

城市适应气候变化行动方案 ——国内外应对气象灾害的典型案列

刘苏潇^{1,2} 孙兰东^{1,2} 吴蔚^{1,2} 刘校辰^{1,2} 杨涵洺^{1,2}

(1 上海市气候中心, 上海 200030; 2 中国气象局上海城市气候变化应对重点开放实验室, 上海 200030)

摘要: 回顾了为了适应由气候变化引起的高温灾害、水灾害与海平面上升, 全球范围内不同国家在城市适应气候变化方面采取的措施行动。通过分析发现, 尽管各地区拥有不同地域规模、气候条件与人文环境, 面对的气候灾害问题也不尽相同, 但在适应气候变化的策略制定方面, 却有着一定的共性, 包括: “以各级政府为主导; 强调各机构之间的沟通合作; 制定策略时应当考虑当地实际环境, 因地制宜; 将气候变化的长期影响纳入考量; 在适应性工程的建设上考虑可持续性; 提升城市韧性, 将灾害适应性纳入城市基础设施建设; 调动社会各阶层的积极性, 充分利用各渠道的社会资源”等。目前, 虽然国内各城市在适应气候变化方面的相关策略与措施相较于发达国家、地区起步较晚, 但近几年经过国家的重视、政府的主导、专家学者的学习与探索后也逐步取得了一定进展, 部分城市针对“十三五”期间城市气候适应性的研究与规划已经表现出更高的合理性与成熟性, 相关的试点改造也在一定程度上取得了积极成果。

关键词: 城市适应气候变化, 韧性, 高温, 干旱, 雨洪, 海平面上升, 海绵城市

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.06.020

Action Programs of Urban Adaptation to Climate Change — Typical Domestic and Overseas Cases of Response to Meteorological Disasters

Liu Suxiao^{1,2}, Sun Landong^{1,2}, Wu Wei^{1,2}, Liu Xiaochen^{1,2}, Yang Hanwei^{1,2}

(1 Shanghai Climate Center, Shanghai 200030; 2 Key Laboratory of Cities' Mitigation and Adaptation to Climate Change in Shanghai, China Meteorological Administration, Shanghai 200030)

Abstract: This paper reviews measures, aiming to adapt high-temperature disaster, water disaster and sea level rise, taken by different countries around the world, of urban adaptation to climate change. According to analysis, there exists several universal rules of developing climate change adaptation strategies, although the geographical scales, climate conditions and social environments are various in different regions. The rules include: leading roles of governments at all levels, cooperation between different organizations, strategies adjusted to local conditions, consideration of long-term influence of climate change, sustainability of adaptation program construction, inclusion of disaster adaptation to urban infrastructure, encouragement of the whole society. Currently, comparing with developed counties or regions, although Chinese cities started relatively late on making strategies and measures related to urban climate change adaptation, some progress has been achieved with national attention, governmental leading, academic study and exploration. Some researches and projects on urban climate adaptability in some cities for the 13th Five-Year Plan have been more rational and mature. Some positive achievements in related pilot projects also exist.

Keywords: urban adaptation to climate change, resilience, high temperature, drought, rainfall flood, sea level rise, sponge city

0 引言

随着城市的快速发展, 人类活动对气候变化的影响逐渐增加。反之, 气候变化频繁引起的各类气候现象也对城市应对极端气候事件(如高温、干旱、洪水等)的能力提出了更大挑战^[1]。2002年, 倡导

地区可持续发展国际理事会(Local Governments for Sustainability, ICLEI)在联合国可持续发展全球峰会(Sustainable Development Goals, SDGs)上重提“韧性(Resilience)”概念, 描述系统在不改变自身基本状况的前提下, 对干扰、冲击或不确定性因素的抵抗、吸收、适应和恢复能力^[1]。后续研究进而由此引申出“城市韧性(Urban Resilience)”, 用以指代城市系统在受到扰动或冲击(如极端气候事件)时, 可以承受负面影响或迅速恢复原有城市功能, 并通过适

收稿日期: 2019年11月27日; 修回日期: 2020年3月13日
第一作者: 刘苏潇(1994—), Email: liusuxiao@foxmail.com

应手段更好地应对未来潜在灾害的能力^[2]。“韧性”的重提与引申,表现出21世纪以来,全球范围内对城市受气候变化影响相关研究的重视与规范化趋势,同时也反映出气候变化的进一步加剧对城市影响的逐步升级。

