上海城市气象灾害风险管理的实践与思考

陈振林
（上海市气象局，上海 200030）

摘要：在全球气候变化和快速城市化进程背景下，城市气象灾害及其影响越来越突出，呈现和传统气象灾害不一样的特征和演变规律。作为中国国际化大都市的代表，上海在2016年提出了“全球城市”的发展愿景，在城市气象灾害风险应对方面挑战和机遇并存。从上海城市气象灾害风险特征、风险预估以及城市气象灾害风险管理实践等方面，介绍上海市气象局在轨道交通、健康气象、城市内涝、海洋气象和航空气象等五个领域的实践案例，并对未来城市应对气象灾害风险的前景进行了思考和展望。

关键词：城市气象灾害，风险评估，风险管理

DOI：10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.006

Urban Meteorological Disaster Management in Shanghai

Chen Zhenlin
(Shanghai Meteorological Service, Shanghai 200030)

Abstract: Under global climate change and rapid urbanization, the impacts of urban meteorological disaster is getting more sever, and the characteristics and evolution process are different from the historic meteorological disasters. Shanghai has put forward the vision becoming one of the "global city" in 2016, therefore, challenges and opportunities coexist in the respect of risk reduction of urban meteorological disaster. This paper introduces the urban meteorological disaster risk, risk assessment and management in Shanghai with 5 cases which has been practised by Shanghai Meteorological Service, and proposes some considerations for future risk reduction.

Keywords: urban meteorological disaster, risk assessment, risk management

0 引言

在自然灾害中，气象灾害占很大一部分。发生自然灾害后，舆论上往往讨论：是天灾还是人祸？这就涉及到了灾害风险管理的问题。在全球气候变化和快速城市化进程背景下，城市气象灾害及其影响越来越突出，呈现和传统气象灾害不一样的特征和演变规律[1-3]。国内外都非常重视城市气象灾害的研究与防御，尤其一些欧美国家都相继设立了相关气象灾害防灾减灾法律，注重科技对防灾减灾的支撑，并大力开展气象灾害防御的宣传和教育。以英国为例，英国在城市气象灾害防治的理念是注重预防，注重长效，强调预防是灾害管理的关键。为了确保能够防御气象灾害，英国建立了一套完善的气象灾害应急机制，设立了由首相牵头的“防灾紧急事务委员会”，统一领导；建立了包括政府各部门的气象灾害预警系统，及时准确地发布预警；为了保障防灾减灾的顺利开展，相继出台立法，不断完善气象防灾减灾体系；在国家层面上加大对灾害的监测投入和应用高技术手段，提高科研水平，以实现对灾害的防治；英国政府对于气象防灾减灾的宣传也是高度重视，提高民众的应对能力[4]。我国也十分重视气象灾害的防灾减灾，尤其是城市气象灾害的防治[5,6]，但与发达国家相比，我国还存在一定的差距。

上海是典型的沿海大三角洲气候脆弱带，梅雨、台风、暴雨、热浪、风暴潮等极端天气气候事件频发，是气候灾害、海洋灾害、环境灾害的高风险地区。同时，上海地域狭小、人口集中、建筑密集，经济要素集聚度高，城市安全设防的管理和建设成本巨大，城市安全运行面临巨大压力[7]。未来气候变化背景下上海气象灾害的连锁、放大、聚集效应将更加明显，频繁发生的极端气候事件与城市环境状况和城市居民活动交织在一起，诱发一系列次生灾害，形成灾害链事件，将会进一步对城市的安全运行产生重大影响，对城市安全运行管理提出了新的要求和挑战[8]。在城市气象灾害防灾减灾领域，上海在灾害风险评估、灾害风险管理等方面取得了一定成绩。为了满足

收稿日期：2017年6月30日；修回日期：2017年9月15日
第一作者：陈振林（1968—），Email：cdccc@cma.gov.cn

“安全城市”的防灾减灾高需求和“智慧城市”的个性化服务高需求，传统的气象服务模式必须转型发展。本文将从气象灾害风险、风险预估、管理实践等方面，介绍上海在城市气象灾害风险方面取得的一些成果，并针对未来城市在气象灾害风险管理方面，提出了对策建议。

