

内涝气象风险监测预警系统构建与应用

王苏月¹, 钟 敏¹, 罗 倩¹, 王严琪², 赖维肖², 王曦原¹

¹什邡市气象局, 四川 什邡

²德阳市气象局, 四川 德阳

收稿日期: 2024年11月29日; 录用日期: 2025年1月1日; 发布日期: 2025年1月9日

摘 要

日益频发的极端暴雨事件使得城市内涝的问题凸显, 严重威胁人民群众生命财产安全, 建立一套内涝气象风险监测预警系统, 为相关部门科学的调度决策提供数据支撑, 尽可能降低内涝灾害产生的影响, 是当下亟待解决的问题。为此, 本文以什邡市为例构建了内涝气象风险监测预警系统, 充分考虑城市防汛工作的特点和需求, 将内涝实况与气象分析结合, 包含内涝监测预警和“一键式”叫应两个功能模块, 具有预警准确性高、时效性强、稳定性好等特点, 在实际应用中得到了有效验证, 具有一定的推广应用价值。

关键词

城市内涝, 自动监测, 预警系统

Construction and Application of a Meteorological Risk Monitoring and Warning System for Waterlogging

Suyue Wang¹, Min Zhong¹, Qian Luo¹, Yanqi Wang², Weixiao Lai², Xiyuan Wang¹

¹Shifang Meteorological Bureau, Shifang Sichuan

²Deyang Meteorological Bureau, Deyang Sichuan

Received: Nov. 29th, 2024; accepted: Jan. 1st, 2024; published: Jan. 9th, 2025

Abstract

The increasingly frequent occurrence of extreme rainstorms has made the problem of urban waterlogging prominent, seriously threatening the lives and properties of the people. The establishment of a set of waterlogging meteorological risk monitoring and early warning systems for the relevant

文章引用: 王苏月, 钟敏, 罗倩, 王严琪, 赖维肖, 王曦原. 内涝气象风险监测预警系统构建与应用[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(1): 16-25. DOI: 10.12677/jsta.2025.131003

departments to provide data support for scientific scheduling decisions, as far as possible, to reduce the impact of waterlogging disasters, is an urgent problem to be solved. To this end, this paper takes Shifang as an example to construct a flooding meteorological risk monitoring and early warning system. Considering the characteristics and needs of urban flood control work, combining the waterlogging reality with meteorological analysis, the system is set up with two functional modules of waterlogging monitoring and calling for a response, which has the features of high warning accuracy, timeliness and stability, and has been effectively verified in the practical application, and has a certain value of popularization and application.

Keywords

Waterlogging, Automatic Monitoring, Warning System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着城市化进程的加速和气候变化的影响,城市内涝成为越来越严重的问题[1]。城市内涝给城市的发展和居民的生活带来了巨大的经济损失和负面影响[2]。根据全球灾害数据平台的数据显示,中国作为全球范围内受洪涝灾害影响最为严重的国家之一,近 10 年来因洪涝灾害造成的年均直接经济损失超过 1500 亿元[3]。引发城市内涝的原因是多方面的,既有自然气候方面的客观原因,也有人类建设活动影响的主观原因,既有城市内部的问题,也受城市外围的影响[4]。目前,国内内涝预警系统的相关研究与应用大体可以归纳为三类,一是基于雨洪模型的暴雨内涝预警,二是基于神经网络算法和大数据的内涝预警,三是基于物联网实时监测技术的暴雨内涝预警。本文构建的系统属于第三类,采用物联网技术监测易涝点积水情况,再结合天气预报情况进行预警,具有较好的准确性和时效性[5]。

2. 系统设计

本系统将实况、预报、预警相结合,采取灾前预警防范、灾中叫应抢险、灾后完善改进的模式,依托于安装在易涝点的积水监测设备,实时采集积水情况,当水位到达预警阈值时触发警报并提示预设人员,以便相关人员及时掌握、提前调度,为百姓的生命财产安全提供保障。

2.1. 技术架构

本系统采用 Java 作为后端开发语言,结合 SpringBoot 框架和 MyBatis-plus 框架实现系统的业务逻辑和数据持久化操作。系统运行时数据采用 MySQL 进行存储。结合 Java 跨平台的特性,该系统可部署在任意可安装 Java 环境的平台上。服务部署完成之后,可在能够访问互联网的设备通过浏览器使用。此外,本系统使用智能 AI 语音技术,根据可配置的内涝预警阈值,通过 TTS 解析将预警通知转换成语音通过电话呼出到目标预警用户,同时在呼叫任务完成之后系统会根据每次呼叫数据的不同生成相应的分析统计数据。

