

城市泵站区域性排涝气象调度技术研究

张翠荣 童奇 江鸿 徐迎春

(武汉市气象局, 武汉 430040)

摘要: 基于泵站汇水区域内的自动雨量站资料, 研究泵站汇水区域内的过程降水量和泵站抽排水量之间的关系, 确定泵站汇水区域内的雨洪关系。充分利用武汉市降水量格点精细化预报产品, 选用城市泵站汇水区域的降水量格点精细化预报资料, 根据泵站区域性雨洪关系, 提出了初步研究结果: 强降水过程小时临界降水量计算、泵站区域过程临界降水量预警、泵站小时抽排开机数量预测等, 并对城市泵站区域性排涝气象调度技术开展初步研究。

关键词: 泵站, 排涝, 气象调度

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.04.011

A Research on the Regional Drainage Meteorological Dispatch Technology for Urban Pumping Stations

Zhang Cuirong, Tong Qi, Jiang Hong, Xu Yingchun

(Wuhan Meteorological Bureau, Wuhan 430040)

Abstract: In this paper, we make comprehensive use of the precipitation forecasting precision point products in Wuhan City to study the relationship between the process precipitation and pumping drainage within the catchment area of a pumping station, and to analyze the relationship between rainfall and flood within the catchment area. Based on the precise precipitation forecast products and the relationship between rainfall and flood, by predicting the hourly critical precipitation during heavy rainfall, the critical precipitation warning for the pumping station area is made, and the number of hours of pumping is predicted. The regional drainage and meteorological dispatch technology of urban pumping station is studied.

Keywords: pumping station, drainage, meteorological dispatch

0 引言

近年来, 随着城市建设的发展, 填平了许多具有排水作用的沟渠, 开发了许多具有蓄水作用的湿地, 城市湖泊和水体等承水体体积逐渐萎缩, 城市硬化面积不断扩大, 城市下垫面容水能力越来越弱。当前在遇到城市强降水灾害情况下, 最有效的措施是利用水务部门管理下的各级泵站及时抽排^[1]。而目前泵站排水防涝除了常规运行的方案外, 其他调度策略都是紧急状态下的策略, 排水防涝缺乏科学依据, 具有盲目性和不科学性^[2-3]。另一方面, 排水调度决策依据的气象信息很有限, 即使有也是基于面向大众的一般天气预报信息, 没有针对性的预报预警信息, 很难满足排水调度决策的需要。因此, 很有必要研究城市积水排涝气象预警调度技术, 为水务部门泵站抽排提供及时、准确、精细化、专业化的气象预警调度服务。

目前国内许多城市都在开展内涝积水工作研究。

比如, 河北省通过获取高精度地理信息、引进国内先进模型、整合气象系统雨量及数值预报产品等方式, 构建首个河北省城市内涝风险监测预警系统^[4]; 郑州大学利用GIS空间分析技术和RS空间探测技术, 集合城市地理、河道地形、工程设施、气象监测和防洪调度等基础空间信息, 以城区气象自动站资料、数值预报产品、雷达预估降水和主观降水预报等作为实况和预报, 用降雨边界条件, 建立内涝应急数据库及内涝预警信息发布系统; 北京提出自下而上的城市暴雨积涝灾害风险定量评估方法, 研制了北京地区城市暴雨积涝灾害风险评估系统等^[5-6]。但是他们使用的方法多数是通过空间地理信息及气象数值预报等资料做内涝预警预报或对城市排涝能力做风险评估。气象部门针对强降水灾害引起的区域性积水灾害缺乏满足水务部门排水调度决策需求的预报预警信息。

本文结合武汉市近年来建设的城市自动降水监测站资料, 尝试将气象部门先进的精细化降水预报方法应用到城市泵站抽排研究中, 针对城市积水问题研究城市泵站区域性排涝气象调度技术, 为政府相关部门及水务部门应对强降水灾害提供科学决策依据。

收稿日期: 2017年12月13日; 修回日期: 2018年5月25日

第一作者: 张翠荣(1971—), Email: 735339891@qq.com

资助信息: 武汉市科技计划项目(2013060602010222)

1 资料选取

武汉暴雨研究所AREM模式资料：要素包括11层次的风（ U 、 V 分量）、垂直速度和露点温度等；气压层次单位为hPa，依次为1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150和100 hPa；降水、2 m温度、10 m风等。中国气象局T639和GRAPES数值预报产品：要素包括降水产品和温度产品等。武汉城市区域气象站资料：收集整理武汉区域站A文件资料，从A文件获得的气象要素包括逐小时降水、逐小时温度、逐小时湿度和逐小时风场资料等。

