

# 凌汛期冰塞形成机理及其对河道行洪影响的分析

贺仙梅<sup>1</sup> 王雪<sup>2</sup> 倪霞<sup>2</sup>

1.内蒙古河套灌区水利发展中心排水分中心第四排水所 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.内蒙古河套灌区水利发展中心排水分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

**【摘要】**：冰塞属于北方河道凌汛期多发的冰凌灾害类型，河道堵塞问题频发会直接干扰正常行洪秩序，河道运行安全会受到直接威胁。文章围绕河道冰塞形成机理与河道行洪影响展开系统性研究，整合梳理国内冰塞相关研究成果，归纳冰塞预判工作现存的各类问题，主要体现在气象水文条件波动不确定性、监测工作体系不完善、冰塞演变过程认知不精准三个层面。结合现场防控工作的实际短板，结合水文要素源头管控、全域监测体系搭建、机理规律深度探究多个角度，梳理贴合现场应用的防控处置办法。相关研究工作可以优化冰塞预判精准水平，改善河道行洪运行条件，为凌汛期河道防洪安全管控工作提供充足的理论依据与实践参考。

**【关键词】**：凌汛期；冰塞机理；河道行洪

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.053

## 引言

北方河道冬季普遍存在凌汛现象，冰塞堆积堵塞河道是凌汛灾害爆发、河道行洪受阻的核心诱因，流域水利设施运行安全与河道沿岸区域稳定都会受到严重影响。国内河道防洪管控标准持续升级，传统冰塞观测手段与防控模式的适配性逐步下降，行业内部缺少成熟的精细化、系统化防控技术体系。结合河道凌汛防控的现实需求，文章针对凌汛期冰塞形成机理开展深度探究，挖掘冰塞预判工作难以落地的深层原因，结合河道实际运行工况制定针对性防控方案，化解冰塞带来的行洪安全隐患，提升河道凌汛综合防控能力<sup>[1]</sup>。

## 1 凌汛期河道冰塞研究基础与研究现状

凌汛期冰塞为北方河道冬季独有的冰凌灾害现象，突发聚集、快速堵河的特性会打乱河道天然行洪状态，河道输水排洪能力会出现明显下降<sup>[2]</sup>。国内现阶段冰塞相关研究大多依托典型河段现场观测数据与灾害复盘案例展开，针对水文气象耦合作用下的冰塞形成机制、冰体运移堆积的动态演变过程，精细化研究内容仍存在较多空白。现有监测技术无法覆盖冰塞完整发育周期，各类预判模型适配场景较为单一，难以满足凌汛期河道行洪安全防控的实际工作需求<sup>[3]</sup>。

## 2 冰塞自然形成机理复杂，预判难度较大

河道特殊的冰凌水文环境为冰塞孕育、形成及持续发展提供基础条件，多重自然要素的共同作用让冰塞形成机理具备极强复杂性，冰塞灾害精准预判工作落地难度大幅提升，凌汛期河道行洪安全管控由此面临核心挑战。

## 2.1 河道水文气象多变造就冰塞形成不确定性

凌汛过渡阶段冷暖空气交替活动频繁，气温会出现阶段性起伏波动，河道冰层原有稳定冻融节奏被彻底打破。低温存续时长、气温升降速率的差异化变化，会改变岸边固定冰层厚度与河心浮冰存量，上游来水流量、河道水流速度的动态调整，会持续改变冰体输移、滞留的水力环境，河道宽窄变化、弯道及浅滩等天然地形结构，容易造成局部水域浮冰停滞堆积。各类水文气象要素的随机组合，让冰塞发生时段、分布位置与影响规模均存在显著不确定性，精准预判工作难以提前开展。

## 2.2 冰体运移堆积过程缺乏系统化监测数据

国内河道冰情监测工作整体存在明显局限，常规监测设备与技术手段多针对河面表层冰层厚度、冰层覆盖范围开展基础观测，水下潜冰运动轨迹、冰体底层堆积形态、冰塞内部孔隙结构演变等隐蔽性变化过程，缺少常态化、全覆盖的动态监测方式。现有监测数据呈现碎片化、片面化特征，无法完整记录冰体漂移、聚集、嵌堵成塞的全流程参数，连续完整的水文冰情数据支撑处于缺失状态，冰塞形成的真实动态过程难以精准还原。

## 2.3 冰塞发育演变规律尚未形成精准认知体系

学界现有冰塞研究工作多聚焦于灾害成型后的复盘总结与特征分析，冰塞萌芽、发育、扩张、稳定的全周期阶段性演变机制，相关系统性研究仍不够完善。不同水文、地形、气象环境下冰塞发育的递进特征与临界变化标准没有得到完整界定，适配各类河道工况的冰塞演变研判标准处于空白状态。认知体系的不完善，让现有预判模型针对性与精准度存在短板，冰塞突发险情无法得到有效预判，凌汛期河道行洪安全防控工作

