

# 极端气候对水利工程施工进度的影响及应对策略

胡菊飞

福建旭林里建设工程有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4521

**[摘要]** 在全球气候变化加剧的背景下,极端气候事件频发已成为常态。作为国家基础设施建设的重要组成部分,水利工程具有投资大、周期长、技术复杂、环境敏感等特点,其施工过程极易受到极端气候(如暴雨、高温、干旱、寒潮、台风等)的干扰。本文系统分析了极端气候对水利工程施工进度的多维度影响机制,深入探讨了当前施工管理中存在的薄弱环节,并从技术、管理、制度和政策四个层面提出了综合应对策略。研究表明,构建“气候韧性”施工管理体系,强化气象预警联动机制,优化施工组织设计,完善应急响应预案,是提升水利工程抗风险能力、保障项目按期高质量完成的关键路径。本文的研究成果可为相关主管部门、设计单位和施工单位提供理论支持与实践指导。

**[关键词]** 极端气候; 水利工程; 施工进度; 气候韧性; 应对策略; 风险管理

中图分类号: TV51 文献标识码: A

## Impact of Extreme Climate on Construction Schedule of Water Conservancy Projects and Countermeasures

Jufei Hu

Fujian Xumuli Construction Engineering Co., Ltd.

**[Abstract]** Against the background of intensifying global climate change, the frequent occurrence of extreme climate events has become the norm. As an important component of national infrastructure construction, water conservancy projects have characteristics such as large investment, long construction periods, complex technology, and environmental sensitivity. Their construction process is highly susceptible to interference from extreme climates (such as heavy rain, high temperatures, drought, cold waves, typhoons, etc.). This paper systematically analyzes the multi-dimensional impact mechanism of extreme climate on the construction schedule of water conservancy projects, deeply explores the weak links in current construction management, and proposes comprehensive countermeasures from four levels: technology, management, institutions, and policies. Research shows that constructing a "climate resilience" construction management system, strengthening the linkage mechanism of meteorological early warning, optimizing construction organization design, and improving emergency response plans are key paths to enhancing the risk resistance capacity of water conservancy projects and ensuring their timely and high-quality completion. The research results of this paper can provide theoretical support and practical guidance for relevant competent authorities, design units, and construction enterprises.

**[Key words]** extreme climate; water conservancy project; construction schedule; climate resilience; countermeasure; risk management

### 引言

根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告(AR6),自20世纪中叶以来,全球多地极端降水、热浪、干旱和强热带气旋的发生概率显著上升。中国作为受气候变化影响最显著的国家之一,近年来频繁遭遇区域性暴雨洪涝、持续高温、冬季寒潮、夏秋台风等极端气候事件,对经济社会发展构成

严峻挑战。水利工程作为调控水资源、防洪减灾、保障供水安全和支撑农业灌溉的核心基础设施,其建设周期通常跨越数年,施工环境多处于露天、临水或山区等高敏感区域,对气候条件高度依赖。一旦遭遇极端气候事件,极易导致工期延误、成本超支、质量隐患甚至安全事故。然而,当前我国水利工程施工管理体系仍主要基于历史气候数据进行规划,对极端气候的动态适应能

力不足,缺乏系统性的风险识别与应对机制。因此,深入研究极端气候对水利工程施工进度的影响机理,并提出科学有效的应对策略,具有重要的理论价值与现实意义。

## 1 极端气候的主要类型及其对水利工程施工的直接影响

### 1.1 暴雨与洪涝

暴雨与洪涝是水利工程施工过程中最为常见且破坏力极强的极端气候事件。当短时强降雨或连续性降水发生时,施工现场往往面临多重冲击。首先,正在进行土石方开挖的基坑极易因排水不畅而迅速积水,不仅影响边坡稳定性,严重时还可能诱发塌方事故,威胁人员与设备安全。其次,临时修建的施工便道多为简易土路或碎石路,在高强度冲刷下极易被损毁,导致材料运输中断,大型机械设备无法正常进场,进而打乱整体施工节奏。此外,规范明确要求在降雨条件下不得进行露天混凝土浇筑作业,因为雨水会稀释混凝土配合比,降低其最终强度和耐久性,这使得关键结构部位的施工不得不暂停<sup>[1]</sup>。更不容忽视的是,施工现场的临时供电系统、水泵站、配电箱等机电设备若防护不到位,一旦浸水便可能发生短路甚至火灾,造成二次损失。因此,暴雨与洪涝不仅直接中断施工流程,还可能引发连锁性的安全与质量问题。

