Scientific Journal of Earth Science
Volume 7, 2017, PP.1-7

Discussion of the Multi-level Social Demands for Urban Meteorological Research and Suggestions for its Prospects

LIU Ke[1,2#], CHU Yanli[1,2], MIAO Shiguang[1,2], LIANG Xudong[1,2]

1. Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

2. Committee for Urban Meteorology, CMS, Beijing 100089

#Email: kliu@ium.cn

Abstract

With rapid development of urbanization, urban vulnerability is increasing, especially in the significant impacts of urban meteorological disasters. Urban meteorological research on the enhance of the capacity of urban disaster prevention and mitigation has become a major scientific problem for the international community and the meteorological service. This paper summarizes the main progress of urban meteorological research, analyses and discusses the multilevel social demands for meteorological research. Finally, it figures out that the further researches should be done on the aspects of basic urban meteorological data collections, the urban meteorological observation, the model of urban system, the precise forecast system of environment and meteorology for the urban underlying surface, the communication mechanism between experts and users, the urban meteorological decision and support system, urban meteorological information technology, and the knowledge dissemination of urban meteorological science and technology.

Keywords: Urban Meteorology; Research Progress; Social Requirements; Research Directions

城市气象研究进展及社会需求分析*

刘珂[1,2],楚艳丽[1,2],苗世光[1,2],梁旭东[1,2]

1.中国气象局北京城市气象研究所，北京 100089

2.中国气象学会城市气象学委员会，北京 100089

摘　要：城市化进程的快速发展，使城市气象灾害在很大程度上制约了城市和城市群的发展。城市气象研究已成为国际社会和气象行业共同关注的重大科学命题。本文简述了城市气象研究取得的主要进展，分析了城市气象研究的社会需求，指出在城市气象基础数据集、城市气象观测、城市系统模式、城市区域精准下垫面气象要素预报服务体系、专家与用户之间沟通机制、城市气象决策支撑系统、城市气象信息技术和城市气象科技教育及知识传播等方面需进一步开展深入研究。

关键词：城市化；城市气象研究；社会需求；思考与展望

引言

城市化是社会生产力发展的必然产物。18 世纪 60 年代发端于英国的第一次工业革命开启了全球城市化的进程。英国的城市化是一个突变的过程，由于新兴产业的出现，吸引大批农村人口涌进城市，使城市的生产力和流通能力不断增强并带动了当地的经济发展[1]。目前全球人口总计超过 70 亿，其中 32 亿居住在城市地区，根据联合国预测，截止到 2030 年将有约 50 亿人口居住在城市地区[2]。改革开放以来，我国城市化发展速度加快，目前城镇常住人口的比重为 53.73%，总量已达到 7.3 亿，其中京津冀地区人口规模超过 1 亿，预计 2020 年将达到 1.2 亿[3][4][5]。

由于城市化过程引起下垫面的改变，对气候、水文、生态环境等产生了显著变化，增强了城市系统在面对各

*基金资助：气象科技发展战略研究项目，中国气象学会资助

种灾害时的脆弱性，其中城市气象灾害尤为显著。城市气象研究已成为国际社会和科学界所共同关注的重大科学命题。近年来，国内外在城市气象观测研究、城市陆面与边界层过程研究、城市化数值模拟研究、城市化对天气气候的影响研究等领域取得了大量的研究成果[6][7][8]。

2000 年初，德国政府制定未来 15 年大型地学研究计划—地球技术科学，并被冠以“地球系统：从过程认识到地球管理”的副标题。表明了德国政府及其科学界对地球科学未来发展方向的科学理念、战略构想和科学政策有了新的理解，也代表了一种新的趋势：在国家目标、社会需求和市场驱动的互动作用下，地球科学正在发生自身存在形态的转型，从认识自然和地球的传统经典研究形态逐步演绎为社会公益型复合研究形态[9]。

2012 年美国国家研究委员会（National Research Council，NRC）城市气象学委员会提出“城市气象：预报、监测和面向用户需求”的发展理念，进一步深化了城市气象研究的服务功能和未来发展方向，强调了目前科学界的发展水平尚不能满足各类城市用户的多种需求，所以和用户的深入沟通及彼此的理解需亟待加强。高度发达的科技水平、国土安全的重大需求及公众对于健康和安全的关注等促使城市气象科技的发展面临着重大的机遇和挑战[10]。

