带中二氧化硫排放量



1970年后,因新科技发展,公共舆论参与及国际政策协调的综合影响,莱茵河流域内由含硫化石燃料(例如煤和石油)燃烧所释放的二氧化硫(图25)急剧下降。但是,城镇的空气污染仍很严重。在长江流域,城镇及流域两岸二氧化硫排放量增加明显。节省能源、使用新能源及在发电厂、工厂和内燃机动车辆中安装末端过滤器都可降低排放量。由制造业向服务业经济转型,才能为减少空气污染带来根本性改变。

同时,莱茵河流域工业和道路交通中化石燃料燃烧产生的氮氧化物排放量有所减少,但没有二氧化硫排放量减少的快。由于交通中机动车尾气的排放,二氧化硫排放量仍保持高水平。在长江流域的大部分地区,我们看到氮氧化物排放量有所增加(图26)。

空气中的微颗粒物(PM)聚集于城市中心并对健康有显著影响。在莱茵河流域,我们看到直径小于2.5微米(PM<sub>2.5</sub>)的微颗粒物集中在城市 and 工业聚集地区。在长江流域,它主要集中在长江中下游。此外,其排放路线清晰可见,可能是由于船运排放的结果(图27)。在中国,微颗粒物污染仍为严重问题,尤其是在城市(Chan and Yao 2008)。然而,在2010年至2019年间,中国室外PM<sub>2.5</sub>水平下降了30%,部分原因是由于工业和家庭从煤燃烧转为天然气的使用(Health Effects Institute, 2020)。

自1970年以来,莱茵河流域由燃烧含硫的化石燃料而产生二氧化硫大大减少。而在长江流域则大大增加,特别是在流域两岸及城市中心。

#### 4.1.6 水资源匮乏加剧

河流中的低水位使其更易受到污染,对河流的生态系统及堤坝强度产生负作用,也不利于航运。

图28表明在长江流域中农业灌溉占了淡水消耗的很大部分。相反,在莱茵河流域,消耗淡水最多的是工业。

除了水消耗,如图29所示,取水量也非常重要。取水量不仅包括所消耗的水,还包括主要用于水力发电厂、冷却发电厂和工业制造所需要的循环用水。虽然它没有被完全消耗掉,大部分水量又流回河流,但也应有充足的水量以供使用。

近年来(自2022年),在长江流域的上游及中游地区都出现水源缺乏现象,如洞庭湖在干旱期的水量大大减少。

与2010年相比,长江流域在2050年的取水量会增加70%,耗水量增加40%。由于城市人口的大量增加,工业及农业生产的发展,会对水资源供应造成压力。地下水抽取也会导致本地土壤沉降。用水量将在2040年左右达到最高峰,之后将逐渐减少。

由于气候变化(Vonk et al., 2015),长江及莱茵河河水温度将持续升高(图30及31),并影响到河流中的生物生长。水蒸发的增加,加上冰川融水减少,雨水在水流中所占比例增加,导致发电站所需要的冷却水会受到夏天溪水短缺的影响。在莱茵河,为保证河水中的生态平衡,排出使用过的冷却水温度不得超过30度。经过发电站的水温会平均上升7度,所以,如果进水温度超过23度,用于冷却水的入水流就会被自动停止,发电站也会被暂停,除非冷却水塔中还有足够的储备水。

图26 莱茵河流域与长江经济带碳氧化物排放量

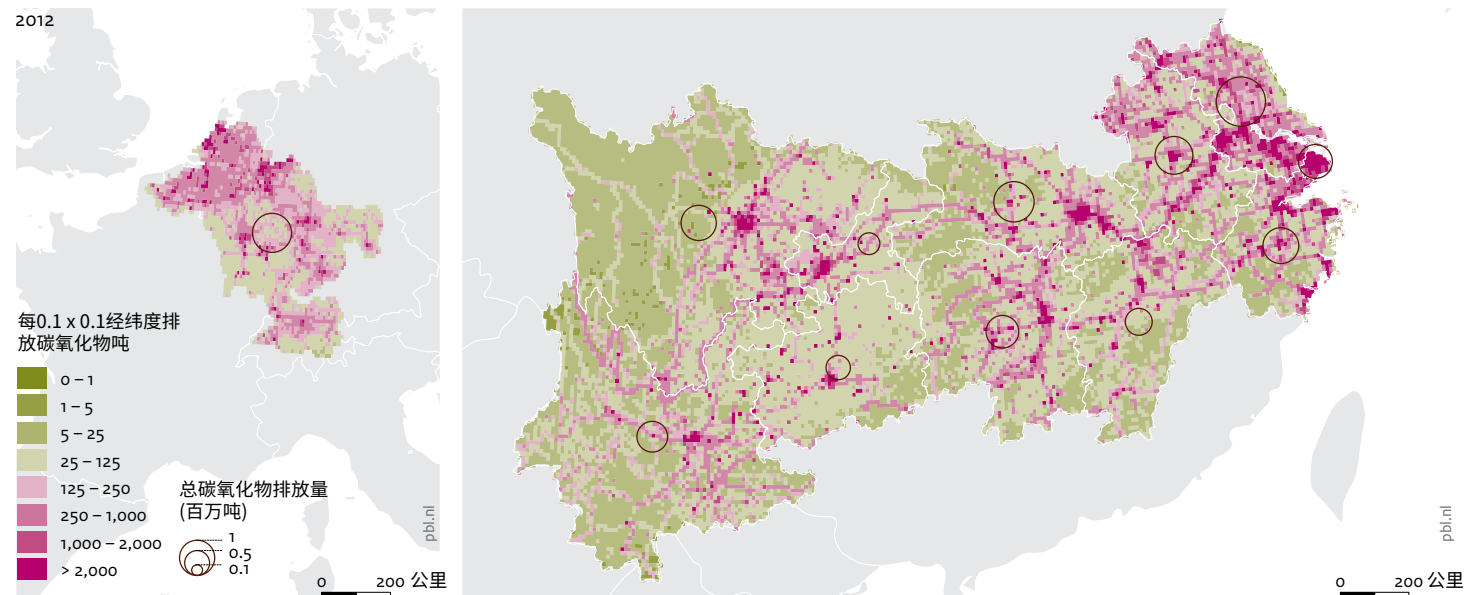
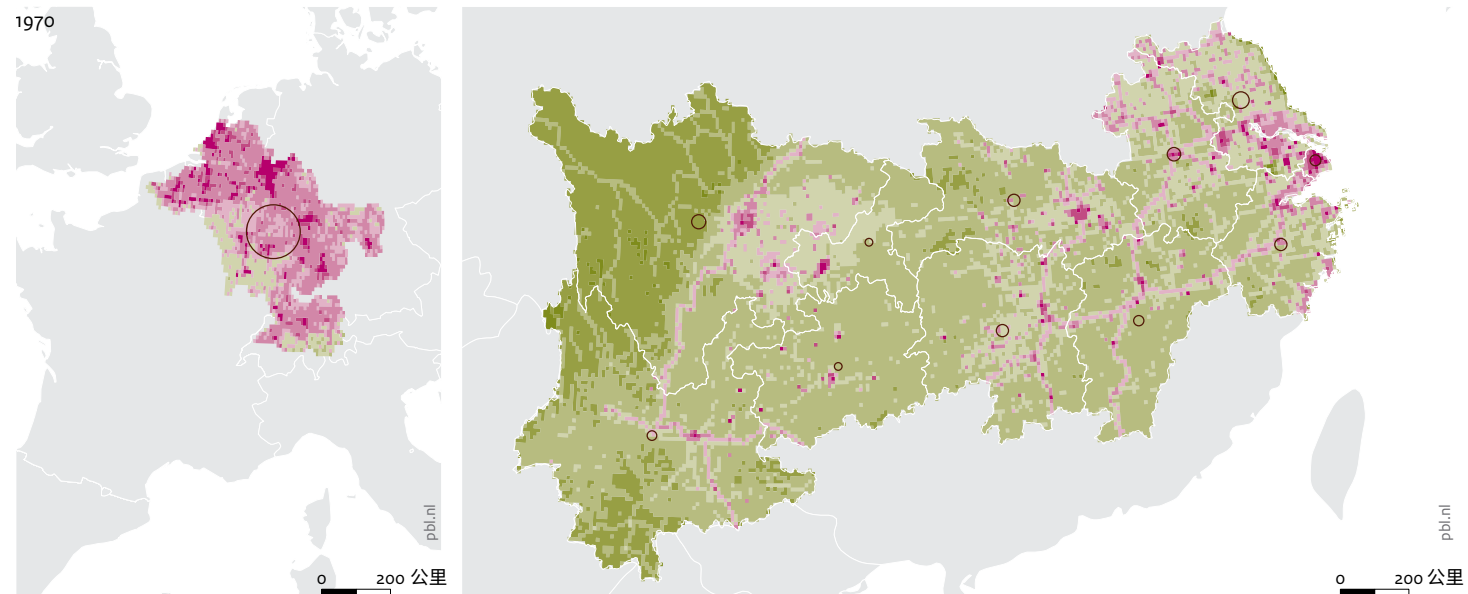
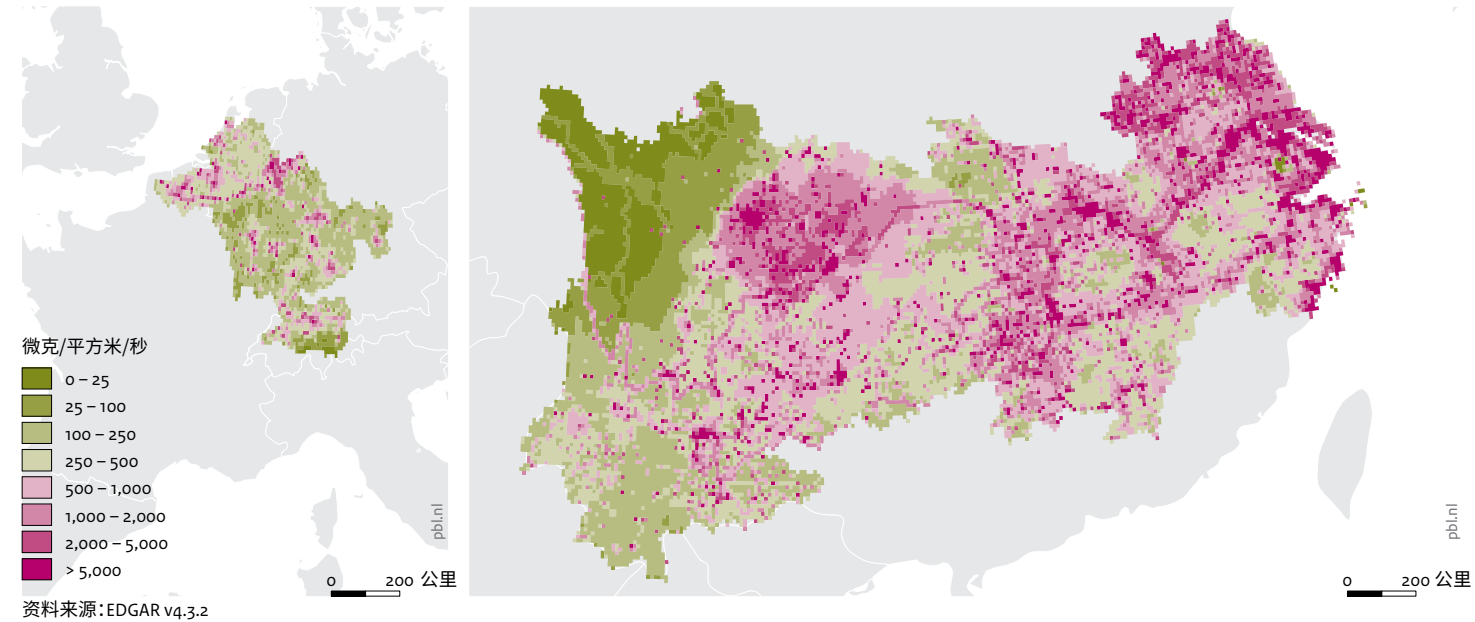