2.2. 系统特点

一是前端感应设备采用水位传感器。市面上的内涝监测系统多采用投入式水位计、激光水位计等,投入式水位计探头长期在空中裸露容易造成采集数据不准确,在大风情况下,还会因为压力造成水位计

有电流数据输出而产生误报；激光水位计易受测试波段光源干扰并且价位高。水位传感器成本较低，易被大众接受而推广，并且规避了其他水位计容易产生误报的情况。

二是叠加中国天气网雷达图。当前段水位传感器感应到积水并发出警报时，不一定是降雨导致，可能存在屋檐漏水、洒水车经过等情况从而产生误判。叠加雷达图后，可结合雷达回波判断降雨形势，与水位感应情况相互印证，规避误判风险。通过雷达图还能预测降雨趋势和走向，若雷达回波增强且稳定不动，表明雨势可能加强且持续，此时相关部门应立即采取措施；若雷达回波减弱或移动迅速，相关部门则按情况做好提醒工作即可，这可以减少人员和物资的浪费。

三是结合气象要素分析预报预警。早在 20 世纪 70 年代，美国国家气象局就具有了一套功能较完备的积水水位数据自动监测与预警系统，并在实际应用中取得了巨大成功，一举成为当时全世界水情自动监测与预警系统的代表作[6]。而什邡市乃至四川省至今未推广与气象分析结合的内涝气象风险监测预警系统。本系统由什邡市气象局研发，可结合各市内 66 个气象监测站的降雨量等气象要素开展精细气象服务，并且可结合雨量和内涝情况反推城市排涝能力和短时雨量承担能力。

3. 系统功能

本系统包含内涝监测预警和“一键式”叫应两个功能模块(图 1)。

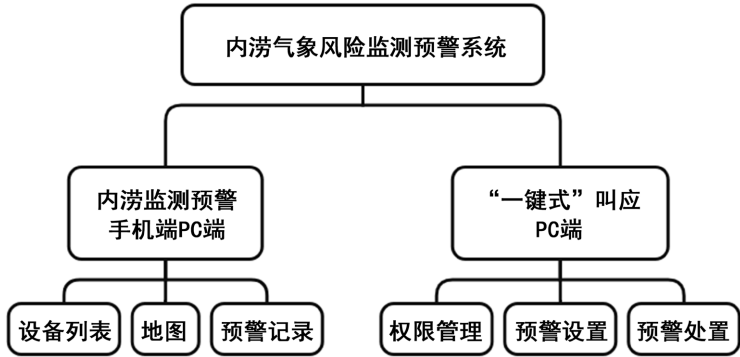


Figure 1. Functional design of the system for monitoring and early warning system for waterlogging meteorological risk
图 1. 内涝气象风险监测预警系统系统功能设计

3.1. 内涝监测预警模块

内涝监测预警模块(图 2)包含内涝设备列表、地图、预警记录模块，可通过手机端和 PC 端查看。列表模块可显示内涝点位名称、在线情况、水位高度、是否报警情况。地图模块叠加内涝设备定位和中国天气网雷达图，雷达可选择全国雷达拼图或成都、绵阳单站雷达图，内涝设备水位感应情况和雷达回波相互印证，可规避城市内涝误判风险。点击地图中内涝点位名称可显示内涝点在线情况、水位高度、是否报警情况。预警记录模块可任意选择起止时间段查询内涝设备报警水位高度、进水时间、退水时间。

3.2. “一键式”叫应模块

“一键式”叫应模块(图 3)包含权限管理、预警设置、预警处置等模块。意在提前、精准、“一键式”叫应服务对象，简化叫应操作流程，减小叫应出错风险。基于内涝监测站点和气象监测站点分布，分区域分流域将相关工作人员、易受灾群众等人纳入叫应平台。在发布暴雨预警信号、强降水短时临近天气预报、雨量现报、内涝风险提示等信息时，平台“一键式”通过电话或短信叫应涉及区域相关人员，让预警信息直达目标基层。其中，权限管理模块可对叫应对象姓名、电话、职务、区域权限等进行配置，根据

