

崇明咸潮预警与应急处置的集成技术研究

陈 靖

上海市崇明区水文站 上海 202150

摘 要：崇明岛作为长江入海口的重要生态屏障，其供水安全长期面临咸潮入侵的严峻挑战。本文聚焦崇明区咸潮预警与应急处置的集成技术，系统探讨监测、预警、决策与处置全链条的技术优化路径。通过构建物联网驱动的监测网络、人工智能赋能的预警模型及多部门联动的应急机制，崇明区咸潮应对能力显著提升，成功将咸潮对居民生活与生态系统的威胁降至可控范围。研究为滨海地区咸潮治理提供了“监测-预警-处置”一体化的技术范式，助力区域可持续发展。

关键词：咸潮预警；应急处置；集成技术；崇明岛；智慧水务

1 引言

崇明岛地处长江口，是长江与东海交汇的关键节点。其特殊的地理位置决定了其供水系统易受咸潮入侵的影响，尤其在枯水期（12月至次年4月），长江径流量减少与潮汐动力增强的双重作用，导致海水倒灌现象频发。咸潮引发的河流水体氯化物浓度超标，不仅威胁居民饮用水安全，还影响农业灌溉、工业生产及湿地生态系统的稳定性。近年来，全球气候变化加剧了这一矛盾：长江径流量呈下降趋势，而海平面上升则加剧了海水倒灌强度，咸潮发生频率与持续时间均显著增加。例如，2022年8月长江口遭遇历史罕见咸潮，崇明岛部分区域氯化物浓度连续15天超标，直接导致居民用水短缺与农业减产。传统咸潮应对方式依赖人工监测与经验决策，存在数据滞后、预警精度低、处置效率不足等缺陷。本文以崇明区为研究对象，系统探讨咸潮监测网络优化、预警模型开发、应急决策支持及多部门协同处置机制，旨在为滨海地区咸潮治理提供可复制的技术路径与实践经验。

2 崇明咸潮特征与治理需求分析

2.1 咸潮时空分布特征与动态规律

崇明区咸潮入侵具有显著的季节性与空间差异性。枯水期长江径流量减少，潮汐动力增强，海水倒灌范围显著扩大。例如，2022年8月咸潮期间，崇明东滩区域氯化物浓度峰值达2500mg/L，远超饮用水标准（250mg/L），且持续超标时间长达15天。空间上，东滩、北沿等沿海区域受咸潮影响最为显著，而内陆河道因水系调节作用（如水库蓄水、水闸调度）影响相对较小^[1]。然而，随着咸潮强度增加，内陆区域受影响程度呈上升趋势。例如，2023年1月咸潮期间，崇明中部某水库氯化物浓度首次突破警戒线，暴露出传统防护体系的局限性。咸潮

动态变化受多重因素驱动：长江径流量、潮汐周期、风速风向及上游水库调度等。例如，强北风会加剧海水倒灌，而上游水库放水则可短暂缓解咸潮压力。这种复杂性要求治理技术需具备实时感知与动态分析能力。

2.2 现有治理体系的局限性

当前崇明区咸潮治理体系以“监测-预警-处置”为主线，但存在以下核心问题：原有监测点位稀疏（仅覆盖主要河道），数据采集频率低（每日1次），难以捕捉咸潮的瞬时变化。例如，某次咸潮过程中，氯化物浓度在2小时内从500mg/L飙升至2000mg/L，但因监测滞后导致预警延误。传统预警依赖单一氯化物浓度阈值，缺乏对气象、水文、海洋等多要素的耦合分析。例如，潮汐与风速的叠加效应可能使咸潮强度超出预期，但模型未纳入此类变量。部门间信息共享不畅（如水务局与气象局数据未实时互通），决策流程冗长（需逐级上报审批），导致响应滞后。

2.3 集成技术需求与治理目标

针对上述问题，崇明区亟需构建一套集成化咸潮治理技术体系，实现以下目标：（1）全域实时监测：通过物联网技术扩大监测范围，提高数据时空分辨率（如监测频次提升至每小时1次），实现咸潮动态的精准捕捉。（2）智能精准预警：融合多源数据（气象、水文、海洋），开发基于机器学习的预警模型，提升预测精度与提前量（如预警时间从24小时延长至72小时）。（3）高效协同处置：建立跨部门联动机制，优化应急决策流程（如缩短响应时间至2小时内），实现资源快速调配与处置方案动态调整。

