

# Study on the Threshold of Rainstorm Waterlogging in the Wuqing District of Tianjin

Yuhuan Lv<sup>1\*</sup>, Lei Wei<sup>2</sup>, Xin Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Wuqing Meteorological Observatory of Tianjin, Tianjin

<sup>2</sup>Beijing Artificial Weather Influence Office, Beijing

Email: [lvyuhuan1@126.com](mailto:lvyuhuan1@126.com)

Received: Jun. 27<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 17<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, threshold value of extreme climate precipitation in Wuqing District is determined by using percentage method to analyze daily precipitation data of Wuqing National Automatic Weather Station (1959-2016). Through investigation of the disasters, a general survey of the hidden points of rainstorm waterlogging risk in Wuqing District was completed, and an atlas of information related to the waterlogging risk warning service for in Wuqing District was established. In addition, the early warning threshold for risk of rainstorm waterlogging in Wuqing District was also obtained. Using the hourly rainfall data of over 5 automatic weather stations in flood season (from June to September) during 2013-2017 in Wuqing urban area associated with the flood drainage records of the Wuqing Municipal Drainage Institute, a comparative analysis was performed of the case of waterlogging occurrence in the urban area of Wuqing City and precipitation intensity of automatic stations in the same period, and then to derive a critical early warning index of urban road waterlogging in Wuqing District. It will lay the foundation for Wuqing District to carry out early-warning services for urban waterlogging risk in the future.

## Keywords

Rainstorm, Road Waterlogging, Early Warning Index

---

# 天津武清区暴雨城市内涝风险阈值研究

吕玉环<sup>1\*</sup>, 魏蕾<sup>2</sup>, 李鑫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>天津市武清区气象局, 天津

<sup>2</sup>北京市人工影响天气办公室, 北京

---

\*通讯作者。

Email: lv-yuhuan1@126.com

收稿日期: 2018年6月27日; 录用日期: 2018年7月10日; 发布日期: 2018年7月17日

## 摘要

本文利用百分位法分析武清国家自动站建站以来(1959~2016年)逐日降水资料, 确定出武清区极端气候降水阈值。通过灾情普查调研, 完成武清区暴雨内涝风险隐患点的普查, 建立武清区内涝风险预警服务相关的资料图集, 得到适合武清区城市内涝风险预警阈值标准。利用2013~2017年汛期(6~9月)武清城区5个自动气象站逐小时降雨量数据、武清区市政排水所的汛期排水记录, 对武清城区出现的积水个案与同期自动站降水强度进行相关对比分析, 找出适合武清区道路积水临界预警指标, 为武清区今后开展城市内涝风险预警业务打下基础。

## 关键词

暴雨, 道路积水, 预警指标

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

暴雨灾害作为我国常见的自然灾害之一, 其引发的次生灾害, 包括洪灾和涝渍灾, 在影响正常工业生产的同时对人民的生命财产亦造成巨大危害, 成为自然灾害领域研究的热点问题。近年来, 随着我国城镇化水平的不断提高, 城市暴雨内涝灾害无论是发生的频次、强度还是由此带来的损失均呈逐年增加趋势, 内涝已成为城市诸多气象灾害中爆发频繁、危害严重的主要气象灾害之一, 给城市带来了巨大的风险与损失[1]-[6]。