1 上海气象灾害风险和未来预估

1.1 上海城市气象灾害主要特征

城市气象灾害不同于传统气象灾害，不同类型的气象灾害在城市中造成的灾害不一样。归纳起来具有以下五大特征[9]：

1）影响时段的全覆盖。夏半年上海有台风、暴雨、强对流、高温热浪等气象灾害，秋冬季有雾、霾、低温、雨雪冰冻。气象灾害影响时段全覆盖，需要一年四季都不放松，随时准备应对复杂多变的灾害性天气。

2）灾害发生频繁，复合灾害较多。洪涝、台风、雷电是上海发生最为频繁的三种灾害（图1），而有时候台风、洪涝、风暴潮等灾害会同时出现，加剧灾害的影响。

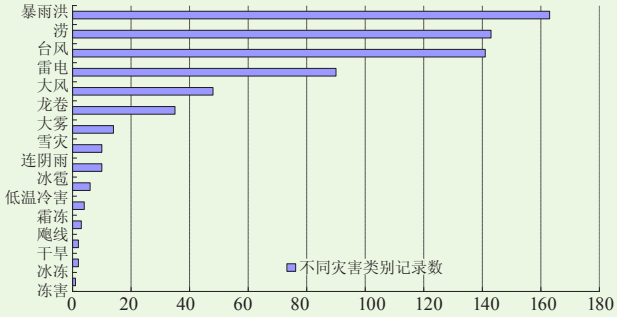

图1 上海主要气象灾害统计图（1984—2008年）
（数据来源：上海市气象局）
Fig. 1 Statistical figure of the main meteorological disasters in Shanghai (1984–2008)
(Data source: Shanghai Meteorological Service)

3）灾害造成的损失大。就经济损失来说，台风对上海造成的经济损失最大；但从人员伤亡数量角度考虑，雷电则是造成最大损失的灾害。

4）城市运行对气象条件高度敏感。据2010年夏季上海市电力公司和水务局提供的数据统计，夏天日最高气温每升高1℃，上海的日供电最大负荷将增加大约61万 kW，中心城区的供水将增加5.8万 m^3（图2）。上海青菜价格的急剧升高往往都是由气象灾害造成的，包括洪涝、高温或者低温。此外，对2008—2013年期间中暑死亡情况和气象条件的大数据统计分析表明，当月平均气温从29℃升高到30℃，虽然气温只升高了1℃，中暑死亡的人数却增加了2倍多。

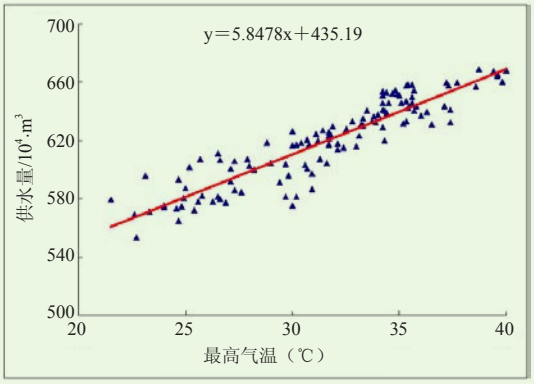

图2 上海市中心城区用水量与最高气温关系图（2010年）
（数据来源：上海市气象局、上海市水务局）
Fig. 2 Cor relationship between the daily amount of water provided and T_{max} in 2010
(Data source: Shanghai Meteorological Service, Shanghai Water Authority)

5）气象衍生、次生灾害特别严重，存在着“多米诺骨牌”效应。2012年“海葵”台风影响上海期间，造成的直接经济损失超过5亿元人民币，而间接影响则更大，如造成浦东、虹桥两大机场取消航班782架次，铁路停运约百班次，长途客运停运约600多班。

1.2 上海气象灾害风险预估

未来，上海气象灾害风险情况将会如何[10]？

上海在全球变暖和城市化的双重影响下，平均气温上升，城市热岛效应非常显著。预计未来二十年，上海冬季的极端低温天气日数将减少，夏季极端高温的日数将增加。数据分析发现，1873—2015年，上海年平均气温总体上呈明显上升趋势，平均每十年升高0.16℃，20世纪90年代末以来，升温趋势尤其显著。中心城区的年平均高温日数要比东部沿海多将近12天，呈现出明显的热岛效应。