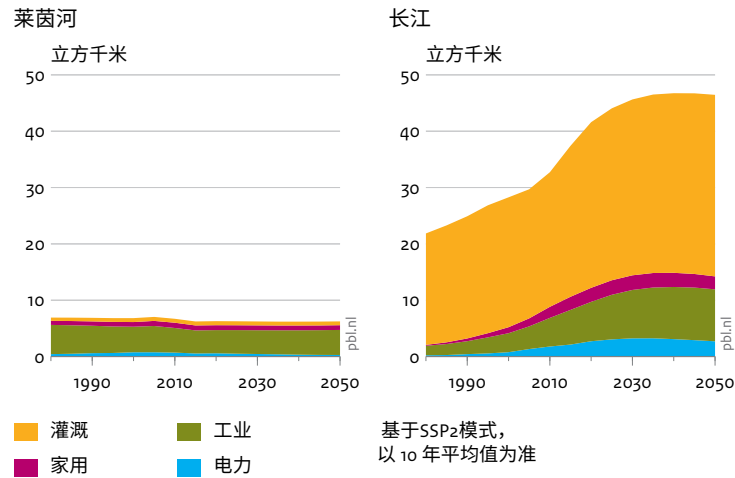
图27 2012年莱茵河流域与长江经济带微颗粒物的排放量



长江及莱茵河流域由于交通, 工业及生活供暖而产生的空气微颗粒污染问题。

自1970年以来, 莱茵河流域由于工业及交通业所产生的氮氧化物逐步减少。在长江流域的大部分地区, 氮氧化物排放量  
 ▲ 在城市中及沿交通主轴增加。

图28 耗水量



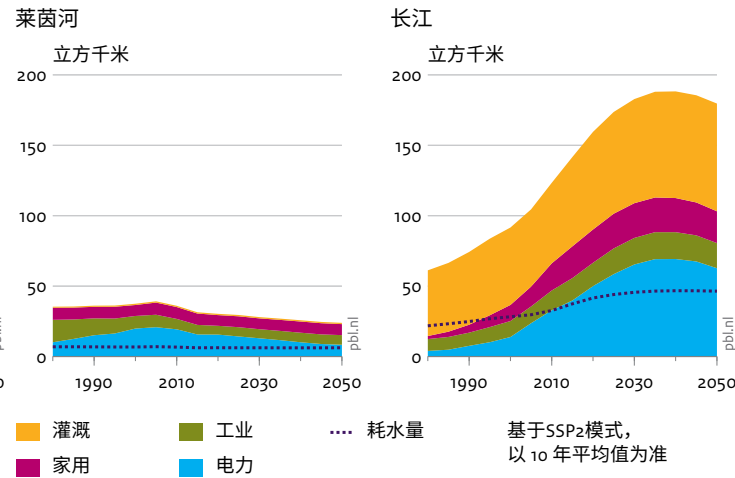
资料来源：荷兰环境评估署图片

当前长江流域水消耗增长并在近期持续增长。农业灌溉占了淡水消耗主要部分。在莱茵河流域，工业则占了淡水消耗的主要部分。

#### 4.1.7 不断新建河坝阻碍了河水的自然流动

河坝在水系安全、清洁能源生产和灌溉方面发挥着重要作用。然而，河坝会导致水系中生物多样性的减少，并阻碍沉积物向下游漂浮，通常会削弱自然防洪能力。造成后者的原因是由于没有充足、频繁的沉积物的积累，因而造成三角洲地区的侵蚀—最终将导致其消失。河水流量通常太小，而突然的高峰性流量会破坏水流规律。此外，从水库释放的水通常比河流冷得多，会打破生态平衡(CCICED, 2021)。

图29 取水量



资料来源：荷兰环境评估署图片

莱茵河的取水量在减少。除了水消耗减少之外，还包括用于冷却水及水电站。长江的取水量会持续增长到2030年，随后下降。

莱茵河流域的河坝主要位于河流上游和较小的支流。而在长江，它们分布在干流的中下游。

与莱茵河流域相比较，长江流域中的河坝数量高至5万2千座(CCICED, 2021)。此外，长江流域中的小河坝数量也增加很快(图32)。与数量较少的大型水坝相比，众多的小水坝对河流内生物栖息地的连接和沉积物的流动性可能更加有害(Yang et al., 2019)。预测表明，水库阻挡了20-30%沉积物的流动，尤其是在20世纪末河流中沉积物被大幅度阻挡(Dunn et al., 2019年)。

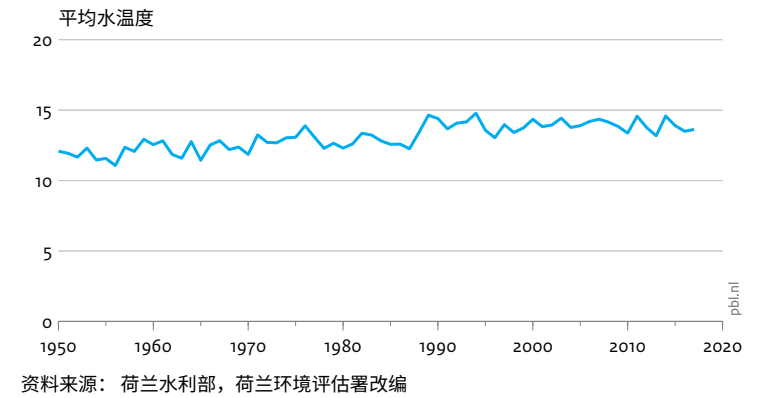
在长江流域，对长江影响最深远的水利工程为2006年完成的三峡大坝。水坝为本地区产生22,500兆瓦的清洁能源，使驳船具有更好的运输能力，因此它可以承载比以前重三倍以上货物。此外，大坝的建造还为下游的洪水侵犯提供了防御缓解措施，这在1998年造成1400万人无家可归的洪水灾难之后尤其重要(Biello 2008)。水坝和水库的建设需要重新安置110万百姓(Wu et al., 2004)，大坝建成后又倡导400万人迁离家园(Harris, 2011)。

正如许多基础设施其目的为单一的防洪及工业用途，三峡工程似乎增加了洪水对附近地区的威胁。因为大坝消减了周围地区土地的稳固性，造成河流中水面降低而引起的干旱。如洞庭湖(Huang et al., 2014, Li et al., 2018)，1896年至2019年，洞庭湖水面面积缩小了50%(Yu et al., 2020)，同时它的干枯季提前了一个月(He et al., 2021)。

大坝还造成下流漂流物的大量减少，至使河岸的腐蚀与风化解体，打破了物种的繁殖过程，导致了河流中的生物多样性丧失(Wang et al., 2013, Tian et al., 2019)。三峡水库蓄水后，长江口潮汐带明显向上游迁移，河口盐度也发生了变化。

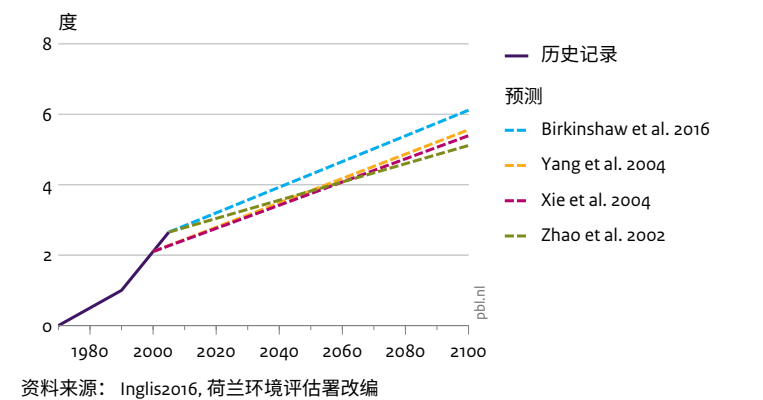
北海与三角洲中河流之间的水坝可防止含盐海水的倒灌入侵。这对水安全及无法生活在盐水及半盐水中的农作物极有益处，但是生物多样性也离不开半盐性水源。它可通过高新昂贵的技术来解决这个问题，例如荷兰的东斯科尔特风暴潮海水坝，它只在风暴潮发生时挡住海水。在平稳的天气条件下，海水可以正常流过大坝。

图30 莱茵河在Lobith处的水温



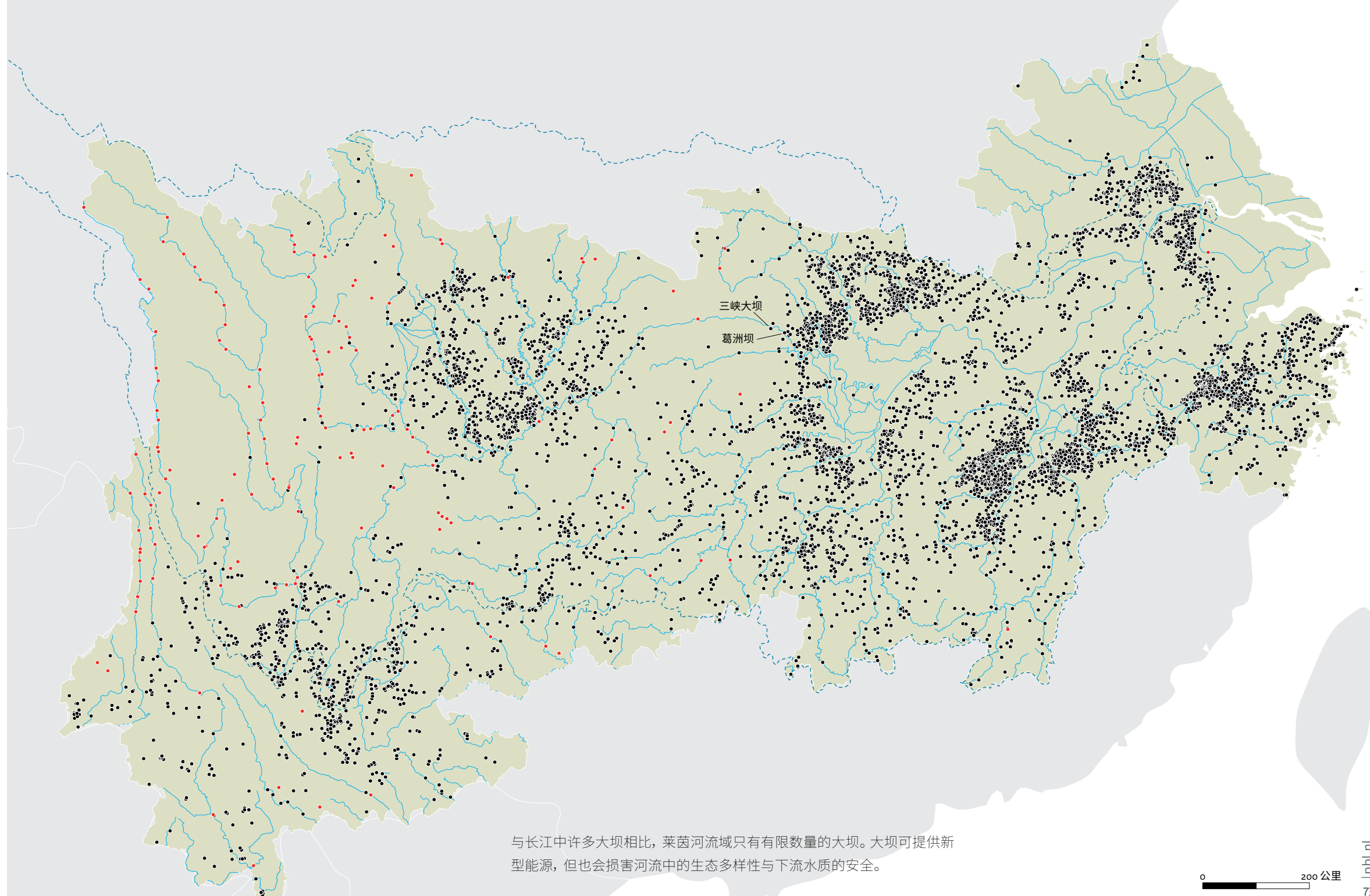
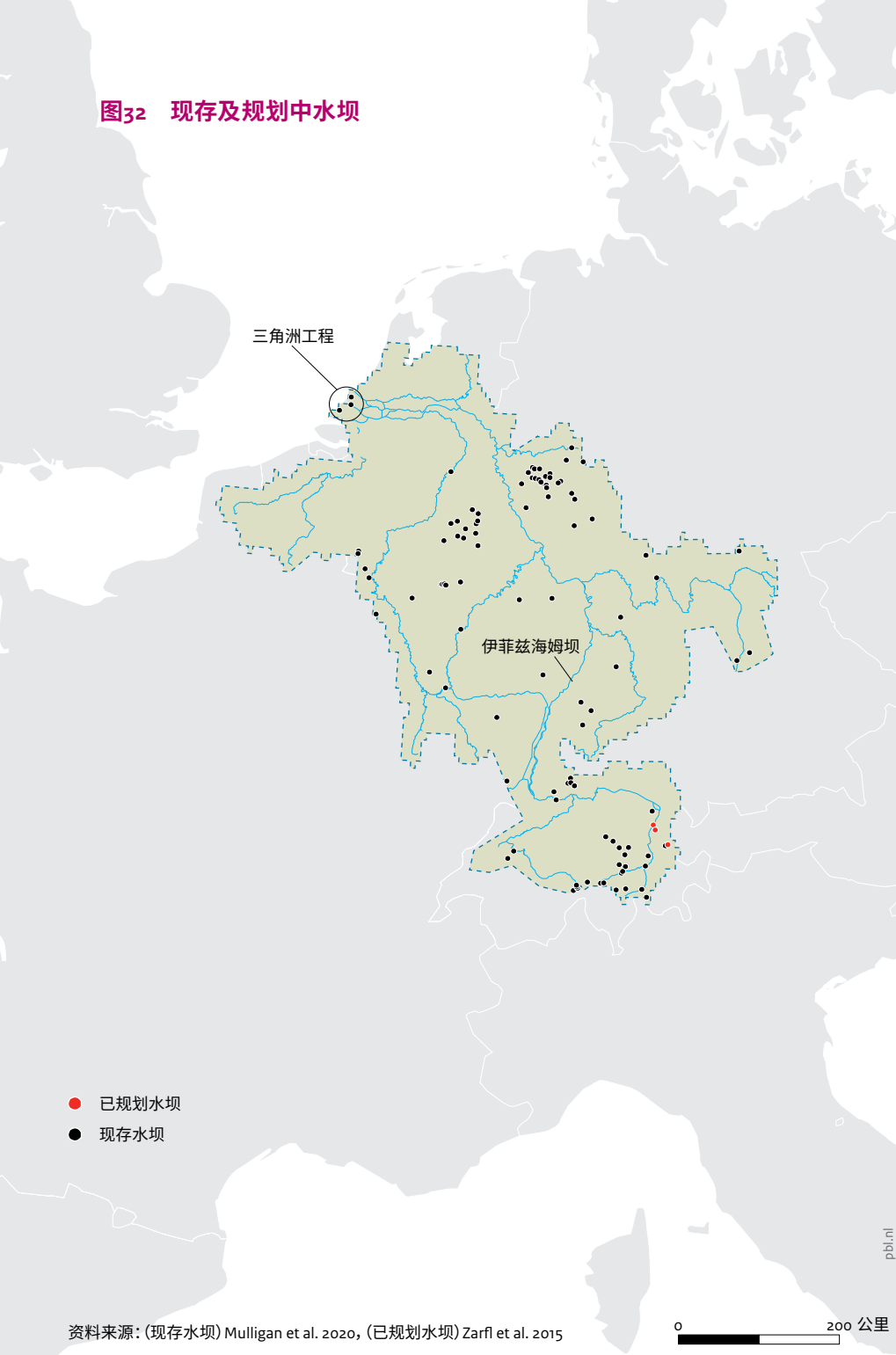
由于气候变化，莱茵河河水平均温度持续增加。