全球气候变化对城市的影响主要包括高温、降水、干旱、飓风、洪水、海平面上升等,这些气象灾害进而会影响城市沿海生态系统、基础设施、水资源安全、人类健康及财产安全等^[3]。具体表现为:高温会对城市的能源消耗、空气质量和居民健康产生不利影响;降雨频次的改变造成城市水资源储备的不稳定性;极端天气(如风暴、洪水、热浪及干旱等)对城市设施、系统正常运作造成冲击;海平面上升严重威胁沿海城市的城市安全等^[4]。值得注意的是,许多经济发达的城市往往位于沿海或河口三角洲地区,独特的地理位置带来经济发展潜力的同时也使得城市气候变化脆弱性较高,面对的极端气候事件更为频繁,相应的负面影响也可能更加严重。由此可见,在全球性气候变化的背景下,必须充分考虑气候变化给城市带来的潜在影响因素,对气候变化影响进行评估、预测,编制应对气候变化规划,以改进原有城市的气候适应性策略,或建立应对气候变化的新规划体系,保证城市发展的稳定与可持续性。

本文着眼于城市适应气候变化相关方案,回顾了21世纪以来,在面对由气候变化引起或激化的部分典型气象灾害或极端气候事件时,国内外部分城市、地区已采取或可能采取的最新应对策略。以期对城市适应气候变化的相关概念、发展过程及未来趋势有更清晰的认识。文章包括引言、国内外适应方案概述、常见城市气候灾害应对措施、总结四部分。其中,“国内外适应方案概述”介绍了城市应对气候变化的两项基本思路——减缓(mitigation)与适应(adaptation),并就“适应”这一方案初步展开,简要列举了近年来国内外部分已开始相关应对措施的城市范例;“常见城市气候灾害应对措施”描述了高温灾害、水灾害(含干旱和雨洪)、海平面上升3项典型气候灾害,并分别介绍分析了国内外部分城市针对单项灾害已采取或计划采取的相关措施,以期在参考城市气候适应性国际经验的同时,对国内相关领域目前的学习、发展、进步与不足进行分析与探讨。

1 国内外适应方案概述

如上文所述,目前,城市应对气候变化的方案主要从“减缓”与“适应”两方面展开^[5]。前者指采取各类措施控制温室气体排放,以控制或减少大气中

温室气体总量,延缓全球变暖的趋势,从而削弱衍生气象灾害或极端气候现象的频率、强度和影响;后者则是对实际或预期的气候变化的影响做出城市政策或建设规划方面的调整,以降低气候变化带来的潜在负面影响^[6]。换言之,适应气候变化目的是在变化发生之前,努力发展恢复力来应对潜在的气候影响,同时通过政策推行、机制设计和人财物等资源配置,更加灵活地应对气候变化、管理气候灾害风险。这种灵活应对能力,不仅包括气候灾害风险的防控能力,也保护快速恢复、可持续性发展及挖掘新的发展机遇的能力^[7]。本文也将着重对21世纪以来的部分典型“适应”方案进行回顾与探讨。

为应对气候变化引起的一系列异常天气活动对城市基础建设和系统造成的潜在社会经济损失,各国、各地方政府及相关组织在这一领域展开了积极的探索与实践。近20年来,美国纽约^[8]、芝加哥^[9],英国伦敦^[10],加拿大温哥华^[11]、多伦多^[12],丹麦哥本哈根^[13],荷兰鹿特丹^[14],南非开普敦^[15],日本东京^[13]等发达国家的部分地区已相继开展城市适应气候变化工作,目前已积累一定经验。而中国起步稍晚,但经过国家的重视、政府的主导、专家学者的研究学习后也逐步取得了一定成效。

2014年9月,国家发展和改革委员会发布了《国家应对气候变化规划(2014—2020)》,2016年2月国家发展改革委、住房和城乡建设部联合印发了《关于印发城市适应气候变化行动方案的通知(发改气候(2016)245号)》^[17],2017年2月联合发布《关于印发气候适应型城市建设试点工作的通知(发改气候(2017)343号)》^[18],将内蒙古自治区呼和浩特市、辽宁省大连市等28个地区作为气候适应型城市建设试点,一系列的举措标志着国家对于城市适应气候变化方向上的重视程度愈发提高,可以预见,在此趋势下,中国城市适应气候变化建设工作也将逐渐与国际接轨,从而步入新的里程。

2 城市气候灾害应对措施

2.1 高温

城市高温灾害是指城市中长时间处于气温过高状态,对生活在该地区的人和生物生理机制产生影响的一种气象灾害^[19]。同时,高温也会对城市的能源消耗及空气质量造成一定程度上的负面影响^[4]。目前,对于高温灾害尚未有统一的标准定义,多以日最高温度与持续时长进行判断^[20]。以中国的城市高温灾害标准为例:是指日最高气温超过35℃,并持续超过3d的高温天气^[4]。近年来,随着气候变化联动全球变暖,