从降水情况来看，小雨的日数在减少，大雨和暴雨的日数在增加，雨岛效应越来越显著，即中心城区的降雨明显高于郊区，年平均降雨量多出100 mm。降雨的极端性越强，越容易造成城市内涝。预计未来二十年强降雨的日数和强度都会呈增加趋势。

预计未来上海平均风速将变小，大风日数变少，这跟城市化也有很大的关系。上海在不断“长高”，“水泥森林”的阻挡作用也造成了风速的降低。风速变小扩散条件就变差，如果不采取控制措施，雾、霾天气会越来越严重，这就是所谓的城市“浑浊岛”效应。

最后是海平面上升的问题。海平面持续上升，风暴潮灾害将加剧。全球气候变化造成的海平面上升和

地面沉降结合在一起，使得城市抵御洪涝灾害的能力下降，威胁到城市的供水安全。从未来二十年、三十年的预测来看，海平面会继续升高，这对沿海超大型城市更具现实的威胁。

2 上海城市气象灾害风险管理思路和实践

2.1 城市气象灾害风险管理思路

由于发生在城市区域的气象灾害具有放大效益和多米诺骨牌效应，例如：一场一小时2 mm降水量的小雨就可能让上海的早高峰交通受阻，进而影响到城市运行的方方面面。因而，城市应对气象灾害风险不该仅仅关注灾害性天气本身的强度。要做好风险管理，必须了解城市在各种情景模式下的防御“底线”（阈值），必须强化城市各个运行部门的联动机制，充分融合才能实现共赢。

一是从传统的天气预报向影响预报和风险预警转变。传统的天气预报，假设预报明天有暴雨，有一种可能就意味着24 h将有50 mm以上的降水，这种天气阈值是固定不变的。但是气象灾害风险预警的阈值不应固定，应随着时空的变化而变化。比如今天已经有100 mm的降水，明天继续有100 mm的降水会是什么情况？这和在干燥的条件下有100 mm的降水对城市造成的影响完全不同。另一方面，阈值还应针对不同服务对象来区分。同样的气象条件，对不同的服务用户和服务领域来说效果完全不同。因此，传统的天气预报（固定气象阈值）必须向基于时空变化和用户自定义阈值的影响预报和风险预警转变，这些转变意味着在原有的气象灾害风险管理职责分工基础上再往前跨一步。跨出这一步意味着技术难度的增加，需要相关部门大力合作，并对灾害预警相关的大数据分析和应用提出更高要求。但要真正做好城市风险管理，又必须要迈出这关键一步。

二是基于影响的预报预警需要气象部门和用户的充分互动。影响预报和风险预警有四个环节，第一步是精细化的天气要素预报，接下来通过对相关大数据的挖掘分析开展影响预报，再根据承载力的情况提示风险预警，最后一步是联动响应和抢险救灾（包括灾后恢复）。综合来看，基于影响的预报预警是与用户的承载力及决策过程相结合的新型交互式气象服务，四个环节都需要气象部门和服务对象全程参与、相互配合。

三是基于影响的预报预警倒逼传统气象业务变革。从预报内涵上来说，要从传统天气要素的预报向行业的影响预报转变。从预报思路上来说，要从确定性预报向概率预报转变，向用户提供更丰富的预报信息。从预警标准的角度来说，过去是基于固定的天气指标阈值，今后要转变为基于风险影响的阈值。最后是服务方式的转变。过去气象部门只提供气象要素预报结论，今后的气象服务要与用户的决策过程紧密地结合在一起，使用户在决策过程中参考动态的气象预测信息成为一种习惯。

2.2 城市气象灾害风险管理实践案例

以下从轨道交通、健康气象、城市内涝、海洋气象和航空气象五个方向来介绍城市气象灾害风险管理探索和实践，介绍以区域高分辨率数值预报模式为基础、与用户需求相结合的新型交互式天气影响预报和灾害风险预警服务。