自上世纪末开始，我国在城市气象研究领域开展了大量工作，取得了丰硕的科技成果。但是随着城市气象学科的深入发展，如何就核心基础科学问题开展研究是迫切需要解决的问题。基于在气象服务与应用、新技术的创立和应用等领域取得的创新和突破，未来将围绕的核心问题就是因人类活动而滋生、孕育并不断推动学科发展的关键技术问题。城市气象研究在城市气象观测、机理、数值模拟、预报等基础研究领域取得了大量研究成果，揭示了城市化主要通过改变大气环境的下垫面形态、大气环境的热动力条件和大气成份，从而影响大气环境的变化；反过来大气环境的变化又在日常生产和生活、极端天气和气候事件、决策服务等各方面全方位影响着城市活动（如图 1 所示）。可以发现，传统气象部门在深入开展城市化对大气环境的影响方面具有巨大的优势，但是在针对大气环境变化对城市影响方面的应用服务研究工作亟需深入开展。

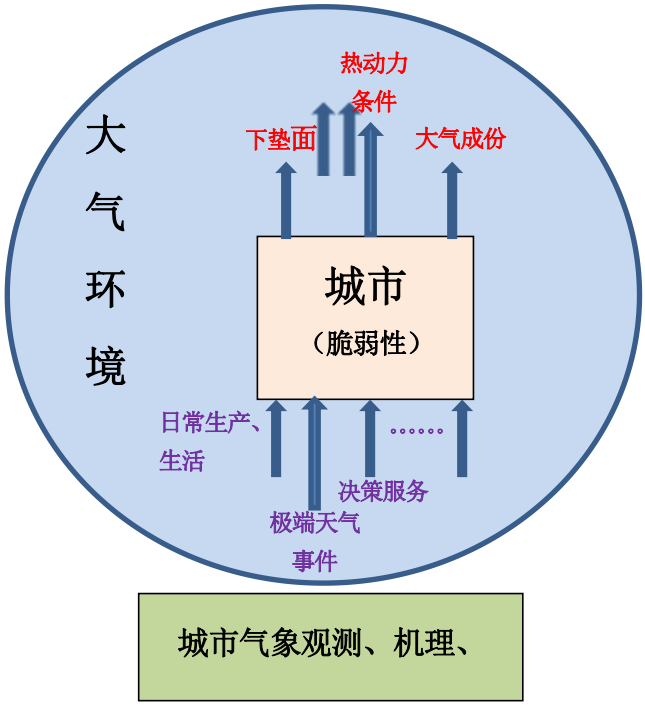


图 1 基于城市气象基础研究的城市与大气环境的相互关系

目前，气象预报的准确率已经被广大公众认可，城市气象研究领域也已具备了良好的基础，应着手考虑在结合不同领域、不同层次的需求开展更全面的、精细化的服务与应用研究。本文将简要回顾城市气象研究的主要进

展，调研分析城市气象研究与社会需求之间的关系，并对城市气象科技发展进行思考和展望。

1 城市气象研究主要进展

自 1820 年，Luke Howard 首次利用温度直接观测研究城市气候和城市热岛以来，城市气象观测已有近 200 年的历史[11]。进入 21 世纪以来，针对关注度和影响度均急剧升高的城市气象和城市环境问题，美国、欧洲、日本、中国，以及气象组织等国家和机构先后在特定条件下组织开展的短期城市观测试验主要涉及：城市地表参数的获取、地表能量平衡、城市冠层、城市边界层结构、城市热岛效应、城市环流与中尺度局地环流相互作用、城市对降水的影响、城市大气污染及其辐射特性、大气边界层动力和大气化学三维特征、水热与物质通量的输送和转化、城市化的天气/气候效应等内容。同时，观测试验的成果被用于数值模式的发展与检验，取得了不同程度的进展。另外，新技术和仪器平台的发展使研究人员有能力获取更高的水平及垂直空间分辨率的三维大气状态。

在过去 20 年中，气象和气候学的发展尤为迅速，并在大气观测、天气和气候预报两个基础领域中取得了显著的进步。随着计算能力、短期和长期数值预报及数据同化能力，以及观测能力的显著提高和观测站网的不断扩大，人们获取大气当前和未来状态的能力得到了明显提升，这为从时空尺度上更有效地满足决策用户的需求提供了可能性，并将在未来社会和经济领域中发挥主导作用[2][12]。表 1 简要概括了城市气象观测、模式和预报研究领域中取得的进展。

