

气象要素与城市雨水资源化利用关系研究

胡娜¹ 田中旭² 李琳¹

1 绥中县气象局 2 绥中县自然资源事务服务中心

DOI:10.12238/eep.v8i3.2582

[摘要] 城市雨水资源化利用是缓解城市水资源短缺、改善水环境的有效途径。本文分析了主要气象要素与城市雨水资源化利用的关系,阐述了气象因素影响雨水资源开发利用的机制,并提出气象要素驱动的雨水资源化利用优化策略。研究表明,降雨特征是决定城市雨水资源量的关键因素,而气温、湿度和风速等气象要素通过影响雨水水质和蒸发量,直接关系到资源化利用效率。通过深入分析,了解气象要素变化规律是优化雨水收集系统、选择适宜处理工艺、合理配置雨水资源化设施的前提。而且城市雨水资源化利用需要与气象监测预报紧密结合,以实现气象数据驱动下的智能化管理,旨在提高雨水资源化利用水平。

[关键词] 气象要素; 城市雨水; 资源化利用; 给水排水

中图分类号: S276 **文献标识码:** A

Study on the Relationship between Meteorological Elements and Urban Rainwater Resource Utilization

Na Hu¹ Zhongxu Tian² Lin Li¹

1 Suizhong County Meteorological Bureau 2 Suizhong County Natural Resources Affairs Service Center

[Abstract] The utilization of urban rainwater resources is an effective way to alleviate urban water resource shortages and improve the water environment. This paper analyzes the relationship between major meteorological elements and urban rainwater resource utilization, explains the mechanisms by which meteorological factors influence rainwater resource development and utilization, and proposes optimization strategies for rainwater resource utilization driven by meteorological elements. Research shows that rainfall characteristics are the key factors determining the quantity of urban rainwater resources, while meteorological elements such as temperature, humidity, and wind speed directly affect resource utilization efficiency by influencing rainwater quality and evaporation. In-depth analysis of meteorological element variation patterns is a prerequisite for optimizing rainwater collection systems, selecting appropriate treatment processes, and rationally configuring rainwater resource facilities. Urban rainwater resource utilization needs to be closely integrated with meteorological monitoring and forecasting to achieve intelligent management driven by meteorological data, improve the level of rainwater resource utilization, and provide strong support for water supply and drainage systems in coastal urban construction.

[Key words] meteorological elements; Urban rainwater; Resource utilization; Water supply and drainage

引言

随着城市化进程加快,城市用水需求激增,水资源短缺问题日益突出。与此同时,城市雨水径流未得到有效收集利用,反而造成内涝、污染等一系列问题。而有效开发利用城市雨水资源,对于缓解城市供水压力、改善水环境质量具有重要意义。目前城市雨水资源化利用已受到广泛关注,但如何提高雨水收集利用效率、保障雨水利用安全成为亟待解决的问题。相关研究表明,气象条件是影响城市雨水形成与利用的关键因素,其中降雨量、降雨强度和时空分布直接决定了可利用的雨水资源量,而气

温、湿度、风速等要素则通过影响水质和蒸发过程,间接影响雨水的收集效率与利用潜力。而通过分析气象要素变化特征,研究其对雨水资源化利用的影响机制,对于优化雨水利用策略、提升雨水系统适应性至关重要。

1 城市雨水资源化利用的气象基础研究

1.1 城市降雨特征与变化规律分析

降雨是形成城市雨水资源的直接来源,不同城市在降雨量、降雨强度、降雨时间分布等方面存在明显差异,这些差异直接影响着雨水资源的丰富程度和利用潜力^[1]。研究表明,年