实际情况,随时调整人员信息,强化预警指向性;预警设置模块针对内涝监测点位设备掉线和超阈值预警两种情况分别配置了短信提示内容,能及时掌握内涝监测点位情况,对暴雨预警信号、强降水短时临近天气预报、雨量现报等可分别配置叫应阈值范围和叫应方式;预警处置模块能精准查询叫应记录,统计叫应信息,可对任意区域人员发布自定义内容信息,针对模版中事先未配置的突发性、临时性、随机性事件能补充叫应。



Figure 2. Waterlogging monitoring and early warning module of the meteorological risk monitoring and warning system for waterlogging

图 2. 内涝气象风险监测预警系统内涝监测预警模块



首页	用户档案
权限管理	姓名: 部门: 角色: 查询 重置 + 新增 展开
用户档案	
角色管理	
区域档案	
档案管理	
预警设置	
气象监测	
预警处置	

序号	姓名	角色	性别	手机号	部门	操作
1	陈琳琳	系统管理员	女	13881007252	气象台	编辑 更多
2	王博	系统管理员	女	18880855655	气象台	编辑 更多
3	罗倩	系统管理员	女	13689614325	气象台	编辑 更多
4	钟敏	系统管理员	女	13419045957	气象台	编辑 更多
5	陈珊	系统管理员	女	15982928333	气象台	编辑 更多
6	王曦原	系统管理员	男	18016137071	气象台	编辑 更多
7	王苏月	系统管理员	女	18090771902	气象台	编辑 更多
8	刘洋	系统管理员	女	18781046006	什放国家基本气象站	编辑 更多
9	刘洋	系统管理员	女	18781046006	雍城静台	编辑 更多
10	刘洋	系统管理员	女	18781046006	雍城鼓林	编辑 更多
11	刘洋	系统管理员	女	18781046006	雍城轨道交通学院	编辑 更多

(a) Privilege management

(a) 权限管理

首页	消息模版
权限管理	事件: 查询 重置
档案管理	
预警设置	
消息模版	
消息配置	
预警阈值	
气象监测	
预警处置	

序号	模版ID	类型	事件	配置内容
1	1001	短信	掉线	监测点位***水位超限。【智慧气象】
2	1002	短信	预警	监测点位***已掉线。【智慧气象】