表 1 城市气象观测和预报技术进展

研究领域	科技进展
观测	. 城市观测项目 . 城市观测网 . 地基遥感（扫描雷达、风廓线雷达、声雷达、激光雷达、地基微波廓线仪、雷电探测仪等） . 空基遥感（城市陆表、温度影像、热岛、气溶胶、水文气象参数等）
模式系统	. 城市化数值预报模式 . 大气扩散和城市空气质量模式 . 水文模式 . 海岸风暴潮－洪水模式等

2 城市气象研究的社会需求分析

根据发生频率和关注人群的不同，可以将对城市气象研究的社会需求分为两种形式：（1）常规气象用户对于精确的低风险－高发生频率气象预报的服务需求，（2）公共安全应急管理部门对于高风险-低发生频率事件（如，极端天气、化学物质扩散应急等）的气象决策支撑服务需求。

在常规天气预报服务中，国外发达国家非常重视开展与人类活动密切相关的气象服务，如大型赛事、假日休闲、交通出行、人体健康、灾害预警等。精细化数值模式预报技术的进步大力提升了各国气象部门的预报服务水平，使专业专项预报技术得到一定发展，逐步建立起了面向节能减排、城市交通、特色旅游、城市生命线保障、医疗健康和便民生活等六大领域为重点的城市气象服务体系。

在应对极端天气、气候事件的服务中，国际上非常重视灾害性天气影响评估技术，特别是注意结合社会、经济、人文等与灾情相关的数据库建设及相关资料的收集，有关灾害的快速风险评估方法及模型也逐渐应用于国家的灾害预警系统建设中，这类预警系统主要侧重于极端天气的社会经济影响的预评估，用于极端天气事件的预警及监测。美国的 HAZUS 灾害评估系统，主要针对灾害造成的社会经济影响进行预评估[13]。德国的 FLEMO 模型主要用于地区及国家层面的洪涝灾害风险分析，可针对洪涝对居民建筑、商业建筑造成的损失进行评估。另外还有荷兰的 SSM 模型，以及比利时的 Flemish 模型，均对暴雨造成的社会经济影响进行预估。

在过去几十年中，虽然城市气象观测和预报技术取得了显著的进步，并在满足用户需求方面取得了成功经验，但是由于城市气象研究和真实用户之间缺少有效的沟通，因此城市气象研究还远远不能够满足各类用户的个性化

需求，主要包括市政、公众安全和健康、电力、供水、燃气、热力、旅游、保险、商业、城市规划、交通、应急管理等部门，用户需求涵盖沥涝、供电、城市规划、生命线安全运行、公众健康、安全、应急响应和节能等[2]。

目前，国际上对未来气象服务比较倡导的观点为：（1）公众服务。倡导高技术（注意不是高科学）、低成本、个性化，这是保证广覆盖特别是对弱势群体服务是否到位的判断标准。（2）专业服务。倡导提升气象服务的可应用价值，主要为产品的科学性、可用性（注意不是有用性）和用户的使用程度来决定。解决办法就是深入了解需求、不断加强沟通，注重服务与最敏感的生产环节紧密结合等。（3）信息传播服务。目前国内在此环节较为薄弱，这里不是指覆盖面和信息量及预报多么精细和多么准确，而是指信息传播的有用价值，即对用户的帮助性有多大。（4）社会效应评估。目前国际社会非常重视气象与社会经济结合的影响预测（与风险评估略有差别），也是提高产品使用价值的具体举措，这与准确的预报同样重要。目前国内相关部门大都把精力放在如何提高预报准确率上，而较少考虑如何让用户真正地理解和使用好预报产品。

在城市和超大城市地区，对城市气象的服务需求已经远远超出了常规天气观测和预报的范畴。科技的快速发展使我们能够在空间尺度上对环境参数进行更精细的预报，在时间尺度上能够实现未来几小时到数月的预报。随着预报能力的提升，相关信息的潜在应用范围和价值也随之扩大和增加。在城市气象应用研究中必须关注和解决以下几个方面的问题：（1）理解用户对城市气象数据的需求，（2）清楚哪些数据真正对用户有用，（3）帮助用户如何使用这些数据[9]。

表 2 列出了目前亟需解决的主要城市气象用户的数据需求，分别对应着城市气象研究的以下几个方面内容。

（1）数据共享：很多城市气象用户有自己的观测系统，形成了独立的资料库。然而，各用户之间有共性的数据需求。如果管理部门把各用户的资料进行规范化收集，并予以共享，则可以最大限度的发挥各观测系统的作用，避免重复建设和资料使用的不规范。