城市化的进程显著改变了城市下垫面类型，导致地表储存更多的热量，加之人为热排放增加，城市热岛效应更加显著，城市极端高温屡创新高，高温日数明显增加，城市高温灾害愈加剧烈。为提高城市适应高温灾害的能力，许多国家地区的政府机构及相关领域的专家学者展开了积极的探索与实践。

2011年，为了提高城市应对极端气候能力和市民生活质量，英国伦敦发布了《城市气候变化适应战略—管理风险和增强韧性》，将适应计划分为预防（prevent）、准备（prepare）、响应（respond）和恢复（recover）4个层次，降低灾害发生前、灾害发生过程中和灾害发生后各阶段的负面影响。在应对城市高温方面，适应计划中主要行动包括了：创建气象观测网络，识别高温风险区域；增加城市绿化覆盖，增强市区热量处理容量；提高企业能源利用效率，减少热排放等。伦敦的高温适应策略，充分考虑了从灾害开始前预防到灾害结束后恢复所涉及的诸多规则与技术手段，为应对高温灾害设计了较为完备的指导方针。

2017年，针对中国城市岳阳“湖陆风”盛行，山地效应明显，城市热岛效应显著，易受高温灾害侵袭的现状，邓玲等^[21]从政策、技术、工程3个层面提出了相应建议。1) 政策方面：主要由政府引导，因地制宜地推动大规模的城市改造，包括增大绿地覆盖、采用高效高性能外墙保温系统提高建筑气密性及推广旧建筑节能改造等。2) 技术方面：加强城市气候背景分析和热岛效应评估研究、加强岳阳高温热浪脆弱性评估，以及对不同领域的影响、科学评估岳阳海绵城市工程建设对城市热岛的影响。3) 工程方面：则要进一步完善城市热岛监测系统、构建城市绿地生态系统、打通城市通风廊道。

2018年，韩贵锋等^[19]梳理21世纪以来城市高温灾害及其城市规划响应的研究脉络，揭示城市规划应对高温灾害的问题，总结主要响应途径和措施。分析得出，城市适应高温灾害的途径主要涉及土地利用、道路交通、空间结构、绿化景观及建筑等途径（表1）^[19]，这些因素与城市反射太阳辐射能力、通风散热能力、温室气体控制排放能力等息息相关。

表1 2000—2016年城市规划应对高温灾害情况^[19]
Table 1 Summary of urban planning response to high temperature disaster^[19]

城市	规划名称	空间结构	土地利用	交通	建筑	绿化景观
伦敦	《伦敦应对气候变化》		√			√
哥本哈根	哥本哈根气候计划			√	√	
马尔默	3次城市环境规划：《气候变化计划》	√	√		√	√
雷根斯堡	德国雷根斯堡太阳社区			√	√	√
斯图加特	环境气候图		√	√		√
罗马	Saline Ostia Antica				√	√
纽约	《纽约市规划报告》	√	√	√	√	
芝加哥	芝加哥《气候变化行动方案（2008）》			√	√	√
波特兰	气候行动计划		√	√	√	√
西雅图	气候行动计划			√	√	√
多伦多	《弹性城市——为极端气候事件做准备（2013）》	√		√	√	√
芬兰	Vuores生态城	√	√	√		√
首尔	《低碳和绿色增长的总体规划（2009）》			√	√	√
江陵	江陵低碳环保城	√	√	√	√	√
东京	《东京巨变：10年规划（2006）》《气候变化应对策略》			√	√	
北九州市	北九州生态工业园区			√		√
香港	《香港规划设计标准与准则》		√	√	√	√
武汉	《武汉市城市总体规划（2010—2020）》	√	√	√	√	√
上海	世博会园区（2010）	√			√	√

可以看出，城市适应高温灾害的风险，主要有4个方面不可或缺：完整的高温灾害评估体系、由微观到宏观的全面应对体系、严格的城市规划标准及气候友好型城市规划设计方法^[19]。尽管目前国内许多地区的最新高温灾害应对策略还主要停留在专家学者的理

论阶段，但香港、武汉和上海已根据自身实际情况制定并实施了相应策略。可以预见，随着全球变暖进一步引起的高温应对策略需求以及相关科学理论的完善完备，国内将有更多城市在未来拥有适合自己的高温适应方案。

