

上海城市适应气候变化关键技术研究进展

吴蔚¹ 田展¹ 胡恒智¹ 刘校辰¹ 孙兰东¹ 董广涛¹ 穆海振² 谈建国¹

(1 上海市气候中心, 上海 200030; 2 上海气象信息与技术支持中心, 上海 200030)

摘要: 以上海为例, 围绕如何提高城市适应气候变化能力问题, 从百年监测诊断和统计动力降尺度预估等气候监测预估技术, 针对防汛、农业和能源消耗的城市气候变化重点领域影响评估技术, 面向基础设施、城市弹性及适应性措施评价的城市气候风险评估决策支持技术三个方面, 系统地分析和总结了上海在城市适应气候变化关键技术研发方面的创新成效, 并提出城市适应气候变化未来可能的发展方向, 以期为今后中国其他城市适应气候变化研究和行动方案制定提供理论依据和技术支撑。

关键词: 城市气候变化, 适应理论, 关键技术, 研究进展

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.016

Progress of Key Technologies for Climate Change Adaptation in Shanghai Urban

Wu Wei¹, Tian Zhan¹, Hu Hengzhi¹, Liu Xiaochen¹, Sun Landong¹, Dong Guangtao¹, Mu Haizhen², Tan Jianguo¹

(1 Shanghai Climate Center, Shanghai 200030; 2 Shanghai meteorological information and technology support center)

Abstract: This work sets Shanghai as a demonstration to address on the issues that how to improve climate change adaptation. We focus on three aspects in terms of climate monitoring (diagnostic analysis of more than 100 years' observation data) and prediction technique (statistical and dynamic downscaling method), climate change assessment technique (for flood, agriculture and energy) and urban climate risk assessment decision support technique (including the urban climate disaster and infrastructure risk assessment tool, RDM method and urban simulator). It analyzes and summarize the innovation of core techniques on urban climate change adaptation and proposes direction of future development in order to provide theoretical basis and technical support for other cities' implementation of climate change research and action plan.

Keywords: city climate change, adaptation theory, key technologies, research progress

0 引言

上海是国内最大的沿海城市, 也是我国气候变化脆弱区之一^[1]。不断加剧的城市化和气候变化增加了城市对极端天气气候事件的暴露度和脆弱性, 气象灾害造成的损失逐步放大, 适应气候变化事关人民生活、生活安全, 是实现可持续发展的内在要求, 也是上海当前和未来面临的严峻挑战。开展气候变化的事实分析和未来预估, 评价气候变化对城市的影响, 研发城市适应气候变化决策服务技术, 将科学研究有效转化, 为社会和决策提供服务, 以提高城市适应气候变化的韧性, 保证城市的可持续发展, 是上海城市气

候变化研究领域的核心内容, 也是上海提高适应气候变化技术研发的主要方向。

针对气候变化的关键科学和技术问题, 上海气象部门协调整合国内外创新资源, 加强自然科学与社会科学、基础研究与技术开发之间的融合, 促进原始创新, 实现应对气候变化科技工作的跨越式发展, 为今后中国其他城市适应气候变化科技政策制定提供理论依据和技术支撑。

1 气候变化监测预估关键技术

气候变化监测预估作为防御极端天气气候事件和应对气候变化的基础性工作, 既为气候变化服务提供气候背景, 也为气候变化对各领域的影响评估提供数据支撑^[2]。发展气候变化监测预估技术, 不仅是气象部门自身业务发展的需要, 也是实现气候变化现代化的核心要求。

1.1 百年监测诊断技术

上海徐家汇气象观测站自1873年建站至今已积累

收稿日期: 2017年6月26日; 修回日期: 2017年10月25日
第一作者: 吴蔚(1986—), Email: ruogan0000@163.com
资助信息: 国家自然科学基金青年基金项目(41401661);
国家自然科学基金项目(41671113); 国家重点研发计划(2016YFC0502700); 华东区域气象科技协同创新基金合作项目(长三角城市群气候变化风险评估)

了144年连续资料，是我国有最长连续观测资料的气象站。开展近百年来气候因子及极端气候事件变化趋势分析，对于检测人为和自然因子对过去气候变化的贡献、检验和改进用于气候变化预估的气候系统模式、评价气候变化对自然和人类系统的影响具有重要的科学意义^[3]。

上海市气候中心融合百年长序列气象观测资料与现代高密度综合探测网观测资料，揭示上海暴雨、大风、高温等极端天气气候事件发生频次、强度的变化规律，定量评估城市化效应和全球气候变化在区域气候变化中的贡献。采用年最大值法和修正的年最大值两种选样方法，重新编制了上海不同历时暴雨强度公式（图1a）；采用极值I型和皮尔逊-III型分布，估算了上海市不同重现期最大风速的时间变化以及各区不同重现期最大和极大风速的空间分布。结果表明，南汇地区风速最大，中心城区最小（图1b）；利用1931—1940年和2005—2014年徐家汇气象观测站逐小时气温观测资料分析了上海大规模城市化前后日内气温的变化特征。结果表明，1931—1940年，日出后