（2）按照用户需求定制专业的观测和模式系统：目前，非常缺乏针对城市气象用户需求而开展的针对性观测和数值模拟工作，这将极大的限制城市气象的应用和效益的发挥。

（3）延长短期预报时效、提高精度和可信度问题：精准的预报可以有效减少气象灾害造成的损失。因此，延长短期预报时效、提高精度和可信度，对于减少“空报”带来的人财物损失和“漏报”带来的灾害损失至关重要。同时，针对当前预报中存在的不确定性问题，根据用户具体的实际情况，研制基于风险管理的科学决策模型是非常重要的。

（4）做好长期预报（趋势）和极端事件预测：传统的长期预报中没有包含城市的影响。需发展可考虑城市影响的预报方法和降尺度技术，以满足用户的需求。

（5）环境干预措施影响评估：亟需在不同尺度上开展城市绿地、垂直/空中花园、白色墙壁/屋顶、透水路面等环境干预措施影响的定量评估。然而，基于现有数值模拟方法尚不能给出明确的结论。

（6）城市气象模式与耦合模式：发展陆地-海洋-城市耦合模式满足海岸城市的用户需求，发展大气化学-气象耦合模式（包含污染物对气象场的影响）满足气象和大气化学双方用户的需求[7]。

（7）精细化预报基础上不同领域的专业化预报服务应用技术、影响风险等研究。

3 城市气象发展的思考与展望

目前，全球都面临着城市化扩大发展的趋势，中国的城镇化变率日益增长、城市范围不断扩大，在这样特异变化的背景条件下，伴随着科技的飞速发展，城市气象研究将更加突出用户需求，其科技服务和保障体系将综合体现高效、快速、精准、多尺度和实用的多重特征。

城市气象发展需要就核心基础科学问题开展研究，在气象服务与应用、新技术的创立和应用等领域取得创新和突破。而未来围绕的核心科学问题就是要回答自然规律与社会规则的耦合。

例如，城市大气活动一方面受城市环境时空纬度上的高度异质性影响，同时，又在很大程度上依据社会经济规则而变化（如上下班时段，不同季节各种活动等）。城市气象将和社会规律更紧密地联系起来，形成一个由自然

科学和社会科学共同组成的交叉学科。

表 2 城市气象服务的用户数据需求

用户分类	用户数据需求
沥涝管理（市政、公众安全部门）	. 降水强度、地表径流、雪融径流、雨水量等数据集 . 城市洪涝/超负荷雨水汇集/局地雨水处理系统/城市可透水地表的储水性能 . 水汽输送通道（即，大气中水汽聚集的狭窄通道，当其与地面相汇集后能激发产生强风暴）信息
电力（生产商、输电网、本地公用事业）	. 用于评估电力需求和输电网负荷（最大负荷）的空气温度数据 . 用于可再生能源评估的风和太阳辐射数据 . 对运营有高影响的大雾、大风、雷电、降雨（雪）、高（低）温精细化时空预报
保险/再保险（公司、公众和私人服务供应商）	. 准确及时的极端事件预报 . 地表粗糙度、登陆后的衰减情况、风速 . 农业生产（如，临近或受到城市影响的农业地区）所需的太阳辐射、降水、空气质量数据 . 街渠风速（如，建设部门） . 能源评估所需的气温与降水预报
城市规划（建筑师、城市规划师、市政官员）	. 城市植被胁迫指数/最优化 . 城市空气质量 . 绿色屋顶和植树的城市热岛减缓措施评估 . 城市和区域气候变化减缓与适应策略 . 城市及其周边地区更密集的一级气象观测站数据 . 对农村气象站受到本地陆面变化影响程度的评估方法的改善 . 城市下垫面对局地气象条件的影响
交通管理（高速公路、铁路、机场、港口、河流等监管部门）	. 街渠风速 . 各类降水（雨、冻雨、雨夹雪、雪等） . 地面观测的代表性 . 高空间分辨率预报（如，高速公路尺度） . 道路表面温度 . 低能见度
公众健康（健康部门、环境保护机构、空气质量管理、公众安全、应急管理等部门）	. 与健康应用尺度相匹配的太阳辐射、风、湿度、气压和空气温度（如，热指数） . 用于易损性/风险评估的经过标准化处理的城市热岛数据集 . 清楚描述城市热岛空间分布的数据集（包含地面空气温度、地表温度、空气温度、湿度、风、辐射数据等可用于综合热评估） . 城市尺度时空分辨率的高温、低温、人体生理压力预报 . 街道尺度空气质量 . 极端降水预报 . 本地高温/低温公告、疾病媒介物和空气质量公告
安全（公众安全和保证部门）	. 更高时空分辨率数据（如，对空气扩散应用极为重要的城市边界层结构、混和层高度，风、湍流、温度的垂直廓线等数据） . 用于洪涝估测的雷达－雨量计定量降水估计 . 常规定期更新的城市数据（如，地表特征、建筑轮廓）
应急响应（公众和工业安全部门）	. 街道尺度细致雨洪信息 . 城市冠层及其以上高时空分辨率的风、温度、湿度数据
节能（市政、供暖公司、物业部门）	. 供暖/制冷节能所需局地尺度温度、湿度、风速、辐射的精细预报