作缺少可靠理论支撑。

### 3 应对冰塞成因难题优化河道行洪的对策

#### 3.1 把控水文气象变化消除冰塞形成不确定性

水文气象环境波动引发的冰塞生成随机性可以通过科学管控方式有效规避,气象水文联动研判结合人工干预的管控模式,能够适配凌汛期河道防控工作需求(见图1)。区域气象监测站、河道水文站点可形成联动机制,搭建凌汛期专项动态跟踪模式,昼夜温差、阶段性气温升降幅度、上游来水量、河道流速等核心指标会得到持续监测,每日汇总的监测数据可用于动态研判冰凌冻融变化节点。河道弯道、浅滩、束窄段等冰塞高发区域,可提前开展河道规整作业,平整河床凸起结构,清理岸边阻碍水体流动的杂物,减少浮冰滞留堆积的固定点位。气温、水流状态的动态变化可联动上游水库调度工作,小幅度、持续性调整水库下泄水量,稳定河道整体水力条件,规避水流突变引发的浮冰聚集问题,水文气象波动对冰塞形成的干扰会大幅降低,冰塞突发生成的不确定性可以得到有效管控。



图1 水文气象波动致冰塞不确定性管控流程

#### 3.2 搭建监测体系掌握冰体运移堆积全过程

冰情监测体系的短板可通过技术升级补齐,空天地一体化的全流程冰凌监测架构,能够有效改善监测数据碎片化问题(见图2)。原有表层冰情监测基础上,冰塞重点河段可布设水下超声监测设备、水位流速传感设备,水下潜冰运动轨迹、底层冰体堆积厚度、孔隙动态变化等隐蔽冰情可实现全天候监测,弥补传统监测工作的覆盖盲区。无人机航拍、高清视频监控设备的配套应用,可实现河道全线冰体覆盖范围、漂移速度、聚集状态的可视化实时管控。监测数据专属汇总平台可自动归集气象、水文、冰体运移等各类监测信息,构建完整连续的冰

凌数据链条。工作人员可定时完成数据核查与冰情动态更新,常态化梳理冰体运移堆积的各类特征,精准掌握冰塞萌芽、聚集、堆积的全周期变化,冰塞预判与应急处置工作可获得全面、真实、有效的数据支撑。



图2 冰体运移堆积全过程立体化监测流程

#### 3.3 深究演变规律构建冰塞精准化认知体系

结合冰塞全周期发育特征深化冰凌演变机理研究,能够搭建适配本地河道工况的精准化认知与研判体系。历年凌汛期冰塞灾害案例、各类监测数据可完成整合分类,不同气温环境、水流工况、河道地形条件下的冰塞发育特征会得到系统梳理,冰塞形成、扩张、消融对应的临界水文气象阈值可实现精准测算,各类场景下冰塞演变的递进规律能够得到清晰界定。实地监测数据可用于修正传统研判模型,改变单一灾害复盘的分析模式,分河段、分时段搭建精细化冰塞演变研判标准,适配不同河道的冰凌发育特点。各类研究成果的系统梳理汇总,可形成标准化的冰塞防控技术手册,一线防控人员的专业技能培训能够同步推进,理论研究成果可转化为现场实操研判能力,冰塞险情预判精准度可实现全面提升,河道行洪安全防控工作可获得完善的理论与技术支撑。

### 4 结语

文章针对凌汛期河道冰塞形成机理与预判难点展开全面分析,水文气象波动、监测数据缺失、演变认知不足是阻碍冰塞防控工作落地的核心问题,对应解决策略围绕源头要素管控、全域监测搭建、机理研究深化三个维度展开,形成完整的问题治理架构。冰塞发育规律的精准把控、现代化防控手段的全面落地,能够降低冰塞灾害发生概率,缓解河道行洪承载压力,北方河道凌汛期安全运行、常态化防洪管控工作可获得切实可行的技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 田福昌,张安邦,邓宇,等.寒区河道凌汛期堤防渗流险情演化过程研究展望[J].冰川冻土,2025,47(5):1431-1441.
- [2] 严昌盛,张斐,刘静.2024—2025 年度凌汛期黄河下游气温特征及天气过程分析[J].中国防汛抗旱,2026,36(5):60-66.
- [3] 赵水霞,SHEN Hung Tao.冰塞渗流阻力特性的实验研究[J].水利学报,2021,52(8):959-968.