图31 长江上游水温变化



由于气候变化，长江河水平均温度持续增加。

图32 现存及规划中水坝



与长江中许多大坝相比，莱茵河流域只有有限数量的大坝。大坝可提供新型能源，但也会损害河流中的生态多样性与下流水质的安全。

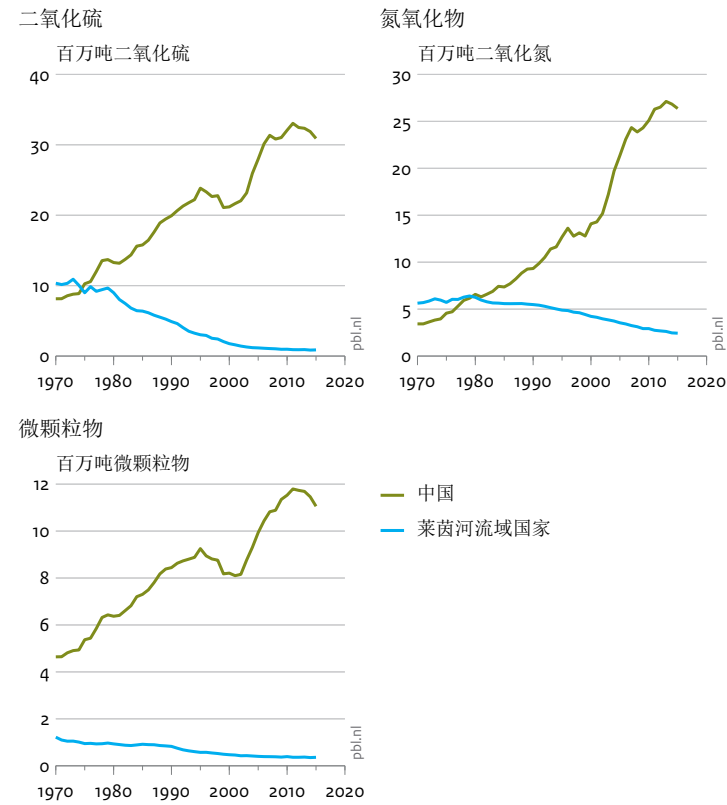
## 4.2 长江及莱茵河流域的环境保护政策

几个世纪以来,河流流域作为城镇化、工业及农业发展的承载地遭受了大量污染。尤其是在19、20及21世纪,这些活动加重了污染,对河流流域带来了严重后果。20世纪发生的大规模污染事件迫使多国政府制定政策来限制污染和其他人为活动的破坏。本章以时间为序梳理历年减少污染及改善环境的国际协议。

空气污染是多方环境协定中重要的一项。图33中的曲线,与图25、图26及图27一致表明在1970至2015年间,莱茵河流域国家中空气污染有所减少。中国则在此期间大大增加,与西欧国家相比,中国在防治空气污染方面则处于发展初期。例如,莱茵河沿岸的酸化不再是一个重大问题,而在中国,二氧化硫排放量自1970年代以来一直在增加。图34表明,中国的二氧化硫、氮氧化物和微颗粒物排放量在2015年左右才开始下降。

关于水污染问题的解决,莱茵河与长江有着不同政策。在莱茵河流域,在采用收集漏水及消防用水新技术方面有很大投资,而其经济活动仍然同时进行。在长江流域,在《中华人民共和国长江保护法》的实施下,许多化工厂不仅仅要改善技术,同时也会被搬迁。至2016年,在长江两岸有40万化工企业、5个主要钢铁厂、7个主要炼油厂和超级石化厂以及6000多个污水排放点。2021年,有8000多个高污染工厂被迁移,1361个非法码头被拆除或重建。所有石化厂及钢铁中心通过绿色技术被改造转型。

图33 现存及规划中水坝



资料来源: EDGAR v5.0

莱茵河流域二氧化硫、氮氧化物和微颗粒物排放量减少, 而其在长江流域则大大增加。在2010年之后, 长江流域的这些污染源也开始下降。这些图表明, 长江流域在解决空气污染问题方面的认识比莱茵河更早。

图34 2019年长江沿岸(南京段)化工厂分布图



资料来源: Google maps

南京附近的长江河岸表明长江保护法的目标之一, 即将靠近河流沿岸的化工厂搬迁到离河岸较远的地方。

### 4.3 案例:长江流域的工业管控

在长江两岸附近建有许多化工厂。南京是长江沿线化学工业开发建设的典型城市。当前,中央政府及省级政府正努力禁止化工园区在长江沿线的建设。

2017年中国工信部等5个部委共同发布了《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》。意见旨在保护长江流域的生态环境,加强工业资源及能源有效利用,提倡绿色生产,减少工业发展对生态环境的负作用以实现绿色发展。它最主要的目标之一是近期内迁移长江流域经济带中有害化工产业。长江经济带中的11个省及直辖市都要执行这一政策。有些地方制定并推行特殊政策并完成项目。

重庆市于2017年遵照国家“十三五”规划中的生态文明建设要求,规定长江及其主要支流5公里范围内严禁新建工业园区。

江西省严格控制长江沿岸的石化及煤化业项目发展。根据《鄱阳湖生态环境综合整治三年行动计划(2018-2020年)》,严禁下游地区具有高污染、高排放企业向上游转移。并提出清除本省内距离长江和赣江、抚河、信江、饶河、修河岸线及鄱阳湖周边1公里范围内未入园的化工企业。根据此计划,长江5公里范围内不得颁发新建重化工业园区的建设许可。

湖北省政府于2018年发布了《湖北省沿江化工企业改革转型工作方案》。计划在近期内完成长江沿岸一公里内化工企业的转型与迁移(包括关闭,转型,迁移或厂品更新)。至2026年,完成所有河流沿岸1公里至15公里范围内化工企业搬迁。

### 4.4 案例:埃姆舍公园自然修复与经济转型相结合

德国埃姆舍公园项目是综合性区域发展项目,在关闭了本地区煤炭工业及许多工业综合体之后,修复本地区的自然体系,为增加重新就业机会而投资于教育,也增加了新型经济产业,保护工业遗产及增加新建筑标志共同进行。

公园命名于埃姆舍河,它是莱茵河支流之一,在工业化期间作为污水排放系统。埃姆舍公园是德国鲁尔区更新计划中一项,在1989年至1999年间进行。其目标是将以前的重工业区转变成可供人们在此生活、工作和休闲的现代、绿色和充满活力的地区。埃姆舍公园采取了整体综合改造的方法,包括城市、建筑以及生态、经济和社会转型的鼓励措施(见图34)。经济部分是用高科技绿色产业和新型大学取代传统的采矿业。该项目的绿色及环境效果尤为重要,因为该地区以前是煤炭开采和钢铁生产地,通过改造建设,它不仅仅使其景观有所改变,同时也使污染的空气、土壤和水得到完全修复。

该项目的重点是恢复800平方公里地区的环境质量,并保护鲁尔区工业遗产。该项目对工业建筑进行再利用,实现其社会及娱乐功能。前煤矿工业园区Zeche Zollverein于2001年获得联合国教科文组织世界遗产之称,并在它的景观中增加了国家艺术作品。该项目还清理了将废水排入地下运河的埃姆舍河,并建造了规模不大的6000套住宅。在10年中,完成了大约118个不同的项目。总投资为25亿欧元,其中60%为公共投资,40%私人投资。

### 4.5 河流流域的环境与生物多样性对比结果

污染及生物多样性的减少是两个河流流域的严重问题。莱茵河流域的工业污染已大大减少,同样在长江流域也存在着减少趋势。在莱茵河和长江流域中,当前的污染包括燃烧过程中化学及空气污染物。还有长期存在的问题主要来自于农业肥料的养分滞留。因此生物多样性很难得以恢复。部分原因是由于其生活的空间受到限制,因为生物的栖息地已减少或被分离(例如,道路基础设施或水力发电站的建造),还由于沿河地区失去了其原始自然状态。

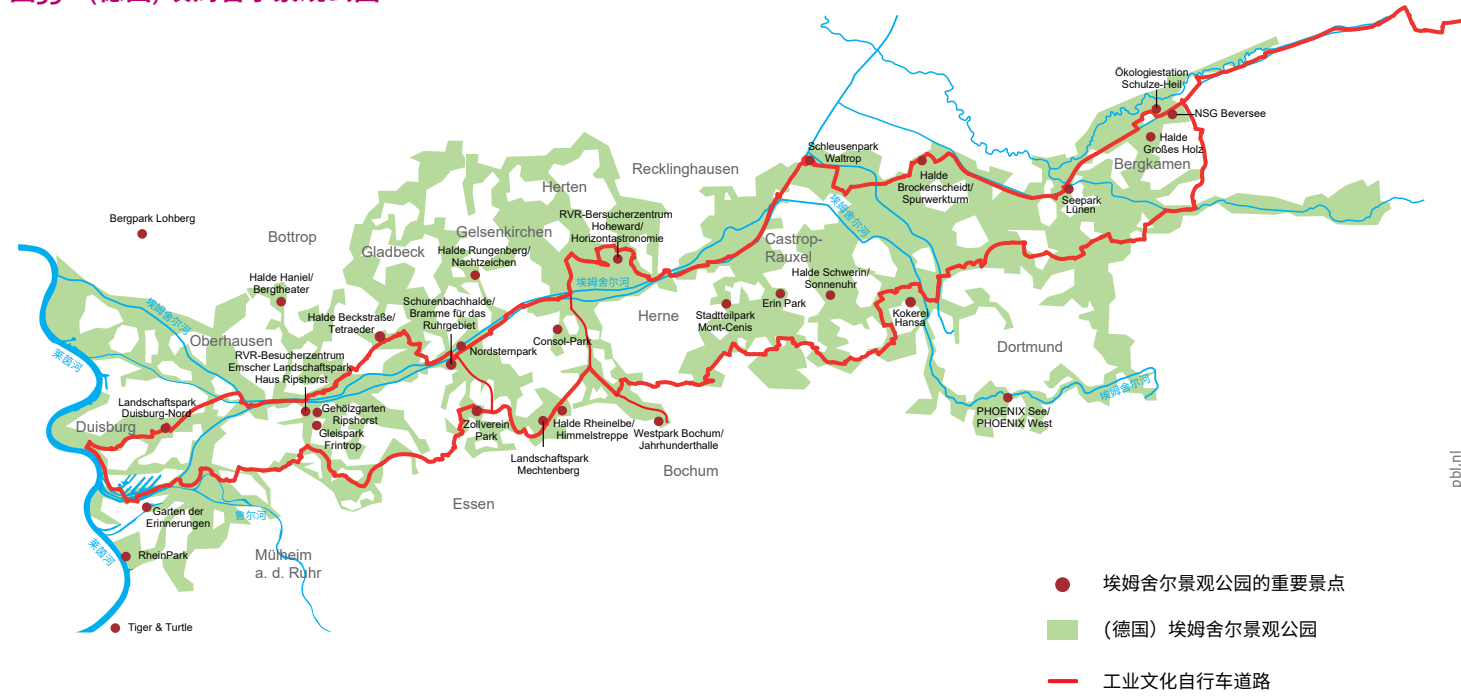
以上案例显示了减少污染及修复生态的不同途径。在长江经济流域保护法指导下,流域整体发展策略主导地区经济发展方向,可使污染工业迁离河岸来实现自然修复和减少污染源。

埃姆舍公园案例表明在原工业已经衰退的情况下,通过合理区域规划,综合采取自然修复、工业遗产保护以及鼓励新型服务业高科技经济发展的措施,可以改变落后地区面貌。

下一章将展示水利工程建设对河流流域洪水产生的消极影响。



图35 (德国)埃姆舍尔景观公园



资料来源：Regionalverband Ruhr, Essen, 2019

在埃姆舍公园项目中，沿着莱茵河的支流埃姆舍河，在前重工业地区修复自然，保护工业遗产，投资于新经济。

pbl.rlf

Climate change  
adaptation in  
the Yangtze  
and Rhine  
River basins

5

长江与莱茵河  
流域的气候  
适应



由于气候变化，未来洪水的频率及危害会更加频繁与严重。本章将图示具有洪水风险地区，其城镇化、水利工程与洪水、气候变化的关系。特别是气候适应的新概念对空间规划的影响。

## 5.1 洪水与极端气候的增加

气候变化不仅会引起海平面上升，还会增加内陆地区极端气候的频率。特别是特大暴雨的增加会加大洪水泛滥的危险。图36表明在长江与莱茵河流域中下游会有严重的洪水风险。如果没有大坝及海岸防护工程，荷兰的大部分地区将被淹没。对于长江来说，少部分地区具有海洪风险。不过，近年来中国沿海台风频发，随着气候变化，台风的频率也有增加的趋势。

人类的定居地易受洪水侵袭的威胁，特别是在河流沿岸和河流三角洲定居地及经济活动集中的地方。由于城镇化的发展，土壤硬化会增加降雨径流，从而加剧洪水风险。位于洪水多发地区的国家与城市已建造了防洪基础设施，以防止洪水的侵袭并减轻洪水对沿河岸社会和经济活动的影响。

但是，大坝和防护性的水利基础设施影响了河流中沉积物的流动，并减少了河流下游所需维护沿海地区的沉积物。这不仅对生态系统和水质产生影响，而且对海岸所面临的洪水风险也会有影响。