因此，城市气象基础研究的发展将更突出城市对大气运动影响的基本规律的研究，即对驱动城市大气运动的主要热、动力因素的研究，其中，自然因素是可以用传统气象学进行解释，而对于社会经济因素研究的需求已经越来越明显，甚至在特定时间和空间上占主导地位，如雾霾。

城市气象应用研究的发展将以用户需求为最大驱动力，一方面满足常规用户对于精准下垫面气象要素的预报服务需求，另一方面满足城市管理和决策用户对于综合气象信息和决策咨询的需求。

围绕城市气象基础和应用研究，从以下八个方面进行了思考和展望。

（1）城市气象基础数据集

城市气象基础数据集建设是开展城市气象研究的重要基础性工作。建立典型城市和城市群地表特征数据库，如人为热排放、不透水面比例、精细化地表分类、城市形态三维结构等；建立城市及周边城镇群（行政区域及海域、山地等）气象环境和生态环境数据库；建立城镇化发展环境变率（含人口、经济、交通、能源、自然条件等）数据库；建立城市建筑物、植被、水面等土地利用类型数据库；形成完善的灾损数据库。同时，研究适用于业务系统的城市气象基础数据获取方法，实现数据的共享和有效管理。

（2）城市气象观测研究

城市边界层是最复杂的非均匀大气边界层之一，开展边界层观测是认识复杂大气边界层的主要途径。针对城市陆面与边界层过程多尺度非均匀性的特点，发展新探测技术与设备，研究城市气象观测方法，开展城市气象综合观测试验，建立与数值模式对资料需求相适应的观测网。同时，为了满足现代化城市运行管理的基本目标，气象要素要成为城市运行态势监控与危机应对实时信息采集系统之组成部分，必须在传统气象观测基础之上，通过城市气象观测系统工程建设，建立起以用户需求为导向、预警与预报相结合、定点与移动互补的城市气象观测体系。同时，要把移动计算、物联网、全网监控和智能调控等技术应用于综合观测系统，实现观测系统的信息化。

（3）城市系统模式的研究和建立

城市陆面与边界层过程研究是开展城市气象研究与应用的基础，在此基础上进一步发展城市人类活动模型，包括：人口分布模型、交通模型、能源模型等；将城市人类活动模型与大气模式耦合，建立“城市系统模式”；研究城市人类活动与大气的耦合机制，城市人类活动对大气的影响机理，大气对城市人类活动的影响机制。

（4）城市区域精准下垫面气象要素预报服务体系

社会公众是城市的主体，应建立从衣食住行、健身健康等的带有应对防御功能的气象服务保障系统。下垫面的温度、湿度、降水、风、阵风、云、能见度、日照强度等与城市公众的日常生活、城市系统的日常运营紧密相连，随着科技水平和生活质量的提高，人们对城市下垫面气象要素的更高分辨率、更高准确性的需求将不断提高。建立从城市、街区、建筑、室内、个人等不同尺度和服务范围的下垫面气象要素综合预报服务体系，满足从城市日常运营到个人舒适度的全方位城市气象服务体系。

（5）建立城市气象研究专家与用户之间的有效交流和协作机制

以联合开展项目研究、人才培养、工作互访等方式，逐步加强城市气象研究机构和专家与用户之间的理解和沟通，切实满足用户个性化需求，充分发挥城市气象科技的社会经济效益，最终建立一套以开放共享、互惠共赢为原则的高效合作机制。

（6）城市气象决策支撑系统

根据城市管理者需要基于风险管理的要求，建立相应的决策支持系统，社会公众需要带有应对防御的气象服务保障系统，极端天气和大气污染对各行各业和人民生活的影响评估是其重要组成部分。灾害风险管理应包含对科技手段及其应用能力的不确定性评估，还应该包含对减灾保障投入和收益的经济效益的评估，应该充分考虑到预报的不确定性问题，满足灾前预警、灾后应急管理的需求。