武清区受季风气候的影响, 降水主要集中在夏季 6~8 月份, 地处京津冀核心区域, 位于北京、天津两个大型城市中间, 北部是燕山山脉, 东部又靠近渤海, 近年武清区城市发展和城市规模不断扩张, 复杂的地形和城市热岛的作用, 使得武清城市和郊区湿度差也逐渐增加, 这均有利于在夏季形成局地暴雨天气, 通过调研, 暴雨灾害也是我区的主要气象灾害之一, 城市对内涝及其衍生灾害的脆弱性越来越明显, 对气象预报服务工作提出了更高要求, 科学预估灾害影响, 为政府等部门防灾减灾提供科学决策和参考建议是一项非常有意义的工作, 因此开展城市暴雨内涝灾害研究, 是城市防洪减灾与安全生产的需要, 对保障国民经济的发展也具有重要意义。国内已有一些学者开展了相关研究, 如尤凤春等[7]对 2007~2010 年汛期(6~8 月)北京市出现的积水个案与同期降水强度进行相关统计分析, 找出道路积水临界预警指标, 并建立了暴雨积涝风险等级预警模型; 叶金印等[8]提出了一种基于前期土壤含水量饱和度和不同重现期实效降雨量的山洪灾害气象风险等级预警指标方法; 郭广芬等[9]采用耿贝尔极值 I 型分布和百分位法对湖北省日最大降水量和过程最大降水量计算湖北省暴雨洪涝各等级的阈值。史军等[10]研究了上海市暴雨积水与降水强度以及累积雨量的关系, 发现中心城区暴雨积水程度与 1 h 降水强度和 2 h 累积雨量密切相关, 得到了暴雨内涝的阈值指标。

由于降水本身具有很强的空间不均匀性,暴雨洪涝致灾指标的选取应充分考虑到数据获取地的气候背景和承载体的特征,而不是采用统一的固定阈值。目前,还没有针对武清区城市内涝的暴雨风险阈值研究,无法为本区暴雨洪涝灾害以及防灾减灾提供有效理论依据,而阈值的确定和选取是极端强降水事件研究中的关键环节,直接影响到极端事件的特征及演变趋势分析。本文通过对武清地区降水特征分析,结合历史灾情积涝数据,试图对造成武清区城市内涝的深层次原因进行剖析,并建立了具有科学性、本地化的反映城市内涝的阈值标准,为本区暴雨洪涝灾害以及防灾减灾提供有效理论依据,建立相应的暴雨积涝风险等级预警模型,预估灾害可能发生的地点及影响,有针对性开展暴雨预警服务,为政府及相关部门针对暴雨防灾减灾工作决策提供准确的理论依据。

## 2. 数据资料

本文使用资料为:1)武清国家一般站1959~2016年逐日和逐小时的降水资料。2)武清城区内5个区域自动气象站2013~2017年逐日、逐小时降水资料。3)通过与相关部门沟通,结合武清区气象局历年灾情普查,收集武清区城市涵洞和重点道路的积涝灾情资料,包括由于暴雨洪涝而导致的经济损失、受灾人口、受灾地点等。4)市政排水所积水排水资料,主要包括积水时间、地点、重点地区积水深度及影响程度等。利用该数据,整理得到2013~2017年武清暴雨积水信息(包括道路积水、房屋进水、地下车库积水等)。5)地理信息资料主要包括武清城区的主要道路、停车场、居民点等基础地理数据。

## 3. 分析方法

利用百分位方法确定武清区暴雨洪涝极端降水阈值:百分位数是一种位置指标,常用于描述一组样本值在某百分位置上的水平,多个百分位结合使用,可更全面地描述资料的分布特征。百分位数法的计算采用下面的经验公式<sup>[11]</sup>

$$H_i(p) = (1-\gamma)X_j + \gamma X_{j+1} \quad (1)$$

$$j = \text{int}(p \times n + (1+p)/3) \quad (2)$$

$$\gamma = p \times n + (1+p)/3 - j \quad (3)$$

上式中, $H_i(p)$ 为第*i*个百分位值, $X$ 为升序排列后的样本序列, $p$ 为百分位数, $n$ 为序列总数, $j$ 为第*j*个序列数, $\gamma$ 为第*j*+1个序列数权重。

采用历史灾情反推法确定武清城区内涝不同风险等级的临界雨量。根据城市内涝历史灾情记录中内涝发生的时段、地点以及积水深度等信息,获取附近区域自动站对应时段的降水值,建立降雨量与内涝灾情严重程度的对应关系,从而确定各内涝风险等级临界雨量。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 武清区暴雨洪涝极端降水特征

对武清站1960~2016年的汛期(6~9月)观测数据进行分类整理,分为降水日数据和降水小时数据,采用百分位方法,统计分析出武清区极端降水特征,得到日降水量和小时降水强度的极端降水阈值。

