

基于风险矩阵的重大活动气象风险评估

轩春怡^{①*}, 吴春艳^①, 刘勇洪^{②, ③}, 舒文军^①

①北京市气候中心, 北京 100089;

②中国气象局地球系统数值预报中心, 北京 100081;

③灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

*联系人, E-mail: chunyxuan@163.com

摘要 基于风险矩阵理论, 初步建立了重大活动气象风险评估方法与流程, 并以北京某重大庆祝活动服务为例, 在多部门联合共同确定活动期间气象风险源的基础上, 利用长时间序列气象资料及短期测风雷达观测资料, 开展了庆祝活动气象风险可能性分析, 结合对活动可能造成后果的严重程度, 利用风险矩阵开展了气象风险评估及风险控制研究。评估结果表明, 庆祝活动期间主要气象风险依次为降水/阴雨、白天大风、雾-霾、夜晚大风、高温、雷电、低温等7类。其中, 降水/阴雨、白天大风、雾-霾为高风险, 夜晚大风为中风险, 其余均为低风险, 根据评估结果建立的风险控制原则和具体措施成功应用于庆祝活动风险控制中。与现有气象业务服务中天气风险评估相比, 本研究实现了重大活动气象风险评估由仅考虑高影响天气出现概率向基于影响的风险评估的转变。

关键词 风险矩阵; 重大活动; 气象风险; 风险控制

近年来随着我国经济实力的提升和人民生活水平的提高, 各地举办的重大活动越来越多, 这些活动不仅形式多样, 而且规格和规模等都呈现出大型化、室外化的特点, 易受天气因素制约, 举办过程中面临不同程度的气象风险。如2021年5月22日发生在甘肃白银的山地越野赛重大伤亡事故, 一个重要原因就是赛前的风险评估、控制“关口失守”(唐钧等, 2021), 致使赛事期间出现的高影响天气(并非极端灾害性天气)引发重大人员伤亡, 是一起重大公共安全责任事件(甘肃省委省政府联合调查组, 2021)。可见, 作为活动安全保障的重要一环, 气象风险评估应成为目前重大活动组织实施和运行体系中必不可少的组成部分。通过对重大活动期间可能发生的气象风险进行识别和科学评估, 可为制定活动工作方案和处置突发事件应急预案以及开展演练等提供科学技术支撑, 可以有效预防气象风险转变为突发事件甚至气象灾害(叶飞, 2020)。

由于重大活动是在特定场所和特定时间进行, 而常规的气象观测和天气预报精度可能难以覆盖, 因此, 当前国内对不同类型的大型活动气象保障更多地关注在活动开始前或活动期间的精细化预报服务上。时少英等(2008)分析了精细化天气预报在奥运期间赛事安排中的应用, 苗世光等(2009)将高分辨率数值预报模式引入青岛奥帆赛中开展预报服务, 王华等(2018)则引入多种精细化预报方法和新资料应用于2015年北京田径世锦赛开幕式天气定点预报中。此外, 从气象服务体系、服务流程、服务预案制定、信息资源整合及气象服务满意度等角度出发而开展的大型活动气象保障服务理论研究也较多(王玉彬等, 2009; 潘进军等, 2011; 顾润源等, 2018)。在大型活动气象风险评估方面国外不少学者评估和探讨了冬奥会举办中存在的气候和天气风险, Daniel Scott 等(2019)评估了未来在不同温室气体排放情景下冬奥会举办地的气候可行性, Ruttly M等(2015)分析了历届冬奥会对于天气风险的管理策略和适应措施, S.S. Dawkins等(2004)研究了利用天气衍生产品来管理和应对重大赛事活动的天气风险。国内针对重大活动开展系统性的气象风险评估最早可以追溯到北京2008年夏季奥运会的气象

35 服务中，主要是通过计算奥运会期间不同区域各类灾害性天气出现的概率，结合不同地区的经济能力，人口等指
36 标进行风险区划（郭虎等，2008；扈海波等，2008；程从兰等，2008）。此后国内许多重大活动把气象风险评估
37 纳入气象保障服务中，如雷向杰等（2011）基于概率统计和灾害易损性分析方法开展了西安2011年世园会开幕式、
38 闭幕式期间的灾害性天气评估，南京市气象局也开展了2014年夏季南京青奥会气象灾害风险源的识别，并提出了
39 防灾减灾措施（赵阳等，2016）。可以看出，目前的大型活动气象保障更多地关注在预测与预报领域，在气象风
40 险评估中主要以灾害性天气为主，未覆盖对活动可能造成重要影响的普通天气条件或天气事件（它们对于活动而
41 言就是高影响天气），或即使考虑到高影响天气，也多以其发生的概率代表风险，较少考虑其出现时对活动造成
42 的后果的严重程度，并不是基于影响的风险评估。

43 针对目前重大活动气象风险评估中的问题，本研究引入风险矩阵理论，初步建立重大活动气象风险评估方法
44 与流程，在此基础上，以北京某重大庆祝活动服务为例，开展活动期间气象风险评估与风险控制研究，这对于其
45 它大型活动气象保障和城市防灾减灾工作具有积极参考和借鉴意义。