（07、08时）的平均升温速度显著高于2005—2014年，午后（14时）降温开始时1931—1940年的降温速率又高于2005—2014年；利用观测减去再分析法和城乡差异法估算了华东区域城市化等土地利用变化对气温的影响，结果表明，上海中心城区增温的三分之二左右很可能来自于下垫面的改变^[4]。

以上相关研究成果在上海市防汛期气候趋势预测专题会和市防汛动员会会议材料准备、上海城市户外广告牌抗风参数制定、上海市水务规划编制等工作中得到应用，为上海城市有效应对极端天气气候事件、制定合理的防灾减灾对策措施提供了科学依据。

1.2 动力降尺度预估关键技术

全球气候模式是进行气候预估的主要手段，但其较粗的分辨率不能精确地描述复杂地形、地表状况和某些物理过程，导致在区域尺度的气候模拟及气候变化试验等方面产生较大偏差。在较粗分辨率的全球气候模式中嵌套高分辨率区域气候模式的动力降尺度方法，含有明确的动力学意义，是目前获得高分辨率情景数据的有效方法^[5]。

上海市气候变化研究中心利用CMIP3/CMIP5中多个全球气候模式情景数据，驱动国际上应用最为广泛的区域气候模式，包括意大利理论物理中心ITCP的RegCM系列区域气候模式（RegCM3模式和RegCM4模式）、英国气象局哈德莱中心的PRECIS模式以及美国NCAR的WRF模式，将全球气候模式的大尺度信息应用于城市尺度的气候变化预估，实现了不同区域模式的本地化运转，构建了华东区域高分辨率情景数据的动力降尺度模型，制作了覆盖华东区域的高分辨率情景预估数据集，如利用全球气候模式CCSM4情景数据驱动区域气候模式RegCM3建立了分辨率为15 km×15 km的华东区域气温和降水情景预估数据集，被广泛应用于极端气温降水台风事件等的预估以及气候变化对电力、农业及防汛排涝等领域的影响评估，为城市气象灾害风险评估提供高时空分辨率的基础数据。

1.3 统计降尺度预估关键技术

统计降尺度方法由于计算条件要求低、耗时时间短，在气候预估中被广泛应用。基于累计概率分布订正的分位数映射方法是目前较为常用的统计降尺度方法^[6]。在选定的控制时段内，分别计算观测和模拟值的累计概率分布函数，通过构建传递函数，订正其他时段内模拟值的累计概率分布函数，最终达到订正模拟值偏差的目的。上海市气候中心将该方法应用到上海日降水的统计误差订正中，建立了上海日降水数据

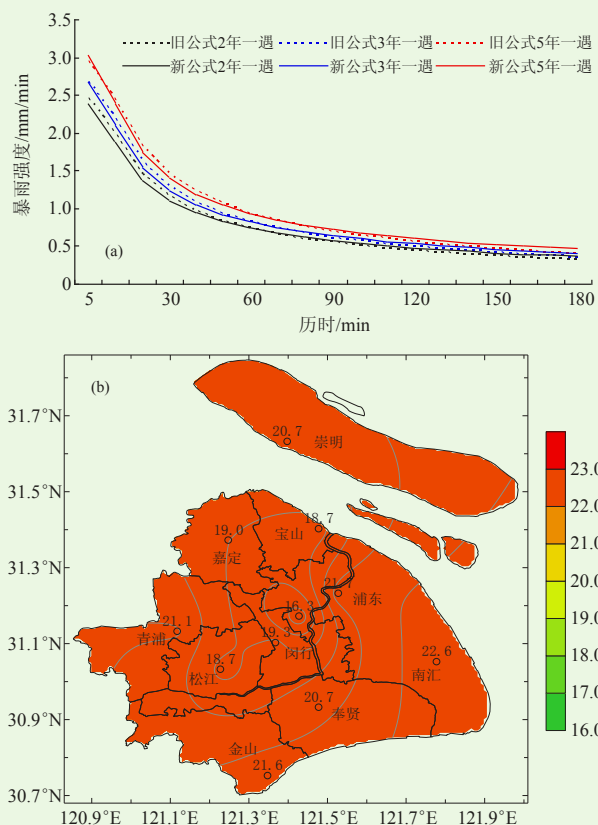


图1 上海地区新制公式与旧公式的设计暴雨强度比较 (a) 和50年重现期最大风速空间分布 (b)

Fig. 1 Comparison of designed storm intensity in Shanghai calculated by the new formula with old formula (a) and the spatial distribution of maximum wind speed in 50 year recurrence period (b)