运用IPCC对极端降水事件的定义,以年为时限,对武清站日降水量和小时降水量通过升序排列,采用不同的百分位点(99%,95%,90%,80%,60%)的累积分布函数值为武清区极端天气事件的阈值。本文将洪涝分为5级,分别将不同百分位对应的降水量作为洪涝指标的临界值,介于60%~80%为渍涝,80%~90%为轻涝,90%~95%为一般洪涝,95%~99%为较重洪涝,大于99%为严重洪涝。具体阈值见表1和表2。可以看出,对于武清城区严重洪涝的气候临界阈值在60~101mm之间,小时降水量的严重洪涝气候临界阈值在25~32mm之间。

**Table 1.** Extreme threshold of daily precipitation in Wuqing district (mm)**表 1.** 武清区日降水量极端阈值(毫米: mm)

日降水量	序列长度	60%	80%	90%	95%	99%
≥0.0 mm	6954	0	1.8	9.5	22.6	61.5
≥0.1 mm	2175	6.4	18.4	31.5	47.7	94.9
≥0.2 mm	2035	7.6	19.8	32.8	49.1	97.2
≥0.4 mm	1848	8.7	21.5	35.4	51.1	100.7

**Table 2.** Extreme threshold of hourly precipitation in Wuqing district (mm)**表 2.** 武清区小时降水量极端阈值(毫米: mm)

小时降水量	序列长度	60%	80%	90%	95%	99%
≥0.1 mm	2185	0.9	2.8	5.8	11.4	25.0
≥0.2 mm	1601	1.6	3.9	8.3	13.3	30.3
≥0.3 mm	1393	2.1	4.5	9.3	14.2	31.7

## 4.2. 武清区暴雨内涝灾害风险预警相关基础信息

通过武清区气象局历年灾情普查调研, 查询历史年鉴文献, 并结合农口部门、水务部门寻访调查, 搜集武清历史城市内涝灾情资料, 建立了武清区内涝风险预警服务相关的资料图集(如图 1、图 2), 为今后开展武清区暴雨内涝灾害风险服务打下基础, 其中武清城市内涝重点隐患道路、地下停车场、居民密集区作为暴雨内涝灾害风险预警的重点关注区域。

## 4.3. 武清区暴雨内涝灾害风险预警指标的确定

为了建立具有科学性、本地化的反映城市内涝的预警指标, 就需要对上述提出的城市内涝进行分级。按照国家突发性公共事件四级响应机制, 本文将各个指标分成 4 级。通过统计 2013~2017 年汛期武清城市排水所的排水记录(其中包括具体积水时间、地点、重点地区积水深度及影响程度等), 对武清区历年降水的积水深度和历史灾情进行分析统计, 重点分析了武清城区内涝灾害对交通要道、商业、居民社区、地上(地下)车库等易损性承灾体的影响, 首先需要每个指标进行 4 级划分的阈值, 针对 4 个等级指标, 再提出积水深度、受灾程度、灾度指标的指标分级阈值。参照国家气象部门对城市内涝的划分方法, 本文将城市内涝按积水深度划分为 4 个等级: 有一定风险、风险较高、风险高、风险很高, 依次用蓝色、黄色、橙色、红色预警表示, 得到针对武清区城市基础信息的内涝风险预警指标(表 3)。其中, 积水深度对道路交通的影响与北京市[7]得出的积水深度对交通的影响相比, 我们得出积水深度要小许多。

## 4.4. 武清区暴雨城市内涝临界预警指标的确定

### 4.4.1. 武清预警时效的确定

通过统计 2013~2017 年汛期武清城市排水所的排水记录表明, 武清区城区共出现 24 次道路积水。图 3 为 2013~2017 年汛期武清区 24 例城区积水时自动气象站多小时最大累积降雨量图。由此图可见, 大部分个例的主要降雨集中出现在 1~3 h 以内, 只有少数个例 3 h 以后还有较强降雨。一般情况下 4、5、6 h 最大累积降雨量并无明显变化, 其多小时最大累积降雨量基本重合。因此, 造成武清区城市道路积水的暴雨特点是: 强降雨持续时间较短、降雨强度大, 其中 1~3 h 最大累积降雨量与道路积水的关系密切, 在选择道路积水临界预警指标时, 不仅要考虑小时雨强, 还要考虑 2 h 和 3 h 累积降雨量。