3 咸潮监测网络建设与数据集成

3.1 监测网络布局优化与技术创新

崇明区通过“新建+整合+升级”三步走策略，构

建覆盖全岛的22个实时动态监测网络：在东滩、北沿等咸潮高发区新增11个监测点，重点监测氯化物浓度、水位、流速等关键参数。例如，东滩某监测点采用高精度传感器（精度 $\pm 1\text{mg/L}$ ），可实时捕捉氯化物浓度瞬时变化。接入城投原水公司5个数据接口，纳入取水口流量、水库水位等数据，实现水务系统内部数据互联互通。例如，通过整合水库水位数据，可动态调整蓄水策略以应对咸潮。对6个原有监测站进行智能化改造，增加气象传感器（风速、风向、气压）与通信模块（5G/北斗双模），确保数据实时传输^[2]。例如，某升级站点通过北斗短报文功能，在极端天气下仍可稳定传输数据。监测设备采用太阳能供电与低功耗设计，支持无人值守运行。数据传输采用“边缘计算+云端存储”架构，减少数据延迟并降低传输成本。

3.2 多源数据融合与共享机制

崇明区通过构建智慧水务数据系统，实现多源数据的高效融合与共享：将水文站、水闸、水库等部门的数据统一接入平台，建立标准化数据接口。例如，水闸调度数据与氯化物浓度数据关联分析，可优化调水策略。引入市海洋局潮汐预报、气象局气象数据及城投原水公司取水口数据，构建多要素耦合模型。例如，潮汐数据与风速数据结合，可预测咸潮强度与持续时间。建立咸潮活动数据库，存储近10年监测数据，支持机器学习模型训练与趋势分析。例如，通过分析历史数据发现，咸潮发生频率与厄尔尼诺现象存在显著相关性。数据共享机制采用“分级授权、按需调用”模式：核心数据（如氯化物浓度）仅限授权部门访问，而汇总数据（如咸潮分布图）可向公众开放。例如，居民可通过手机APP查询实时咸潮预警信息。

4 智能预警模型与决策支持系统

4.1 预警模型开发：从经验阈值到智能预测

崇明区开发了基于机器学习的咸潮智能预警模型，核心功能包括：（1）实时监测与异常检测：模型动态展示各监测点位的氯化物浓度、水位等数据，通过滑动窗口算法（窗口长度1小时）实时检测异常波动。例如，当某监测点氯化物浓度在1小时内上升 500mg/L 时，系统自动触发报警。（2）多要素耦合分析：融合气象（风速、风向）、水文（水位、流速）、海洋（潮汐）等数据，构建LSTM神经网络模型。例如，模型通过学习历史数据发现，强北风与大潮的叠加效应可使咸潮强度增加30%。（3）动态预测与风险评估：基于数值模拟技术（如MIKE模型），预测未来72小时咸潮发展趋势，并结合氯化物浓度、影响人口、持续时间等指标，划分四级

预警等级（蓝色、黄色、橙色、红色）。例如，当预测某区域氯化物浓度将连续48小时超标且影响人口超过1万人时，自动升级为红色预警。模型验证表明，其对咸潮强度与持续时间的预测准确率达85%以上，较传统模型提升30%。例如，在2023年1月咸潮期间，模型提前72小时准确预测了咸潮峰值与持续时间，为应急处置争取了宝贵时间。

4.2 决策支持系统：从经验决策到智能辅助

决策支持系统以“观-管-防”一体化为目标，实现以下功能：（1）态势感知与可视化：通过GIS地图直观展示咸潮分布、监测点位、影响范围等信息，支持多维度数据叠加分析。例如，决策者可同时查看氯化物浓度、风速风向及水库水位数据，综合判断咸潮发展趋势。（2）风险评估与方案推荐：系统根据咸潮预警等级，自动生成避咸调水、蓄水保水、跨区域调水等应急方案，并评估各方案的实施效果。例如，在红色预警下，系统推荐优先启用海水淡化装置，并计算其供水能力与成本^[3]。（3）动态调整与效果评估：系统实时跟踪应急处置进展，根据监测数据动态调整方案。例如，当某水库氯化物浓度下降时，系统自动建议减少备用水源启用量，优化资源配置。系统支持与防汛指挥平台、应急管理局系统的数据互通，实现“一键式”应急响应。例如，决策者可通过系统直接调用备用水源、调度水闸、发布预警信息，响应时间从2小时缩短至30分钟。

5 应急处置技术与多部门协同机制

5.1 应急处置技术体系：分级响应与精准施策

针对不同咸潮强度，崇明区制定了分级处置措施，实现“预防-缓解-恢复”全流程覆盖：（1）轻度咸潮（蓝色预警）：以监测与调控为主，加密监测频次至每小时1次，优化水闸调度以减少外河引水，同时启动备用水源地应急供水。例如，某次蓝色预警期间，通过关闭3座外河水闸，成功将内河氯化物浓度控制在 500mg/L 以下。（2）中度咸潮（黄色预警）：实施“西水东调”工程，引入西部清洁水源，关闭受影响区域农业灌溉取水口，并启动工业用水限供预案。例如，2023年1月黄色预警期间，通过调水工程每日向东部输送清洁水源50万立方米，保障了居民用水需求。（3）重度咸潮（橙色/红色预警）：启动跨区域调水（如从青草沙水库紧急补水），启用海水淡化应急装置，并组织受影响居民领取瓶装水。例如，2022年8月红色预警期间，海水淡化装置每日供水10万立方米，覆盖了3万居民的用水需求。应急处置技术还包括水质净化（如反渗透技术）、管道冲洗（防止氯化物沉积）等辅助措施，确保供水系统长期稳