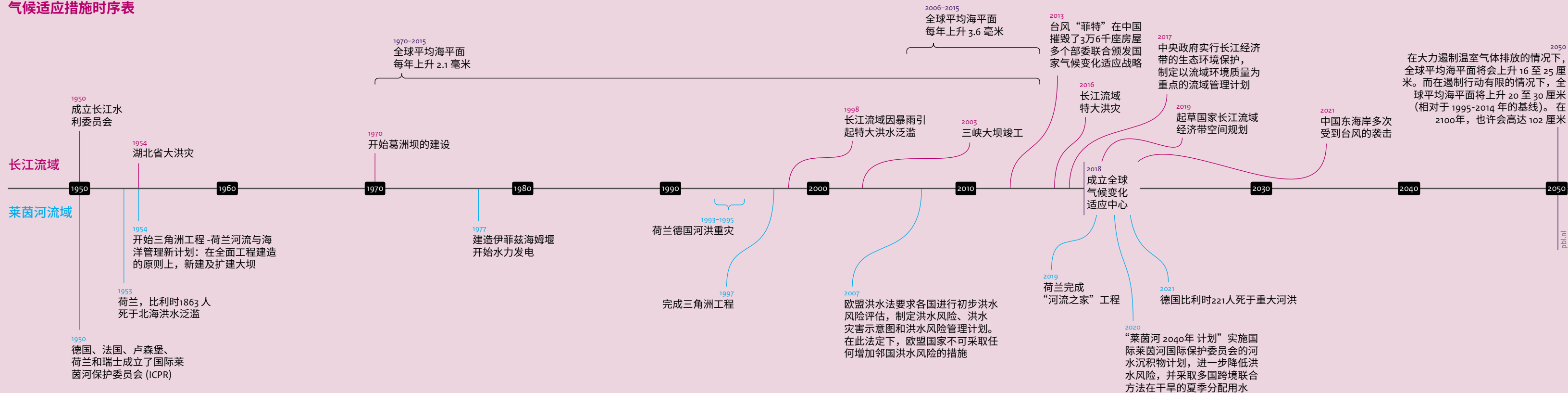
## 5.2 河流排水的改变

莱茵河与长江的源头都始于高原冰川。它们的水源来自于河首的融雪。来自“水塔”的融水，即山区冰川和其他冰雪表面的蓄水，通常可以缓解山区降雪的变动。由于全球气候变暖，“水塔”的消失最终将导致其下游河流及湖泊淡水供应减少。

由于气温升高，蒸发增加，河水中的水量会大大减少。但在暴雨期间，则会产生洪峰。它会使河中水位发生巨大变化，水位太低会影响船舶运输，太高则会增加河水泛滥风险。总的来说，如图 37所示，两河在所有月份中水流量都在减少，特别是莱茵河未来的季节性变得更加明显。根据预测莱茵河未来夏末的河水流量将减少一半。

河流中的低水位会阻碍航行，使饮用水与灌溉用水供应减少，并使水温持续升高，这些都会增加水中污染度并有损生物多样性的发展。

## 气候适应措施时序表



来源：荷兰环境评估署

图36 莱茵河流域和长江经济带的洪水多发区

在历史气候条件下 (1960-2010年)

洪水多发区

■ 河流

■ 海洋

资料来源:GLOFRIS, risicokaart.nl 2019

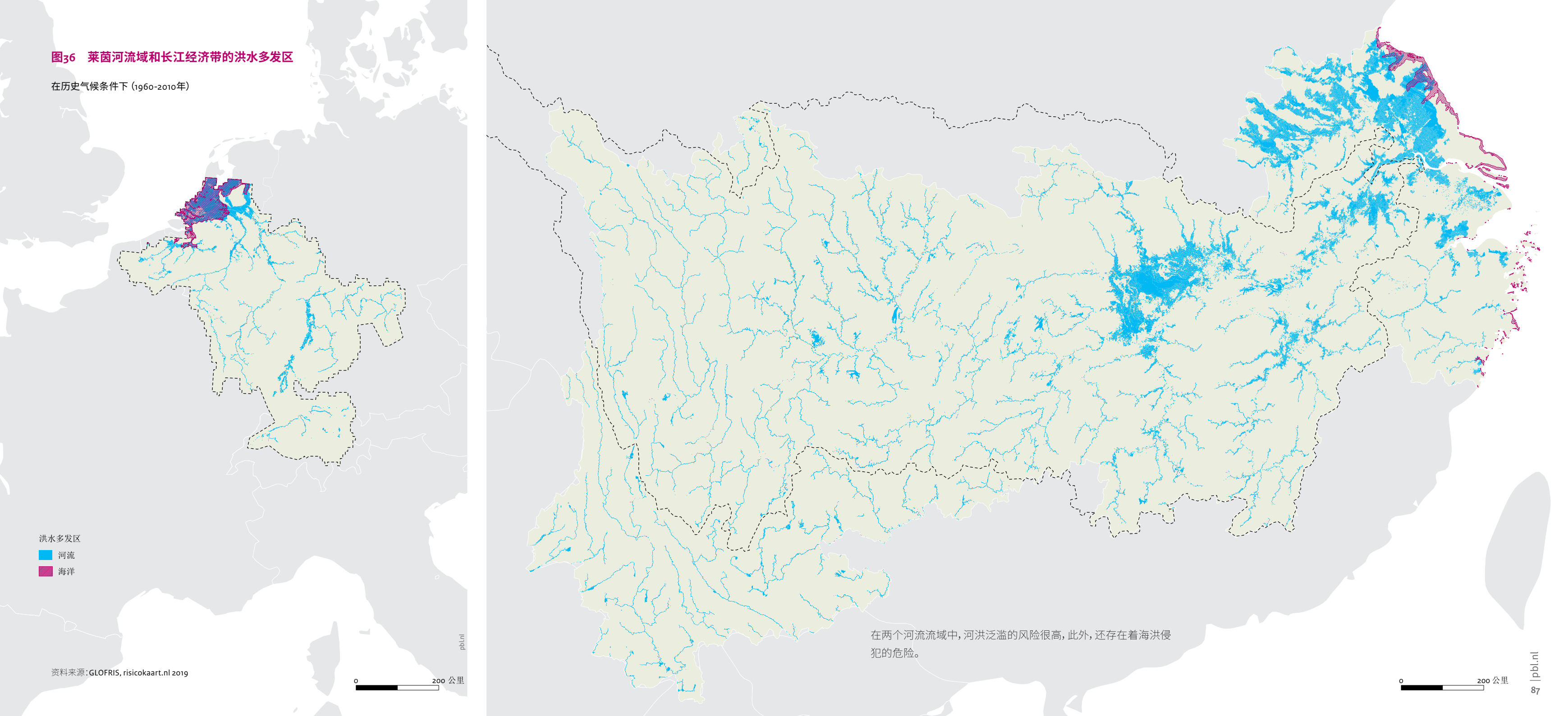
0 200 公里

pbl.nl

在两个河流流域中,河洪泛滥的风险很高,此外,还存在着海洪侵犯的危险。

0 200 公里

pbl.nl  
87



### 5.3 气候适应的治理政策

#### 5.3.1 水利工程在历史发展中的作用

中国具有河流整治利用的悠久历史。比如大运河的开凿，其中最古老的部分早于公元前五世纪已被挖掘。这条全长1794公里的运河连接着长江三角洲的杭州与北京。自汉朝以来，农民已在长江流域筑坝建堤。

自从中世纪以来，人类开始在莱茵河流域建造大坝及保护其居住地。但是，对居住地起到保护作用的大型综合性的洪水防御工程则在19及20世纪才开始建造 (Uehlinger et al., 2009)。

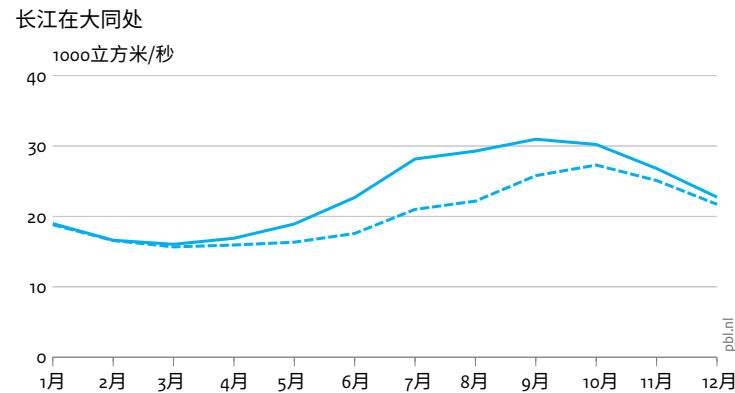
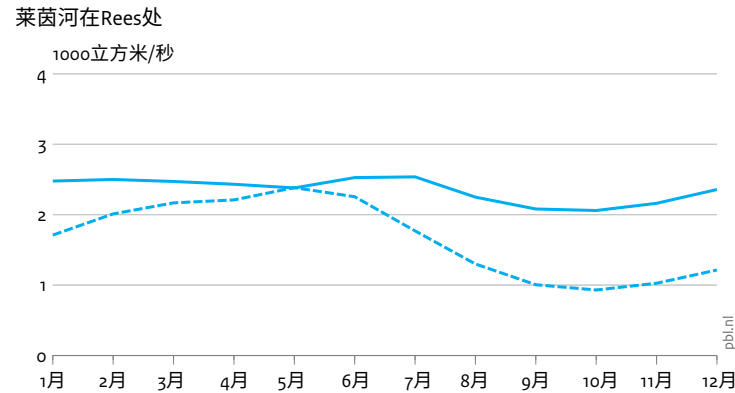
河流中水流及河水冲击区的变化导致洪水风险的增加及对泥沙沉积物流动的限制，这表现在伊菲兹海姆大坝的下游。此外，荷兰在1953年的大洪灾之后，开始建造三角洲工程。这项重大的防洪计划，至使莱茵河、马斯河和斯海尔德河与北海分离。

#### 5.3.2 气候适应的新方法

近半个世纪后，荷兰三角洲工程被更综合的政府管理方法—三角洲计划所取代，从长远角度保护荷兰免受未来洪水的影响，并确保饮用水供应。三角洲建设计划的时间跨度为100年，它可在不同时间段与地点进行。因此，费用可分散于较长时间段，比如说与定期维护相结合。

新的气候适应战略更着重于预测和适应水流与环境变化，而不仅仅是限制或防御洪水。更新的基础设施还必须适应水的多重性，并防止下游水过多或过少而带来的负作用。例如，荷兰“河流之家”项目的作用，扩大了莱茵河在荷兰某些地区的洪水可储量，使河流未来水位不会经常大幅上升。

图37 河流排水量



— 历史 (2001-2010 平均值)  
-- 预测 (2046-2055 平均值)

资料来源: PCR-GLOBWB 2t

由于气候变化,未来河流水流量将大大减少,特别是在莱茵河,这将影响到河道航运,淡水供应及生物多样性发展。

近年来,中国已发展与建造与自然相结合而不是单一阻止或分流的基础设施。通过为城市农庄项目收集和分流雨水、建造屋顶花园和用生物洼地代替混凝土来解决城市不透水的问题,海绵城市计划旨在解决由城市硬化化而带来的两个问题:一方面是缺水,另一方面是洪水风险(Harris, 2015)。在中国,海绵城市计划已在中国三十多个城市中实施,包括上海、武汉、重庆和上海。至2030年,参与城市必须确保80%的城市土地具有海绵特征(Jing, 2019)。

#### 5.3.3 国际委员会统筹莱茵河水治理

在1993年至1995年的洪灾后,国际莱茵河保护委员会一直在协调莱茵河沿岸国家的环境问题及如何使用莱茵河,它强调沿岸国家主要基础设施和运河项目的建设会增加洪水泛滥的机会,各国应肩负防洪措施的任务。因此,莱茵河沿岸国家制定了各自的防洪及气候适应计划,例如荷兰发起“河流之家”项目,提出为河流留出更多空间的倡议;德国完成了“动人的莱茵河—千岛之河”项目,采取多种措施以改善莱茵河;法国实施了旨在振兴河流的项目“生命—生动的莱茵河”。

默兹和斯凯尔特河,也成立了国际河流委员会,但不如国际莱茵河保护委员会有效。一方面由于其较短的国际合作历史,另一方面是由于各方利益主体对河流的态度不同,如安特卫普港和鹿特丹港之间的竞争关系阻碍了参与方在生态问题上达成协议(De Vries et al., 2007)。

#### 5.3.4 长江保护法

长江流域管理历史悠久,始于公元前500年大运河的建设,连接了北京,黄河与长江。自中国“改革开放”以来,河流域由中央政府通过国家水利部进行统一管理。在某些方面,长江流域的管理似乎比莱茵河的管理要简单,因为它只在一个国家的边界内,不需要不同国家间的协调。然而,快速而强大的市场化经济进程,给长江流域的生态平衡带来了巨大压力,也暴露出现行河流保护体系的薄弱环节。

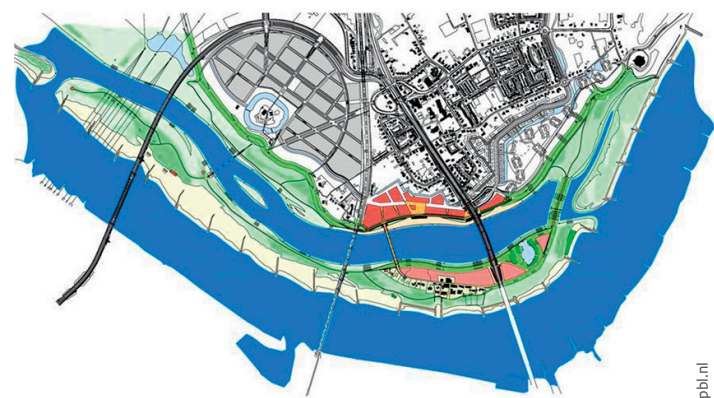
从2010年开始,中国不仅改善了河流流域的生态与环境条件,也改进了它的管理政策,转向更加一体化的河流域管理计划。2017年,中央政府制定《长江经济带生态环境保护规划》。这是一项以河流域环境质量提升为重点的流域管理计划,具体措施包括完善地方环境保护法规和实施信息公开,使各部委能够获得最新信息并提高民众保护生态的素养。