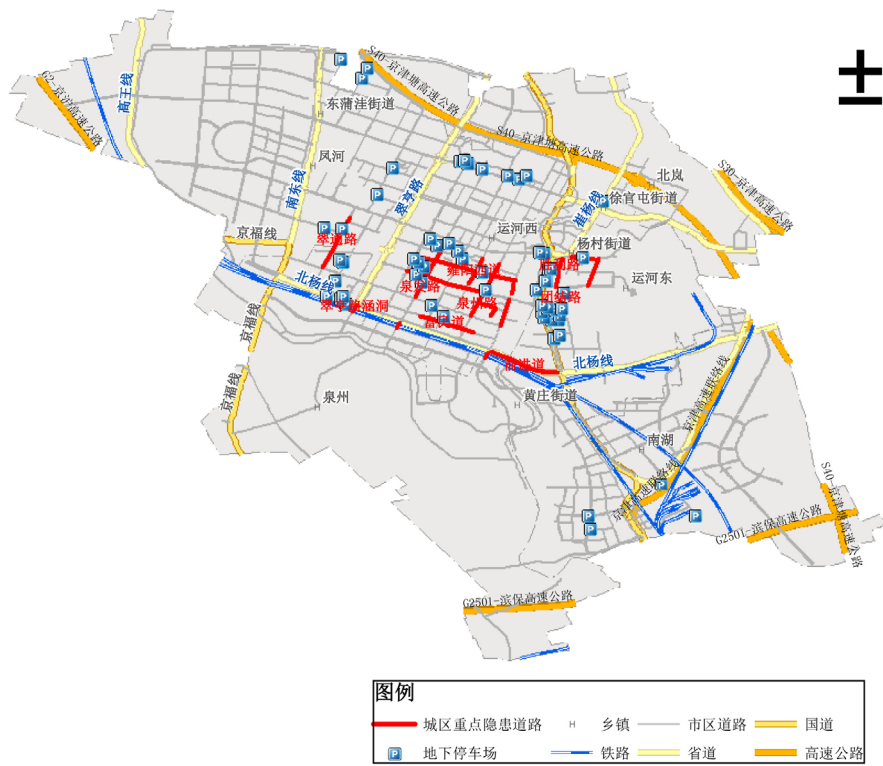


Figure 1. Distribution of key hidden roads and underground parking lot in Wuqing district  
图 1. 武清区城市内涝重点隐患道路和地下停车场分布图