降雨量是评价区域雨水资源量的最基本指标。年降雨量越大,雨水资源越丰富,但降雨时空分布的不均匀性,使得资源化利用难度加大。

以绥中县2022年为例,2022年绥中县气温偏高,降水偏多,日照偏少。平均气温为10.3℃,比历年同期10.2℃,偏高0.1℃;年降水量706.2毫米,比历年613.6毫米,偏多92.6毫米;2022春季(3-5月)降水量为76.0毫米;夏季(6-8月)降水量为505.5毫米;秋季(9-11月)降水量为107.2毫米。全年日最大降水出现在7月6日,降水量为98.6mm,属于较丰沛地区,降雨的这种“时间上集中、强度大”的特点,会造成雨季径流量大,给蓄水工程设计带来压力;导致枯水期供水紧张,运行维护成本提高。受全球气候变化影响,城市降雨呈现出显著的变化趋势,经查阅资料发现,近30年来,夏季降水强度、暴雨频率呈增加趋势,极端降水事件更加频繁,而冬季降雪有所减少,降水日数也呈减少趋势,总体而言,降水实际波动加剧,季节间分配更加不均,这无疑给雨水资源化利用增加了难度和不确定性。充分研究城市降雨的变化规律,是进行雨水利用规划设计的基础,为做好本地区给水排水系统起支撑作用,通过加强降雨监测和突发性天气,优化调度雨水利用系统,最大限度实现雨水资源利用和防灾减灾。

1.2 气温、湿度等气象要素对雨水质量的影响

除降雨特征外,气温、相对湿度等气象要素也会显著影响雨水水质^[2]。经查阅资料表明,气温升高有利于大气中污染物的光化学反应,导致颗粒物等污染加剧。气温较高时,植物蒸腾作用增强,卷带更多地表颗粒物进入大气,并随降雨最后进入雨水收集系统,另有研究表明,低温条件更有利于二氧化硫等酸性污染物的溶解,导致雨水酸化程度加剧,绥中县地区监测数据显示,冬季雨水的pH值比夏季低,相对湿度影响降雨前大气中的污染物浓度,相对湿度较高时,大气中的颗粒物容易吸湿、凝结,在雨水冲刷过程中被带入地表;而低湿度条件则使颗粒物处于干燥状态,不易被雨水捕获。可见,雨水水质状况与气象条件密切相关,掌握气温、湿度等要素的变化规律,有助于判断雨水污染风险,为雨水处理提供依据,建议加强雨水水质监测,结合气象预报适时调整雨水收集策略,降低污染风险,确保雨水利用安全。

1.3 气象要素变化与城市雨水资源量的相关性

除直接影响雨水质量外,气象要素的变化还会通过调节地表蒸发等过程,影响雨水资源的收集量^[3]。气温、风速、太阳辐射等因素均与水面蒸发强度显著相关,绥中地区是辽宁省年均日照时间较长的地区之一,达2600h以上,高温少雨使得蒸发量较高。根据资料统计,绥中地区的年均水面蒸发量为1500mm左右,而年均降水量为600mm左右,蒸发量高于降水量。高蒸发加大了土壤的失墒速率,也增加了发生农业干旱的机率。当气温升高、风速加大、太阳辐射增强时,水面蒸发加剧,径流损失增加。经查阅资料绥中县地区,2022年第一场透雨出现在5月6日。从2月28日到5月28日,在选定监测点进行土壤墒情监测19场次,2022年降水量706.2毫米,历年613.6毫米,降水偏多,分布不均,西北地区偏多,东南地区偏少,最大一次过程出现在7月27日至29日,

全县普降大暴雨,平均降水量113.4毫米,过程最大降水量出现在李家堡乡,为211.6毫米。在连续降雨条件下,前期土壤含水量每增加10%,雨水径流系数就提高5%左右^[4]。准确估算城市雨水资源量,需要深入分析气象要素变化与径流形成的关系,建议结合长期气象观测数据,分析不同下垫面类型的雨水径流特征,并运用水文模型模拟径流的时空分布,为雨水资源量评估提供科学依据。并在加强农业生产的产前、产中、产后开展服务效果和效益调查,针对服务用户库用户,发布农业气象灾害预警信息和农业气象服务信息。气象、自然资源等部门加强数据共享,建立气象水文联合预警机制和农业受灾情况调查和损失评估,为绥中地区给水排水系统提供有力支撑,并为绥中地方经济提供有力保障。