2.2 水灾害

2.2.1 干旱

城市干旱和水污染、河道洪水、城市内涝等一样，都属于水灾害事件中的一员。不同于其他水灾害事件发生、发展迅速、具有突发性的特点，干旱的发生往往是一个缓慢的积累过程^[22]。在气候变化的背景下，降雨频次的改变可能导致城市水资源储备的不稳定，进而提高极端干旱事件的出现概率和强度^[23]。对城市而言，极端干旱事件可能会对城市生态、居民健康、经济发展和周边农作物产量等造成负面影响，若处理不当（如灾害期间水资源分配不均），甚至可能会在一定程度上引起社会阶层对立。对此，开普敦、伦敦和岳阳等城市已经采取了应对干旱的相应措施或从专家学者方面积极寻求具备可行性的适应方案。

以开普敦为例，其可用水资源供应主要依赖于西开普省供水系统（The Western Cape Water Supply System, WCWSS）。该系统主要由大坝和水库组成，其最初的建造标准是应对平均50年一遇的旱灾。然而，该水库储水完全依赖于降雨，整个供水系统极易受到气候变化引起的降水频率强度变化的影响，具有极大的不稳定性。2018年伊始，在连续3年降水量不足的情况下，南非共和国开普敦市面临着极端干旱事件，并几乎迎来该城市历史上出现的第一个“零日（Day Zero）”（城市可用水资源储备量低于总容量13.5%的预估日）^[15]。尽管水资源耗尽的情况最终没有到来，这场危机仍暴露出开普敦市水资源系统的供应与管理方面有所欠缺，单一的可用水资源获取方式在面对近年来发生概率及强度不断提升的潜在干旱危机时也缺乏韧性。

开普敦大学的Gina Ziervogel与Mark New在一次采访中指出：“尽管气候变化可能并非导致开普敦极端干旱事件的全部原因，但开普敦的干旱风险确实因气候变化而提高。基于全球气候模型的预测，相较于20世纪中后期开始全球变暖之前，开普敦目前的干旱风险提高了3倍，而到2040年该风险甚至可能提高4~5倍，且发生的频率也可能提高到20年一次。”这已远超WCWSS的设计应对能力^[23]。为此，帝国理工大学的Robbie Parks等人建议开普敦应该建立一项长期性的策略用以指导当地的供水用水（表2）。

在此次极端干旱事件中，考虑到与增加供水相比，对现有水资源的合理分配能以较低成本更快地产生效果，开普敦政府将限制水的供应放在首位，对水库中剩余的水资源实行配给制。该制度的重点是促进家庭的节水行为和强制控制过度用水的各类工程项

表2 城市适应极端干旱事件应对方案^[3, 15, 21, 23]

Table 2 Schemes of urban adaptation to arid extreme events^[3, 15, 21, 23]

城市	适应方案
开普敦	实行水资源配给制
	建立更合理的灾害预警系统
	增加水资源来源
	建立地方、区域和国家各级政府间的合作
	保证各部门间顺畅的信息传递与交流
伦敦	制定公平的水资源供给规划
	建立合理的节水激励机制
	发布伦敦水管理战略，包括饮用水和洪水管理
	提高用水效率，应对干旱和水资源的长期变化
	鼓励税务监管机构帮助水务公司提高节水效率，加大水利基础设施投资
岳阳	提高家庭、公共和商业建筑能源和水的利用效率
	制定干旱应急规划
	推进水资源管理思路 and 理念转变，优化水资源配置
	将气候变化影响纳入水资源评价和规划的范畴中
	通过专题研究掌握气候变化对岳阳水资源的影响，针对性地制定适应对策
	加强水资源保护体系建设、节约水资源

目。除了开普敦政府的主导作用，公民、西开普敦地方政府、私营企业和开普敦的学术界都在减少城市用水需求方面发挥了自己的价值，包括节约用水、实行阶梯式用水收费政策、安装供水管理设备、安装相关电子设备应用和减少农业用水等方面^[15]。

由开普敦、伦敦、岳阳的方案可以看出，适应气候变化加剧的干旱事件，主要需要：

- 1) 由政府主导，优化水资源管理与配置；
- 2) 将气候变化的长期影响纳入考量，建立更完善的评估与预警系统；
- 3) 提高用水效率，节约现有水资源；
- 4) 因地制宜，有针对性地建立适合当地情况的干旱应对预案；
- 5) 调动社会各阶层的主观能动性，充分利用各种渠道的社会资源。

2.2.2 雨洪

随着气候变化，许多地区（如上海、开普敦等）的降水分布逐渐发生变化，呈现出强降水增多、小雨减少、降水频率减少的长期发展趋势^[15, 24]。同时，城市化进程则会产生城市开发强度高、硬质铺装多等一系列问题，进而引起下垫面的过度硬化，改变城市原有的自然生态环境和水文特征，使得城市排水能力的增长可能落后于单次强降水强度增长，由排水不畅导致城市内涝的发生。此外，暴雨的增强还可能致使水道汛情超出原有沿岸防洪系统的防灾上限，进而引发洪灾。在气候变化的背景下，部分城市和地区原有