46 1 重大活动气象风险评估方法

47 1.1 风险矩阵

48 风险的基本内涵是危险事件发生的可能性以及产生影响的严重程度，它是事件发生概率和事件发生后果严重
49 程度两个因素的综合。风险评估就是辨识危险事件是什么，危险事件发生的可能性和危险事件造成的后果严重到
50 何种程度（Grubestic and Matisziw, 2013），重点是给出某一危险发生的概率及其后果的严重程度，以此判断风险
51 程度有多大。风险矩阵（risk matrix）是目前自然灾害风险评估与项目风险评估中常用的方法之一，通过定性和定
52 量分析综合考虑事件发生的可能性和后果两方面的因素对风险进行评估（洪成等，2019；徐宁和梁第，2020）。
53 该方法最早由美国空军电子系统中心在1995年对采办项目的寿命周期风险评估工作中首次提出，后被广泛应用于
54 各类工程项目和自然灾害风险评估工作中（Ninh, 2010；刘志雄和刘敏，2015；李岩和岳维栋，2019），在国内
55 大型活动公共卫生突发事件风险评价中也得到有效应用（谈立峰等，2012；苏彦萍等，2015）。风险矩阵法不同
56 于由专家打分直接得出风险等级，是定量分析与定性判断相结合的方法，从风险因子本身的属性出发，根据风险
57 因子发生的可能性大小及其造成的危害后果之间的组合来确定风险程度。

58 本研究引入风险矩阵，以确定重大活动气象风险等级。根据风险矩阵理论，风险因子（或事件）是高影响天
59 气，风险可能性则以各类高影响天气出现概率（或频率）表征。高影响天气出现概率计算方法为：在资料使用年
60 限内统计重大活动期间出现某类高影响天气的日数，该日数与统计年限内该活动期间的总日数之比即为高影响天
61 气出现概率。出现概率 $\leq 10\%$ 为“较不可能”、出现概率在 $10\%-50\%$ 之间为“可能”、出现概率在 $50\%-80\%$ 之间为“很
62 可能”、出现概率 $\geq 80\%$ 为“几乎肯定能”。后果的严重程度主要由活动举办方或相关专家根据高影响天气出现
63 时对活动的影响大小来判定，划分为轻微、一般、较严重和严重4个等级。由此，根据高影响天气发生概率与后
64 果的严重程度可以将重大活动气象风险划分为低、中、高和极高4个等级，风险矩阵表见表1。

65 表1 风险矩阵表

66 Table 1 risk matrix table

风险等级		后果的严重程度			
		轻微	一般	较严重	严重
事件发生概率 (或频率)	较不可能 ($\leq 10\%$)	低	低	低	中
	可能 (10-50%)	低	低	中	高
	很可能 (50-80%)	低	中	高	高
	几乎肯定能 ($\geq 80\%$)	中	高	高	极高

1.2 重大活动气象风险评估流程

根据气象风险矩阵方法，结合大型活动特点确定重大活动气象风险评估技术流程主要包括5个阶段（见图1）。

（1）气象风险因素识别：开展活动举办过程中与天气有关的气象风险因素的识别，包括理想气象条件和高影响天气因子分析，确定高影响天气因子影响阈值。该阶段主要由气象部门与活动举办方相关专家共同参与确定。

（2）气象风险因素可能性分析：对识别出的高影响天气因子可能性进行分析，包括活动期间气象条件分析及高影响天气出现的概率（或频率）估算。该阶段主要由气象部门实施。

（3）影响后果判断：对活动举办过程中出现高影响天气时造成后果的严重程度进行判定。该阶段主要由活动举办方相关专家确定。

（4）风险等级判定：根据第（2）和（3）两步分析结果，利用风险矩阵，确定气象风险等级。该阶段主要由气象部门实施。

（5）风险控制：根据评估结果，结合活动特点，与活动举办方专家商讨提出相应的风险控制措施与建议。

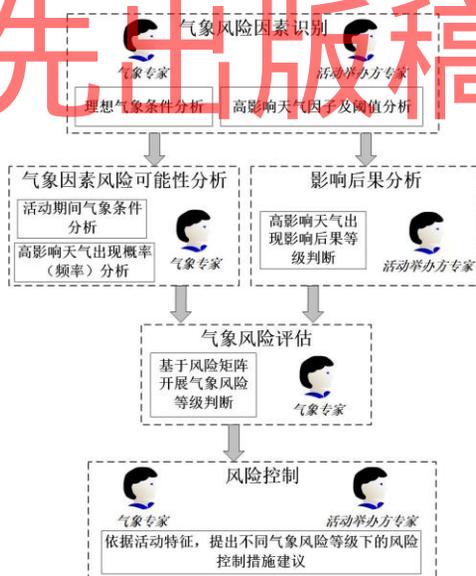


图1 重大活动气象风险评估流程

Figure. 1 Workflow of Meteorological Risk Assessment for Major Activities

1.3 某重大庆祝活动气象风险因素识别

风险因素识别是风险评估的基础(彭鹏等, 2015)，该重大庆祝活动举办的项目多、涉及地点多、时间跨度相

83 对较长，而不同活动、不同时段、不同地点其气象风险因子必然不同。经过与活动主办方多部门的协作与联合分
 84 析，确定**该活动期间**气象风险评估主要考虑气象条件对阅兵、联欢、烟花燃放三个主要活动的影响，并结合具体
 85 活动的特点，开展了气象风险因素识别，具体识别结果如表2所示。