2 城市泵站区域降水量精细化预报

2.1 精细化降水预报

利用降水量数值预报产品，建立武汉降水量预报方程，形成武汉市时间分辨率1 h、空间分辨率为1 km×1 km的降水预报产品（图1）。

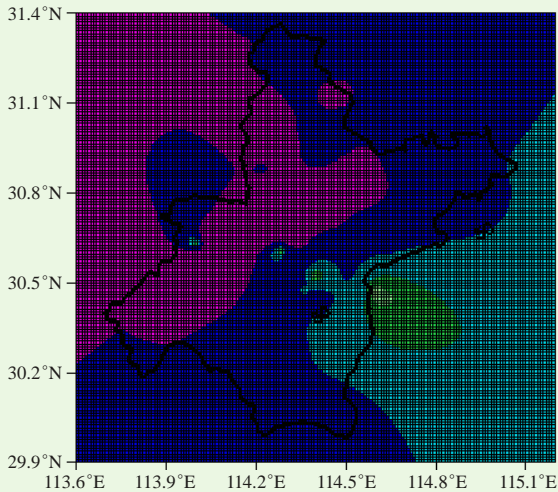


图1 武汉市城市1 km×1 km空间分辨率降水量格点预报示意图
Fig. 1 Map of grid prediction at 1 km spatial resolution of precipitation

2.2 武汉泵站汇水区域降水量格点化预报产品

常青泵站事例：武汉市常青排水泵站一期担负着汉口地区东起新华路、西止桥口区皮子街、南到中山大道、北抵解放大堤共约24.67 km²汇水面积的渍水排往东西湖防洪大堤以外的任务。二期工程增加机场河系统和汉西系统，汇水面积约54.5 km²。

常青泵站按照汇水区域大约48个格点（图2）。泵站区域性降水量预报结果为各格点降水量预报的平均值。

3 武汉市强降水过程泵站区域性汇水范围雨洪关系

根据设计的泵站汇水范围的降水通过排水管网到达排水泵站，有一部分的水通过地面下渗，植物吸收等容纳。



图2 常青泵站汇流区域格点精细化降水量预报
Fig. 2 Map of the fine precipitation forecast at grid point in the catchment area for Changqing pumping station

强降水雨洪关系：

$$Q = \Psi q S, \quad (1)$$

其中， Q 为泵站抽排水量， q 为泵站所在汇水范围雨量， S 为汇水面积， Ψ 为径流系数。

表1 武汉市主城区市属泵站参数
Table 1 The pumping station parameters in main urban area of Wuhan City

主要参数	后湖	常青	罗家路	新生路	前进路	鹦鹉洲	天津路	合计
汇水面积/km ²	48.53	54.50	37.80	21.80	5.60	8.20	1.97	178.40
设计抽排能力/(m ³ ·s ⁻¹)	139.96	143.60	93.00	40.02	9.15	15.00	12.13	452.86

3.1 泵站选取

选取武汉市城区后湖、常青两个泵站作为本文的试点研究对象。

3.2 面雨量计算

面雨量是描述整个区域（流域）内单位面积上的平均降水量的物理量，能较客观地反映整个区域的降水情况。常见计算方法有等值线法、数值法和算术平均法等。

武汉市随着城市建设的发展，地下管网密布，下垫面比较复杂，某个区域的降水量采用算术平均比较简便易行。因此，本文面雨量的计算采用某区域内自动雨量的算术平均值作为该区域的面雨量。

根据武汉市现有自动气象站地点位置以及泵站汇水范围，选取泵站汇水范围对应的城区自动气象站（图3）。如后湖泵站担负着武汉市汉口地区西起新华路、东至沿江、南达中山大道、北抵解放大堤约48.53 km²汇水面积的雨、污水抽排，是目前我国最大的城市抽渍泵站。

根据后湖泵站所在汇水范围，选定现有的铁中自动气象站（30°39'N，114°19'E）和六中自动气象站

(30°32'N, 114°30'E) 降水资料。各泵站面雨量采用对应汇水范围内自动站降水量的平均值, 如后湖泵站面雨量采用铁中自动气象站和六中自动气象站降水量的平均值。