### 5.4 案例:荷兰奈梅亨市“河流之家”项目

为河流创造空间的政策计划是荷兰奈梅亨市治理水的新战略步骤,与水共存代替了与之而争。在瓦尔河工程计划中,河水安全防护与新建住宅、休闲娱乐和生态自然保护融合一体。

荷兰在1993年和1995年发生的洪灾对当时实施的防洪措施提出了疑问,即人工造地和筑堤是否为有效的水资源管理技术?1993年和1995年的洪水泛滥暴露了依赖利用基础设施防洪的弱点。随后,出现了一些新方法,即不限制水,而是扩大河流周围的区域使其可容纳更多的水量。

图38 2020年奈梅亨市“河流之家”项目



资料来源:奈梅亨市

“河流之家”项目设计方案,包括新开河道、岛屿和新住宅区的开发。

作为三角洲计划的一部分,“河流之家”工程计划在某些地区恢复了河流自然洪泛区的存在,以满足河流在特定时期高水位和大流量的需要,可更好地保护其他建成区。三角洲计划包括超过三十项改造措施,例如,洪泛区将被降低、拓宽,建造河流紧急出口和临时蓄水区。此外,沼泽河流环境也得到了修复,以保护生物多样性和提高美学价值。

以奈梅亨市的“瓦尔河之家”项目为例(图38)。奈梅亨市北侧的大坝向内移动了350米,并在洪泛区疏通了一条辅助通道,以扩大河流在高水位期间的水流量。这个建设项目需要迁移洪水通道中的居民。虽然这一提议遇到阻碍,但通过对搬迁居民的经济补偿最终得以通过。

如此的解决方法非常重要,因为瓦尔河在经过奈梅亨市时有个急转弯,成为阻滞水流的瓶颈,在涨潮期间会给该地区带来很大洪水风险。城市堤坝的迁移具有保护城市免遭洪水侵袭和提升城市空间品质的双重目标。建造河流分道创造出一个岛屿,它成为提升城市发展价值的奈梅亨城市公园。

“瓦尔河之家”项目需要众多行政级别部门之间的合作:国家、省、市以及他们在住房、娱乐、防洪和自然发展方面不同组织的协作。通常如此大规模的防洪工程项目完全由中央政府出资而实施,而奈梅亨市则因其城市位置和功能而全面负责该项目的规划和实施,最终建造了一个将娱乐、自然保护区、住房和交通基础设施与城市相结合的多功能的防洪基础设施。

### 5.5 案例:武汉市“百湖之城”项目

武汉是中国湖北省会城市,拥有1千1百万人口。长江流过城市造就了宽阔平坦的平原。1950年,武汉拥有127个湖泊,而在2019年,只剩下38个。武汉正在努力挽救湖泊使城市能有更好的储水力。

1970至1990年间,武汉城市建成区面积不断扩展。上个世纪70年代,地方政府很少关注到湖泊填埋问题,湖泊被填掉作为农业耕地,湖泊的面积减少了30%,使得大型湖泊零星分散,不成系统。1980年以后,地方政府开始强调湖泊的管理,将一些农田退耕恢复为湖泊。但是武汉在1990年开始了大规模房地产开发,使得许多湖泊又被填埋掉(Wu et al., 2019)。

从1991到2010年期间,武汉市的水覆盖面减少了38%(见图39)。从2001年开始,武汉市政府制定《武汉湖泊保护条例》,并开始采取措施来保护湖泊。于2002年生效的行政法规,成功地减缓了武汉湖泊的消失(Wu et al., 2019)。

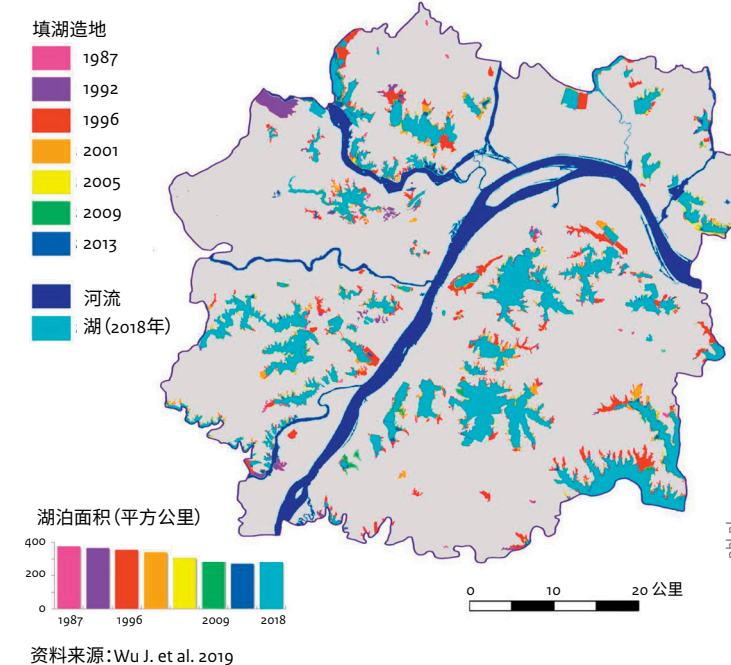
从2009年开始,政府开始约束武汉房地产开发及城市扩张,并从2014年开始启动了城市更新计划,进一步减缓了湖泊减少速度。2018年,政府提出发展区域性生态网络的构想。武汉自2015年以来是中国中央政府倡导的“海绵城市”项目中试点城市之一,目标在于使城市更具有抗洪能力。它将通过保护蓝绿空间、推行低冲击开发、完善水利基础设施,全面提高其应对雨洪能力。到目前为止,已经改造了超过38平方公里,包括具有可渗透性的“海绵”式基础设施。到2020年,20%的城市土地具有海绵性。到2030年,这个比例将达到80%(Jing 2019)。

### 5.6 气候变化对河流流域影响的对比结果

人类通常定居在河流两岸,而城镇化进程加快的负作用是洪水风险的增加。特别是在暴雨期间,城镇化使得土地硬化,会增加洪水灾难的风险。同时,河流的水渠化及加建大坝会增加河流下游的洪水危险,阻滞了预防三角洲地区自然侵蚀所需淤泥的流动。新的水治理战略不再把堤坝加高作为防御措施,而是通过“与水共存”代替了“与水抗衡”,如把水长期蓄存和为河流留出更多空间。

以上两个案例都反映了这一新战略步骤——在洪水期让河流与湖泊占用更多的空间,而不是截峰。海绵城市的概念在于将水储存在本地。在武汉与奈梅亨市,通过海绵城市

图39 1987-2018年武汉城市开发区湖泊演变



由于农业耕地增加的需求及城镇化的发展,武汉的湖泊大大减少,带来水安全等问题。

的战略步骤,生物多样性,水质及城市宜居性都得到了提高。

适应气候变化与减缓气候变化密切相关。下一章将探讨两个流域为脱碳而做出的努力。

Decarbonisation  
in the Yangtze  
and Rhine basins

6

长江与莱茵河  
流域的脱碳





为减缓全球气候变化的速度，必须减少温室气体排放量。本章将展示两个河流流域的能源消耗来源和类型以及温室气体的排放量，并提出无化石能源的替代方案。在本章尾部，将深入探讨港口城市在脱碳方面所做贡献。

## 6.1 始于化石燃料为基础的工业革命

从历史发展角度来看，莱茵河重要部分地区是以煤矿业及能源生产为主。在19世纪以前，大部分煤矿及工业为小型化生产并具有地方性。随着19世纪煤碳及钢铁工业的发展，莱茵河流域的工业化及城镇化急剧发展(Uehlinger et al., 2009)。以德国为典例，工业生产主要集中在鲁尔河谷地区和萨尔州。十九世纪五十年代，煤炭业发生危机，由石油业所取代(后来又被核电工业所取代)。石油进口主要来自于鹿特丹港。钢铁业在上个世纪八十年代也经历了同样危机。随后的变化使一些大工业聚集地发生了重大变化(见埃姆舍尔工业园案例)。与莱茵河流域相比，长江经济带的工业化发生在近期。中国从上个世纪九十年代至本世纪初，由于沿海地带制造业的快速发展而繁荣。2000年后，这种发展转向了内地。长江为通往内地提供了良好的通道，因此沿江城市成为经济和城市发展的重点。

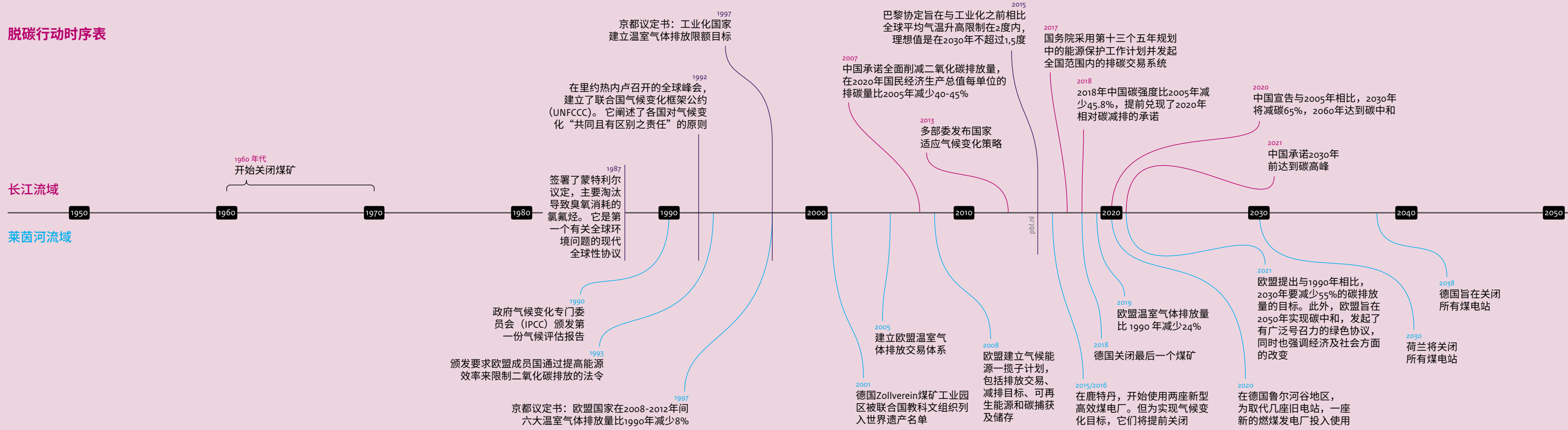
这种经济发展与温室气体排放量的增加与时俱进。温室气体排放位置的模式与河流流域的城镇化地区相符(图40)。

## 6.2 走向能源转型, 远离化石燃料

在适应气候变化政策的指导下，莱茵河及长江流域皆在尝试利用多种方法来发展新能源。核能、水电、生物质能、氢能、太阳能和风能等碳中和和低碳能源生产方法已经开始或正在考虑实施(如以下框架中描述)。但是，非化石燃料能源的转型也会带来挑战，经常与未来地区经济发展，城市发展质量及大型投资网络紧密相关。这要求众多政府部门的参与，包括地方政府及市场商业伙伴。经济活动密集的长江流域和莱茵流域为这些过程的发展、战略制定和经验提供了最佳经验。

两个流域虽然有相似之处，但它们在能源来源与种类上有极大差异。如图41中的蓝色长柱，中国及莱茵河国家都依赖化石燃料来生产能源。图示也表明必须由可再生能源替代的化石能源生产规模。它也显示出莱茵河流域中每个国家依靠水电、风能和太阳能或核电来生产能源不同能力。在长江流域，大量能源消费仍然以化石燃料为基础(尤其是煤炭，图40)。截止2021年，中国的煤电容量超过1000吉瓦，并计划继续制造250吉瓦的装置。中国拥有341个生产煤矿，还有133个煤矿正在规划建设中(全球能源监测，2021年)。

# 脱碳行动时序表



来源：荷兰环境评估署

图40 2012年莱茵河流域和长江经济带温室气体排放量

每0.1x0.1经纬度二氧化碳排放量吨

- < 10,000
- 10,000 - 100,000
- 100,000 - 1,000,000
- > 1,000,000

信息来源: EDGAR v4.3.2

0 200 公里

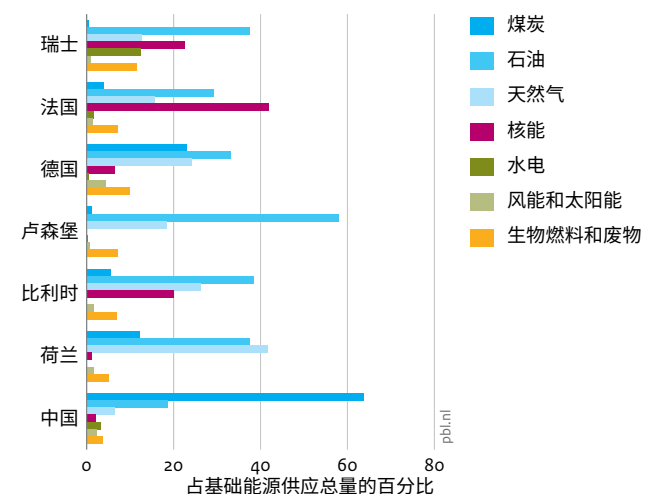
pbl.nl

温室气体排放量的位置与河流流域中城镇化程度一致。

0 200 公里

pbl.nl

图41 2017年基础能源供应源比例



资料来源：国际能源署

中国能源供应大部分来自于煤炭。在莱茵河流域，使用化石燃料的比例较低，部分原因是由于使用核能源的比例较大。

中国在风能和太阳能投资方面取得了很大进步，但在2017年，煤炭仍为其最主要的能源来源（超过60%）。在莱茵河流域国家中，德国（略高于20%）和荷兰（略高于10%）的煤炭使用量仍较大。如今，莱茵河流域国家已较少使用煤炭，但其他化石能源（石油和天然气）对莱茵河国家仍然很重要。在无排放温室气体的能源使用方面，核电占莱茵河领域国家能源供应的最大比例，特别是法国（略高于40%）和瑞士（略高于20%）。此外，在其他非化石能源中，生物燃料也占了重要地位，但其使用率远低于核能，其比例最高的是瑞士（略高于10%）和德国（10%）。水电、风能和太阳能的比例相对较小，除了瑞士的水电能源占略高于总能源的10%。