86 表2 某重大庆祝活动主要气象风险因素识别表

87 Table 2 Identification Table of Major Meteorological Risk Factors for the Major Celebration

活动	气象风险因素	影响阈值
阅兵	气温 降水 风速 云量 强对流天气 能见度	理想天气：晴到多云天，无沙尘、降水、强对流等天气；气温 $<28^{\circ}\text{C}$ ，能见度 $\geq 10\text{KM}$ ，风力2-3级，低云量 ≤ 2 成 高影响天气：强对流天气是活动的“克星”，尤其对空中飞行梯队表演影响巨大；小时雨强在5mm以内就可能影响活动效果，小时雨强 $\geq 10\text{mm}$ ，能见度 $< 1\text{km}$ ，对飞行表演影响极大，并影响转播效果；低云由于其内在的危险性会给阅兵尤其是空中梯队飞行表演带来安全隐患
联欢	气温 降水 日照 云量 能见度	理想天气：人体舒适范围以 $23^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 为佳；晴到多云天气时，云可阻挡部分紫外线、削弱太阳辐射，对参阅人员较为适宜 高影响天气：晴天，气温超过 28°C ，紫外线达到“强”级别，人体有受到高温辐射伤害的可能；夜晚，气温低于 5°C 时，人体不适感明显；降水影响活动进行、人体感觉不适
烟花燃放	风速、风向	理想天气：无雨，风力小于3级，能见度6公里以上 高影响天气：完全无风将不利于污染物扩散；风力 ≥ 6 级时有火灾隐患；风向为南风并风力较大时，会带来将大量烟雾吹向主观礼台的风险

88 **1.4 气象资料需求**

89 对活动有重大影响的风、强对流天气等在城市中具有空间不连续、局地性强等特征，因此首先选择离重要活
 90 动举办地——天安门广场最近的区域气象自动站天安门站建站以来（2000-2018年）**庆祝活动**期间（9月25日-10
 91 月5日，下同）逐时温度、风速、降水等气象要素观测资料开展评估工作。由于自动气象站没有天气现象的观测，
 92 选择了北京地区国家级代表气象站——观象台站近三十年（1989-2018年）同期雾、霾、雷电、沙尘等天气现象及
 93 气温、降水、日照等要素观测资料。另外，参考了天安门广场临时布设的4个加密观测自动气象站和一台多普勒
 94 激光测风雷达短期风速观测资料作为补充。上述资料均由北京市气象信息中心提供，已按文献中的方法（窦以文
 95 等，2008）经过了质量控制，数据质量满足研究要求。

96 **2 某重大庆祝活动气象风险分析**

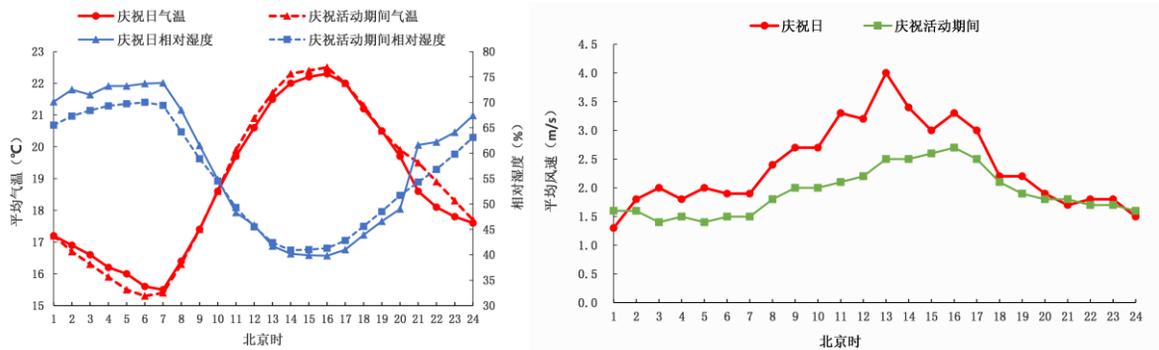
97 **2.1 气温、相对湿度、能见度和平均风速**

98 **庆祝活动**期间及**庆祝日**天安门地区上午（07-12时）平均气温在 25°C 以下，平均风速在 3.3m/s 以下（图2），
 99 活动期间多年平均能见度为 14.5km ，晴和多云天气出现概率达79%，这样的气象条件在大部分情况下是有利于阅
 100 兵活动，且由于风速不大，相对湿度在70%以下，人体感受较为舒适，适宜群众现场观看阅兵及联欢。

101 **庆祝活动**期间天安门地区日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 的天气出现概率为5%（**庆祝日**为10%），极端最高气温为 31.4°C
 102 （**庆祝日**为 29.2°C ），极端最低气温为 6.6°C （**庆祝日**为 10.2°C ）。观象台30年资料分析得出，日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$

103 的天气出现概率为4%，最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的低温天气出现概率为1%，日极端最低气温可低至 3.1°C 。

104 以上分析显示，**庆祝活动**期间日最高气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 的高温天气出现概率最大为10%，而日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的低温
105 出现概率 $< 5\%$ ，即可能性均为“较不可能”。另外，这两种天气出现后的后果严重程度都是“一般”，结合风险
106 矩阵表，可以确定影响阅兵和联欢活动的高温和低温风险均为“低风险”等级。