的统计降尺度模型。该模型不需要样本遵从一定的分布，计算量小，推广性强，可应用到其他观测要素和站点区域。

基于1961—2015年上海降水观测数据和8个全球气候模式（GCMs）日降水量数据，采用累计概率分布函数转换模型（CDF-T）构建了站点尺度日降水量的统计降尺度模型（图2）。结果表明，降尺度模型显著改善了GCMs对降水日数偏多、降水强度偏低和降水量偏少的模拟。与利用全年日降水序列建模结果相比，利用汛期日降水序列建模提高了汛期降水的累计概率分布曲线、总降水量、降水强度和年平均暴雨日数、暴雨量、暴雨、强度的均值和变化趋势的降尺度效果。模型对较长年份的暴雨重现期订正效果更佳。CDF-T降尺度模型可以为站点尺度气候变化影响评估和未来预估提供降尺度技术和基础气候数据。

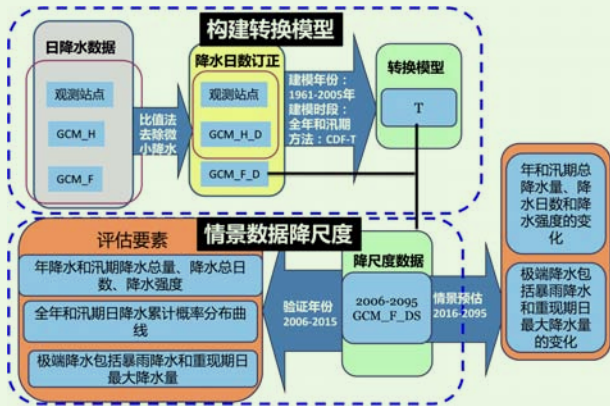


图2 基于累计概率分布订正的上海日降水量统计降尺度模型
Fig. 2 The statistical downscaling model for daily precipitation in Shanghai based on the bias correction method called cumulative distribution function-transform

2 气候变化影响评估模型

近年来，上海气象部门在国家自然科学基金、中国气象局气候变化专项和上海市节能减排项目的支持下，针对防汛、农业和能源等城市敏感领域建立了定量评估模型，为上海城市安全运行和防灾减灾能力提升提供了科学保障。

2.1 城市洪涝风险综合评估模型

1981年以来，上海市降水强度增加、极端性增强，城镇排水基础设施压力增大，防洪（潮）实际设防标准降低。2013年“菲特”台风期间，首次出现了“风、暴、潮、洪”四碰头，松江、青浦等地河水漫溢。综合考虑气候变化、海平面上升、地面沉降等因素影响，预计上海未来面临的极端暴雨洪涝灾害的风险将继续增大。因此，有必要系统分析和研究上海城市内涝风险，研发专业模型，保障上海城市安全。

基于SCS-CN（soil conservation service-curve number）径流曲线法^[7]和有限体积迭代方案，通过地表径流量计算出的积水量，结合通过土地利用类型修正的上海市城区DEM数据和上海市城区排水单元排水能力数据，采用“有限体积法”迭代计算方案，开发了上海市中心城区内涝风险分析系统，实现了网页端上海中心城区雨量雨情的空间插值，基础地理要素的叠置分析与可视化显示及淹没深度与范围的精细化模拟（图3）。以小时暴雨强度5年重现期情景对应的模型模拟淹没结果为例，上海市城区水淹的高风险区主要在杨浦，虹口、黄埔和徐汇区的浦西沿岸区域，静安、长宁和徐汇西部的低洼地区也存在的内涝高风险地块。该系统不仅可以应用于内涝灾害静态风险评估业务中，也可应用于灾害影响预报等实时业务中，应用前景较好。

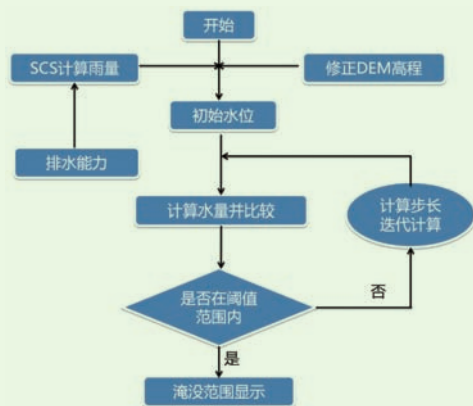


图3 上海市中心城区内涝风险分析系统技术流程图
Fig. 3 The technical flow chart of water logging risk analysis system for Shanghai central district

城市内涝灾害评估不仅要考虑降水等外部因素的影响，还要考虑洪水演进等动态过程。ICM Infowork水文水动力模型^[8]具有处理复杂洪涝模拟过程的能力，可以耦合模拟城市一维的河道和管网汇水增水以及城市二维暴雨内涝引发的洪水演进过程，实现多源多维洪涝动态模拟。上海市气候变化研究中心利用该模型，基于实况水位和降水数据模拟了“9711台风”引发的极端“风、暴、潮、洪”四碰头事件对上海市的影响（图4），结果与实况非常一致。该模型与上海市中心城区内涝风险分析系统相结合，实现了城市内涝灾害风险静态和动态的多维评估，为城市防汛排涝政策制定提供技术支撑。