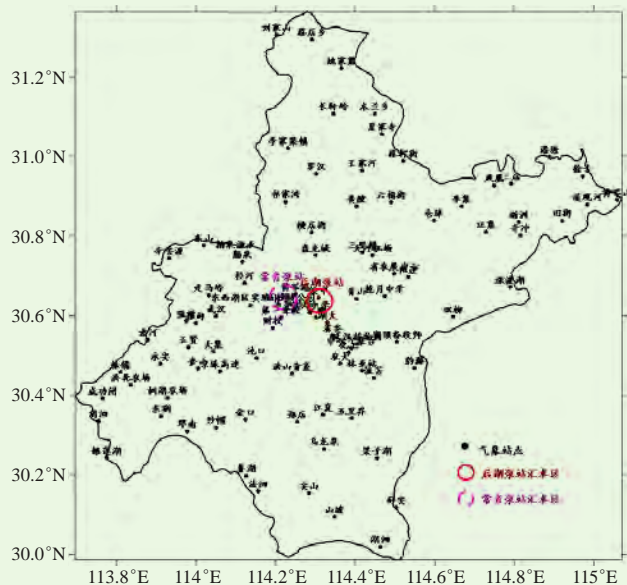


图3 常青泵站和后湖泵站所辖汇水范围内自动气象站空间站网分布

Fig. 3 Locations of automatic weather stations in the catchment area around Changqing pumping station and Houhu pumping station

3.3 径流系数的确定

径流系数是指单位时间内一定汇水面积地面径流量与面降雨量的比值, 径流系数说明在降水量中有多少水变成了径流。该系数越高, 表明降水量形成径流越多, 对于城市雨水径流, 系数越高, 表明在城市地表形成的内涝渍水越多。

根据《室外排水设计规范》中规定的城市雨水设计流量算式, 径流系数按下式计算:

$$\psi = \frac{Q}{q \times S}, \quad (2)$$

其中, ψ 为径流系数, Q 为过程总排水量 (单位: m^3), q 为流域面雨量 (单位: mm), q 的计算采用算术平均法。利用近年来武汉市强降水过程 (中到大雨以上) 的流域泵站排水量数据和城市加密雨量站数据, 可以通过上式计算各个泵站汇水范围的平均径流系数 $\psi_{\text{平均}}$ 。

此方法计算泵站径流系数的优点是充分利用大数据数理统计优势, 忽略武汉城市地表状态和地形差异, 给出一个平均的状态, 得出 $\psi_{\text{平均}}$ 。

选取常青和后湖两个泵站, 收集近5年 (2010—2015年) 的泵站中到大雨强度以上降水过程的抽排资料, 计算径流系数 (表2)。

表2 武汉市泵站汇水区域径流系数

Table 2 The runoff coefficient in the catchment area for pumping stations in Wuhan City

代表泵站名称	后湖泵站	常青泵站
径流系数	0.86	0.76

3.4 泵站雨洪关系

后湖泵站的雨洪关系为 $Q=0.86qS$; 常青泵站的雨洪关系为 $Q=0.76qS$ 。泵站雨洪关系适用中到大雨以上强降水天气过程。

4 结论与讨论

强降水过程雨水通过地面回流、地下管网等流向排水泵站, 运用泵站汇水范围雨洪关系, 可通过精细化降水量预报得出排水泵站的相关抽排量。雨洪关系中用到的降水量预报值取泵站汇水范围内精细化格点预报值的平均值。降水过程采用的是武汉市中到大雨以上强度的降水天气过程。

4.1 强降水过程排水量预报

根据数值预报降水过程的总降水量 (精细化格点降水量预报值平均), 利用式 (1) 计算降水过程的抽排水量。

根据数值预报降水过程的小时降水量, 选用最大小时降水量, 利用式 (1) 计算最大小时降水量对应的最大排水量。

4.2 强降水过程临界降水量预警

根据泵站设计抽排能力 (每秒总流量), 换算成小时流量, 就是小时最大抽排量。利用雨洪关系计算方程, 计算城区泵站汇水区域对应的临界 (最大) 1、3、6、12和24 h降水量。

临界降水量计算公式:

$$q = \frac{Q \times 3600 \times h}{\psi \times S} \times 1000, \quad (3)$$

其中, Q 为泵站设计抽排能力, h 为降水时间, ψ 为径流系数, S 为汇水面积。

强降水过程数值预报汇水区域最大小时 (3、6、12和24 h) 降水量超过对应的临界值 (表3), 可以提前预警。

表3 武汉市城区泵站临界雨量

Table 3 The critical precipitation for pumping stations in Wuhan urban

	1 h临界雨量 /mm	3 h临界雨量 /mm	6 h临界雨量 /mm	12 h临界雨量 /mm	24 h临界雨量 /mm
常青泵站	12.5	37.5	75.0	150.0	300.0
后湖泵站	12.1	36.3	72.6	145.2	290.4