## 能源转型框架

能源转型中的一系列关键技术：

**核能发电**是代替化石燃料的重要选择。但是，核能发电也有缺点。例如，历史上发生的核电厂事故如切尔诺贝利事件或最近发生的福岛事故，使得人们对这种产能形式发出疑问。

**水利发电**也会大大影响到生态环境。建坝除了会占用大量土地及改变景观之外，也会阻止河流中沉积物的流动，然而这些沉积物对于维持流域肥沃土壤和维持天然防洪设施至关重要。此外建坝还阻滞了水中生物多样性的发展。

欧洲国家正在大量使用**风能与太阳能**。2020年，风能占总能量生产的14%，太阳能占5%（Agora Energiewende and Ember, 2021）。但是，因为影响景观和空间障碍，风电场和太阳能板园区的选址往往缺乏公众的支持。此外太阳能板覆盖的草地几乎不可能为生物多样性保留适宜的空间。相反，海上设建风电场和在屋顶设置太阳能电池板几乎不会引起任何抗议。

在无风气候下，可利用水库在大风天时的存水进行水利发电。这样的水库也可被作为能源储藏库。

**地热**是另一种可再生能源，通过在土壤深层加热及冷却循环的地热能可产生电力。地热是地球表层所产生的热能。地热的优点是它资源丰富，几乎永远不会枯竭。在火山岩区，地热能接近地表，相对容易开采利用。其他地区要看地热能的深层，也许开发利润较低。建设工业余热热能网将有助于未来深层地热能的开发。

其他能源更新的关键技术将主要在过渡阶段发挥作用，也许在最终的低碳能源生产中作用较小。其中技术之一是生物质的能源利用和碳捕获。两者都对长江和莱茵河流域的工业、港口和相关基础设施产生影响。

**生物质**的利用是短期内减少化石燃料制能的主要方法。生物质能源产于合适的木本作物、农业和林业的残余物以及生态废物源（来自食品工业、污水或家庭垃圾）。它占欧盟国家使用可再生能源的60%，其中96%来自于欧盟国家内部（Scarlat et al., 2019）。德国及瑞士使用生物质能源的比例最高。通过生产乙烯和甲醇等化学品，液态及固体的生物质也可代替化工产业中使用的石油来生产塑料及其他产品。生物质（主要是木材）的可持续性受到人们的质疑（Strengers & Elzinga, 2020）。不同类型的生物质能源在能源更新的过程中和有限的降碳方法中起到了重大作用（如重型运输、生物煤油、海洋运输和化学原料）。

脱碳的尾端技术是**碳捕获及其储存**（CCS）。它在大型点源（如发电厂）对排放的二氧化碳进行捕获、对其进行压缩并将其运输到合适的储存地点并注入地下（European Commission, 2019）。碳捕获和利用（CCU）与CCS类似，但它并不储存碳，而是直接用于制造产品（例如塑料），避免了传统生产路线中的大部分碳排放。

在理论上碳捕获及其储存技术会解决部分碳排放问题，但并不持久。环保主义者反对此项技术的应用，因为它不鼓励减少化石燃料的使用，而是延迟了可再生能源的开发（Bakkes et al., 2017）。这种方法还因其对能源使用的整体影响而受到批评—压缩二氧化碳并将其打入地下储存需要使用大量能源，即燃烧更多燃料。第三个因素是当地居民的反对，因为他们把传统的采矿活动和天然气开采所带来的问题联系在一起。理论上讲，本方法的优势在于它可以与生物质燃烧相结合，例如在发电厂中，从而产生负碳排放。这种碳捕捉及储存的方法应被视为短期内有效方法，因为地下存储容量总是有限的，而且并不是每个地点都适合储存。

氢虽不是一种制能资源，但它具有作为一种关键性能源载体的潜力。它可以通过并储存在（或修改过的）现有网络。此外，它还可用于无化石燃料的炼钢等工业过程中。

中国碳捕获储存及碳捕获利用技术的应用已纳入第十四个国家五年规划。但这两项技术仍处在项目开发及实验阶段。缺乏信息和资金不足等是中国推广这项技术的最大障碍 (Jiang et al., 2020)。

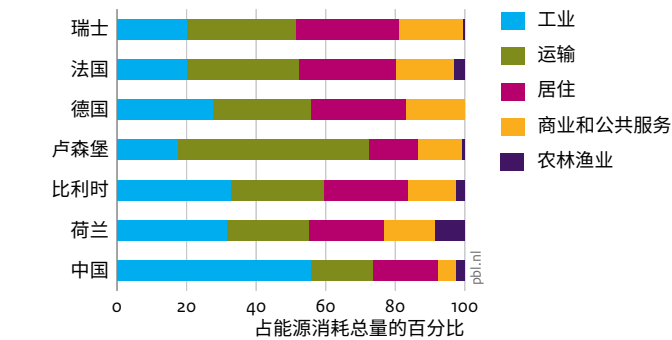
荷兰鹿特丹的一个项目,计划在今后25年内,在废弃的天然气矿中储存1千万吨二氧化碳,由于当地居民的反对而被取消。在目前的荷兰碳捕获储存计划中,二氧化碳将被储存在北海下空天然气开发地中,从而避免当地居民的反对。

在长江和莱茵两个经济流域之间的对比中,以下能源转型技术中的四个特点较为突出:

- 能源网络(燃气、电力、热力)的作用不断增加和变化—与投资及选址决策密切相关。
- 在高密度及充满活力的城镇地区,人们对与地点相关的能源转型决策意见不一。
- 制造业和港口设施紧密相连。
- 级政府和市场各方正积极参与的该领域的战略研究,莱茵河与长江流域的战略经验进行对比会为我们提供新的思路。

除了工业及运输能耗之外,生活居住也占能源消耗的重要部分(图42)。在欧盟国家中它占总能源消耗的25%,成为欧盟能源政策的主题。在中国,工业生产占了能耗的一半,在对比研究中反映出不同国家中的不同经济活动的耗能比例。荷兰由于玻璃暖房园艺发展的原因,农业耗能比例较高。卢森堡由于其低廉的汽油价格,吸引了大量附近国家来此加油,使其交通运输耗能比例较高。

图42 2017年各行业能源消耗总量



资料来源: 国际能源署

2017年中国工业能耗最多,而在莱茵河流域,交通能耗比例较高。

### 6.3 基于化石燃料基础设施的耐久性

经久耐用的基础设施常常成为实现减碳目标的障碍。这些具有耐久性的基础设施包括交通道路、炼油厂及发电站(如煤电站)。由于这些设施建造费用高并具有昂贵的隐形成本,还因为它为当地居民提供必需的服务。如何将现有的基础设施转型,使用可再生能源是十分必要的。港口,作为这种基础设施的起终点,可发挥重要作用。这不仅是因为其重要的战略位置,还因为它涉及到能源综合体是否可以转型。

港口进行无化石能源的转型会影响到空间规划,例如,石油可储存在占地较少的石油码头。而其他能源载体(如散装生物质)需要更大储存空间,由于它能量密度较小。

### 6.4 走向零排放的气候适应政策

面对全球性的气候变化,各国政府(将)采取措施,决心减少温室气体排放。对许多国家来说,限制温室气体排放意味着本国重要的决策。仍有许多国家,尤其是许多东南亚国家仍持有此观念—认为传统的工业化,国民生产总值的上升及随之带来的高水平都与温室气体排放的增加有关,这是每个国家都应拥有的象征性的历史性排放权。但它会进一步促使全球变暖。

在19及20世纪,温室气体排放的控制条款并不存在,因此,对温室气体排放很少有控制,流域的环境及生态条件大大恶化。近年来,人们对碳排在环境及其他方面的负作用有了进一步的认识,推动了各国向可再生能源的转型进程。

在2000至2010年间,莱茵河流域国家的碳排量在逐步减少,而中国还在提高(图43)。欧盟国家在过去20年间成功的减少了温室气体排放量。2017年,欧盟国家可再生能源占总能源比例由2004年的8.5%上升到2016年的17%(Amanatidis, 2019)。中国的温室气体排放量在1970年至2015年间几乎增长了6.6倍(Crippa et al., 2019),其二氧化碳年排放量仅在2018年就增长了1.5%(Crippa et al., 2019)。然而,与莱茵河流域沿线国家相比,中国人均排放量和全国平均水平长期以来处于明显较低水平。

对于欧盟国家,减碳任务最重要的环节在于运输业,工业及能源生产。实际上,运输业是欧盟自1990年以来排碳增加的唯一行业(Pernice & Debysen, 2019)。对欧盟来说,它面临的挑战之一是如何在保持同水平交通运输或增加出勤率

的同时,又要降低交通运输而带来的温室气体碳排量。由于欧盟并不打算降低繁忙运输走廊的运输能力,以免阻碍经济增长和干扰经济活动,因此脱碳的策略不是减少经济活动,而是利用新技术而减少排碳。电动汽车将发挥其重要作用(利用电力将基本代替化石燃料)。

“碳定价”策略将促进减少温室气体的排放:它通常采取碳税的形式,通常与碳排放权交易相结合。《京都议定书》建立了一套基于市场原则来实现的目标体系,包括“排放交易”,并与多方联合进行实施(Prahl et al., 2014)。

欧盟排放交易系统(EU ETS)被工业系统所采用,它可在欧盟范围内以最低成本排放温室气体。在这个系统中,行业购买和交易碳排放额度,其目标是使排放上限随着时间的推移而稳步降低(European Commission, 2019-2)。自建成以来,拥有大量传统温室气体排放的行业使用本系统,而该系统也在不断地发展更新。

在1990年间,中国把工业化给环境带来的危害看作是“去贫所付出的必要的代价”(Li, 2016)。虽然如此,中国与德国及美国签订了双方协议来防御气候变化。

对中国来说,地区间及经济部门结构变化的差异非常重要,使用“二氧化碳密度”作为衡量温室气体排放的指标。这个指标是由温室气体排放与(GDP)全国国内生产总值或与工业增值相联计算而成。所以,它是一个生产过程中气体排放效率的指数。随着服务行业增长及工业制造业的发展,使产品增值加快,其结果是使GDP每单位的温室气体排放降低。

2020年,中国宣布在2060年达到碳中和,欧盟国家力争在2050年达到这一目标。中国的2060年碳中和目标是否意味着把二氧化碳密度作为中国适应气候变化政策的指数?国会对此主题的专门政策研究特别提出“绝对值目标”(排放上限)的应用,因为它使目标更加明确(CCICED, 2021-2)。

### 6.5 案例:走向循环经济的鹿特丹港口

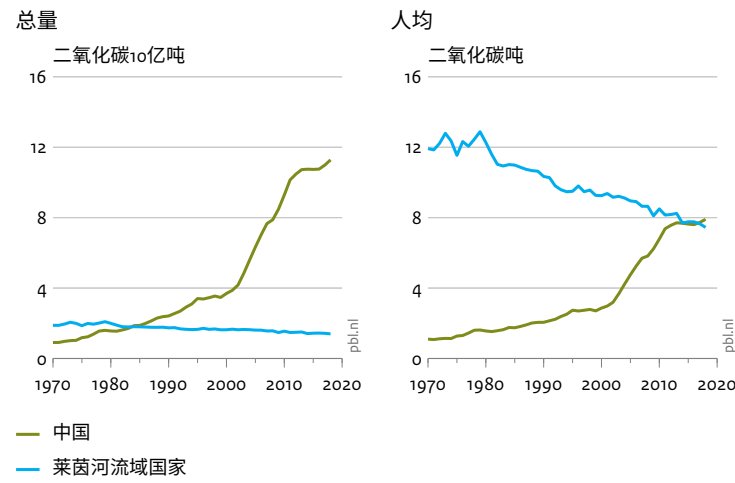
鹿特丹港正在走向2050年其经济活动全部使用再生能源及脱碳的转型过程。把港口转变为可持续发展经济,对未来维护全球性贸易及在传统上非可持续性的航运、原材料(尤其是原油等材料)处理和能源生产领域的增长非常重要。

早在1960年代,鹿特丹就成为欧洲的原油港,成为欧洲最大的港口并且稳固了莱茵河作为欧洲20世纪及21世纪的基本贸易路线的地位。

1960年代末,莱茵河开始了集装箱河运,沿着莱茵河两岸的内陆集装箱港口发展起来(i.e. Mannheim)。鹿特丹和安特卫普港占往返欧洲各海港驳船集装箱运输量的大约95%(Notteboom, 2017)。

在19世纪末期,鹿特丹港在新马斯河南岸扩展。20世纪以来,港口远离鹿特丹城市中心向西部的北海继续发展,以便能够承受更大型的货运。1970年以来,港口在北海中填海造地的基础上继续扩建,完成了今日的马斯弗拉克特二期工程(图44)。19世纪建造的港区则不再使用,本地区被改造为城市多功能区。马斯弗拉克特二期工程是至今