（7）城市气象信息技术应用研究

高度重视信息新技术的发展及其在气象与环境领域中的应用。以云计算、物联网、智能化为突出特点的技术发展，在大数据理念指导下的面向重点领域的应用创新，将会对气象业务技术方法产生深刻影响，也将成为城市气象发展的重要机遇。面临高效、快速发展的信息科技技术我们必须做好相应的准备。对于城市气象业务，在能够获取环境、生态、医疗、社会等各方面海量资料的背景下，研究分析方法将会不断扩展，既有确定性的研究方法，也有非确定性的研究方法，需要根据现实条件和需要进行选择和调整。

（8）城市气象科技教育和知识传播

首先，保证城市气象及相关交叉学科后续人才的培养和稳定输送。其次，鉴于城市天气气候应用系统对其用户的应用能力有严格规范的要求，因此要定期对用户进行技能培训。再次，针对不同用户，采用生动、直观和灵

活的媒介平台，对城市气象研究进展、成果及防灾减灾措施进行知识传播。最后，应负责解释每个阶段城市气象研究和科技服务所存在的局限性，并与公众和决策机构达成共识。

综上所述，城市气象研究成果将为有准备的城市气象服务提供重要的科技支撑。主要表现为：以观测和预报为核心的城市气象基础研究的深入开展，为城市气象服务提供核心支撑能力；以用户个性化需求和工程应用为导向的综合信息分析和整合能力，保证城市气象服务与社会需求的切实对接；飞速发展的信息技术将为城市气象研究和应用服务提供新的机遇；城市气象的科技教育和知识传播将快速发展。

致谢

感谢中国气象学会城市气象学委员会各位委员对本报告的指导和帮助，尤其感谢南京大学蒋维楣教授、北京师范大学叶谦教授、北京师范大学段青云教授、北京师范大学赵晗萍教授、清华大学崔桂香教授、国家气候中心任国玉研究员、中国气象局干部培训学院王强教授、中国气象局北京城市气象研究所李青春正研高工、北京市人工影响天气办公室丁德平正研高工、北京市气象局气象服务中心李迅正研高工等各位专家的意见和建议。

参考文献

[1] 广德福.英国农村城市化历程及启示. 世界农业,2008: 47-48.

[2] National Research Council (NRC). Urban Meteorology:forecasting, monitoring, and meeting users'needs. Washington, DC: The National Academies Press, 2012.

[3] 中华人民共和国国家统计局.中华人民共和国 2012 年国民经济和社会发展统计公报.北京：国家统计局, 2013.

[4] 文魁等.京津冀蓝皮书：京津冀发展报告(2013)——承载力测度与对策.社会科学文献出版社,2013.

[5] 国务院.国家新型城镇化规划(2014-2020 年),2014.

[6] 李炬,窦军霞.北京城市气象观测试验进展.气象科技进展, 2014, (1): 36-45.

[7] 苗世光,王迎春.基于用户需求的城市气象研究:进展与展望.气象科技进展, 2014, 4(1): 6-14.

[8] 王迎春,梁旭东,苗世光,李炬,孟燕军,F. Chen,刘伟东.城市气象研究动向的思考.气象，2012,38(10): 1232-1237.

[9] 赵生才.德国地球科学发展战略的调整和走向.地球科学进展,2004,19(4): 533-538.

[10] Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research (OFCM). Urban meteorology: meeting weather needs in the urban community. Washington, DC: National Academics Press, 2004.

[11] Grimmond C S B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. Theoretical and Applied Climatology, 2006, 84(1-3): 3-22.

[12] WMO. WMO GURME Workshop on Urban Meteorological Observation Design. Shanghai, China, 2011.

[13] FEMA.Using HAZUS-MH for Risk Assessment[R]. 2004.

【作者简介】



[1] 刘珂（1962 年-），女，汉族，大学专科，科研管理。Email: kliu@ium.cn

[2] 楚艳丽（1975 年-），女，汉族，博士，科研管理。Email: ylchu@ium.cn

[3] 苗世光（1976 年-），男，汉族，博士，大气物理与大气化学。Email: sgmiao@ium.cn

[4] 梁旭东（1971 年-），男，藏族，博士，动力气象。Email: xdliang@ium.cn