2 气象要素影响城市雨水资源化利用的机制

2.1 降雨强度与雨水收集效率的关系

降雨强度直接决定单位时间内的雨水径流量,进而影响雨水收集系统的截留效率^[5]。当降雨强度较小时,收集系统的雨水截留率较高,这是因为小强度降雨时,屋面、道路等下垫面对雨水的吸附、蓄积作用显著,进入收集管网的径流量较小,多数雨水能被拦蓄,而暴雨条件下,大量径流在短时间内快速汇流,容易超出收集管网、蓄水设施的设计能力,导致雨水外溢或排入市政管网,收集效率大幅降低。通过监测发现,日降雨量小于10毫米时,屋面雨水收集率可达85%以上;而降雨量超过50毫米时,收集率降至50%左右。降雨强度与雨水收集效率呈现明显的负相关关系;科学确定不同降雨条件下的雨水收集策略,是提高雨水利用效率的关键,针对小降雨,可通过优化屋面材料、铺设透水铺装等措施,提高雨水下渗、削减径流;针对强降雨,则应合理设置溢流口,将超出调蓄能力的雨水及时排出,确保收集设施安全。收集系统宜分散布置,减小汇水面积,缩短汇流时间,提高暴雨雨水的就地消纳能力。

2.2 气温变化对雨水处理工艺的影响

气温变化显著影响雨水水质,使得不同时段收集的雨水理化性质差异较大,给雨水处理工艺选择和调控带来挑战。夏季高温季节,雨水中易降解有机物含量升高,微生物活性增强,易造成收集系统内污染物累积和厌氧发酵,产生沉淀、恶臭等问题,处理难度加大,冬季低温条件下,雨水中总氮、重金属等污染物含量相对较高,但由于温度限制,生物处理效率下降,去除效果不佳,在雨水收集系统的研究发现,当气温从25℃降至5℃时,生物滤池对COD的去除率从80%降至50%以下,气温骤变也会影响雨水处理构筑物的运行;冬季气温骤降易导致处理设施冻结,阻塞溢流口,影响调蓄功能;夏季暴雨来临前,气温骤升引起径流水温突变,不利于生物膜稳定,影响处理效果。雨水处理工艺的选择和设计,需充分考虑气温的影响,宜优选适应温度变化的处理工艺,处理构筑物宜采取保温防冻措施,并加强运行维护,及时疏通管网,确保设施安全高效运行。

2.3 湿度、风速等要素对雨水蒸发损失的作用

除气温外,相对湿度、风速等气象要素通过影响水分蒸发,

也会显著改变雨水收集过程的损失量。经查阅历年资料分析,得出相对湿度越低,大气愈不饱和,越有利于水分蒸发,屋面径流在相对湿度40%的条件下蒸发,其损失量是90%湿度条件下的2倍多;在干燥少雨地区和季节,应加大对雨水的收集力度,减少蒸发损耗,风速影响水汽扩散速率和蒸发表面的湍流交换强度,与蒸发强度正相关,有研究发现,当风速从静风状态增至2m/s时,暴露屋面积水的蒸发速率提高约30%,故在风多季节,宜采取遮挡、低落差布置等措施,减小风速对径流损失的影响,阳光直射也会明显增加雨水的蒸发;夏季晴天太阳辐射强烈,水面蒸发强度可达冬季阴天的数倍,经查阅资料东北地区与南方城市的监测数据显示,夏季晴天屋面径流日蒸发量高达4.5mm,较阴天高出3mm以上,在光照强烈地区,雨水收集构筑物宜加盖遮阳,减少阳光直射,必要时可在屋顶铺设反光材料,反射部分辐射;减少气象要素引起的雨水损失,是提高雨水利用效率的重要环节,应加强气象观测,运用水量平衡等方法定量分析气象因子与蒸发的关系,并据此优化雨水收集利用策略,如在干燥少雨季节,可相应提高雨水收集管网的密度,减少径流在屋面、地面的停留时间。