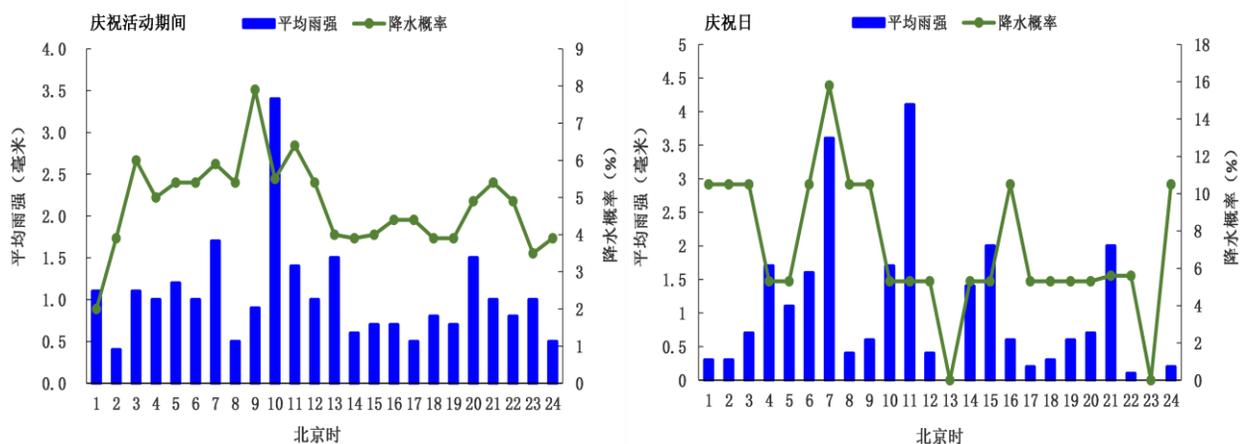


107
108 图2 天安门地区**庆祝活动**期间和**庆祝日**气温、相对湿度（左）和风速（右）日变化（2000-2018年）

109 Fig.2 Variation of hourly temperature ,relative humidity (left) and wind speed (right) during **the celebration period** and
110 **on the celebration day** in Tian'anmen area(2000-2018)

111 2.2 降水/阴雨

112 天安门地区**庆祝活动**期间降水出现概率为22%（**庆祝日**为26%），多年平均降水日数为2.4天（最多为5天），
113 有雨日平均日降水量为6.5毫米（**庆祝日**为7.2毫米）。**庆祝活动**期间最大日降水量是43.0毫米（大雨），**庆祝日**最
114 大日降水量为18.2毫米（中雨）。从**庆祝活动**期间和**庆祝日**逐时降水概率及平均雨强资料（图3）分析得出，**庆祝**
115 **活动期间**各时次均有出现降水的可能，虽然平均雨强都小于 3.5mm/h （**庆祝日**平均雨强小于 4.5mm/h ），但若出现
116 对活动还是有较大影响。**庆祝日**最大雨强为 9.6mm/h ，相当于大雨级别，出现在2013年10月1日6-7时。



117
118 图3 天安门地区**庆祝活动**期间（左）和**庆祝日**（右）逐时降水概率及平均雨强（2000-2018年）

119 Fig.3 Hourly precipitation probability and average rainfall intensity during **the celebration period** (left) and **on the**
120 **celebration day** (right) in Tian'anmen area (2000-2018)

121 观象台30年资料分析可得出，**庆祝活动**期间平均降水日数为2.2天，降水概率为20%（**庆祝日**降水概率为

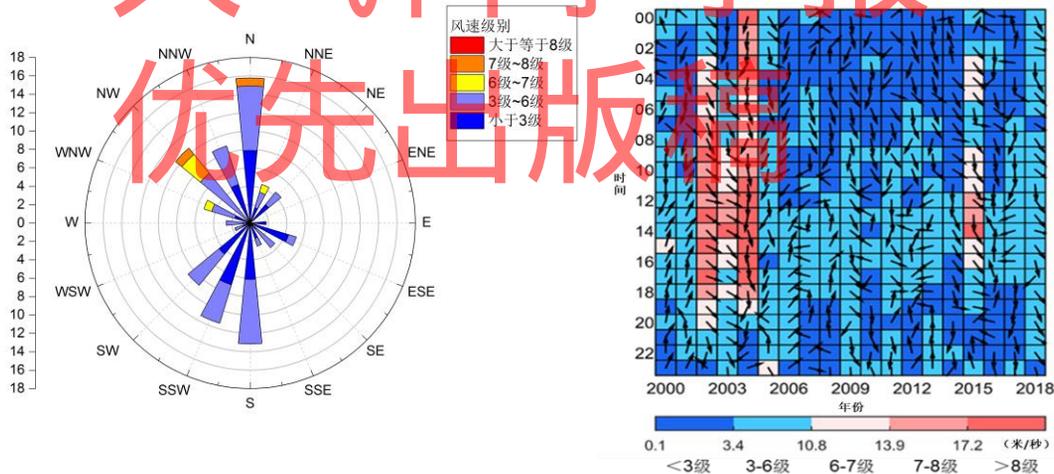
122 30%)，中雨以上降水出现概率为4%。庆祝活动期间阴天（低云量 ≥ 8 成）出现概率为5%，阴雨天合计出现概率
123 约为21%。

124 综合以上分析，阅兵时段有可能出现中雨以上的降水天气，阴雨天出现概率大于10%，可能性为“可能”，
125 该类天气出现时后果严重程度为“严重”，结合风险矩阵表，确定阴雨天风险为“高风险”等级。

126 2.3 大风

127 统计庆祝活动期间和庆祝日07-23时不同时段各等级极大风速出现概率显示，庆祝日上午阅兵时段（9-12时），
128 极大风速 ≥ 6 级的出现概率在21%以上；下午（12-17时）极大风速 ≥ 6 级的出现概率最高可达26%，午后有可能出
129 现7级以上大风（见图4右）；在夜晚烟花燃放时段（18-23时），极大风速 ≥ 3 级的出现概率在50%以上，极大风
130 速 ≥ 6 级的出现概率明显减少，18-19时在10%~16%，此后低于10%（统计表略）。另外，参考4个广场加密气象
131 站资料表明，天安门广场风速较天安门自动气象站观测记录偏大，大风的危险性更高；正阳门多普勒激光雷达观
132 测资料分析显示，天安门广场附近200m以下有出现超低空急流的可能，广场活动中布设的许多高空设备以及空中
133 梯队表演面临高空大风危险的可能。