2.2 多尺度的数据融合与跨尺度的模拟作物生产力机理模型

农业生态系统对环境变化的响应，既有农作物个体的生理生态过程反应，也有系统整体的适应性变

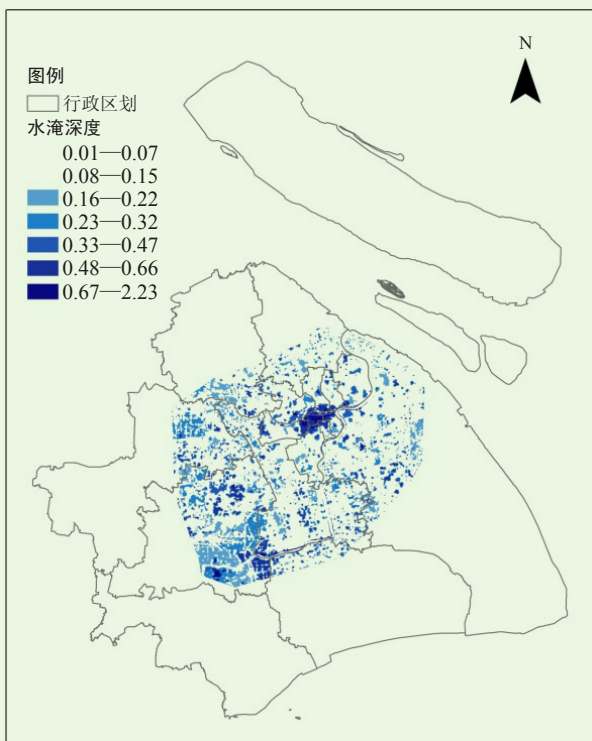


图4 ICM Infwork水文水动力模型模拟的“9711台风”引发的上海“风暴潮洪”四碰头极端洪涝耦合
Fig. 4 The simulation based on the hydrological and hydrodynamic model called ICM Inf-work for an extreme flood caused by the No.11 typhoon in 1997 when typhoon, rainstorm, storm surge and upstream flood accrued simultaneously

化，目前对农业生态系统单一尺度上的观测、模拟，无法对此响应过程进行全面认识。上海市气候变化研究中心通过构建跨尺度农业生态机理模型，深入研究农业生态系统不同尺度间机理过程的相互作用，并以两种典型的农作物生态模型（DSSAT模型与AEZ模型）为基础，提出了跨尺度数据模型融合方法（图5），该方法的应用可以为超大城市粮食自给率保障措施制定

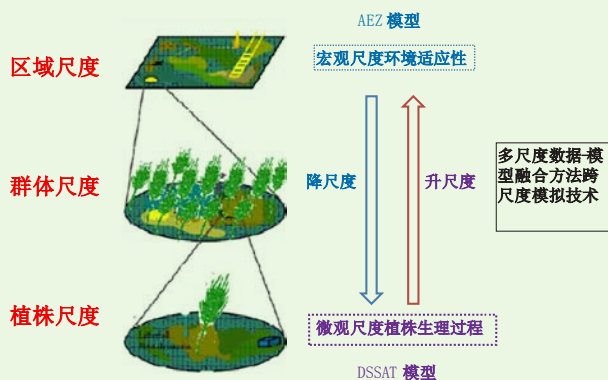


图5 AEZ模型与DSSAT模型的跨尺度融合方法流程
Fig. 5 The flow chart of the cross scale fusion method of AEZ model and DSSAT model

提供技术参考。

在系统处理和分析作物生态系统在不同尺度上（植株个体—作物群体—区域生产力）获得的数据（田间试验数据、遥感观测数据、区域统计数据）的基础上，应用生态系统等级尺度概念，将数据模型融合和升尺度与降尺度技术相结合，并结合基于站点机理模型（DSSAT）与农业生态区模型（AEZ）发展和建立了跨尺度模拟的作物生产力机理模型，模拟了上海区域适应气候变化的最优种植制度。研究结果表明：上海市粮食作物气候适宜熟制从上世纪七八十年代的“两熟富裕，三熟紧张”转变为近10年稳定的三熟气候适宜熟制。该模型除用于农业种植制度的评估还可以运用到气象灾害对作物生产的影响分析。

2.3 气象—能耗—碳排放影响评估模型

随着全球气候变化和能源紧缺的加剧，未来能源需求问题将越来越严重。但由于数据的可获取性和模式的局限性，目前国内外研究多集中于与气候密切相关的居民、商业制冷和取暖的需求^[9-10]，对其他主要行业的影响研究较少。另外，目前针对国家尺度或者家庭、企业等微观尺度的研究较多，对于城市这种中等尺度的研究，尤其是全面系统分析气候变化对城市部门影响的研究更加少。因此，十分迫切需要建立一种能够全面系统分析气候变化对于城市尺度能源消耗及其碳排放影响的评价方法。

