

# 极端天气下水利工程应急施工技术与管理体系统构建

雷晓明 王志永

开封黄河河务局兰考黄河河务局 河南 开封 475300

**摘要:** 随着全球气候变化加剧,极端天气事件(如超强暴雨、持续干旱、台风、高温热浪、寒潮等)频发,对水利工程建设 and 运行安全构成严重威胁。在极端天气条件下开展应急施工,不仅面临工期压缩、资源紧张、作业环境恶劣等挑战,更需兼顾工程质量和人员安全。本文系统分析了极端天气对水利工程施工的主要影响类型及特征,梳理了当前应急施工中常用的关键技术手段,并在此基础上提出一套涵盖“预防—响应—恢复”全周期的水利工程应急施工管理体系框架。该体系强调风险识别、动态调度、智能监测、协同联动与制度保障五大核心要素,旨在提升水利工程在极端气候背景下的韧性与适应能力,为保障国家水安全提供技术支撑与管理路径。

**关键词:** 极端天气; 水利工程; 应急施工; 技术体系; 管理体系; 韧性建设

## 引言

近年来,全球气候系统显著失衡,极端天气事件呈现频率增加、强度增强、持续时间延长、影响范围扩大等趋势。我国作为世界上水旱灾害最严重的国家之一,水利工程既是防灾减灾的重要基础设施,又常因极端天气而成为高风险施工对象。传统水利工程施工多基于常规气象条件设计,缺乏对突发性、高强度极端天气的应对预案。一旦遭遇超标准暴雨引发山洪、泥石流,或持续高温导致混凝土开裂、设备故障,常规施工组织模式极易失效,轻则延误工期、增加成本,重则引发安全事故、造成重大经济损失甚至人员伤亡。因此,构建科学、高效、可操作的极端天气下水利工程应急施工技术与管理体系统,已成为新时代水利高质量发展的迫切需求。本文立足于“平急结合、以防为主、快速响应、精准处置”的原则,从技术手段与管理机制两个维度出发,系统探讨如何提升水利工程在极端天气条件下的应急施工能力,为相关工程实践提供理论指导与方法支撑。

## 1 极端天气对水利工程施工的主要影响

### 1.1 气象灾害类型及其工程影响

极端天气对水利工程施工构成多方面威胁。强降雨与洪水易引发施工现场积水、边坡失稳、基坑坍塌及围堰漫溢,若排水系统不足或应急响应滞后,将导致结构受损、设备被淹和材料失效。持续干旱与高温则加速混凝土水化反应,诱发温度裂缝,使沥青软化影响衬砌质量,同时造成水源短缺,干扰养护与降尘作业,并降低人员效率。台风与强风不仅摧毁临时设施如工棚、脚手架和塔吊,其伴随暴雨还加剧洪涝风险,沿海工程更面临风暴潮与天文大潮叠加的复合威胁。低温寒潮与冰雪则阻碍混凝土早期强度发展,引发冻害,增加金属脆

性,影响焊接质量,并因道路结冰阻碍运输与通行<sup>[1]</sup>。尤为复杂的是“旱涝急转”“高温+强对流”等复合型极端事件,对施工组织提出更高挑战,单一应对策略往往难以奏效。

### 1.2 施工系统脆弱性分析

极端天气对水利工程造成严重冲击,根源在于施工系统存在多重脆弱性。物理层面,施工现场大量依赖围堰、便道、工棚等临时设施,其抗灾标准普遍低于永久工程,难以抵御超标准极端事件;且施工中期结构尚未形成完整受力体系,整体稳定性差,对外部扰动极为敏感。组织管理上,许多项目应急预案流于形式,缺乏针对性与可操作性,指挥体系不清、信息传递迟滞,导致响应滞后;部分单位风险意识薄弱,重进度轻安全,未将气候风险纳入施工决策。资源配置方面,应急物资储备不足、布局不合理,区域性灾害发生时难以跨区支援;专业抢险队伍数量少、训练不足,机械设备在极端环境下适应性差,如高湿致发电机故障、低温致泵车启动困难。技术标准层面,现行规范多基于历史气候数据,对气候变化下的新型极端情景考虑不足,缺乏高温、严寒、强降雨等条件下的专项施工工艺与验收标准,致使技术人员应急时只能凭经验行事,显著增加质量与安全风险。

## 2 极端天气下应急施工关键技术

### 2.1 智能监测与预警技术

智能监测与预警是应急施工的“神经中枢”,其核心在于实现对极端天气及其工程影响的早识别、早判断、早响应。现代水利工程可依托多源异构数据融合技术,构建覆盖全域的微气象感知网络。该网络整合卫星遥感反演的区域降水趋势、地面自动气象站的实时温湿