### 1.2 高温热浪

持续高温天气,尤其是日最高气温长期维持在35℃以上的情况,对水利工程施工构成了隐性但深远的挑战。高温环境下,水泥水化反应速率显著加快,导致大体积混凝土内部温升过快,内外温差增大,极易产生温度裂缝,严重影响结构的整体性和耐久性。为控制这一风险,施工单位不得不采取冷却骨料、在拌合水中加冰、选择夜间低温时段浇筑等额外措施,这些做法虽有效,却显著增加了施工成本与工序复杂度。与此同时,大量户外作业人员长时间暴露在高温环境中,中暑、热衰竭甚至热射病的风险急剧上升,不仅威胁工人健康,也迫使项目管理者压缩有效作业时间,降低劳动效率。此外,若工程涉及堤防道路或临时交通设施的沥青铺设,高温还可能导致沥青材料过早软化或老化,影响路面平整度与使用寿命。由此可见,高温热浪虽不似暴雨那般直观猛烈,但其对施工质量、人员安全与进度安排的综合影响同样不可小觑。

### 1.3 干旱缺水

干旱常被误认为有利于施工,因其避免了降雨带来的诸多不便,但实际上,长期缺水状态对水利工程的推进构成了独特的制约。水利工程本身高度依赖水资源,无论是混凝土的拌合与养护、施工现场的降尘抑尘,还是大型机械设备的冷却系统,均需消耗大量用水。在干旱严重的地区,当地水源枯竭或取水受限,将直接导致上述关键工序无法正常开展,甚至被迫中断。更为隐蔽的是,干旱还会改变地基土体的物理性质。黏性土在长期失水后会发​​生干缩开裂,若在此状态下进行回填或基础施工,一旦后续遭遇降雨或地下水回升,土体重新吸水膨胀,将引发不均匀沉降,威胁上部结构安全。此外,部分水利工程在施工期间还需兼

顾生态流量保障,干旱期河道来水锐减,调度空间受限,可能压缩原本可用于导流或围堰拆除的施工窗口期。因此,干旱并非“利好”,而是一种需要提前规划、系统应对的气候风险。

### 1.4 寒潮与低温冰冻

在北方及高海拔地区,冬季寒潮与持续低温冰冻天气对水利工程施工构成了严峻考验。新浇筑的混凝土若在未达到临界强度前遭遇冻结,其内部水分结冰膨胀将破坏水泥石结构,造成不可逆的强度损失,严重时甚至导致结构报废。为此,必须采取覆盖保温、蒸汽养护、添加防冻剂等冬季施工措施,但这不仅增加成本,也延长了单个工序的周期。同时,低温环境下钢材的韧性显著下降,脆性增加,在钢筋焊接、吊装及安装过程中更容易发生脆断事故,对施工安全构成直接威胁<sup>[2]</sup>。此外,各类施工机械设备在低温下运行效率大幅降低,液压油黏度增大导致动作迟缓,发动机启动困难,故障率明显上升,进一步拖慢施工进度。因此,寒潮与冰冻天气不仅限制了可作业的时间窗口,还对工程质量与安全提出了更高要求。

### 1.5 台风与强风

沿海及东南沿海地区的水利工程常年面临台风与强风的威胁。根据安全规范,当风速达到或超过10.8米/秒(相当于6级风)时,塔吊、高空脚手架、模板支撑系统等高空作业设施必须停止使用,以防止倾覆或坠落事故。这意味着在台风季节,关键的上部结构施工往往需要频繁暂停。此外,施工现场的临时工棚、围挡、仓储大棚等轻型构筑物在强风作用下极易被掀翻或损毁,不仅造成财产损失,还可能伤及人员。对于涉及海上作业的水利工程,如跨海引水隧洞、海堤加固或离岸泵站建设,施工活动几乎完全依赖于气象窗口期,一旦台风临近,所有海上作业必须提前撤离,导致有效施工天数大幅减少。因此,台风与强风不仅直接中断施工,还迫使项目管理者在年度计划中预留大量冗余时间,增加了整体工期的不确定性。

## 2 极端气候对施工进度的间接与系统性影响

除直接物理干扰外,极端气候还通过多种路径间接影响施工整体进度。为弥补停工损失,施工单位常“赶工”,致使劳动力与设备超负荷运转,质量控制难度增大,多工序交叉作业冲突加剧,安全管理压力陡增,材料供应节奏被打乱、库存管理失效,出现工期压缩与资源错配问题。若气候风险未在合同中明确分担机制,易引发承包商索赔(如窝工费、措施费增加),业主拒赔,双方陷入仲裁或诉讼,延长项目周期,造成成本超支与合同纠纷。极端气候还会暴露原设计对气候适应性考虑不足,如排水系统容量不足致内涝、边坡防护标准偏低引发滑坡等,需重新地质补勘或结构复核,导致设计变更与技术返工。此外,极端气候可能波及原材料产地或运输通道,如水泥厂因限电停产、铁路/公路因山体滑坡中断使砂石料无法送达、进口设备因台风影响港口作业清关延误,造成供应链中断。