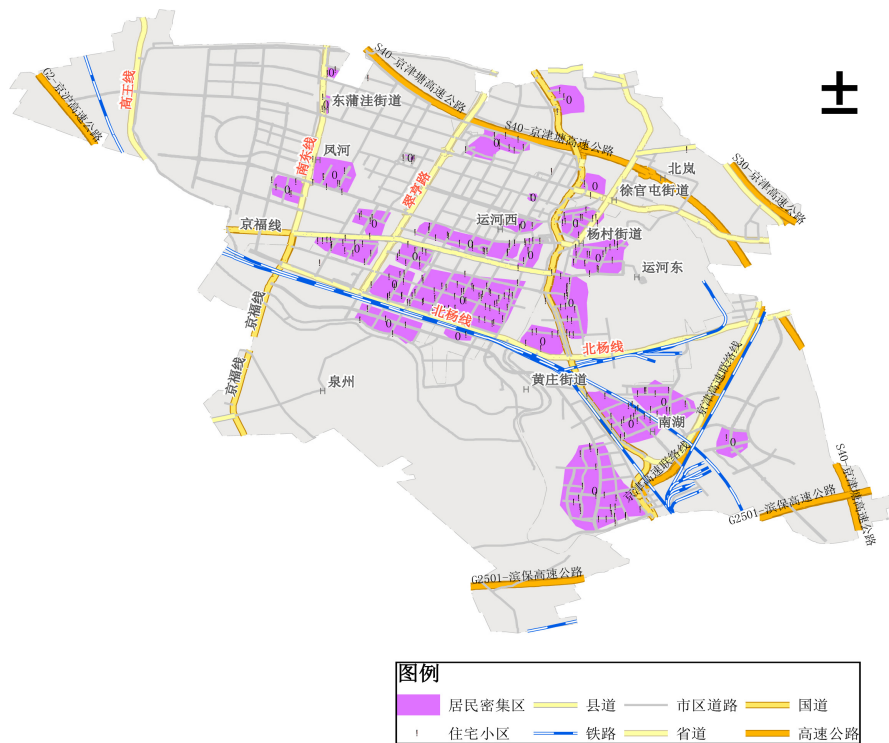
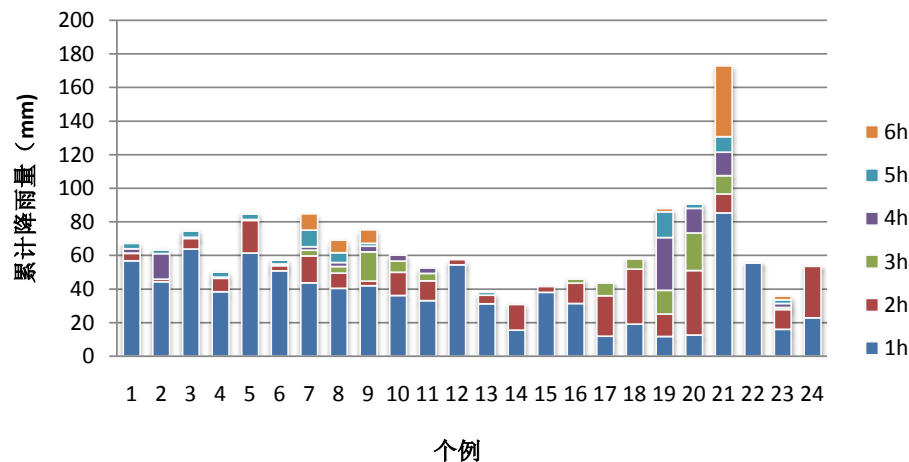


Figure 2. Distribution of urban inhabited areas in Wuqing district  
图 2. 武清区城市居民密集区分布图



**Figure 3.** 1 - 6 h maximum cumulative rainfall of automatic weather stations over 24 urban waterlogging appearance cases during 2013-2017 in Wuqing urban area