上海市气候变化研究中心选用日最高温度、日最低温度、日平均相对湿度，采用逐步回归法，建立高温期间日用电量和日最高用电负荷气象变化量的线性评估模型，回归效果显著，同时将模型计算出的气象变化量拟合值与实测值比较，误差较小。基于上述统计关系，利用投入—产出分析方法^[11]，将气候变化因子与投入—产出模型进行耦合，构建了两个气象—能耗—碳排放的评估模型，分别为“内生型”模型（图6左）和“外生型”模型（图6右）。该模型可分析在能源部门总产出有限的情况下，由于能源重新分配而引起的社会各部门系统总投入产出变化及碳排放量的变动。基于模型算法开发了“气候变化对城市能源及碳排放影响评估”软件，实现了模型的自动化计算。上述研究成果可为上海电力部门合理调电、保障电网安全运行提供决策服务，并可应用于评估气候变化给高敏感部门所带来的经济损失和碳排放量变化。

3 气候变化风险评估方法

近年来，上海市气候变化研究中心不断拓展和深化城市适应气候变化研究国际合作网络，通过邀请国外专家来沪交流指导、派遣专业技术人员赴国际领

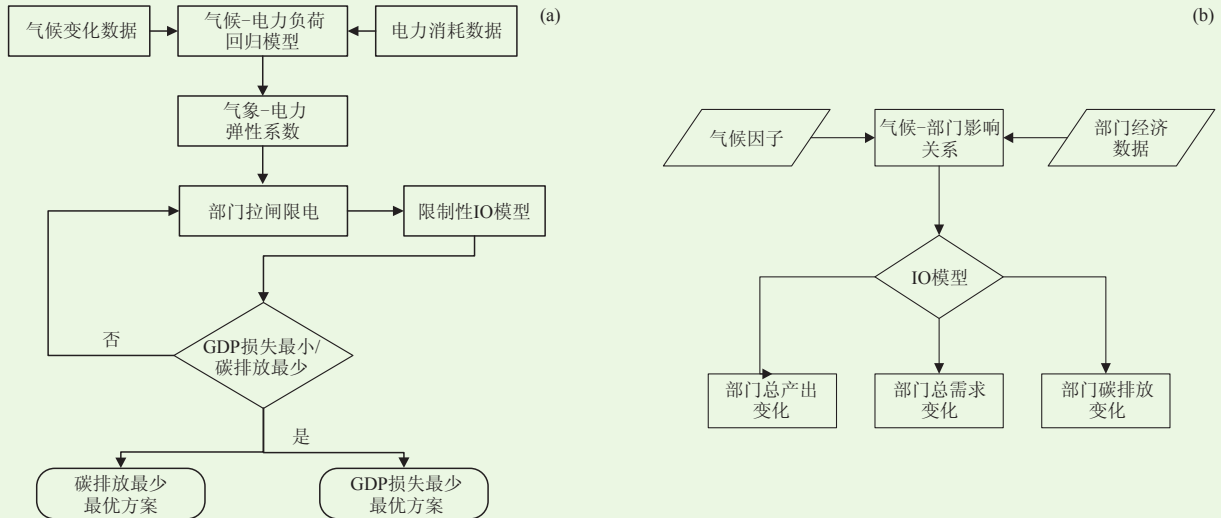


图6 气候变化-能耗-碳排放模型技术流程图：(a) 内生型，(b) 外生型

Fig. 6 The technology flow chart of climate change-energy consumption-carbon emission model for endogenous (a) and exogenous (b)

先机构学习培训、联合开展国际合作项目研发等方式，针对城市气候变化综合风险评估和气候变化适应性对策定量评价等方面，完善了上海市气候风险评估决策支持技术体系，为城市应对气候变化提供决策服务支撑。

3.1 城市气候灾害与基础设施风险评估工具

基础设施是现代城市运行的重要基础^[12]。但是，随着气候变化和城市化进程的加快，城市基础设施越发复杂，脆弱性也随之增强。在城市灾害频发的情况下，脆弱的基础设施往往首先显现，城市运行可能因此中断，并导致灾害影响被放大。因此，科学评估城市气候灾害与基础设施风险，提高城市适应气候变化的弹性，是城市安全运行的重要保障。

2016年，在中国繁荣基金战略项目的支持下，上海市气候变化研究中心利用城市气候灾害与基础设施风险评估工具，选择上海、杭州、镇江作为案例城市，率先在长三角地区开展城市重点领域（交通、水务、能源、电信和建筑等）基础设施风险评估。通过观测数据科学分析、重点领域专家调研、气候模式未来预估等方法，从城市信息（模块0）、目前以及未来城市气候灾害评估（模块1）、基础设施系统目前以及未来的暴露度（模块2a）、基础设施脆弱性评估（模块2b）和基础设施部门之间依赖度评估（模块3）五个部分，构建了城市气候灾害与基础设施风险评估工具模型（图7）。