的防洪防汛体系已逐步显出颓势，可以预见，在不断提高防洪上限、试图杜绝洪水进入城市的传统防洪思想下建立的防洪体系，一旦面对超出原有应对上限的雨洪灾害，体量被一再提高的洪水会使沿水道城市及周边乡镇遭受严重的社会、经济损失。近年来，不同于“堵”“防”为中心的传统防洪体系，将雨洪灾害纳入城市韧性考量、具备一定灾害入城容错性的“海绵城市”体系在气候变化的背景下被众多国家、地区（美国、中国等）愈发重视^[25]。

“海绵城市”是一种城市水系统综合治理模式。其以城市水文及其伴生过程的物理规律为基础，以城市规划建设和管理为载体，将水环境与水生态紧密结合起来，形成完整的水生态服务系统。在“海绵城市”体系中，河流、湖泊、池塘等水系以及绿地、可渗透路面等城市设施，被认为是提高城市气候灾害、尤其是水灾害适应性的“海绵体”。雨水通过海绵体

渗透、滞留和集蓄，其中部分被净化后再利用，其余的经管网和泵站向外排出，以此可以缓解城市的内涝危机和压力。

然而，城市开发建设破坏了自然的“海绵体”，导致洪涝灾害频发、水环境污染、水资源紧缺和水安全缺乏保障等一系列问题的出现，而人为地建设类“海绵体”工程可以有效解决这一困境，这种建设工程即“海绵城市”的建设。顾名思义，“海绵城市”具有应对自然灾害的韧性，该城市体系可以像海绵一样在一定限度内对水资源有着吸收和释放的能力。在集中降水时，“海绵城市”设施通过自然与人造海绵体实现降水的渗透、滞留和集蓄；在干旱时期，其可以将储存和净化的雨水释放，以循环使用和排水相结合实现水的补给。对于发生频率较高降水的城市，海绵城市措施可有效贮存雨水、调控径流，缓解城市的内涝问题。

表3 雨洪管理代表方案^[26-28]
Table 3 Representative schemes of rainfall-flood management^[26-28]

国家	方案	方案特点
美国	低影响开发 (LID)	采用的是源头削减、过程控制以及末端处理方法进行渗透、过滤、蓄存以及滞留，并融合了基于经济及生态可持续发展的设计策略，减排防涝。通过一系列分布式措施来构建与自然状态下匹配的水文和土地景观，维持区域自然水文机制，以此减轻区域水文过程畸变带来的生态环境负效应
英国	可持续城市排水系统 (SUDS)	侧重“蓄存、滞留、渗透”，主要通过4种途径（蓄水箱、渗水坑、滞留池、人工湿地）处理雨水，以减轻城市排水系统的压力
澳大利亚	水敏感性城市设计 (WSUD)	侧重“净化、循环利用”，强调城市水循环过程的“拟自然设计”

海绵城市建设的核心是雨洪管理。目前，根据发达国家先行者的经验与实践，城市雨洪管理代表理念主要有3个，分别为美国的低影响开发（Low Impact Development, LID）、英国的可持续城市排水系统（Sustainable Urban Drainage System, SUDS）和澳大利亚的水敏感性城市设计（Water Sensitive Urban Design, WSUD），在适应雨洪灾害方面分别有不同的侧重点。其中，LID由于处理方面较多、符合现代城市开发建设理念，被广泛采用。

目前，中国的“海绵城市”建设大多停留在理论阶段，全面、系统的模拟及评价研究依旧在进程中。由于我国幅员辽阔，各个城市的气候条件、地理分布、水文条件差异较大，因此应根据区域的实际情况进行研究、规划，选择适合的海绵城市建设措施，并针对措施的结构、建造材料、植物选择进行深入研究，结合区域政策及经济状况，制定最合理的方案，确保海绵城市对城市内涝的防控效果。

2.3 海平面上升

近年来，由于全球变暖引起的两极冰川融化及海水的膨胀，海平面高度在全球各区域呈现不同的上

升趋势，低洼地区和沿岸系统即将经历越来越多的洪涝、下沉和侵蚀。海平面上升虽然是一个持续、缓慢的过程，但也将对海洋灾害的频率和危害程度起到推波助澜的作用。目前，海平面上升是国际社会普遍关注的全球性热点问题之一。海平面上升会淹没滨海低地，破坏海岸带生态系统，加剧风暴潮、海岸侵蚀、洪涝、咸潮、海水入侵与土壤盐渍化，威胁沿海基础设施安全，给沿海地区经济社会发展带来多方面的不利影响^[29]。