4.3 泵站抽排开机数预报

根据数值预报的不同时段的降水量, 利用雨洪关系计算降水过程不同时段排水量, 结合泵站机组功

率计算出泵站抽排开机数量，即为正常情况下的最少开机数量。

4.4 今后改进建议

泵站设计的抽排能力（每秒总流量）和泵站机组数和功率是固定的，抽排水量预警预报是建立在雨洪关系上的，增加泵站汇水范围内的自动雨量站，提高降水量精细化预报准确率和时效性，是做好泵站抽排预警预报的关键。

实际应用中多通过提前预警，提前抽排来调度，这样对一次强降水过程真正对应的抽排水量是不太精确的。

随着降水精细化预报的准确性和时效性的提高，自动雨量站网的密布，是可能实现泵站自动抽排水调度的。

5 排涝气象调度技术应用实例

2015年7月15日，武汉市发生大暴雨天气过程（76.4 mm）。根据精细化预报结果，武汉市气象台提前24 h（14日）给武汉市水务局和武汉市泵站排水调度处发布暴雨预警信息——“未来24 h有强降水过程发生，请注意防范”。之后15日13时发布未来3 h预警信息——“未来3 h将有30 mm左右强降水，请注意防范”，并提醒泵站排水部门“未来3 h武汉市降水量将超过3 h临界雨量，建议提前抽排，防范可能发生的积水风险”。

实况显示，2015年7月15日武汉市后湖泵站汇水范围自动站降水实况（表4），计算的面雨量14时为2.3 mm，15时为32.6 mm，16时为12.7 mm，3 h达47.8 mm。其中15时和16时雨量超过1 h临界雨量，14—16时雨量超过3 h临界雨量（表3）。

表4 武汉市后湖泵站汇水区自动站雨量实况（单位：mm）
Table 4 The actual precipitation at the automatic weather stations in the catchment area of Houhu pumping station in Wuhan City (unit: mm)

	14时	15时	16时
武汉六中	4.3	20.8	3.4
武汉铁中	0.3	44.3	21.9
区域面雨量	2.3	32.6	12.7

6 城市泵站区域性排涝气象调度技术研究

本文结合最新精细化格点降水量预报产品和泵站区域性雨洪关系，进行城市泵站区域性排涝气象调度技术研究。其中面雨量为泵站汇水区域范围内格点预报值的平均值，强降水过程指中到大雨以上的降水天气。获得以下结论：

1) 强降水过程小时临界降水量预警（也可设计1、3、6、12 h等）。根据泵站设计每秒总流量计算泵站区域性降水过程小时抽排能力，利用雨洪关系，可得出小时泵站区域性临界降水量，气象预报小时雨量（泵站汇水区域格点雨量预报值平均）超过临界值提前预警。

2) 泵站区域过程临界降水量预警。根据泵站设计控制水位高度、区域汇水面积，得出区域内强降水过程控制最大抽排水量，利用雨洪关系，计算泵站区域过程临界降水量，强降水过程降水量预报超过这个临界值，可提前预警，结合泵站实际水位提前抽排减压或增加其他抽排措施。

3) 泵站小时抽排开机数量预测（也可设计1、3、6、12 h等）。根据强降水过程小时降水量预报，利用雨洪关系，计算强降水过程抽排水量，再根据泵站工作机组设计功率（一般为 $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ），可得出小时泵站开机抽排工作机组预测。

参考文献

- [1] 徐绮, 徐明. 浅析城市排水泵站在防汛中的作用. 建筑工程技术与设计, 2017, (16): 3195-3195.
- [2] 刘静森, 程吉林, 龚懿. 城镇圩区排涝泵站群日常运行方案优化. 农业工程学报, 2014, (17): 141-148.
- [3] 王振宇. 对北京市城区防汛市政排水管理的思考. 中国防汛抗旱, 2009, (3): 42-44.
- [4] 李婷, 魏军, 俞海洋, 等. 河北省城市内涝仿真模拟预警系统研制——以石家庄为例. 中国水利, 2016, (10): 11-14.
- [5] 王玉玺, 李硕. 基于GIS和RS的城市内涝监测预警系统. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2013, 23(4): 64-65.
- [6] 扈海波, 轩春怡, 诸立尚. 北京地区暴雨积涝灾害风险评估. 应用气象学报, 2013, 24(1): 99-108.