图43 二氧化碳排放量



资料来源: EDGAR v 6.0, OECD

莱茵河流域国家的二氧化碳排放量逐步减少,中国则增加。莱茵河流域国家人均排放量一直高于中国人均。2020年,二者的人均排放量将同等。

所计划的最后一个港口扩建项目。所有的港口经济活动都应在本区内实现。

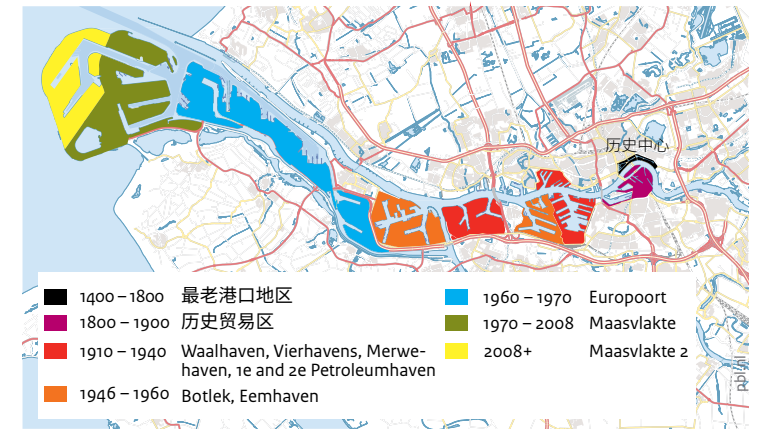
### 港口循环经济

港口对未来循环经济发展非常重要,因为它具有原材料进出口及能源消耗(鹿特丹港口)双重角色。此外,它们经常位于前工业城市,循环经济项目为这些区域提供了新的经济机遇(Gravagnuolo et al., 2019)。但它们又面临着互为矛盾的两重挑战,一方面拥有经济增长的雄心目标,另一方面又要具有可持续性的发展。鹿特丹港试图克服这两重矛盾,使塑料和橡胶、生物质、金属、矿物、化学品生产和工业废物回收具有循环性。有些现存基础设施适于再生能源的使用(比如说一些煤电厂可转变成燃烧生物质)。但是,其他大量使用化石燃料的基础设施的转型改造较为困难(如提炼厂及大型工业集团)。此外,鹿特丹港还计划发展碳捕获储存及碳捕获利用技术,基础设施将允许工业余热输送到农业温室,居住区及办公楼。一些温室与港口的二氧化碳管道相连,可提高温室内农作物的产量。

这种转型技术也有不足之处,因为它限制了鹿特丹港口的空间发展。解决办法包括把与港口无关的经济活动移回城市中心,而把空间留给与港口紧密相连的工业活动。

在2015年与2016年,鹿特丹港口启用了两座新煤电厂。它们具有“清洁煤”装置,其中烟气处理技术可以减轻煤燃烧对空气污染的影响。碳捕获储存技术还未得到实现。2030年,工厂不再允许使用煤。因此,尽管启用了有着碳效益的新煤电厂,它们也要逐步停止煤碳使用,而变成以生物质为燃料的电厂。本项工程的解决方案展示了如何将现有不持续的能源生产形式逐步改造成可再生能源的努力过程。“碳定价”政策可迫使港口更快地过渡到无化石经济,因为使用化石燃料将很快比使用可再生能源及其基础设施维护更加昂贵。

图44 鹿特丹港区的发展



资料来源:鹿特丹港

鹿特丹港口原设在城市中心。在港口的扩建中,为保证能与货运规模增加同步,新港口选择了远离城市中心而靠近海岸的位置。大部分老港区不再使用。

鹿特丹港口的可持续性转型为人们留下好印象。正如德国以前被污染的埃姆舍尔工业园,现在仍大量使用化石燃料港口的社会经济转型对港口的社会认知及地区经济非常重要。因此,“振兴”港口的综合治理方法可以确保长期的可持续性投资和整个地区的经济发展。

与内陆地区相连接,鹿特丹港口重点放在促进不同的运输方式,以实现最有效与可持续的货物运输。例如,通过内陆航运或货运火车代替卡车运输。内河船舶导航电池使用技术正在研发中,这需要内陆码头之间的合作。这一技术非常重要,因为这些船航所需要的燃料燃烧是影响港口碳足迹和当地空气污染的重要因素。在1990年代,一条通往德

国边境的专用货运铁路线建成。目前该线路在荷兰境内能够正常运营,以待与德国改善的铁路网络相接。

## 6.6 案例:上海港的绿色倡议—岸基供电

上海港首先实施岸基供电。使用岸电代替船舶辅助设备供电有助于港口的绿色发展,减少有害气体的排放。如果岸电是可再生能源,它还可以减少温室气体的排放。

至2016年,上海港是世界上最繁忙的集装箱港口,其装卸能力超过3亿7百万个标准箱。港口横跨黄浦江、长江和洋山深水港(2005年建成)三个区域。上海是重要的贸易枢纽,对沿江而进入内地的经济发展至关重要。

上海完成了“绿色港口的三年行动计划(2015-2017)”,促进绿色港口的建设并号召提供岸电。

停泊的船只使用大量的原油及柴油来满足它们庞大的电能需要。使用所提供的岸电,船舶可关闭其辅助设备而满足主要的舰载系统用电需求。这种船舶能源供应方式更环保。跟据测算,一艘中型集装箱船舶在抵港期间24小时内可排放的PM<sub>2.5</sub>污染物,相当于50万辆重卡车一天的排放量。目前,上海港每年约有4.2万艘国际船舶。这些船舶给城市大气带来的污染物主要是二氧化硫和氮氧化物。其中,远洋船舶的排放量最大。岸基供电可将柴油颗粒物、氮氧化物和二氧化硫的排放量减少高达95%。

至2017年底,上海设立了9套岸基供电设备,2套位于广东港区,3套在洋山第四港区,2套在国际游轮港区及在吴淞口的客运港区的2套。

上海港的绿色转型仍面临着挑战。第一,它的建造成本还需要国家及地方资金补助。在游轮港的岸基供电设施建设成本约为5千万人民币元/套,而集装箱港岸基供电设施建设成本约为2千5百万人民币元/套。船舶上的设施也需要有相应改造。例如,世界上第一艘配备岸电设备的大型散货船“福强中国”,岸电设施改造投资约600万元人民币。虽然每年可节省燃料成本约为60万元,但投资回收期需要10年。此外,现行法律规则对船舶使用岸电没有强制要求,导致相关航运企业在无明显经济利益的前提下,缺乏积极使用岸电的动力。

## 6.7 河流流域脱碳发展对比结果

为缓解气候变化所带来的问题,需要大量减少温室气体排放及采取其他措施。对中国来说减碳的挑战与传统的环境挑战共存。这与莱茵河流域国家恰恰相反,环境污染早已开始减少,目前(2020年)其重点放在减少温室气体排放。如案例所示,港口城市处于工业及基础设施与内地的交汇点,具有降碳挑战的重要地位。此外,他们在区域和内地规模、经济和对物流、工业和原材料方面的认知都有很大影响。



Observations on  
the interplay  
between  
environmental  
and spatial  
policies in the  
Yangtze and  
Rhine river basins  
and further steps

7

长江及莱茵河  
流域环境与  
空间发展政策  
对比观察及  
未来策略



**本对比研究展示了长江与莱茵河流域在1950至2050年间城镇化发展、环境污染、脱碳及实现气候适应方面的努力。**

总体而言，两个流域在19世纪及20世纪的城镇化、农业与工业经济发展很少考虑到污染对环境的影响。但是，污染和重大污染事件的负作用引起了人们对保护流域生物多样性及环境质量的关注。

虽然早在19世纪河流生态已引起人们的注意，但莱茵河流域国家及西欧国家在经历了上个世纪70、80及90年代环境灾害以及工业发展至使水质极差的情况后，其环境意识才慢慢提高。欧盟国家起草了协议并发展新技术来限制污染及保护饮用水、公众娱乐、农业及工业用水。这一期间恰为西欧向后工业化和服务型经济转型的时期。

中国的工业化发生在近期，并与西欧的环境法规同步。在上个世纪的70、80及90年代，由于经济快速转型发展，中国产生了大量的污染及二氧化碳排放量。这种转变在很大程度上建立在使用煤的重工业及制造业的基础上。这一快速与变革的经济时期带来的后果是污染加重及空气质量

下降。长江流域沿线是这一污染的制造源与受害者，它也是连接上海港与内地最重要经济走廊。但是，到了21世纪，来自于国内与国际对能源多样化的需求，减少空气污染及脱碳的压力越来越大，中国开始对再生能源进行大规模投资，如水利发电（如三峡大坝）、风能及太阳能。因此，我们可以观察到中国环境政策和可再生技术与持续增涨的碳排放水平共同发展。

中国与欧洲均面临可持续发展的挑战，它通常反映在整个河流流域的某些特定空间。这要求我们在长远计划将空间规划与环境规划相结合，以此实现两者的相互促进。

如果我们试图将城镇化、脱碳、气候适应、生物多样性恢复和污染控制等战略结合在一起，就可得出几个前提与关键因素。以下部分将在空间视角、权衡比较和时间顺序上更详细地讨论这些问题。

## 7.1 观察:空间规划与环境规划相结合的综合政策

德国埃姆舍工业园是综合空间规划方法的典例。它展示了只建立在矿产工业就业岗位的风险性。可以看到,通过将河流进行清理而恢复到自然状态来振兴自然环境,可有效地创造出更加多样化的劳动力市场。此外,许多工业遗产地区向公众开放,成为周围地区中新景观及地标,会使该地区赋予特征及恢复自然性,成为人们的娱乐休闲地。

不仅从埃姆舍工业园案例中可看到空间与环境规划相结合的治理方案更加有效,还有更多的综合治理案例也证明了这一点。温室气体的排放与环境污染物的排放平行,所以通常脱碳与减少环境污染可同时解决。气候适应和生物多样性恢复紧密相连,例如,通过将河岸恢复到其原有状态,可以减少洪水风险并恢复动植物的栖息地。

此外,更加“全面综合”的政策,例如国际莱茵河管委会的莱茵河 2040 年项目和不分国界而以整个流域为重点的水框架法规。在荷兰“河流之家”项目,为河流让出更多的空间使其可自然流动,而不是阻碍它。这个项目,虽然造价昂贵,但它有利防止了洪灾,也包括了居住、自然恢复及休闲娱乐的发展。

中国的《长江保护法》提出把生态文明和保护长江环境的综合完整性放在流域经济和社会发展之上。中国各地区的经济、文化及地理特征差距很大,这要求各地区要以区域协作的方式推动绿色发展。

很明显,河流冲积区的可持续性任务会涉及到迁移问题。在何处可设立太阳能电池板和风力涡轮机?这是否会以开阔视野、娱乐空间、平静环境、粮食生产或生物多样性为代价?空间规划可涉及到建成区与自然环境的许多方面一密

度、建筑类型、功能(或用途)、位置和开发规模。随时间发展,城市和景观规划设计师可以在这五个方面之间创造出最佳结合。许多在对付城市极热及蓄水方面的气候适应措施,除了公共空间的选材选和布局外,还与建筑密度、类型和位置有关。城市的布局一旦形成,只有在付出巨大代价的条件才能改变,它会影响城市可持续性和宜居性的诸多方面,如城市通勤、气候适应和人民健康。

在中国,有在莱茵河沿岸无法预示的空间发展指引政策,例如禁止在河流 5 公里范围内新建工业园区。在气候适应方面,长江沿线有许多在莱茵河沿岸由于规模和发展速度而无法实现的试点项目。鉴于未来几十年欧洲和世界其他地区的不定期变化,这将是一个非常有趣的比较性研究主题。

此外,土地和资源的开发利用仍然是空间和环境规划的核心问题。人口自然增长及向拥有大量就业机会的大城市的人口迁移,推动了城市继续扩张,这与工业化农业发展相关,它能满足不断增长的城市生活需要。但它间接地促进了自然土地资源的减少及生物多样性的恶化。畜牧业的发展使土地利用矛盾更加突出,因为生畜的繁殖依赖于可供给食物的土地。此外,河流两岸地区不仅具备极其丰富生态多样性,也对城市扩张、农业、工业及蓄水有着强大吸引力。

高密度城市化地区容易受到微气候的影响,如城市热岛效应,这在往年的气候变化中明显可见。在极热天气期间,城市热岛可使城市气温比周围地区平均高出10度。城市热岛效应发生原因之一是由于城市通常使用(沥青、钢和砖)的材料颜色较深,因此会吸收热量,并且不透水。城市热岛效应特别对老年人危险极大,他们在城市较热的月份中会患有与极热相关疾病。值得一提的是欧盟和中国老年人口比例正在增加。

城市热岛效应可通过城市设计的方式来减轻。例如,街道格局与风的走向有关,绿色植物会帮助街道降低温度。城市的尺度也会影响到城市热岛作用,城市密度越大,其热岛效应越强。如果一个城市以星状或线性的方式布局,新鲜空气很容易渗透到城市中。由于它们的线性布局,这些城市还可高效的组织公共交通,并联通周边的乡村游憩地区,这对于正不断壮大且具有大量休闲需求的城市中产阶级来说很重要。

气候变化使莱茵河及长江中的水温升高及流速降低,并将水电站的冷却水供量置于危险状态。在欧洲,由于水生态保护的原因,河流中用于冷却水的水温被控制在最高23度。如果水温超过这个限度,冷却水的取水会自动停止。海岸边的发电站并不受到这一限制,但要考虑到海平面上升到因素。另一方法是使用冷却塔中的冷却水,但它的造价非常高,而且冷却塔在地区景色中显著易见。