新加坡作为一个四面环海，占地719.1 km²（2015年）的岛国，填海造地是其解决地形制约所贯彻的主要发展策略之一（图1），相关工程的历史可以追溯到1819年^[28]。可以预见，气候变化引起的海平面上升将对其沿海地区的人员、设施、财产安全和现有国土面积造成巨大威胁。对此，新加坡政府针对气候变化与海平面上升问题制定了相应的适应策略。首先，总理办公室成立了直属部门——国家气候变化委员会（The National Climate Change Secretariat）来负责协调新加坡的气候变化事宜，并统辖城市建设、环境、基础设施等多个国家部门和机构。其次，新加坡还设立了多个专门的研究机构，比如依托南洋理工大学建

图1 新加坡填海时间梯度^[30]Fig. 1 Time gradient of sea reclamation in Singapore^[30]

立了灾害风险研究所，依托新加坡国立大学建立了风险管理研究所和热带海洋科学研究所，分别针对气候变化和海平面上升等问题做出策略分析和研究^[31]。在实际应对中，考虑到撤退沿海居民、设施的“退让”政策会使得已开发建设完成的核心城市、港口损失过大，新加坡政府主要采取了风险评估、保护措施、适应措施等手段（表4）。

除了新加坡，美国、澳大利亚、南非在应对海平面上升的问题上也有着积极探索，其在各级政府主导下逐步完善起来的、用以保障相关灾害适应性措施实施的法律体系尤为突出^[29]，可以看出，城市适应海

表4 新加坡应对海平面上升主要措施^[31]Table 4 Main measures in Singapore response to sea level rise^[31]

措施	目的	具体行动
风险评估	预测气候变化对新加坡海平面上升程度的影响和对公共卫生、能源消耗及生物多样性的长效影响	2007年，新加坡国家环境局委托新加坡国立大学热带海洋科学研究所从事新加坡脆弱性研究 2013年，根据研究成果，新加坡建设局于制订出了新加坡风险地图，这份地图清晰表明新加坡各个沿海区域对海平面上升和气候变化的风险等级，从而指导城市开发和建筑设计
保护措施	通过工程技术手段阻止和减少海平面上升和极端海平面事件对城市造成影响。通过工程手段增强海岸的抵御能力（硬质保护）	硬质保护：在建设局专门设立了海岸与工程管理部，专门负责海岸的防护问题。目前大概70%~80%的新加坡的海岸是由海墙和防波堤组成，仅小部分保留了部分自然海岸。众多工程中，2007年建成的滨海湾大坝（Marina Barrage）是较为突出的成果之一，具备淡水储备、泄洪防涝与作为城市公共空间3项功能
	生态修复和海滩养护（软质保护）	软质保护：由新加坡公园局领导，成立一个多学科的团队，目标修复新加坡周边的红树林，用更加可持续的、对环境更加友好的软质工程来保护海岸地带，提案之一是建设一个由礁石和红树林组成的并且能够被降解的保护环来保护新加坡的沿海区域
适应措施	通过在城市空间和建筑设计等方面采取行动，保证在海平面上升的情况下，城市能够正常运转	环境与水资源管理局对洪水保护措施和排水工程进行普查和重新设计，以提高新加坡抗击洪水的能力 公共事务局正在协同新加坡水资源管理部门升级洪水管理和预测的系统，通过模型模拟、加宽排洪渠和拓宽排水沟等方式来提高新加坡抵抗灾害的能力

平面上升的措施依旧是由政府主导，将气候变化的长远影响代入相关评估和预测研究系统中，并根据结果制定相关政策、法规，以指导后续工程建设。除此以外，根据潜在受灾地区的当地实际情况因地制宜制定方案，贯彻可持续发展思路，更多考虑“适应”而非“防御”（“海绵城市”思路），是目前城市应对海平面上升的主体思路。

3 结论

本文通过对高温灾害、水灾害、海平面上升3项典型气候灾害及全球部分地区近年来的相应适应措施进行了回顾。可以看出，尽管城市的城市规模、气候条件与人文环境不尽相同，但其在气候变化方面的适应策略却存在一定的共通性，包括：1）各地、各级政府机构在城市适应气候变化治理中处于主要领导地位；2）各地、各级政府机构均要保持有力、畅通的交流与协作；3）策略的制定需要因地制宜，应符合当地的气候、地理环境、经济发展水平和基础建设状况；4）将气候变化的长远影响纳入考量，远近结合，即解决当前危机，也有着持续的评估系统，能防范未来的潜在风险；5）在适应性工程的建设上考虑