3 基于气象要素的城市雨水资源化利用优化策略

3.1 气象预报数据驱动的雨水收集系统智能调控

绥中县西北地区自然环境恶劣,山地植被差,多裸露岩石水源涵养能力低,加快了该地区水源流失的速率,河道径流迅速流失,绝大部分河流除主汛期外经常处于断流状态。加之人畜、灌溉用水需求大,长期处于超采状态,地下水位逐年下降,水资源环境持续恶化。通过利用气象预报数据对给水排水系统进行主动控制,是提高雨水资源利用效率的有效途径。通过分析未来一段时间的降雨量、降雨强度等数据,预判径流峰值出现的时间,可提前对雨水收集设施进行空容腾挪,降低溢流风险。每日天气预报的温度、湿度等数据也可用于估算雨水蒸发损失,指导调整收集强度。全自动雨水收集控制系统通过设置多级开关阀,根据预报降雨量实现雨水分级收集,降雨初期可自动关闭收集管网阀门,待屋面冲刷15分钟后打开,去除初期雨水污染,小雨时仅收集屋面径流,降雨量较大时则连通道路、绿地径流,最大限度收集雨水。将预报数据引入智能控制,可有效指导雨水的收集、调蓄、回用全过程调度,在减少溢流损失的同时保障雨水利用安全。

3.2 气象要素时空变化下的雨水资源化布局规划

绥中县目前主要利用火箭弹进行人工增雨作业,以增加水库蓄水和缓解旱情,已经建成11个标准化人工增雨作业点,效果良好。需因地制宜确定各类设施的规模和布局,在空间布局上,

可根据降雨特征和汇水面积划分不同的雨水利用分区,分区内再结合下垫面类型、汇流特性等进行小尺度布点。时间尺度上,应重点关注降雨的年际、季节变化,制定相应的雨水利用管理策略,丰水年宜适度扩大调蓄规模,加强各类蓄水空间的联通,鼓励工业、市政等领域的雨水替代利用;枯水年则应减小集蓄强度,加大对地下水的补给力度,减缓旱情,雨季应加强对初期雨水的弃流、净化处理,优先将溢流雨水引入调蓄空间;旱季则应提高雨水收集池的储存水位,尽可能多地留存雨水资源。要加强对极端天气事件的预警监测,完善应急预案,确保设施安全。

4 结语

气象要素时空分布的不均匀性,使得城市雨水资源的形成和利用呈现多样性和复杂性。降雨特征决定了雨水资源量的丰枯状况,气温、湿度等要素影响雨水水质和收集过程的损失,这些因素的变化规律直接关系到雨水利用系统的设计和调控效率。而要实现雨水资源高效利用,必须将给水排水系统与气象预报预警和监测体系深度融合,依托气象大数据分析,对收集、调蓄、处理和利用等环节进行精细化调控。其中在雨水利用设施布局和运行维护中,应充分考虑气象因素影响,因地制宜采取措施提高适应性与灵活性,形成气象数据驱动下的雨水资源化利用新格局。并且促进气象、水利、自然资源等部门数据共享,是提高城市雨水资源化利用水平和防灾减灾能力的重要保障。此外气象部门应从服务民生、服务地方经济发展大局出发,聚焦监测精密、预报精准、服务精细,充分发挥气象防灾减灾第一道防线作用,为提高城市建设水平,增强城市韧性,建设水安全城市提供有力支撑。

【参考文献】

- [1]单艳红.大连市雨水资源化利用研究[D].山西省:山西师范大学,2010.
- [2]汪水兵,张红,易明建,等.典型城市臭氧污染分布与气象要素间相关性研究[J].低碳世界,2020,10(12):1-3.
- [3]王品才.某生态校园雨水调蓄与资源化利用研究[D].天津市:天津大学,2010.
- [4]顾正斌.北方城市道路雨水资源化利用及其效益分析研究[D].河北省:河北工程大学,2007.
- [5]刘勇洪,轩春怡,李梓铭,等.城市生态气象监测评估初步研究与实践——以北京为例[J].生态环境学报,2020,29(3):550-561.

作者简介:

胡娜(1983—),女,满族,辽宁绥中人,本科,工程师,研究方向:综合气象业务。