从工业性经济转型到服务性经济意味着所需求的空间不再以特定地点为基础。信息通讯技术的发展使人们可远程工作,减少人们物理距离接近的必要性。这将减少对城市的压力。信息通信技术可使城市中的实体零售通过网上商店来实现。另一方面,城镇化是几个世纪以来一直在稳步发展的过程,以化石燃料为基础的经济向循环经济的过渡周期较短,这又增加了邻近性的重要性,因此再次增加了对城市的压力。人们在物理距离上的临近性对于非正式信息和灵感的交流也非常重要。

最后,河流流域中的各种物体有特定的流向。水和污泥顺流而下,营养物质、工业和其他污染也顺流而下。相反,原油从海港向上游运输到内陆地区。海港也是管道铺向内陆的始发点。鱼类和大型无脊椎动物根据其生命阶段向两个方向迁移。从三角洲到腹地,也是城镇化发展的方向。在

1950 和 1960 年代,荷兰开始将就业岗位从兰斯塔德转移到更远的内陆城市。我们在中国也看到了同样的发展趋势,例如长江三角洲的经济压力正在转移到沿江中游的城市。

## 7.2 观察:可持续性发展和政治敏感性的权衡比较

需要一个环境与空间规划相协调的政策不仅仅是因为它们可相互促进,还因为它们可相互制约。例如某些政策会同时具有环境益处与生态弱点。本报告描述了在建坝过程中的许多益弊比较。如著名的三峡大坝,旨在实现无化石能源而建造。根据科学家调查研究所知,它在某种程度上破坏了自然生物的栖息地、切断鱼类洄游和中断河流中的淤泥流动,严重影响了该地区的生物多样性的发展,也增加了洪水风险。由于截留淤泥,大坝的建设使得下游数百公里的河岸受侵蚀,影响河流三角洲地区的环境、生态、社会和经济繁荣。

与此相似,荷兰三角州工程通过封闭河流出入口,保护了荷兰西部的大部分领域免受北海海水入侵。莱茵河和马斯河河水由淡盐水转变为淡水,它为处于大坝后的农田带来好处,可增加作物产量。但生物多样性发展所需要的与海水相连的半盐水环境一去不返。而在地区关键部位要再强调这一生态重要性时则需要做出造价较高的变动。

在莱茵河与长江流域,人工渠建造工程加强了河流运输的经济性,减少了道路运输的增长,但也削弱了河流生态系统,同时增加了洪灾的风险。

由于经济发展因素,沿海地带成为城镇化发展的有利地区,但这些地区易受洪灾的威胁,而这种威胁正由于全球气候变化而增加。

城市高密度发展会蚕食自然及农业景观,大量的道路工程建设和环境改造将会加剧土地硬化和城市热岛效应。高密度的城市发展并非人们向往的理想生活环境,城市发展政策应当尊重自然,以人为本,城市设计要倡导美好的生活环境。

化肥的使用虽然能提高农业产量,但也会导致持久性问题。这是因为农业中使用和生产养分通过水和土壤的径流会渗透到莱茵河和长江中去,而不能在点源(如城市和工业废水等其他类型的污染)截流。即使今天可以停止养分积存,土壤中已经存在的养分将在未来几十年继续渗入水系统。

投资于再生能源与基础设施,新技术通常需要大量的前期土地征用、经济投资和空间改变。此外,由于人们对许多新技术的未来发展和实际风险缺乏认识,并非能马上接受。例如,核电站会产生核灾危险,在人们居住地附近进行核废物掩埋都不利于政府信誉。许多人不接受在他们居住地附近储存二氧化碳,因此对碳捕获和储存技术也有类似的反对意见。在短期内,生物质是未来能源生产的重要来源。然而,由于人们担心生物质燃烧(主要是对木质)对生物多样性发展和空气质量的影响,对生物质能源的可持续性有不同的看法,引发了相关利益集团的激烈争论。因此,除了开发可再生能源技术的资金和技术挑战之外,政府通常还必须从公民的角度出发考虑,新型可再生能源和技术是否能在政治上得以实现。预测本身就是一个重要因素。

随着在技术上的大力发展,有可能以反弹效应的形式进行权衡。例如,虽然两地更快的连接会缩短出勤时间,但他们也可以在给定的时间预算内覆盖更远的距离。在仍然生产化石能源的基础上,太阳能电池板所提供的可再生能源并不会促使人们更节约地使用能源。

当强调多种问题时,往往会产生潜在的相互激发作用。协同效应可能是辅助利益、降低总体成本或增加民众支持。然而,这些协同激发作用通常会部分发挥作用。例如,虽然用电动汽车代替内燃机汽车将消除尾气排放中仅次于二氧化碳的氮氧化物,但大约一半的颗粒物排放量仍然存在,并将随着未来交通量的增长而加大。

为实现可持续性减少消费及使用新技术间的平衡十分关键,但很难在政策决策中实现。如,碳捕获、利用和储存等技术不会减少化石燃料的消耗,也不会激发能源技术的创新和能源节约。与此同时,减少高耗能性消费并不受到所有公民和政治家的欢迎。然而,不同模式研究一致表明,我们需要这两种措施共同进行来实现未来的可持续发展目标。利用这两个充满活力的河流流域来作为具体案例,研究他们在何处以及在何种条件下能成功地协同实行,是否能有充足的证据来表明?

这种权衡可部分通过综合空间方法来解决,虽然仍然存在着政治敏感性。如果是跨国性质的,政治敏感性则会更加复杂。由于行政边界在河流治理和空间规划中发挥着重要作用,并可能导致边界地区的空间格局不协调,而被称为边界景观(Harbers 2003)。地区的可持续性发展需要有一个能够合作的管理组成体,这对整个河流流域非常重要。当不同国家在边界争夺淡水水源,如果在上游地区的国家使用了河流中大部分淡水来浇灌,会使下游国家没有足够的

淡水使用。在莱茵河流域,出于经济竞争的原因,边界在基础设施布局中也发挥着重要作用(De Vries et al., 2007)。在中国,边界景观沿着省界而出现,是因为重工业工厂常常设置在靠近外省的边界,这意味着缺乏省之间的协调管理。中国试图通过在 2012 年将生态文明原则写入宪法来解决这一问题,以促进人与自然和谐发展。即使在这种前提下,也难保地区特殊性,无法围绕这些原则建立一个具有约束力的法律框架。综合政策规划对流域整个地区繁荣至关重要,但难以推广。由于许多政府机构之间矛盾重重,因此它们很难找到处理问题的精简、有效的解决方案。

### 7.3 观察:未来发展趋势

荷兰的三角洲计划展示了在长远计划中,与空间环境相结合气候适应政策的必要性。通过与计划中的日常维护和其他发展计划相结合,将它们与本地区的自然恢复、娱乐发展或城镇化结合起来。

本报告及计划中的深入研究可帮助鉴定为实现可持续性河流流域在空间及时间关键点实行的有效措施。

如今莱茵河流域大多数环境质量问题已得到控制,两岸国家已开始解决温室气体排放的问题。长江流域面临着脱碳及环境双重问题的挑战,同时整个地区的城镇化发展迅速。在此基础上,气候变化的影响更加剧烈。本研究重点展示了在化石燃料能源过渡的早期阶段对再生能源进行大量投资的案例。虽然中国现期仍大量使用煤炭,但通过大规模国家主导的可再生能源投资,拥有了世界上最大的太阳能、风能和水力发电能力,它推进了迈向再生能源的转型进程。

虽然对未来技术发展及生活方式不能做出明确的预测,但制定可持续性河流域发展的政策,应该能够预测到对某种技术及基础设施投资是否有效。当然,有发展前途的可持续技术层出不穷,但它们是否能被采用还不确定,因为社会接受度也起一定作用。因此,很难投资于缺乏充分依据的发展项目方案,例如,支持可持续发展的基础设施等。另一方面,充分的投资也可促使某类重大基础设施取得突破性的发展。

因此,有时间跨度投资的关键问题是:哪些投资将会有效益?哪些投资与国际条约相关从而具有强制性的约束?哪些基础设施将在何时(早期或不完整)注销?以及哪些投资趋势将继续?

对于部分暂时还没有制定具体政策的领域,周密的准备工作至关重要,如果有政治机会,可立即采取行动。过去的几个例子表明,灾害可以作为政策制定的催化剂。1986 年,在莱茵河流域巴塞尔附近的山德士化工厂火灾造成的生态灾难,加速了河流污染和水管理国际协议的达成。在荷兰,1993 年和 1995 年的洪灾导致了三角洲计划的制定。必须指出的是,在这两种情况下,这些计划已做好前期准备,但需要起因来获得大多数人支持与政府通过。灾难作为警钟的事实通常为政治现实。无论如何,建议专家为此类灾难做好准备,并提前建立适当的监测。

在考虑建立新的基础设施和流域治理措施时,解决方案和现行模式的持久性很重要。城市基础设施(如街道网络)、工业设施和河坝的投资成本非常高。这是投资持久(早期注销相对困难)的原因之一。此外,很难逐步淘汰重型和昂贵的大型基础设施,因为它通常是逐步改进和修复的。这意味着城市地区或基础设施一旦建成,会持续几十年甚至

几个世纪。可持续性发展同样如此，只有在极高成本基础上才会进行重建。

展望2050年及之后的计划意味着打破为解决单一问题而建基础设施的方式，取而代之的是以整个流域为目标的综合计划。提前停止使用这些大型基础设施可能要付出很高代价。例如，鹿特丹港新建的燃煤电厂不符合荷兰可持续发展目标，与其建造费用相比，它的使用期非常短。同时，类似的长期投资可促进未来的可持续发展。例如，对生产和运输氢气及二氧化碳的基础设施投资迫在眉睫，因为它极可能在转型过程中发挥关键作用。

沿着长江和莱茵河，有许多关于生物多样性恢复、气候适应、脱碳和污染控制的实验项目。在不久的将来，两个河流域将可相互学习与借鉴。

## 7.4 两个河流域深入研究的前期报告

本报告就莱茵河和长江流域环境与空间规划挑战比较之相关性和范围进行了探索。

用图表明生态多样性、环境污染、城镇化、气候变化及脱碳的地点，以及它们之间的空间关系和相互作用。充分了解相互作用有助于以整体化方式来面临挑战。与另一个河流域做比较如同照镜子，可认清自己的特点，放眼未来，互相学习。

欧洲与中国面临同样的可持续性发展的挑战，但是它们处于不同的经济发展阶段。取代各自单一独立的政策，需要针对2050年及之后的综合解决方法，以便使投资可均衡使用并与投入急需的项目中。本报告认为，用空间规划方法

解决河流域环境问题是必要的，并且可以在流域范围之间进行大量的信息交流。这不仅涉及到跨国范围的管理知识，也涉及到地方范围内知识交换。后续研究将包括在微观上更加深入的案例研究，特别是对鹿特丹和上海港区的比较研究。

原则上，这里描述的环境和空间政策的前后阶段紧密相连。但是，可将预测中的新情况（由气候变化、经济、社会和空间变化所引起）作为制定未来政策的起点。例如，思考如何在长江及莱茵河流域中运用新政策。

同时，在后续深入研究中应该包括长江及莱茵河流域中更多的影响因素，开展能源、工业、城镇化、生物多样性、农业和相关治理等多领域对比对于这两个流域的研究是不可或缺的。

本研究也可最终扩展到其他河流域，例如，密西西比河，虽然管理政策各自不同，但它面临着与长江与莱茵河流域同样的挑战。

## 7.5 关键问题

本研究所涉及的问题可在后续研究中进一步深入：

- 如何平衡具有相互制约功能的空间挑战：城镇化、农业、能源生产（可持续能源生产）与其生态和河流流域的“健康”性。如何权衡生物质燃料、碳捕获技术和大坝建造？空间规划设计能发挥哪些作用？
- 港口及与之紧密相连的化工中心如何在河流域可持续发展中发挥重要作用？

- 我们能否确定治理行动的关键时刻和地点？未来需要投资的地点？哪些基础设施是多余或可以取消的？

更加具体的来讲，未来的深入比较研究将放在国合会对两个河流域未来几十年综合管理方法政策研究框架中，如下所示，它将有意义地建造沿着环境和空间政策结合的多个主题。其中每一个主题都会整理出一套防预时间及结构的战略教训。

1. 气候变化及可持续性发展
  - 在密集的城镇区域，适应气候变化及加强可持续性安全性的经验及措施是什么？
  - 在城市群的尺度上，有哪些绿色生态的规划建设经验？
2. 河流域污染治理及工业脱碳发展
  - 尤其在跨跃不同司法管辖区的地带，如何控制河流域的污染？
  - 工业转型的发展道路，有哪些脱碳及政府干预政策？
3. 河运管理，港口布局及海岸线利用
  - 河海运输规划及实施，碳有效运输经验是什么？
  - 有哪些与气候变化相关的现行城市发展及河流两岸的自然恢复经验？
4. 地区管理及政策协调
  - 1950年以来，莱茵河流域多国合作机制及政策；
  - 2000年以来，长江流域多省合作机制政策及面临的问题；
  - 对长江及世界其他地区有借鉴意义的好政策。

## 7.6 数据可靠性

比较两个流域的先决条件是数据来源及其准确性。该报告中有些地方数据准确性不足。

首先，河流流域的边界划分与信息界限不同。许多物质空间的信息，如土地使用及排放量，可在流域边界内计合，但经济及人口统计数量，是在管理区域中统计的，它与河流流域的边界不符。事实上，河流通常形成了行政管理单位的边界，因此行政单位通常不包括同一条河流的两岸。

其次，并非两个流域都拥有所需要的数据。在这种情况下，必须使用不同分类定义的数据。

第三，并非所有数据都已更新完善。研究报告中有关1950-2000年期间，这并非是一个不可克服的困难，但更广泛深入的研究确实需要最新的数据来源。如果在国合会的领导下组织今后的研究，那么可利用尚未对外公开的中国地区的数据，会提高研究的准确性。