2.2.1 轨道交通

上海地铁2号线东延伸段和16号线的地面运行段靠近东部沿海，其运行受到大风和大雾影响较大。简单的全市尺度上的风向风速预报已经无法回答，大风天气下对车厢的平稳、安全会不会有影响呢？气象部门与申通地铁公司合作，共同研究不同风速、不同风向下风对地铁运行会产生怎样的影响，开发出一套预警阈值以及专门的预警体系，建立了轨道交通影响预报与风险预警平台（图3）。目前，该系统已实现针对申通地铁16号线地面段、2号线东延伸段沿线各区段的大风影响预报及风险预警服务。

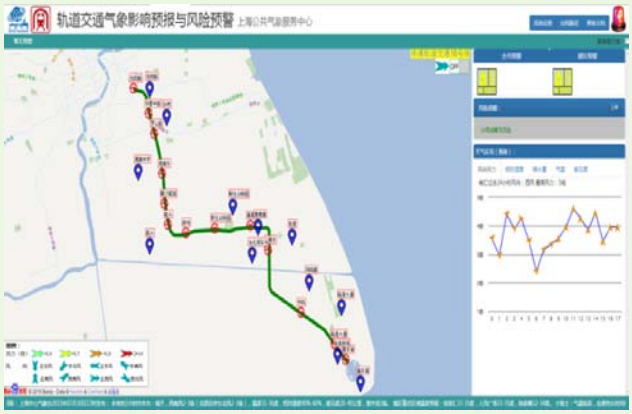

图3 轨道交通气象影响预报与风险预警平台
Fig. 3 The meteorological disaster risk alarming platform for the subway traffic system

2.2.2 健康气象

高温热浪、寒潮、温度变化、花粉和大气环境对人体健康产生重要影响，基于天气、气候和大气环境的综合监测和预报信息，结合气象对疾病发生规律和病理的影响机理，气象部门与卫生部门合作开展面向公众、特定部门的健康气象服务。目前已业务发布中暑、感冒、儿童哮喘、慢性阻塞性肺疾病等气象风险预报产品。同时，研究开发针对决策用户的产品，如

《重污染健康风险评估报告》等。健康气象预报服务产品通过网页、微信、短信、电邮等服务形式或发布渠道给公众、学校、医院或社区服务中心（图4），取得比较满意的效果。例如：2016年8月通过“健康气象”微信号调查，中暑预报服务满意、较满意和一般分别为41%、32%和23%,只有3%和1%认为不太满意和很不满意。