结果表明，对上海城市基础设施影响最大的四种气象灾害分别是暴雨、台风、热浪和暴雨引起的城市内涝。目前，大多数基础设施（水，能源，通信

以及交通系统）的气候风险呈现高暴露度和低脆弱性特征，这表明虽然上海市基础设施先天位置对于气候风险的暴露度很高，但由于设计及维护的合理，脆弱性较低，总体风险趋于可控。但是，上海的城市建筑基础设施当前呈现较低暴露度和较高脆弱性特征，未来暴露度有所增加，并且脆弱性也加大。浙江杭州市的大多数基础设施（水，能源，通信，主要建筑以及交通系统）分布呈现高暴露度中等脆弱性，总体风险趋于可控。未来，通信领域和能源领域的脆弱性有所增加。江苏镇江市的大多数基础设施（水，能源，通信，主要建筑以及交通系统）呈现高暴露度高脆弱性，这表明虽然无论是当前还是未来，镇江市的基础设施先天位置对于气候风险的暴露度和脆弱性都比较高。该工具模型可以推广应用于国内外其他城市，为城市识别最佳的气候适应行动方案提供参考。

3.2 稳健决策法

城市适应气候变化对策措施的制定需要充分考虑未来气候变化的风险。在短期内气候变化预估精确度无法有效提高的困难下，依赖预估结果的传统风险分析决策方法无法解决深度不确定性情景下的风险评估及决策量化问题，如何制定有效可行的适应对策成为决策者和科学家共同面临的难题。近年来，以稳健决策为基础的理论方法在国际上大量涌现，并针对未来海平面上升、暴雨洪涝等问题进行了模拟和风险评估^[13-15]。这些方法提出了解决不确定问题的新思路，尤其是目前国际上最具有代表性的鲁棒决策法（robust decision making, RDM）。

RDM 基本思想不是使用计算机模型和数据来做



图7 城市气候灾害与基础设施风险评估工具结构图
Fig. 7 The structural diagram of assessment tool for urban climate disaster and infrastructure risk

出最佳的预测，而是基于成百上千套假设的模型来模拟潜在决策计划在未来各种可能情景下的实施情况。基本步骤（图8）包括：①明确问题现状，提出政策措施（决策构建）；②基于未来不确定性构建未来情景（案例生成）；③根据脆弱性分析判定各政策措施在不同未来情景下的表现，判断政策措施是否达标，发现存在漏洞的情景（情景分析）；④分析各政策措施提升城市适应气候变化能力及其经济效益比（权衡分析）；⑤制定适应策略（鲁棒政策）。RDM 理论使用 XLRM 决策矩阵列举所有潜在不确定性（uncertainties, X）因子、理清政策措施（policy levers, L）、构建关系模型（relationships, R）以及提出评价标准（measures, M）。

上海市气候变化研究中心在中国气象局气候变化专项“基于 RDM 方法的城市暴雨内涝防治对策评估技术研发”的支持下，基于RDM理论思想，以上海城市暴雨内涝防治对策为例，实现了RDM方法XLRM矩阵框架的本地化研发（表1）。利用XLRM矩阵分析法

定量评估了未来适应措施（排水能力增强，绿地面积增加）的表现情况，计算了适应措施的经济效益比及其适用范围。结果表明：对策组合排水能力提高+公共绿地+30%深隧（D+G+T30）为兼顾减灾效果且符合海绵城市建设理念行之有效的适应对策，为上海市防汛内涝决策制定提供了科学参考。

表1 基于XLRM的矩阵分析框架请改为三线表
Table 1 The matrix analysis framework based on XLRM

不确定性因子 (uncertainties, X)	政策措施 (Policy Levers, L)
气候不确定性因子 • 海平面上升 • 影响台风 • 未来降水趋势 • 上游洪水 城市化 • 未来人口 (待研究) • 未来经济 (待研究)	现有防御设施基础 非工程性适应措施 • 洪水保险补贴 (待研究) 工程性适应措施 • 城市公共绿地建设 • 城市排水管网建设 • 城市地下深隧建设
关系模型 (Relationships, R)	评价标准 (Measures, M)
上海市暴雨内涝模型 风险评估模型 • 经济损失 • 人口影响	淹没深度/范围 潜在经济损失减少率 受影响人口

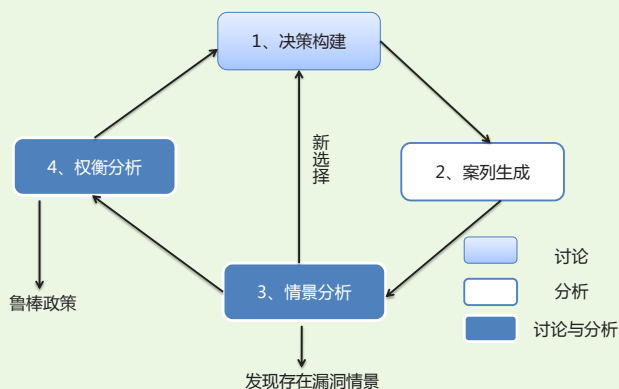


图8 RDM方法理论框架和主要流程
Fig. 8 The theoretical framework and main flow chart of RDM method