1-2 共2条 < 1 > 20

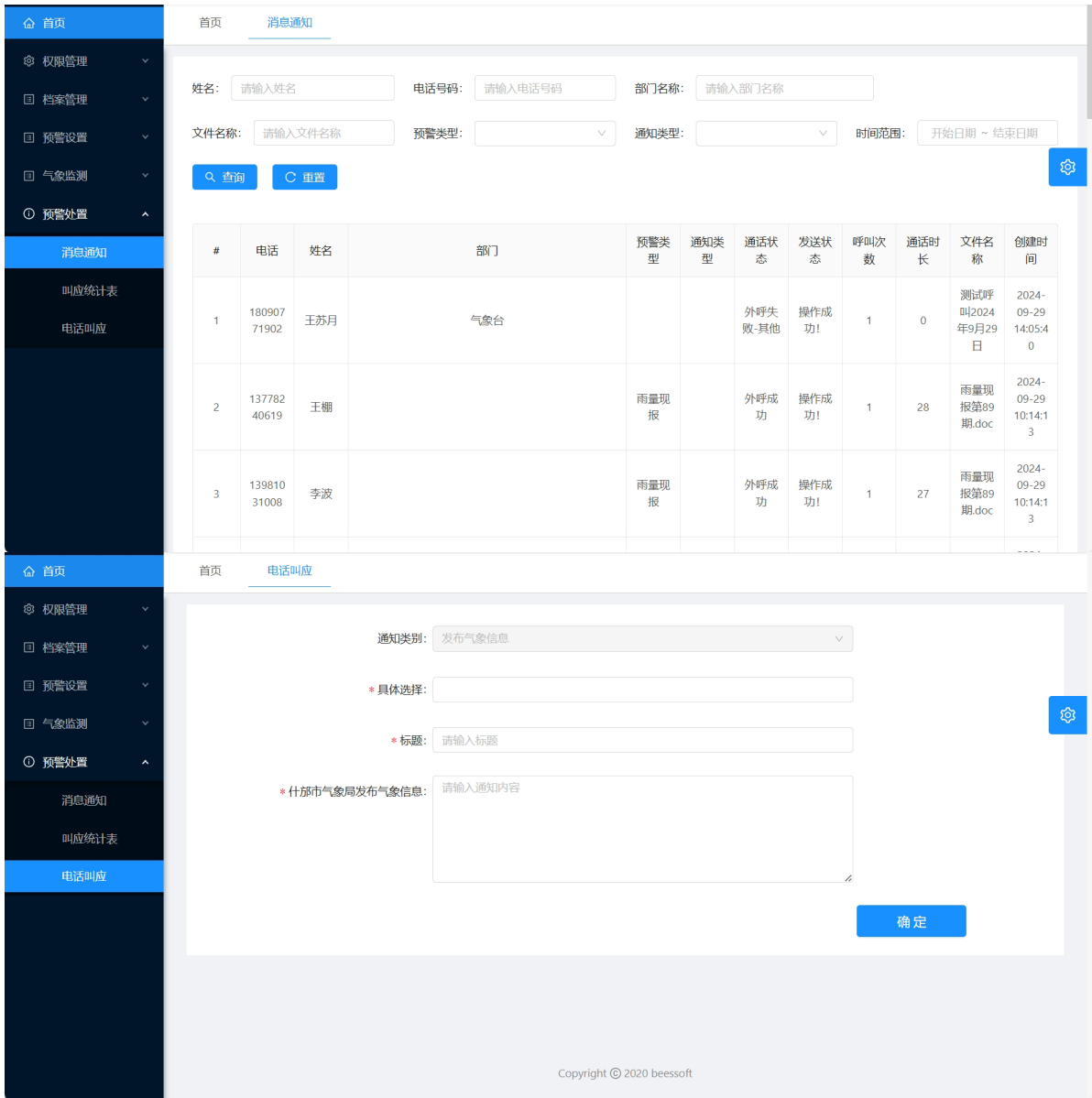
Copyright © 2020 beessoft

首页	预警阈值
权限管理	+ 新增
档案管理	
预警设置	
消息模版	
消息配置	
预警阈值	
气象监测	
预警处置	

序号	阈值	通知类型	预警名称	操作
1	20	发送短信	雨量现报	编辑 更多
2	30	打电话通知	雨量现报	编辑 更多
3	10	发送短信	雨量现报	编辑 更多
4	20	打电话通知	雨量现报	编辑 更多
5	0	发送短信	暴雨预警—黄	编辑 更多
6	0	打电话通知	暴雨预警—橙	编辑 更多
7	0	打电话通知	暴雨预警—红	编辑 更多
8	0	发送短信	强降水短时临近天气预报	编辑 更多
9	0	打电话通知	强降水短时临近天气预报	编辑 更多
10	0	打电话通知	暴雨预警—黄	编辑 更多
11	50	打电话+发短信	暴雨预警—黄	编辑 更多

(b) Warning settings

(b) 预警设置



(c) 预警处置
(c) Warning disposition

Figure 3. Calling for response module of the meteorological risk monitoring and warning system for waterlogging
图 3. 内涝气象风险监测预警系统系统“一键式”叫应模块

4. 试点应用

4.1. 试点概况

什邡市位于四川盆地西北部边缘，地势由北偏西向南偏东逐渐倾斜，东与绵竹市和旌阳区相邻，南与广汉市接壤，西与彭州市毗连，属于亚热带湿润气候区，总面积 821 平方千米，常住人口 40.8 万。什邡市属于中亚热带湿润气候区，气候温和、降水充沛、四季分明、大陆性季风气候特点显著，夏季多暴雨，几乎每年都有洪涝或局地洪涝天气发生。基于什邡市普查办调查获取的 1978~2020 年县级单元的 5 大类 10 种年度自然灾害灾情数据，从年度每十万人受灾人口、年度每十万人死亡失踪人口、年度直接经

济损失、年度直接经济损失占 GDP 比重 4 个指标进行评估分析, 得出 43 年来洪涝灾害造成直接经济损失 28.88 亿元, 占因灾造成直接经济损失总量的 85.19%, 是因灾造成直接经济损失的主要灾种。