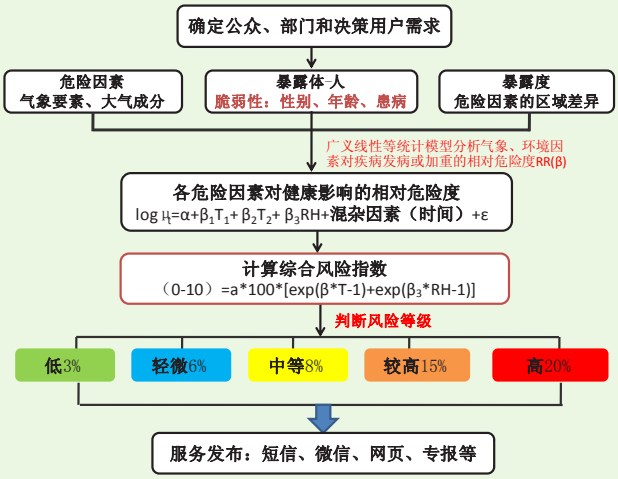

图4 健康气象风险产品制作流程

Fig. 4 Flow chart of meteorological risk service for health

2.2.3 城市内涝

气候变化影响下上海地区强降水事件极端性明显增强。据统计，年最大小时降水量超过 50 mm的概率1951—1980年期间为16.7%，而1981—2014年期间达到35.3%，增幅超过1倍；而24小时累计降水量超过100 mm的概率也从30%增加到56%，增幅也近1倍。为应对增多增强的暴雨内涝，气象部门联合水务部门和有关高校研发了城市内涝的预报预警模型，基于精细化格点降水预报产品，通过内涝模型计算积水深度和范围，评估影响对象的内涝风险。内涝风险预警等级与用户防御应急响应标准衔接，提前向有关部门通报，用户根据风险预警等级采取对应响应行动，并通过多种发布手段将服务产品直通到社区，这样城市应急网格单元和社区能够在灾害发生前立即采取防范措施。实践表明，针对脆弱区域或某个社区直通式发布内涝预警，预警量每年减少一半，时效性提高一倍。2015年7月，上海受“灿鸿”台风影响，上海市气象局对杨浦区直接发预警，杨浦区再通过应急管理单元、网络化管理单元、社区客户端、微信公众号等直接服务，取得了非常好的效果。

2.2.4 海洋气象

上海港是全球超级大港，海洋和港口气象服务需求很大，但是基于单一的气象要素来服务不能满足需求。例如，2014年洋山港发生了一起集装箱翻沉事故，由于装的是化妆品，翻沉后发生化学反应，造成较大的经济损失。可当时风并不大（六级风），按常理来说，并不能造成翻船。事实上，是否翻船，与船舶大小、运载货物多少、货物品类、波浪陡度、涌浪占比、浅滩效应、谐摇等都有关系。事后经分析模拟，这次翻船事故与波浪陡度和浅滩效应有很大关系。需要把气象要素和船舶等承灾体类型结合起来，才能发现风险隐患点。目前，上海气象部门根据4000～5000吨散货船、大型客滚船、4000吨以下散货船、一般客滚船、铁壳渔船、木壳渔船、近岸小渔船等不同船体的抗风浪能力设置不同的风险阈值，并基于海洋气象监测预警服务平台制作网格化的影响预报和风险预警产品（如陡浪指数、浅滩效应指数、涌浪占比指数、摇曳指数等），通过船舶自动识别系统AIS实时播发，船舶上可通过AIS接收设备接收并解析，获取到最新的气象服务信息。所以不能凭单一的气象要素来做服务。

2.2.5 航空气象

上海市气象局与机场、航空公司共同开展航空气象影响预报和风险预警业务系统的研发（图5）。比如夏季的强对流天气经过精细化分析后，空管部门可根据影响预报和风险预警决定机场的开闭时间，这在很大程度上可提高机场运行效率。此外，基于高分辨率数值预报模式，开发了更长时效、覆盖范围更广的航空气象解释应用产品，包括机场和航线预报等，初步建成航空气象影响预报业务平台，已在浦东、虹桥国际机场投入试用。同时与中国商飞试飞中心合作，

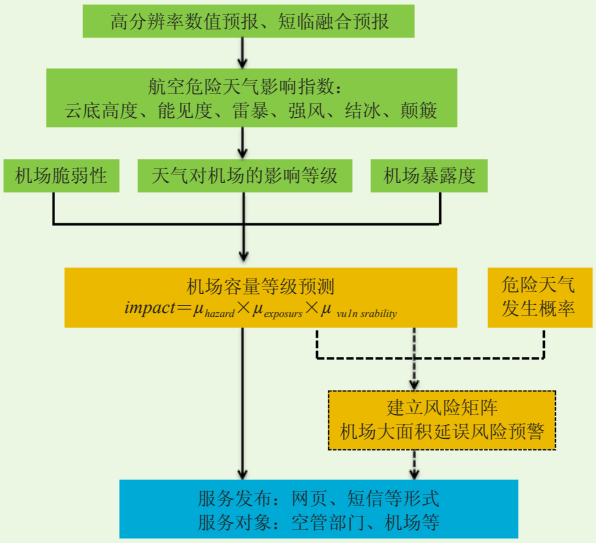

图5 航空气象影响预报和风险预警概念模型图

Fig. 5 The conceptual model of impact-based forecast and risk-informed warning for aeronautical meteorology