134 庆祝活动期间和庆祝日风向变化基本一致，上午时段（06—11时）天安门地区盛行风向为偏北风，偏南风出
135 现频率不足3%；下午时段（12—17时）虽然盛行风向仍为北风，但偏南风频率较上午大幅增加，达到29%；夜晚
136 时段（18—23时）偏南风频率最高，达到48%，进一步分析可看出夜晚烟花燃放时段风向为偏南风时极大风速都
137 在6级以内，6级以上的大风风向都是偏北风（图4）。



145 图4 庆祝日夜晚(18-23时)不同等级极大风速风向频率(左)和历年庆祝日极大风速等级及风向图(右)(2000-2018
146 年，图中箭头表示风向)

147 Fig.4 Night wind direction frequency of extreme wind speed on the celebration day (left) and wind direction of extreme
148 wind speed on the celebration day (right)(2000-2018, arrow in the figure referring to wind direction)

149 以上结果显示，白天（9-16时）出现6级以上大风的概率最高可达21%，可能性为“可能”，大风出现时对阅
150 兵影响程度为“严重”；在夜晚燃放烟花时段（18-23时）出现6级以上大风的概率最高可达16%，可能性为“可
151 能”，烟花燃放时的消防安全需要重点关注，但该时段6级以上的大风风向基本都是偏北风，将烟雾吹向主观礼

台的危险相对较小，因此对烟花燃放的影响程度为“较大”。结合风险矩阵表，可以确定影响阅兵活动的白天大风风险为“高风险”等级，影响烟花燃放的夜晚大风风险为“中风险”等级。

2.4 其它高影响天气

从观象台30年资料分析可得出，**庆祝活动期间**雾日和霾日总日数分别为19天和43天，合计雾-霾日出现概率为20%（**庆祝日**出现概率为27%）。**庆祝日**没有出现雷电，但**庆祝活动期间**出现雷电13天，出现概率为4%。

以上结果显示，雾-霾出现概率大于20%，即可能性为“可能”，出现时对阅兵和联欢活动的影响程度为“严重”；雷电出现概率小于5%，可能性为“较不可能”，且出现时对阅兵、联欢活动影响后果为“一般”。结合风险矩阵表，确定雾-霾为“高风险”，雷电为“低风险”。

3 某重大庆祝活动气象风险评估结果及风险控制

3.1 气象风险评估结果及风险地图

综合上述分析得到北京地区**庆祝活动**期间主要气象风险评估结果（见表3）。可看出，主要气象风险从高到低依次为：降水/阴雨—高风险、白天大风—高风险、雾-霾—高风险、夜晚大风—中风险、高温直晒—低风险、雷电—低风险、低温—低风险。依据北京市应急管理局2019年印发的《自然灾害类、事故灾难类风险评估与控制工作手册》与《北京市突发事件应急委员会关于印发北京市公共安全风险管理实施指南的通知》（京应急委发〔2010〕8号）的**风险控制类别划分原则**，除雾-霾风险为“可降低风险（B类）”外，其它几类风险均为“不可控风险（C类）”。

由于庆祝活动举办场所不同，不同气象风险还存在空间上的差别，为更好地反映庆祝活动在不同空间面临的主要气象风险，根据**不同区域**开展的庆祝活动的规模大小及重要性和前述气象风险评估结果，绘制了**庆祝活动期间**气象风险地图，如图5所示：气象风险主要集中于北京城六区范围，其中：高温直晒、夜晚大风和低温主要影响室外大型活动人群，这些活动主要在大安门广场及周边区域（东城区和西城区）进行；其他气象风险如降水/阴雨、雾-霾、白天大风、雷电等对城六区城市生命线、庆祝活动、空中梯队表演均可能造成影响。因此，风险防范区进一步分为核心区、重要区和次要区。东城、西城为所有的7种高影响天气风险区，是庆祝活动气象风险重点防范区，其中天安门广场周边1公里是庆祝活动聚集场所，是核心防范区。海淀、朝阳、丰台和石景山为降水/阴雨、雾-霾、白天大风、雷电风险区，是庆祝活动气象风险次要防范区。

表3 **庆祝活动期间**气象风险等级表

Table 3 Meteorological risk levels **during the celebration period**

风险名称	可能性 (概率)	影响 后果	风险等 级	风险类别	风险控制原则
降水/阴雨	可能 (21%)	严重	高风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~工作流程》开展天气风险控制，活动举办方制定风险应对措施
白天大风 (风速≥6级)	可能 (21%)	严重	高风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~工作流程》开展天气风险控制及现场气象服务，活动举办方需采取防风加固措施以及制定空中编队飞行应急方案

雾-霾	可能 (27%)	严重	高风险	可降低风险 (B类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~ 工作流程》开展天气风险控制，政府可 采取大气污染防治措施减轻影响
夜晚大风 (风速 ≥ 6 级)	可能 (16%)	较严 重	中风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~ 工作流程》开展天气风险控制及现场气 象服务，活动举办方需采取防风和消防 安全措施
高温直晒	较不可能 (10%)	一般	低风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~ 工作流程》开展天气风险控制，活动举 办方和人群需采取防晒降温措施
雷电	较不可能 (4%)	一般	低风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~ 工作流程》开展天气风险控制及现场气 象服务，活动举办方需做好防雷措施
低温	较不可能 (1%)	一般	低风险	不可控风险 (C类)	气象部门按《大型活动气象服务指南~ 工作流程》开展天气风险控制，活动举 办方和人群需采取防寒保暖措施