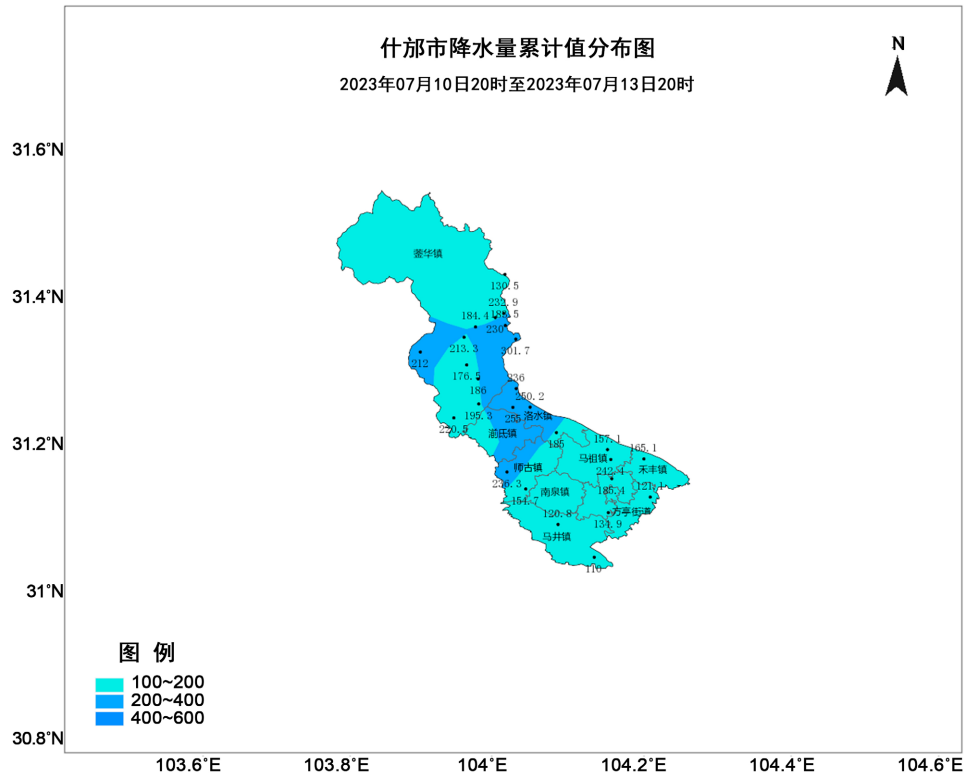
自 2022 年以来, 什邡市气象局在什邡市所辖的 2 个街道、8 个镇、1 个经开区收集了百余个易涝点信息, 结合受灾程度、用电情况、安装条件等方面综合考虑, 在方亭街道左岸春天小区、雍城街道三号洞子、雍城街道一号洞子、雍城街道蓝剑大道、南泉镇柳泉村、经开区蓝天大道 6 个易涝点安装了内涝监测设备。

4.2. 应用情况

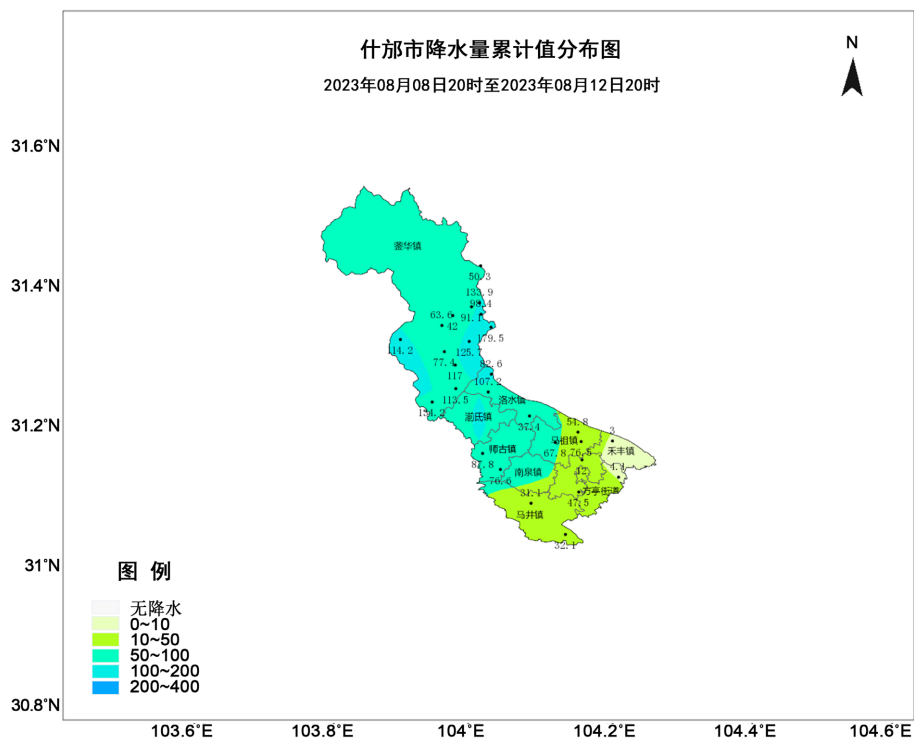
2023 年 5 月 31 日至 10 月 21 日, 共监测到 131 次水位传感器进水情况, 其中经开区蓝天大道 62 次、雍城街道一号洞子 23 次、雍城街道三号洞子 22 次、方亭街道左岸春天小区 18 次、雍城街道蓝剑大道 3 次、南泉镇柳泉村 3 次。系统发出内涝预警信息时, 相关人员对预警地点的积水情况进行实地考察和记录, 包括是否发生积水、积水范围和积水深度等, 对内涝预警的准确性进行了初步验证, 表明预警结果基本准确。