可持续性；6）提升城市韧性，将灾害适应性纳入城市基础建设；7）调动社会各阶层的积极性，充分利用各种渠道的社会资源。

在城市适应气候变化方面，国外城市，尤其是欧美发达国家地区的策略比国内城市发展更早，应对极端气候事件的基础建设与处理经验也更为丰富，有着比较重要的参考借鉴价值。中国由于发展中国家的特殊性质，在早年有着更为现实的问题（例：生产力低下、经济发展缓慢、人民物质生活水平不平衡）需要优先解决，对城市适应气候变化方面的研究与发展有所忽视，甚至在一定程度上背道而驰（过度城市化）。此外，中国幅员辽阔，各地的气候条件、地理分布、水文条件差异较大，不能一概而论，需要因地制宜的特性，也给城市气候变化适应性的全面推广与提升带来一定难度，使得目前这一领域的诸多举措依旧暂留在理论评估的层面上。然而，随着国内政府的重视、社会意识的觉醒，以及相关领域专家学者对国外先进经验的学习、研究与探索，可以看出，中国部分地区在“十三五”期间对于城市适应气候变化策略的建议与策略制定已经表现出更高的合理性与成熟

性, 部分地区的试点改造也在一定程度上取得了积极成果。尽管如此, 城市应对气候变化的工作依然任重道远, 今后也需要更多的政策支持及人力、科技与经济投入。

参考文献

- [1] 郑艳. 推动城市适应规划构建韧性城市: 发达国家的案例与启示. 世界环境, 2013(6): 50-53.
- [2] Tyler S, Moench S. A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 2012(4): 311-326.
- [3] 冯潇雅, 李惠民, 杨秀. 城市适应气候变化的国际经验与启示. 生态经济, 2016(11): 120-124, 135.
- [4] 管力. 韧性城市下应对气候变化的适应性规划探索. 共享与品质: 2018中国城市规划年会论文集(01城市安全与防灾规划). 中国城市规划学会、杭州市人民政府、中国城市规划学会, 2018: 9.
- [5] 国家发展和改革委员会. 国家应对气候变化规划(2014—2020). 2014 [2019-08-20]. <http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/W020141104584717807138.pdf>.
- [6] 洪亮平, 华翔, 蔡志磊. 应对气候变化的城市规划响应. 城市问题, 2013(7): 18-25.
- [7] 姜允芳, Eckart L, 石铁矛, 等. 城市规划应对气候变化的适应发展战略: 英国等国的经验. 现代城市研究, 2012, 27(1): 13-20.
- [8] The City of New York. PlaNYC 2030: a greener, greater New York. 2019 (2019-08-15). <https://www1.nyc.gov/site/sirr/report/report.page>.
- [9] 杨佳杰, 朱霞. 大城市气候响应规划研究: 以“芝加哥气候行动计划”为例. 中国城市规划年会论文集, 2015: 430-438.
- [10] Greater London Authority (GLA). Managing risk and increasing resilience: the mayor's climate change adaptation strategy. 2011 [2019-10-26]. <http://www.london.gov.uk/sites/default/files/Adaptation-oct11.pdf>.
- [11] The Vancouver City Council. Climate change adaptation strategy. (2012-11-07)[2019-06-25]. <http://vancouver.ca/files/cov/VancouverClimate-Change-Adaptation-Strategy-2012-11-07.pdf>.
- [12] Toronto Environment Office, City of Toronto. Ahead of the storm preparing Toronto for climate change. 2008 [2019-04-18]. http://www.toronto.ca/teo/pdf/ahead_of_the_storm.pdf.
- [13] The City of Copenhagen. Copenhagen climate adaptation plan. 2015 (2019-02-19). <http://www.kk.dk/english>.
- [14] The City of Rotterdam. Rotterdam climate adaption strategy. (2012-12-10) [2019-01-10]. http://www.deltacities.com/documents/20121210_RAS_EN_lr_versie_4.pdf.
- [15] Parks R, McLaren M, Toumi R, et al. Experiences and lessons in managing water from Cape Town. Grantham Institute Briefing