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

大气科学学报
优先出版稿



188 图5 庆祝活动期间气象风险地图

189 Fig.5 Meteorological risk map during the celebration period

190 **3.2 风险控制原则**

191 庆祝活动期间的7类气象风险具有两个共性：（1）不可控性：由于天气的自然属性，除霾天气风险可以通过
192 人为措施减轻外，其他都属不可控类风险；（2）不易消除性：高温直晒和夜间低温风险主要针对人体，可以通
193 过人群的自我防护减轻或消除这种危害，其他风险均针对庆祝活动本身，由于庆祝活动是一个庞大的系统工程，
194 涉及因素较多，风险不易减轻或消除。根据庆祝活动风险控制原则和要求，一方面需要气象部门按气象行业标准
195 《大型活动气象服务指南—工作流程》（QX/T 274—2015）及时做好短期气候预测及短临天气预报、预警，并提

196 供现场保障服务，为其他部门采取相关防护措施提供参考依据；另一方面也需要活动举办方提前做好各种天气风
197 险下的预案及应对措施，以保障活动顺利开展，不同气象风险控制原则详见表3。

198 3.3 评估结果用于风险控制

199 基于本研究主要成果编制的《庆祝活动期间天气风险评估报告》上报给庆祝活动指挥部后，按照指挥部的部
200 署要求，各活动相关部门依据该报告制定和修改了活动的风险控制方案及实施方案。如，相关部门根据报告内容，
201 针对天安门超高LED网幕吊装及运行过程中面临的高空极端大风风险，及时调整实施方案，调高了施工吊车吨位，
202 确保安装顺利；报告中天安门地区风速较气象观测站风速更大、有可能出现超低空急流等结论和极大风速值为国
203 旗旗杆升高后的基座以及国旗加宽加大后的抗风风洞试验提供了关键抗风参数；另外，根据分析结论，进一步对
204 与庆祝活动相关的11个指挥部提供的天气风险应对措施提出修改意见，最终形成针对“9.30献花”、“10.1大阅
205 兵”、“联欢”和“群众游园”等4大主题活动的105项气象风险应对预案，最大程度地降低和避免庆祝活动在举
206 办过程中的气象风险。

207 4 结论与讨论

208 4.1 结论

209 (1) 基于风险矩阵理论，本文初步建立了重大活动气象风险评估方法与流程，可以分为气象风险因素识别、
210 气象风险因素可能性分析、影响后果判断、风险等级判定和风险控制等几个阶段。利用此方法，在多部门联合共
211 同确定活动气象风险源的基础上，开展了北京某重大庆祝活动气象风险评估，根据评估结果建立的风险控制原则
212 和具体措施成功应用于该重大庆祝活动风险控制中。与现有气象业务中天气风险评估相比，实现了重大活动气象
213 评估由仅考虑高影响天气出现概率向基于影响的风险评估的转变。

214 (2) 重大活动气象服务除气象风险评估外还包括很多方面，如，短期预报、临近预报、现场观测等。气象
215 风险评估只是重大活动气象服务中前置先行的一步，其评估结果可为制定活动工作方案和处置突发事件应急预案
216 以及开展演练等提供科学技术支撑。短期预报、临近预报、观测结果是应急预案、风险控制策略实施的发令枪，
217 当预报结果或观测结果达到风险评估中的某类风险阈值时，活动组织方则要根据制定的各项预案和风险控制措施
218 开展工作以消除或降低其对活动的影响。因此，重大活动气象服务中的各个方面并非完全割裂，而是互有补充，
219 共同为决策者提供更全面、更完整、更系统的决策支撑，以保重大活动安全、有序开展。

220 4.2 讨论

221 重大活动气象风险评估不同于常规的气象灾害风险评估，而科学合理且精细化的风险评估对于活动的顺利举
222 办至关重要。本研究通过对北京某重大庆祝活动期间气象风险的评估表明，在重大活动气象保障中引入风险矩阵
223 理论来评估气象风险较目前常规的天气风险评估方法更具有科学性与合理性，但仍需关注以下问题：

224 (1) 气象风险因子识别和风险阈值的判断：重大活动由于涉及人员、设备众多，各活动主要场所、关键时
225 间节点各不相同，影响活动的气象因素也各不相同，甚至同一活动在不同的时间节点，其气象影响因子和影响阈
226 值也不同。因此，针对重大活动开展气象风险评估时，要充分调研，并借助部门联合、多学科融合手段，包括数
227 值模拟、风洞试验等开展气象风险因子的识别和风险阈值的判断。

228 (2) 分析方法的差异: 不同于常规的气象灾害风险评估, 大型活动气象风险评估一般只集中于某几天甚至
229 某一天, 按照气候学意义而言, 在同一时期的某几天或者其中一天的天气事件出现概率应该是一样的, 但实际统
230 计分析的时段不同, 结果差异很大。例如, 天安门地区庆祝活动期间和庆祝日下午13-17时 ≥ 6 级大风出现的频率
231 分别为5%和22%左右, 相差巨大。并且有30年观测资料的观象台站和有19年观测资料的自动气象站高温出现概率
232 的分析结果也存在明显差异, 在此次风险评估中只是简单采用了“最大值”原则, 即就重不就轻, 如何平衡这种
233 差异也需要有一定的方法和规则来进行约束。

234 (3) 先进资料和技术的应用: 针对特定活动地点, 常规的气象观测很难覆盖, 一方面要充分利用城市中的
235 区域气象自动站观测数据外, 另一方面针对对活动的特殊需求, 需要临时增设加密观测。而随着数值模拟技术的
236 发展, 对城市局地气候尤其是极端气候值的模拟也可以是未来重大活动气象风险评估的重要技术发展方向之一。

237 参考文献 (References)