该系统运行以来切实为人民群众的生产生活提供便利, 为安全度汛提供保障, 人们根据实时的内涝、雨情实况和预测信息调整出行计划、更改出行路线, 从而减少时间的浪费, 更避免了让自己置于险境的情况。特别是在 2023 年 7 月 11 日至 13 日大暴雨天气过程、2023 年 8 月 9 日至 12 日暴雨天气过程、2023 年 9 月 10 日至 11 日暴雨天气过程中相关人员根据内涝气象风险监测预警系统报警情况, 及时叫应, 为什邡市带来了一定经济效益和社会效益。

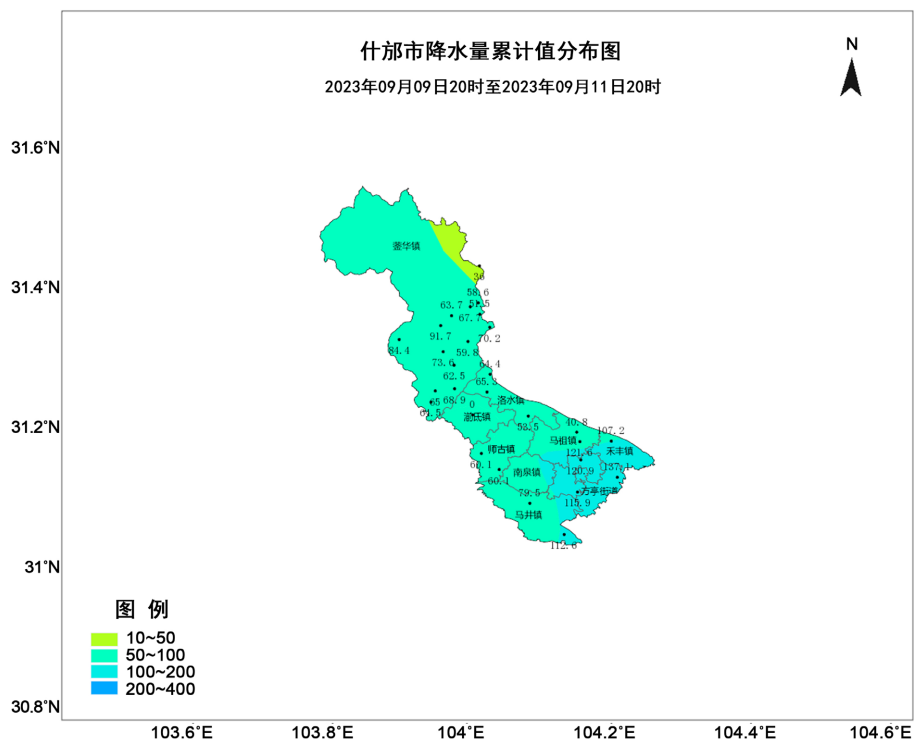
4.2.1. 降雨天气实况



(a) Jul. 10th 20:00 to 13th 20:00
(a) 7 月 10 日 20 时至 7 月 13 日 20 时



(b) Aug. 8th 20:00 to 12th 20:00
(b) 8月8日20时至8月12日20时



(c) Sep. 9th 20:00 to 11th 20:00
(c) 9月9日20时至9月11日20时

Figure 4. Distribution of cumulative precipitation values in Shifang
图 4. 什邡市降水量累计值分布图