- paper, 2019.
- [16] 杨巍, 高续续. 三大世界城市应对气候变化的经验与启示. 北京化工大学学报: 社会科学版, 2015 (2): 46-50.
- [17] 国家发展和改革委员会, 住房和城乡建设部. 关于印发城市适应气候变化行动方案的通知(发改气候〔2016〕245号). (2016-02-16) [2019-08-20]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201602/t20160216_774721.html.
- [18] 国家发展和改革委员会, 住房和城乡建设部. 关于印发气候适应型城市建设试点工作的通知(发改气候〔2017〕343号). (2017-02-27)[2019-08-20]. <http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201702/W020170227362192328438.pdf>.
- [19] 韩贵锋, 陈明春, 曾卫, 等. 城市高温灾害的规划应对研究进展. 西部人居环境学刊, 2018, 33(2): 77-84.
- [20] Robinson P J. On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*, 2001, 40(4): 762-775.
- [21] 邓玲, 彭洁, 李好, 等. 城市发展适应气候变化策略研究: 以岳阳为例. 中国气象学会第35届中国气象学会年会 S6 应对气候变化、低碳发展与生态文明建设. 中国气象学会: 中国气象学会, 2018: 10.
- [22] 李少轩. 干旱事件的过程化描述及其识别应对研究. 西安理工大学, 2019.
- [23] Ziervogel G, New M, Liu W. Making cities water-wise and climate-resilient: lessons and experience from the Cape Town drought. *Landscape Architecture Frontiers*, 2019, 7(3): 94-99.
- [24] 上海市气候变化研究中心, 上海市节能减排中心. 上海市“十三五”适应气候变化专门规划(上报稿). 2016(10).
- [25] 朱黎青, 彭菲, 高翅. 气候变化适应性韧性城市视角下的滨水绿地设计: 以美国哈德逊市南湾公园设计研究为例. 中国园林, 2018, 34(4): 41-46.
- [26] Liu Y. The reference value of American low impact development to the theory and application of Chinese sponge city. *Proceedings of the 2019 3rd International Forum on Environment, Materials and Energy (IFEME 2019)*, 2019.
- [27] Arahueta A, Olcina J. The potential of sustainable urban drainage systems (SuDS) as an adaptive strategy to climate change in the Spanish Mediterranean. *International Journal of Environmental Studies*, 2019, 76(2): 1-16.
- [28] Kazemi F, Golzarian M R, Myers B. Potential of combined water sensitive urban design systems for salinity treatment in urban environments. *Journal of Environmental Management*, 2018, 209: 169-175.
- [29] 李梦琦, 王慧. 域外国家沿海地区适应海平面上升的法律保障机制及启示. 浙江海洋大学学报: 人文科学版, 2018, 35(5): 1-7.
- [30] 周韵, 陈天, 张赫. 新加坡填海造地地区的空间演变与规模变化趋势. 国际城市规划, 2016, 31(3): 71-77.
- [31] 王量量, 韩洁. 新加坡海平面上升应对策略对我国沿海城市发展的启示. 城市建筑, 2017(28): 119-123.

(上接117页)

据支撑, 做到生态公平优先, 兼顾经济公平。当然, 想要实现大气环境资源的长期有效配置, 还要结合地区经济差异, 核算污染物排放的边际影响和经济损失, 进而通过大气环境资源的有效定价来实现长期可持续发展。

参考文献

- [1] 蔡银寅. 大气污染治理的经济学方法. 北京: 科学出版社, 2017.
- [2] Zivin J G, Neidell M. Environment, health, and human capital. *Journal of Economic Literature*, 2013, 51(3): 689-730.
- [3] 蔡银寅, 马力. 数值化的大气环境资源——2017年中国大气环境资源统计与政策建议. 阅江学刊, 2018, 10(5): 30-40.
- [4] Muller N Z, Mendelsohn R, Nordhaus W. Environmental accounting for pollution in the United States economy. *The American Economic Review*, 2011, 101(5): 1649-1675.

- [5] 蔡银寅. 中国大气环境资源报告2018. 北京: 社会科学文献出版社, 2020.
- [6] 柴发合. 我国大气污染治理历程回顾与展望. *环境与可持续发展*, 2020, 45(3): 5-15.
- [7] 胡德志. 重要的地理分界线. 学知报, 2011-8-1-B03.
- [8] 胡焕庸. 中国人口之分布: 附统计表与密度图. *地理学报*, 1935, 2(2): 33-74.
- [9] 龚胜生, 陈云. 中国人口疏密区分界线的历史变迁及数学拟合与地理意义. *地理学报*, 2019, 74(10): 2147-2162.
- [10] 程叙耕, 何金海, 车慧正, 等. 1980—2010年中国区域地面风速对能见度影响的地理分布特征. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1832-1839.
- [11] 贾艳红, 陆赛娣, 冯小莉, 等. 中国雾霾分布及其组成相关性分析. *测绘与空间地理信息*, 2015, 38(12): 9-12.
- [12] 柴发合, 王淑兰, 王鐸一, 等. 中国城市空气质量分级管理战略探讨. *环境与可持续发展*, 2011, 36(5): 5-7.
- [13] Ng Y K. Quasi-Pareto to social improvements. *The American Economic Review*, 1984, 74(5): 1033-1050.