针对自然结冰、大侧风、高温高湿、高寒气象条件等开展国产大飞机试飞气象保障。

3 未来城市气象灾害风险管理思考

当前正处于信息化快速发展的时代，上海市在全国率先实施了两轮“智慧城市”行动计划，城市气象灾害风险管理也面临着向智慧发展转型。积极融入智慧城市建设，发展智慧气象，为影响城市安全运行和生态环境的气象灾害及各种衍生灾害的风险管理形成有力支撑，实现气象影响预报和风险预警信息靶向性发布和全市广覆盖；气象与航运、航空、环保、旅游、卫生等不同行业将深度融合对接；移动互联和智能识别等技术将得到深入应用，基本满足市民和专业用户个性化的气象服务需求。

一是城市气象灾害风险管理要强化大数据分析。气象数据只有开放才能充分挖掘其应用潜力，只有大力推动服务社会化才能更好地激发气象服务的动力和活力。从技术发展的角度来说，城市气象灾害风险管理应加大智能化的网格预报和人工智能技术的研发和应用力度。

二是城市气象灾害风险管理要树立综合防灾减灾理念。与相关部门开展更加有效的合作，确立风险预判通报机制，部门联动、关口前移。包括对灾害性天气可能产生的影响进行正确预判、思考应当采取怎样的合理行动、规划工程性措施和制度设计；要完善预判、预报、预警、预案、预防等各环节的衔接机制。

三是城市气象灾害风险管理特别关注城市适应气候变化。形成天气气候一体化思维，不仅关注未来几天，还应关注包括季节、年际和年代际的气候预测和气候变化趋势，实现天气、气候、环境的无缝隙预报和综合服务。例如，可以借鉴英国伦敦应对气候变化工程性及非工程性措施管理和运营经验[4]。1972年开工建设的伦敦泰晤士闸建成时期并未考虑气候变化的海平面上升因素，其设计防御标准为抵千年一遇风暴潮。建设之初预计使用次数仅为1～2次。但受全球气候变化影响，截至2016年该闸使用次数已达100多次，取得了显著的经济和社会效益。该闸控制处和气象部门紧密合作，经过缜密的模型计算确定是否需要开关闸及开关闸的时机。

四是城市气象灾害风险管理要强化社会共治。2017年3月1日起施行的《上海市气象灾害防御办法》拉开了新一轮气象灾害风险应对的序幕，《办法》明确了政府考核内容、政府主导凸显责任可考核；设立了社会参与章节、社会共治凸显有法可依。防灾减灾仅靠政府行为不能完全解决问题，必须坚持重心下移，增强基层组织防灾减灾能力，鼓励社区、家庭、个人履行好各自的职责，培育防灾减灾的社会组织，强调企事业单位在防灾减灾工作中的主体地位，发挥保险在风险转移和防灾减灾方面的作用。

参考文献

[1] 郑国光. 城市气象减灾. 中国减灾, 2005, (6): 12-13.
[2] 王迎春, 郑大玮, 李青春. 城市气象灾害. 北京: 气象出版社, 2009.
[3] 陈正洪, 杨桂芳. 城市气象灾害及其影响相关问题研究进展. 气象与减灾研究, 2012, 35(3): 1-7.
[4] 张庆阳, 秦莲霞, 郭家康. 英国气象灾害防治. 中国减灾, 2013, (2): 52-55.
[5] 扈海波, 轩春怡, 诸立尚, 等. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预评估. 应用气象学报, 2013, 24(1): 99-108.
[6] 扈海波, 熊亚军, 张姝丽. 基于城市交通脆弱性核算的大雾灾害风险评估. 应用气象学报, 2010, 21(6): 732-738.
[7] 李永平. 从2008年初我国南方雪灾反思上海城市气象灾害的防御. 华东师范大学学报（自然科学版）, 2008, (5): 134-140.
[8] 谢欣露, 郑艳. 城市居民气候灾害风险及适应性认知分析—基于上海社会调查问卷. 城市与环境研究, 2014(1): 80-91.
[9] Shi J, Cui L. Characteristics of high impact weather and meteorological disaster in Shanghai, China. Natural Hazards, 2012, 60(3): 951-969.
[10] 吴蔚, 穆海振, 梁卓然, 等. CMIP5全球气候模式对上海极端气温和降水的情景预估. 气候与环境研究, 2016, 21(03): 269-281.