2023 年 7 月 11 日至 13 日什邡市出现了一次大暴雨天气过程,过程降雨量最大为荃华穿心店地震遗址 301.7 毫米,小时降雨量最大为马祖 50.0 毫米,出现时间为 12 日 02 时(图 4(a))。2023 年 8 月 9 日至 12 日什邡市出现了一次暴雨天气过程,过程降雨量最大为荃华穿心店地震遗址 179.5 毫米,小时降雨量最大为南泉和兴 56.8 毫米,出现时间为 12 日 00 时(图 4(b))。2023 年 9 月 10 日至 11 日什邡市出现了一次暴雨天气过程,过程降雨量最大为方亭鱼桥 137.1 毫米,小时降雨量最大为马井金牛 42.6 毫米,出现时间为 10 日 02 时(图 4(c))。上述过程均在什邡市坝区有强降雨,造成部分易涝地区成涝,对群众生命财产安全带来隐患。

4.2.2. 设备监测情况

2023 年 7 月 11 日至 13 日雍城街道一号洞子、经开区蓝天大道、雍城街道三号洞子共监测到 11 次水位传感器进水情况。2023 年 8 月 9 日至 12 日雍城街道一号洞子、经开区蓝天大道、雍城街道三号洞子共监测到 13 次水位传感器进水情况。2023 年 9 月 10 日至 11 日雍城街道一号洞子、经开区蓝天大道、雍城街道三号洞子共监测到 9 次水位传感器进水情况。

4.2.3. 平台叫应服务

2023 年 7 月 11 日至 13 日发布暴雨黄色预警信号 1 期、强降水短时临近天气预报 2 期、雨量现报 5 期,累计电话叫应 1554 人次,平均接听率 63.42%。2023 年 8 月 9 日至 12 日发布强降水短时临近天气预报 4 期、雨量现报 3 期,累计电话叫应 2902 人次,平均接听率 69.67%。2023 年 9 月 10 日至 11 日发布强降水短时临近天气预报 2 期、雨量现报 4 期,累计电话叫应 1134 人次,平均接听率 92.71%。

4.2.4. 服务效益

在上述过程中,相关人员在内涝水位超阈值第一时间收到系统提示短信,届时叫应相关职能部门和涉及镇街,工作人员立即前往现场对积水区域进行管控和疏通,确保群众出行安全。该系统一方面,通过提高易涝点的监测力,为市委市政府和相关部门提供实时的内涝险情信息,为防灾减灾提供决策依据;另一方面,提高内涝预警的效率,缩减政府各个联动单位应对内涝灾害的反应时间,预警信息能“一键式”发送至目标用户,落实直达基层防汛责任人的临灾预警叫应机制,使预警更高效,减少了人力物力的浪费,切实解决预警落地“最后一公里”问题。

5. 总结

本文系统介绍了什邡市内涝气象风险监测预警系统设计、功能、应用情况。本系统充分考虑什邡市城市防汛工作的特点和需求,基于布设在易涝点的前端水位传感器,结合什邡市已有的 66 个气象监测站以及中国天气网雷达图,较完整地构建了集数据采集、实况展示、预警提示、“一键式”叫应等功能于一体的综合系统。

本系统将内涝实况与气象分析结合,具有预警准确性高、时效性强、稳定性好等特点,在实际应用中得到了有效验证,并将在后续应用中不断迭代升级,使系统更加完善、预警更加准确,实现内涝隐患及早发现,为什邡市相关部门开展城市内涝灾害防御和应急处置工作提供了可靠的决策依据,为相关科研人员进一步开展城市内涝预报预警研究提供了数据支持,为社会公众开展防灾避险自救提供了有力帮助,具有一定的推广应用价值。

参考文献

- [1] 王金龙,潘志安,黄衡,等.城市内涝预测技术研究与发展综述[J].电脑与电信,2023(8):74-79.
- [2] 陈倩云,余弘婧,高学睿,等.当前我国城市内涝问题归因分析与应对策略[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2023(1):1-5.

学版), 2019, 40(1): 55-63.

- [3] 高成, 余亮亮, 顾春旭, 等. 城市内涝预警预报系统研发及应用[J]. 中国水利, 2024(3): 34-38.
- [4] 李舜尧. 城市内涝原因分析与治理对策研究[J]. 城镇供水, 2023(5): 93-96.
- [5] 杨彪, 钱原铭, 陈良志, 等. 城市内涝监测预警系统研发与应用[J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 107-112.
- [6] 张伟. 基于 ARM 和 GPRS 的城市道路积水自动监测与预警系统设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2014.