## 3 应对策略体系构建

### 3.1 技术层面:提升工程气候韧性

提升水利工程的气候韧性,首先应从设计源头入手。在可行

性研究与初步设计阶段,应引入基于未来气候情景的风险评估,不再仅依赖历史气象数据,而是参考IPCC等机构发布的区域气候预测模型,适当提高排水系统容量、边坡防护等级、防风设防标准等关键参数。例如,可借鉴“海绵城市”理念,在工地规划中设置临时雨水调蓄池和透水铺装,增强场地自身应对短时强降雨的能力。同时,应大力推广智能监测技术,在施工现场布设物联网传感器网络,实时采集温湿度、降雨量、风速、位移等关键数据,并与省级气象预警平台实现数据互通,做到分钟级预警、精准化响应<sup>[3]</sup>。此外,积极采用新材料与新工艺也是重要方向,如使用自养护混凝土减少对外部水源的依赖,应用相变材料制成的温控模板以稳定混凝土内部温度,或推广装配式构件以缩短露天作业时间,从而系统性降低对气候条件的敏感度。

### 3.2 管理层面: 优化施工组织与应急管理

在施工管理层面,必须摒弃静态、刚性的进度计划模式,转向动态、弹性的组织方式。可借助BIM(建筑信息模型)与4D进度模拟技术,将历史及预测的气候数据嵌入施工进度模型中,科学识别气候敏感工序,并为其预留合理的缓冲时间,通常建议在总工期中预留10%至15%的弹性窗口。对于关键路径上的露天作业,如大体积混凝土浇筑,应尽量安排在气候相对稳定的季节;在高温季节,则推行“做两头、歇中间”的工作制度,避开正午高温时段。同时,必须制定标准化、可操作的《极端气候专项应急预案》,明确不同等级预警下的响应措施,包括停工阈值、人员疏散路线、设备保护方案以及复工前的安全质量检查清单。此外,还需加强供应链韧性建设,建立关键材料的多源采购机制,并保持不少于15天用量的安全库存,与物流服务商签订包含气候中断补偿条款的合同,以最大限度减少外部冲击。

### 3.3 制度层面: 完善合同与责任机制

制度建设是保障各方权益、化解纠纷的基础。应在工程总承包(EPC)或设计-招标-建造(DBB)等主流合同范本中,增设关于“极端气候不可抗力”的专门条款,清晰界定何为“可预见”与“不可预见”的气候事件,并据此合理分配工期顺延权利与费用补偿责任。例如,可约定若某类极端事件在当地30年气象记录中从未出现,则视为不可抗力,承包商可申请工期延长及部分成本补偿<sup>[4]</sup>。同时,应鼓励市场主体引入商业保险机制,投保“工程一切险”并附加“气候延误险”,通过市场化手段转移部分财务风险。此外,建议建立强制性的气候影响评估制度,要求重大水利工程项目在年度进度报告中必须包含气候干扰事件的详细

分析、应对措施执行情况及成效评估,形成闭环管理。

### 3.4 政策层面: 强化顶层设计与能力建设

国家层面应加强顶层设计,推动行业标准的更新迭代。建议水利部牵头修订《水利工程施工组织设计规范》(SL303)等相关技术标准,增加“极端气候应对”专章,明确气候风险评估、应急预案编制、韧性施工措施等强制性或推荐性要求。同时,应由水利部联合中国气象局,共同开发面向全国水利工程的“气候风险信息服务平台”,整合历史数据、实时监测与未来情景预测,生成分区域、分工程类型的“气候风险地图”,为项目前期决策和施工组织提供科学依据。最后,必须加强全行业的能力建设,将气候风险管理纳入注册建造师、监理工程师等执业资格的继续教育必修内容,并定期组织跨部门的防汛、防台、防高温等综合性应急演练,全面提升水利工程建设队伍的气候适应素养。

## 4 结语

极端气候已成为制约水利工程施工进度的重要非工程因素。本文研究表明,其影响具有直接性、连锁性和长期性特征,传统被动应对模式已难以为继。未来水利工程建设必须从“气候脆弱型”向“气候韧性型”转型。建议以“全生命周期气候风险管理”为核心理念,在项目前期强化气候适应性设计,在施工期构建“监测—预警—决策—响应”闭环系统,在后期总结气候干扰数据库,形成知识沉淀。同时,推动跨部门协同(水利、气象、应急、交通),建立国家级水利工程气候韧性建设指南,将气候适应能力纳入优质工程评选指标。随着人工智能、数字孪生、气候模型等技术的发展,未来可探索构建“智慧工地气候大脑”,实现极端气候风险的精准预测、智能调度与自主优化,为国家水网高质量建设提供坚实保障。

### [参考文献]

- [1]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.
- [2]魏健芹,巨宏臻.水利工程在应对极端气候事件中的策略[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,2024:442-449.
- [3]秦鹏程,刘敏,夏智宏,等.气候变化对我国水资源和重大水利工程影响研究进展[J].气象科技进展,2022,12(06):7-15.
- [4]杨建成.气候变化对水利工程质量影响的研究[J].产品可靠性报告,2024,(03):146-147.