- 238 [1]程丛兰, 李青春, 扈海波,等,2008.北京地区奥运期间大风灾害的定量评估[J].气象科技, 36(6): 806-810. Cheng Conglan,Li
239 Qingchun, Hu Haibo,et al.,2008,Risk Assessment of Gale Damage in Beijing Olympic Games[J].Meteorological Science And
240 Technology, 36(6): 806-810.
- 241 [2]Daniel Scott, Robert Steiger, Michelle Rutty, et al., 2019. The changing geography of the Winter Olympic and Paralympic
242 Games in a warmer world[J], Taylor & Francis Journal, Current Issues in Tourism, 22(11), 1301-1311.
- 243 [3]窦以文, 屈玉贵, 陶士伟, 等, 2008. 北京自动气象站实时数据质量控制应用[J].气象, 34(8): 77-81. Dou Y W, Qu Y G, Tao S W,
244 et al. The application of quality control procedures for real-time data from automatic weather stations[J]. Meteor Mon, 2008,
245 34(8): 77-81.
- 246 [4]扈海波, 董鹏捷, 熊亚军, 等, 2008.北京奥运期间冰雹灾害风险评估[J].气象, 34(12):84-89. Hu Haibo, Dong Pengjie,Xiong
247 Yajun,et al.,2008.Hail Risk Evaluation of Meteorological Disaster During Beijing Olympic Games[J]. Meteor Mon,34(12):84-89.
- 248 [5]Grubestic T H, Matisziw T C,2013.A typological framework for categorizing infrastructure vulnerability[J]. Geojour-
249 nal,78(2):287-301
- 250 [6]甘肃省省委省政府联合调查组, 白银景泰“5·22”黄河石林百公里越野赛公共安全责任事件调查报告. 2021.06.
251 <http://www.gansu.gov.cn/gsszf/c100002/c100010/202106/1643566.shtml>
- 252 [7]顾润源, 马艳, 丁锋, 等 2018. 2018 年上合组织青岛峰会精细化气象服务综述[J].海洋气象学报,38(4): 11-18. Gu R Y,Ma
253 Y,Ding F,et al.,2018.Weather Support for the 2018 Shanghai Cooperation Organization Qingdao Summit[J]. Journal of Marine
254 Meteorology,38(4) :11-18.
- 255 [8]郭虎, 熊亚军, 扈海波, 2008. 北京市奥运期间气象灾害风险承受与控制能力分析[J].气象, 34(2):77-82. Guo Hu,Xiong
256 Yajun,Hu Haibo,2008. Analysis on the Risk Tolerance and Control Ability of Meteorological Disaster in the Period of Beijing
257 Olympic Game[J]. Meteor Mon,34(2):77-82.
- 258 [9]洪成, 王桂生, 周家贵等,2019.基于云模型和风险矩阵的自然灾害风险评价[J].人民黄河,41(6):14-20. Hong C,Wang G S,Zhou
259 J G,et al.,2019.Natural Disaster Risk Assessment Based on Cloud Model and Risk Matrix[J].Yellow River,41(6):14-20.
- 260 [10]Nih H, Chen A, Chen N,2010.Some Extensions on Risk Aatrix Approach[J].Safety Science,2010(48):1269-1278.
- 261 [11]李岩, 岳维栋, 2019.基于风险矩阵法的现代农业产业园项目投资风险管理机制[J].农业工程,9(12):135-138. Li Y,Yue W
262 D,2019.Risk Management Mechanism of Modern Agricultural Park Project Investment Based on Risk Matrix Method[J].Agric
263 Eng,9(12):135-138.
- 264 [12]雷向杰, 方建刚, 毛明策, 等,2011.西安世园会开、闭幕式期间灾害性天气风险分析[J].灾害学, 26(4): 40-46. Lei X J, Fang J
265 G, Mao M C,et al.Risk Analysis on Weather Disasters during the Opening and Closing Ceremonies of the International Horticul-
266 tural Exposition in Xi'an. Journal of Catastrophology[J].Journal of Catastrophology, 26(4): 40-46.
- 267 [13]刘志雄, 刘敏, 2015. 基于风险矩阵法的湖北省柑橘冻害风险区划[J]. 华中农业大学学报, 34(6): 73-77. Liu Z X, Liu
268 M,2015. Risk zonation of cold injury to citrus in Hubei Province based on risk matrix[J]. Journal of Huazhong Agricultural
269 University, 34(6): 73-77.
- 270 [14]苗世光, 孙桂平, 马艳, 等,2009.青岛奥帆赛高分辨率数值模式系统研制与应用[J].应用气象学报, 20 (3):370-379. Miao
271 ShiGuang,Sun Guiping, Ma Yan,et al.,2009. The Development of High Resolution Numerical Model System for Qingdao Olym-
272 pic Sailing Competition[J].J Appl Meteor Sci.,20(3):370-379.(in Chinese)
- 273 [15]彭鹏, 张初, 洪梅, 等, 2015.气候变化影响与风险评估方法的研究进展[J].大气科学学报,38(2):155-1164. Peng Peng, Zhang
274 Ren,Hong Mei,et al.2015.Research progress on climate impact and risk assessment method[J].Trans Atmos Sci,38(2):155-1164.
- 275 [16]潘进军, 段欲晓, 马晓青, 等,2011.国庆 60 周年庆祝活动气象服务满意度评估[J].气象,37(11):1409-1414. Pan Jinjun,Duan