**图 3.** 2013~2017 年武清区 24 例城区积水时自动气象站 1~6 h 最大累积降雨量图

**Table 3.** Warning indexes of urban waterlogging risk in Wuqing district

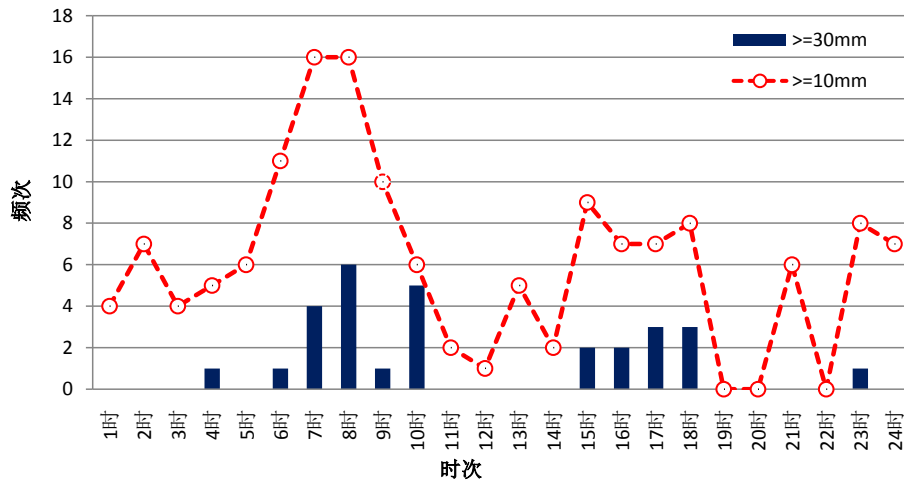
**表 3.** 武清区城市内涝风险预警指标

积水深度(cm)	受灾程度			内涝等级	预警颜色
	交通	居民生活	车库		
≤5	车可行驶, 但行车较为缓慢, 对交通畅通有一定影响, 行人通行减慢, 有一定困难。	居民生活受到影响, 但没有造成财产损失	车库没有进水, 对汽车排气管无影响	有一定风险 IV 级	蓝色
5~15	车可行驶, 但行车缓慢, 影响道路交通畅通, 行人出行困难。	影响居民生活, 老旧房屋可能有漏水发生, 有造成财产损失的可能。	车库有少量进水, 对部分车型排气管可能有影响。	风险较高 III 级	黄色
15~35	小型车辆行驶困难, 部分低洼路段交通阻断。	居民生活受到影响, 老旧房屋出现漏水现象, 有部分财产损失	车库有一定进水, 水浸超过中小型车辆排气管高度, 对发动机可能有影响, 车厢内可能进水	风险高 II 级	橙色
≥35	车辆几乎不能通行, 交通阻断	居民生活严重影响, 财产损失严重。	车库进水严重, 水浸深度超过排气气口, 发动机进水, 车厢浸泡	风险很高 I 级	红色

对 2013~2017 年武清城区发生道路积水时附近 5 个自动站发生的短时强降水过程进行细致分析, 着重分析短时强降水过程的时空分布特征。图 4 分析表明: 短时强降水大于 30 mm/h 易发时段, 一个为 08 时前后, 另一个为 17 时前后; 短时强降水大于 10 mm/h 易发时段, 一个为 08 时前后, 另一个为 15 时前后, 强降水主要易发生时段为凌晨时段和午后时段。因此, 在针对武清区城市道路积水风险预警时, 需特别关注易出现短时强降水的两个时段及 3 小时历时的短时强降水影响。

#### 4.4.2. 武清区城市道路积水临界雨量的确定

通过统计 2013~2017 年汛期武清城市排水所的排水记录表明, 选取了记录详实的武清区城区 14 次道路积水个例。使用 2013~2017 年汛期武清区自动气象站降雨量数据, 利用城区附近 5 个区域站降水情况, 统计降雨量与道路积水的关系。综上统计得出, 武清城区道路积水主要是由短时强降水引起, 仅有少数个例是用于连续降水引起的, 计算历次积水深度等级对应的各区域站 1 小时、2 小时、3 小时平均降水量的最小值取整数, 确定为武清城区的道路积水临界预警指标(表 4)。主要应关注暴雨出现初始阶段的 1 h



**Figure 4.** Average occurrence time of short-time strong rainfall of automatic weather stations over urban waterlogging appearance cases during 2013-2017 in Wuqing urban area  
**图 4.** 2013~2017 年武清区城区积水时自动气象站平均短时强降水出现时次

**Table 4.** The critical early warning indexes for road waterlogging in Wuqing district  
**表 4.** 武清区城市道路积水临界预警指标

等级	临界预警指标			积水深度(cm)及现象
	1 h/mm	2 h/mm	3 h/mm	
IV	≥10	≥15	≥20	≤5, 有可能出现道路积水
III	≥15	≥20	≥40	5~15, 出现道路积水, 且有一定影响
II	≥40	≥50	≥70	15~35, 出现道路积水, 且影响较大
I	≥60	≥80	≥100	≥35, 出现道路积水, 且影响很大