3.3 城市弹性模拟器

气候变化和快速城市化进程正以前所未有的速度和规模交织在一起^[16]。建立弹性城市，将应对气候变化的中心从应对极端气候事件扩展到建设更广阔的城市系统弹性能力，是目前国内外城市应对气候变化的新途径。但是目前对于弹性城市的研究大部分还滞留在概念层面及案例分析模式，对于如何定量评估城市弹性，还鲜有学者提出较为合理统一的量化模型。加拿大西安大略大学基于弹性理论框架提出时空动态弹性量化模型，通过模拟物理影响、健康影响、经济影响、组织影响以及社会影响五个维度的表现计算弹性。

2014年,上海市气候变化研究中心在中国气象局气候变化专项“城市公共卫生领域适应气候变化弹性评估方法研究——以高温热浪为例”的支持下,基于气候变化对公共卫生领域的影响评估分析,结合系统动力学分析法,建立了一个耦合气候变化、人体健康、社会经济、政策措施的城市弹性水平评价模型(图9)。模型包含极端事件模块、暴露度模块、适应性模块和弹性分析模块四个模块,选取了气象因子、人口因子、社会经济因子、政策因子等28个因子

建立因子间的函数关系,并进行了边界检验、运行检验和历史数据检验,保证了模型的可信度。基于该模型模拟和量化了上海城市公共卫生领域适应气候变化弹性水平及适应能力,如将上海每百户空调拥有率减少20%,公共卫生系统的弹性系数(由最低80降低为79)变化不显著;而将床位数在原基础上增加了20%,适应气候变化的弹性水平(弹性系数由最低80提高到85)则有所增加。该模型的技术方法和主要结论可以为上海市建造弹性城市提供科技支撑和理论支持。

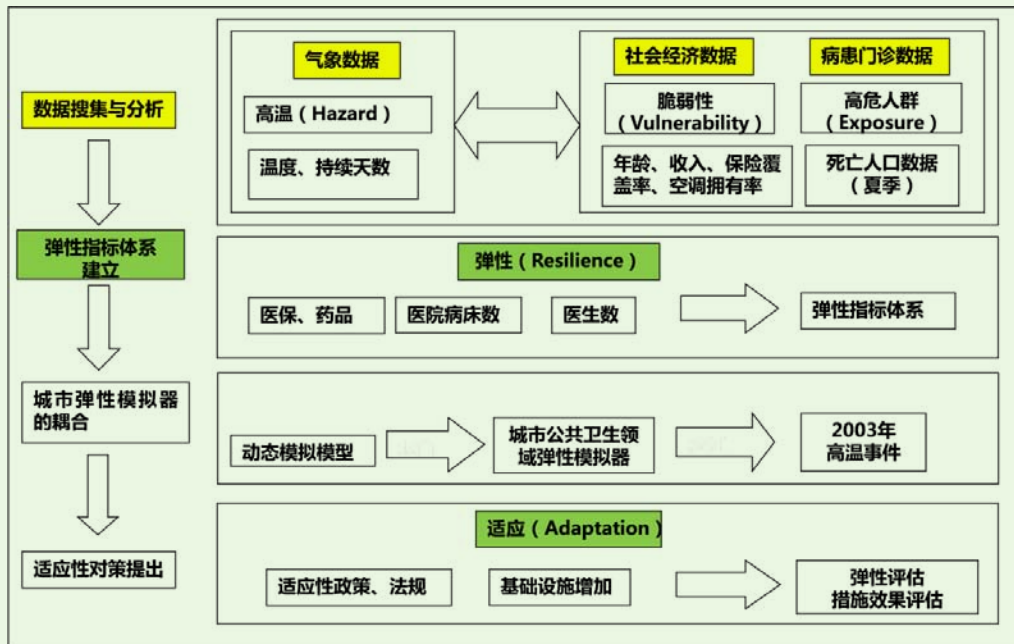


图9 城市公共卫生领域弹性评估模型技术路线图

Fig. 9 The flow chart of city resilience simulator for public healthy

4 总结和展望

上海气候变化工作着眼于大气科学、地理学及风险管理的交叉领域,聚焦全球气候变化、城市化及防灾减灾的结合点,以大气科学理论为基础,风险评估方法为手段,针对城市适应气候变化热点问题开展了跨学科的研究,发展了融合气象基础科学研究、重点领域影响评估模型研发和决策服务能力提升的气候变化现代化技术体系,形成了融合上海城市适应气候变化的发展现状和薄弱环节、未来发展目标、关键领域的重点任务和保障措施等内容的《上海适应气候变化专门规划》,为上海建设社会主义国际化大都市提供服务保障。在充满变数的未来,面对气候变化、全球经济危机、环境生态发展的压力等问题,提高气候适应能力成为一个城市立于不败之地的法宝。加强基础数据平台建设、开发防御系统工程和完善城市气候变化服务框架,是提高城市适应气候变化能力的有效途径。