风数据、天气雷达的短临强对流回波信息，以及无人机搭载的红外热成像与可见光影像，形成时空分辨率高、更新频率快的气象态势图。在此基础上，结合地质与水文监测手段，如利用合成孔径雷达干涉（InSAR）技术对大范围地表形变进行毫米级监测，布设GNSS位移传感器和土壤含水率探头对高边坡、深基坑、临时围堰等关键部位进行稳定性动态评估，可有效识别滑坡、塌方、管涌等次生灾害的早期征兆。当监测指标逼近预设风险阈值时，系统自动触发分级预警机制，并通过BIM与GIS深度融合的数字平台，将气象预警、地质风险、施工进度、人员分布等多维信息进行空间叠加分析，生成直观的风险热力图与最优应急疏散路径。这种“空—天—地”一体化的智能监测体系，不仅提升了预警的精准性与时效性，更为后续应急决策提供了可视化、可量化的科学依据，显著缩短了从“感知”到“行动”的响应链条。

## 2.2 适应性施工工艺与材料

在极端天气条件下，常规施工工艺往往难以保证工程质量与进度，必须发展具有环境适应性的专项技术与材料体系。针对高温干旱环境，混凝土施工面临水化热集中、塑性收缩开裂等难题。对此，可采用低热水泥配合缓凝型高效减水剂，有效延缓水化放热峰值；同时辅以遮阳降温棚、喷雾降尘系统，并优先安排夜间或清晨低温时段进行浇筑作业，最大限度控制温度应力。在养护阶段，推广保水养护膜或自动喷淋系统，解决水源短缺条件下的持续保湿问题。对于严寒地区或冬季施工，则需转向防冻保温技术路线，如使用早强防冻型外加剂提升混凝土早期抗冻能力，结合电热毯、蒸汽管道或暖棚法对新浇结构进行保温养护，防止冻胀破坏。在暴雨频发区域，开发快硬早强混凝土成为关键策略，其初凝时间可缩短至1-2小时，大幅降低雨水冲刷对表面成型质量的影响<sup>[2]</sup>。此外，模块化与装配式施工理念的引入，从根本上减少了对恶劣天气窗口期的依赖。通过在工厂标准化预制闸门井、渡槽节段、泵房模块等构件，现场仅需进行吊装定位与节点连接，不仅压缩了露天湿作业时间，还提高了施工精度与安全性。

## 2.3 应急资源快速部署技术

再先进的工艺也需可靠的资源保障才能落地，而极端天气往往导致交通中断、电力瘫痪、通信受阻，使得常规物资调配机制失效。因此，构建具备高度机动性与自持力的应急资源快速部署体系至关重要。移动式应急保障单元是其中的核心载体，包括自走式柴油发电车、移动式净水处理装置、便携式混凝土搅拌设备、应急照明与通信中继车等，可在断电、断水、断网的“三断”

环境下维持基本施工与生活功能。例如，一台集成化的应急电源车不仅能为排水泵、照明系统供电，还可为小型电动工具提供动力，支撑关键抢险作业。在人力难以进入的危险区域，无人机与特种机器人正发挥不可替代的作用。多旋翼无人机可执行灾后快速航拍勘察，实时回传现场影像；固定翼无人机则适合大范围物资投送，如向被困工区空投急救包、食品与通信设备。水下机器人可潜入淹没的基坑或围堰内部，检查渗漏点与结构损伤；履带式清障机器人则能穿越泥泞或塌方地带，执行排障、搬运等高危任务，极大保障了人员安全。与此同时，基于人工智能与大数据的智能调度系统正在重塑应急物流模式。该系统可实时接入交通路况、气象演变、物资库存、任务优先级等多维数据，运用优化算法动态规划最优配送路径，并预测潜在瓶颈，提前调整运力配置。这种“感知—决策—执行”一体化的资源调度机制，确保了在极端条件下关键抢险物资与装备能够精准、高效地送达“最后一公里”，为应急施工赢得宝贵时间窗口。

## 3 极端天气下应急施工管理体系构建

技术手段的效能发挥，离不开科学、高效的管理体系支撑。必须构建覆盖“事前预防、事中响应、事后恢复”全周期的应急施工管理体系，实现从被动应对向主动防御的根本转变。

### 3.1 体系总体框架

本文提出“五维一体”应急施工管理体系，即以风险识别与评估机制为基础，以动态响应与指挥机制为核心，以资源保障与协同机制为支撑，以过程监控与反馈机制为闭环，以制度标准与能力建设机制为保障，五者相互嵌套、协同运作，共同构成一个有机整体。该体系强调“平急结合”，将应急管理深度融入日常施工管理流程，避免“两张皮”现象。