- 276 Yuxiao X, Ma Xiaoqing, et al., 2011. Assessment on Customer Satisfaction Degree of Weather Service for the 60th Anniversary of
277 National Day of the People's Republic of China[J]. Meteor Mon, 37(11):1409-1414.
- 278 [17] Rutter M., Scott D., Steiger R., et al., 2015. Weather risk management at the Olympic Winter Games[J]. Current issues in tourism,
279 18(9/12):931-946.
- 280 [18] S.S. Dawkins, H. Stern, 2004. Managing weather risk during major sporting events: the use of weather derivatives[J].
281 http://www.researchgate.net/publication/228699721/Managing_weather_risk_during_major_sporting_events_the_use_of_weather_derivatives.
282
- 283 [19] 苏彦萍, 刘晓峰, 王宝兰, 等, 2015. 大型活动重大传染病疫情风险评估体系建立与应用[J]. 公共卫生与预防医学, 26(1): :5-6.
284 Su Y P, Liu X F, Wang B L, et al., 2015. Application research and the establishment of large-scale activities of major epidemic
285 infectious disease risk assessment system[J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 26(1):5-6.
- 286 [20] 时少英, 郭虎, 赵玮, 等, 2008. 精细化预报在 2008 年 8 月 10 日北京奥运赛事中的应用[J]. 气象, 34(增刊):252-258. Shi S Y, Guo
287 H, Zhao W, et al., 2008. Application of Refined Forecast in Beijing Olympic Games on August 10th in 2008[J]. Meteorol
288 Mon, 34(Supplement):252-258.
- 289 [21] 唐钧, 安东元会, 王勇, 2021. 大型体育赛事风险控制: 促精细化, 增集成度, 提承受力[J]. 中国减灾, 2021(15):40-45. Tang J, An
290 DYH, Wang Y. Risk control of large-scale sports events: promote refinement, increase integration and improve affordability
291 Disaster Reduction in China[J]. China Journal of Disaster Reduction, 2021(15):40-45.
- 292 [22] 谈立峰, 郝东平, 孙樵陵, 等, 2012. 综合应用风险矩阵法与 Borda 序值法评价区域性大型活动公共卫生突发事件风险[J]. 环境
293 与职业医学, 29(9): 556-560. Integrated Application of Risk Matrix and Borda Count Methods to Assessment of the Risks of
294 Public Health Emergency Events during Regional Large-Scale Activities[J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine,
295 29(9): 556-560
- 296 [23] 王华, 郭金兰, 仲跻芹, 等, 2018. 2015 年北京田径世锦赛开幕式天气的精细化预报与方法[J]. 沙漠与绿洲气象, 12(5):10-15.
297 Wang H, Guo J L, Zhong J Q, et al., 2018. Fine Weather Forecast Methods during the Opening Ceremony of Beijing 2015 IAAF
298 World Athletics Championships[J]. Desert Oasis Meteor, 12(5):10-15.
- 299 [24] 王玉彬, 周勇, 梁丰, 等, 2009. 2008 年北京奥运会气象服务中的信息资源整合[J]. 气象, 35(6):109-117. Wang Yubin, Zhou
300 Yong, Liang Feng, et al., 2009. Systematic Information Resource Integration in Beijing 2008 Olympic Weather Service[J]. Meteorol
301 mon, 35(6):109-117.
- 302 [25] 徐宁, 梁第, 2020. 建筑安全风险因素分级排序的风险矩阵法[J]. 工业安全与环保, 46(4):24-27. Xu N, Liang D, 2020. Risk Matrix
303 Method for Classification and Sorting of Risk Factors in Construction Safety[J]. Ind Safety and Environ Protection, 46(4):24-27.
- 304 [26] 叶飞, 2020. 北京重大活动风险评估与控制工作实践与思考[J]. 城市与减灾, 2020(1):35-38. Ye F, 2020. Practice and Reflection on
305 risk assessment and control of major events in Beijing[J]. City and Disaster Reduction, 2020(1):35-38.
- 306 [27] 赵阳, 冯立, 杨光照, 2016. 大型体育赛事的风险管理——以南京青奥会为例[J]. 传媒与教育, 2016(1):112-114. Zhao Y, Feng
307 L, Yang G Z, 2016. Risk management of large-scale sports events -- Taking Nanjing Youth Olympic Games as an example[J].
308 Media and education 2016(1): 112-114.

310 Meteorological Risk Assessment of Major Activities Based on Risk Matrix

311 Chunyi Xuan^{1*}, Chunyan Wu¹, Yonghong Liu^{2, 3}, Wenjun Shu¹

312 ¹Beijing Municipal Climate Centre, Beijing, 100089

313 ²CMA Earth System Modeling and Prediction Centre, Beijing, 100081

314 ³State Key Laboratory of Severe Weather, Beijing, 100081

315

316 **Abstract:** Based on risk matrix theory, the meteorological risk assessment method and process of major activities were
317 established. Taking **one major activity** in Beijing as an example, meteorological risk sources during the activities were deter-
318 mined by multiple departments. Using the meteorological data of long-time series and the observation data of short-term wind
319 radar, the probability analysis of the meteorological risk during the activities was launched. Considering the seri-
320 ous consequences for the activities caused by the meteorological risks, the meteorological risk assessment and risk control re-
321 search were carried out by using the risk matrix. The results show that the main meteorological risks during the major activity
322 were precipitation or cloudy day, daytime high wind, fog and haze, night high wind, high temperature, thunder and lightning,
323 low temperature. Precipitation or cloudy day, daytime gale, fog and haze are high risks night gale is medium risk, and the rest
324 are low risks. The risk control principles and detailed measures were proposed according to the evaluation, which have been
325 successfully applied **during the celebration of the major activity**. Compared with the weather risk assessment in the existing mete-
326 orological business services, this study realized the transformation from considering the occurrence probability of high impact
327 weather to risk assessment based on impact to major activities.

328 **Key Words:** risk matrix; major events; meteorological risk; risk control
329