4.1 上海市气候变化数据共享平台

拓展气候变化监测要素和范围,探索开展从单一的气温、降水等气候变化本身延伸到城市水文、河口海岸生态、生态系统功能演替、物候变迁、农业种植更替、疾病传播等受气候变化影响领域和行业的综合监测。整合气象、水文、农业、生态、环境、能源、健康和交通领域与气候变化相关的监测数据,并融合气候变化预估数据集,建立气候变化数据平台,为城市应对气候变化规划和标准制定基础数据支撑。

4.2 极端洪涝事件防御决策支持系统

整合风暴潮模拟系统、海平面上升仿真模拟技术、城市一维二维水文水动力模型,基于RDM稳健决策评估方法,建立一套具有气候变化影响—风暴潮洪模拟—海平面上升仿真—洪涝风险评估—灾害损失评价—适应措施分析综合的上海适应气候变化防御极端洪涝灾害的决策支持系统,为降低上海防汛洪涝风险

保障上海城市安全提供技术支撑。

4.3 城市气候变化服务框架

城市气候变化服务框架是在世界气象组织倡导的全球气候服务框架的衍生概念，其愿景是实现城市气候变化服务的可持续发展与管理，促进城市更好地管理由于气候变率和变化引起的风险。城市气候变化服务框架将促进城市系统各界，涉及跨越管理、业务和科学边界的前所未有的合作，为城市相关行业和用户开发和提供气候服务所需的能力。探索建立城市气候服务框架，将气候变化监测、检测、预估、影响等内容融合形成一体化的气候服务体系，为城市适应气候变化和防灾减灾提供科学支撑。

参考文献

- [1] 王洁, 王卫安, 王守芬. 气候变化背景下中国沿海地区典型区域脆弱性评价-以长三角为例. 测绘与空间地理信息, 2017(3): 81-85.
- [2] 巢清尘. 气象部门应对气候变化能力建设的探索与思考. 气象科学, 2011(4): 14-20.
- [3] 白爱娟, 翟益茂. 中国近百年气候变化的自然原因讨论. 气象科学, 2007, 27(5): 584-590.
- [4] 华东区域气候变化评估报告. 北京: 气象出版社, 2012.
- [5] 孙林海, 刘一鸣. 区域气候模式对中国夏季平均气温和降水的评估分析. 气象, 2008, 34(11): 31-39.
- [6] Michelangeli P A, Vrac M, Loukos H. Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. Geophysical Research Letters, 2009, 36(11):163-182.
- [7] 王英, 黄明斌. 径流曲线法模型参数在黄土地区的优化研究. 水土保持通报, 2008, 28(1): 54-58.
- [8] 刘非, 方正, 唐智. ICM模型的水文参数局部灵敏度及其稳定性分析. 中国农村水利水电, 2015(11): 73-76.
- [9] 史军, 陈葆德, 崔林丽. 华东地区气温变化对居住建筑能源消耗的影响研究. 高原气象, 2011, 30(5): 1415-1421.
- [10] Ruth M, Lin A C. Regional energy demand and adaptations to climate change: Methodology and application to the state of Maryland, USA. Energy Policy, 2006, 34(17): 2820-2833.
- [11] 袁志刚, 饶璨. 全球化与中国生产服务业发展-基于全球投入产出模型的研究. 管理世界, 2014(3): 10-30.
- [12] 王宏伟. 城市基础设施风险与防范. 现代职业安全, 2012(1): 20-23.
- [13] Lowe J A, Howard T P, Pardaens A, et al. UK climate projections science report: Marine and coastal projections. UK Climate Projections Science Report Marine & Coastal Projections, 2009.
- [14] Sayers P, Galloway G, Hall J. Robust decision making under uncertainty - Towards adaptive and resilient flood risk management infrastructure //Flood risk: Planning, Design and Management of flood defence infrastructure. 2012.
- [15] Wilby R L, Keenan R. Adapting to flood risk under climate change. Progress in Physical Geography, 2012, 36(3):1-31.
- [16] 刘丹, 华晨. 气候弹性城市和规划研究进展. 南方建筑, 2016(1): 108-114.

上海市气象系统一线职工和青年同志对上海气象现代化进展的评价

评价对象	非常突出	比较突出	一般	不太突出	很不突出
上海气象现代化总体成效	12.3%	61.1%	23.3%	3.3%	0
上海气象监测预报预警体系建设成效	17.8%	60.0%	17.8%	4.4%	0
上海气象公共服务体系建设成效	13.3%	56.7%	26.7%	3.3%	0
上海气象科技创新体系建设成效	13.3%	48.9%	28.9%	7.8%	1.1%
上海气象服务国家战略支撑体系建设成效	10.0%	46.7%	35.6%	7.7%	0
上海气象保障管理体系建设成效	12.2%	40.0%	41.1%	6.7%	0

——摘自《迈向国际一流的大都市气象现代化体系》：上海率先实现气象现代化第三方评估，肖林，陈振林 主编，气象出版社，2016年