### 3.2 核心子系统详解

#### 3.2.1 风险识别与评估机制

风险识别与评估机制是整个体系的起点。项目启动阶段即应结合区域历史气象数据、地质勘察成果及施工组织设计，系统梳理各施工阶段、各作业面可能面临的极端天气风险类型与敏感程度，建立动态更新的风险清单。在此基础上，利用HEC-RAS、FLO-2D等水文水动力模型，对不同重现期暴雨情景下的洪水淹没范围、流速分布进行模拟，量化施工区暴露风险<sup>[3]</sup>。最终，依据风险等级制定蓝、黄、橙、红四级预警响应标准，明确每级预警对应的停工范围、加固措施、人员撤离路线等具体行动指令，确保预警信息能够转化为可执行的操作。

### 3.2.2 动态响应与指挥机制

动态响应与指挥机制是应急处置的中枢神经。应成立由项目法人牵头,涵盖设计、施工、监理、气象、水文、安全监督等多方代表的应急指挥中心(ECC),实行统一指挥、分级负责。日常施工方案中应嵌入“平急转换”模块,如预设应急电源接口、预留抢险通道、编制关键岗位应急联络卡等。当气象预警达到预设阈值,系统可自动触发“一键启动”响应流程:同步发送停工指令至所有作业面,启动备用排水泵组,通知人员按预定路线撤离,并将实时态势推送至各级管理人员移动终端,实现快速、有序、精准响应。

### 3.2.3 资源保障与协同机制

资源保障与协同机制是应急能力的物质基础。建议构建“1+N”应急物资储备体系:“1”指项目部中心仓库,储备大型设备与通用物资;“N”指各工区设置的微型应急包,内含救生衣、沙袋、急救药品、便携式照明等,确保15分钟内就近取用。同时,应主动与邻近水利项目、地方政府应急管理部门、武警水电部队等建立跨区域支援联盟,签订互助协议,实现大型抢险装备如长臂挖掘机、冲锋舟的共享共用。此外,引入工程一切险附加“极端天气延误险”等金融工具,设立应急专项资金,可有效对冲工期损失,保障灾后快速复工的资金需求。

### 3.2.4 过程监控与反馈机制

过程监控与反馈机制是体系持续优化的关键。应充分利用视频监控、人员定位手环、设备物联网传感器等技术手段,对应急响应全过程进行数字化留痕,为事后复盘提供客观依据。定期组织“双盲”应急演练(即不提前告知时间、不预设脚本),真实检验预案有效性与人员实战能力<sup>[4]</sup>。每次应急事件结束后,必须召开专题复盘会议,运用PDCA循环方法,分析响应中的短板与不足,修订应急预案,更新风险数据库,推动管理体系螺旋式上升。

### 3.2.5 制度标准与能力建设机制

制度标准与能力建设机制是长效运行的根本保障。建议行业主管部门牵头制定《极端天气下水利工程施工

技术导则》,明确不同气候条件下的施工限值(如风力 $\geq 6$ 级停止高空作业)、特殊工艺要求及质量验收标准。同时,将极端天气应对知识纳入三级安全教育体系,开展防洪、防暑、防寒等专项培训,提升一线人员风险意识与自救互救能力。更重要的是,要培育“韧性工地”文化,倡导“安全第一、宁可十防九空”的理念,鼓励工人主动报告隐患,形成人人参与、群防群治的良好氛围。

## 4 结语

极端天气已成为水利工程建设不可回避的“新常态”。本文研究表明,仅靠被动抢险难以根本解决问题,必须将应急思维深度融入工程全生命周期,构建“技术—管理”双轮驱动的韧性施工体系。该体系以风险预判为基础,以智能技术为支撑,以协同机制为纽带,以制度文化为保障,方能在复杂多变的气候环境中守住安全底线、保障工程进度、提升建设质量。未来,应进一步深化数字孪生技术在应急施工中的应用,推动系统从“监测预警”向“智能推演与自主决策”跃升;在工程规划阶段即引入未来气候情景分析,推行气候适应性设计理念;加快制定国家级极端天气应急施工标准体系,统一技术规范与管理流程;同时加强跨学科融合,引入气候科学、灾害社会学等视角,全面提升人一机一环系统的整体韧性。唯有如此,方能在风云变幻的时代,筑牢国家水安全的坚实屏障。

## 参考文献

- [1]周彬.水利工程中应对极端天气的现场管控方法研究——以某工程项目为例[J].水上安全,2024,(21):145-147.
- [2]马玉东,巨宏臻.气候变化对水利工程质量的影  
响[C]//河海大学,北京水利学会,北京应急管理学会,天津市水利学会,天津市应急产业联盟.2024首届水旱灾害防御与  
应急抢险技术论坛论文集.黄河水利委员会上游水文水资源局,;2024:302-309.
- [3]王祥林,郝杰.农田水利工程建设中的气候变化适应性研究[J].农业科技创新,2025,(30):48-50.
- [4]王丽.全球气候变化下水利工程适应性管理的最新  
进展与趋势[J].水上安全,2024,(23):58-60.