降水强度和 2 h、3 h 累积雨量。当降水强度达到 10 mm/h 时，武清城区就可能出现积水；当降水强度达到 15 mm/h，2 h、3 h 累计雨量达到 20~40 mm 以上时，就会出现道路积水；当降水强度达到 40 mm/h，2 h、3 h 累积雨量达到 50~70 mm 以上时，武清城区道路积水会明显增多；当降水强度达到 60 mm/h，2 h、3 h 累积雨量达到 80~100 mm 以上时，暴雨积水会很严重。我们得到的道路积水预警指标和北京[7]、上海[10]等大城市的研究结果相近。在今后的预警服务中，对城区附近靠近重点隐患片区的距离最近自动站累计雨量进行实时监测，当累积降水量(1~3 h)，超过临界雨量阈值时启动预警程序。

### 5. 结论与讨论

1) 采用百分位方法，统计分析出武清区极端降水特征，得到日降水量和小时降水强度的极端降水阈值，对于武清城区严重洪涝的气候临界阈值在 60~101 mm 之间，小时降水量的严重洪涝气候临界阈值在 25~32 mm 之间。

2) 通过对历年武清城市内涝灾情资料整理，建立了武清区内涝风险预警服务相关的资料图集，包括武清区城市内涝重点隐患道路、地下停车场分布图和城市居民密集区分布图，将城市内涝按积水深度划分为 4 个等级：有一定风险、风险较高、风险高、风险很高，得到针对武清区城市基础信息的内涝风险预警指标，为今后开展武清区暴雨内涝灾害风险服务打下基础。

3) 武清区汛期降水特点主要是降雨持续时间较短、降雨强度大，强降水易发生凌晨时段和午后时段，其中 1~3 h 最大累积降雨量与道路积水的关系密切。

4) 确定了武清城区的道路积水临界预警指标, 主要应关注暴雨出现初始阶段的 1 h 降水强度和 2 h、3 h 累积雨量。当降水强度达到 10 mm/h 时, 武清城区就可能出现积水; 当降水强度达到 15 mm/h, 2 h、3 h 累积雨量达到 20~40 mm 以上时, 就会出现道路积水; 当降水强度达到 40 mm/h, 2 h、3 h 累积雨量达到 50~70 mm 以上时, 武清城区道路积水会明显增多; 当降水强度达到 60 mm/h、2 h、3 h 累积雨量达到 80~100 mm 以上时, 暴雨积水会很严重。

5) 本文只是初步确定武清地区城市内涝风险阈值标准, 研究成果将于 2018 年汛期应用于武清区气象局的暴雨内涝风险预警服务中, 使得武清区的内涝风险预警从无到有, 有效的拓展武清气象局预警服务的内容, 下一步将通过建设隐患点积水深度连续观测, 相对应的临界雨量需根据新的积水观测数据再做逐步修正, 进一步精细化城市暴雨内涝预警服务。

## 基金项目

天津市气象局重点项目(201734zdxm05)。

## 参考文献

- [1] 郭雪梅, 任国玉, 郭玉喜, 等. 我国城市内涝灾害的影响因子及气象服务对策[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 46-49.
- [2] 张文龙, 崔晓鹏. 近 50 a 华北暴雨研究主要进展[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(4): 384-391.
- [3] 张冬冬, 严登华, 王义成, 等. 城市内涝灾害风险评估及综合应对研究进展[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 144-149.
- [4] 何群英, 孙一昕, 刘一玮, 等. “7.25”天津持续性局地大暴雨初步分析[J]. 暴雨灾害, 2012, 31(3): 226-231.
- [5] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37.
- [6] 扈海波, 轩春怡, 诸立尚. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预评估[J]. 应用气象学报, 2013, 24(1): 99-108.
- [7] 尤凤春, 扈海波, 郭丽霞. 北京市暴雨积涝风险等级预警方法及应用[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 263-267.
- [8] 叶金印, 李致家, 刘静, 等. 山洪灾害气象风险预警指标确定方法研究[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(1): 25-30.
- [9] 郭广芬, 周月华, 史瑞琴, 等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 357-361.
- [10] 史军, 穆海振, 杨涵洵, 等. 上海中心城区暴雨内涝阈值研究[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(4): 344-350.
- [11] Hyndman, R.J. and Fan, Y. (1996) Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician*, **50**, 361-365.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ccrl@hanspub.org](mailto:ccrl@hanspub.org)