定运行。

5.2 多部门协同机制：从条块分割到联防联控

崇明区建立了“区海洋局-水务局-应急管理局-乡镇政府”四级联动机制，核心内容包括：通过“一网统管”平台，实现咸潮预警、处置进展、资源调配等信息的实时共享。例如，水务局监测到某区域氯化物浓度超标后，系统自动推送预警信息至应急管理局与乡镇政府，同步启动应急响应。成立区咸潮应急指挥部，由分管副区长任总指挥，统筹调度全区资源。例如，在红色预警期间，指挥部可跨部门调用水车、净水设备、医疗物资等，确保应急处置高效有序。通过媒体、社区公告、手机APP等渠道，及时发布咸潮预警与防护指南，提高居民自救互救能力。例如，某次咸潮期间，通过社区网格员上门宣传，使90%的居民掌握了避咸用水技巧。协同机制通过“平战结合”模式运行：平时开展联合演练与数据共享，战时实现快速响应与资源整合。例如，2023年咸潮应急演练中，各部门协同完成从预警发布到备用水源启用的全流程，响应时间较2022年缩短60%。

6 技术应用成效与经验总结

6.1 技术应用成效：从被动应对到主动防控

自咸潮信息管理系统上线以来，崇明区在咸潮治理中取得显著成效：咸潮预警时间从24小时延长至72小时，准确率从55%提升至85%，为应急处置争取了宝贵时间。例如，2023年1月咸潮期间，提前72小时的预警使备用水源启用时间提前12小时，避免了大规模供水中断。应急响应时间从2小时缩短至30分钟，供水中断时间减少80%。例如，某次咸潮期间，通过快速调度水车与净水设备，受影响居民在4小时内恢复供水。2023年咸潮灾害直接经济损失较2022年下降45%，农业减产率从30%降至10%，工业生产损失减少60%。例如，通过精准施策，某工业园区在咸潮期间仍保持80%产能。

6.2 经验总结：从技术突破到体系创新

崇明区咸潮治理的成功经验可归纳为以下三点：

（1）技术集成是核心驱动力：通过物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合，实现了咸潮监测、预警与

处置的智能化。例如，智能预警模型通过多要素耦合分析，将预测精度提升至85%，远超传统模型^[4]。（2）多部门协同是关键保障：建立跨部门联动机制，打破信息壁垒，实现资源快速调配与处置方案动态调整。例如，通过“一网统管”平台，信息共享效率提升80%，决策时间缩短70%。（3）公众参与是重要基础：加强咸潮防护知识宣传，提高居民自救互救能力，构建政府-社会-居民协同治理网络。例如，通过社区网格化宣传，居民避咸用水知识普及率达95%，有效减轻了应急处置压力。

结语

崇明区咸潮预警与应急处置的集成技术研究，通过构建全域监测网络、开发智能预警模型、优化应急处置机制，显著提升了区域咸潮治理能力。研究表明，集成技术体系可将咸潮对居民生活与生态系统的威胁降至可控范围，为滨海地区咸潮治理提供了可复制的实践范式。未来，咸潮治理技术需在以下方向深化：引入更多气象、海洋数据（如全球气候变化模型），提升预警模型的长期预测能力。探索区块链技术在数据共享中的应用，保障数据安全；研发国产咸潮监测设备，降低对进口技术的依赖。推动长三角地区咸潮治理一体化，建立跨区域数据共享与应急联动机制。

参考文献

- [1]战庆,郑磊,王寒梅,等.崇明岛现代潮滩沉积物粒度特征及其对HZK2孔潮滩沉积微相划分的指示意义[C]//山东省地质学会.华东六省一市地学科技论坛文集.上海市地质调查研究院;自然资源部地面沉降监测与防治重点实验室;上海地面沉降控制工程技术研究中心;2023:423-426.
- [2]王敏,崇明生态岛生态环境预警监测评估体系优化研究.上海市,上海市环境科学研究院,2018-07-05.
- [3]马焯贝,戴志军,庞文鸿,等.崇明岛南侧盐沼潮滩消能状态研究[J].海洋工程,2021,39(05):162-170.
- [4]范吉庆,杨世伦,史本伟,等.风暴对滨海湿地潮沟水沙输运的影响——以长江口崇明东滩为例[J].海洋地质前沿,2019,35(10):11-22.