

气候变化对水利基础设施的冲击与适应性规划策略研究

林湖津

乐清市水利局, 浙江乐清, 325699;

摘要: 随着全球气候变化加剧, 水利基础设施面临严峻挑战。本文探讨其多方面冲击: 降水模式改变引发洪水与干旱, 温度上升导致冰川融化及海平面上升, 极端气候事件增加破坏风险。分析了这些冲击对工程设计标准、运行管理和维护成本的具体影响, 进而提出优化工程设计、完善运行管理、加强监测预警、发展绿色基础设施及推进跨部门合作等适应性规划策略, 以提升应对能力, 保障水资源可持续利用与社会经济稳定发展。

关键词: 气候变化; 水利基础设施; 冲击; 适应性规划

DOI: 10.69979/3060-8767.25.10.032

引言

气候变化是全球重大挑战, 对自然生态系统和人类社会经济活动影响广泛深刻。水利基础设施作为保障水资源调配、防洪抗旱、供水供电等功能的关键支撑, 在气候变化下承受着日益增大的压力。降水模式改变、气温上升及极端气候事件频发, 对其规划、设计、建设和运行管理提出新要求。研究气候变化的冲击并制定适应性规划策略, 对提升水利设施韧性、保障水资源安全和社会经济可持续发展意义重大。

1 气候变化对水利基础设施的冲击

1.1 降水模式改变的影响

1.1.1 洪水威胁加剧

气候变化导致降水的时空分布发生显著变化, 暴雨事件的频率和强度增加。在许多地区, 短时间内大量降水使得河流水位迅速上涨, 超出河道的行洪能力, 从而引发洪水灾害。传统水利基础设施的防洪标准是基于历史水文数据制定的, 面对日益频繁和强烈的暴雨洪水, 现有的防洪设施可能无法有效应对, 如一些城市的排水系统在强降雨时出现严重内涝, 河道堤防在超标准洪水下漫溢或溃决, 给人民生命财产安全和社会经济造成巨大损失^[1]。

1.1.2 干旱风险增加

另一方面, 部分地区降水减少, 干旱期延长, 导致水资源短缺问题加剧。水利工程的蓄水能力无法满足不断增长的用水需求, 水库蓄水量下降, 河流干涸, 影响农业灌溉、城市供水和工业生产。例如, 一些依靠河流引水灌溉的地区, 由于河流来水量减少, 农作物因缺水减产甚至绝收; 城市供水紧张, 不得不采取限水措施, 影响居民生活和工业正常运转。这种降水模式的不均衡

变化, 使得水利基础设施在应对洪水和干旱两种极端情况时面临双重挑战。

1.2 温度上升的影响

1.2.1 冰川融化与海平面上升

全球气温升高导致高海拔和高纬度地区的冰川加速融化。冰川融水短期内可能使河流流量增加, 但长期来看, 冰川储量减少, 将导致河流的水源补给减少, 影响水利工程的长期供水和发电能力。如一些依赖冰川融水的水电站, 随着冰川退缩, 发电水量不稳定, 发电量下降。同时, 海平面上升对沿海地区的水利基础设施构成严重威胁。海水倒灌使河口地区的水质恶化, 影响城市供水水质; 沿海堤防等防洪设施受到海水侵蚀和风暴潮的冲击加剧, 其结构稳定性受到影响, 需要不断加固和维护, 增加了工程成本。

1.2.2 水温变化对水利工程的影响

水温上升会影响水体的物理、化学和生物性质。在水利工程中, 水温变化可能导致水库分层现象加剧, 影响水库的水质和生态环境。例如, 水温升高使下层水体溶解氧含量降低, 可能引发水体富营养化, 影响水生生物生存, 进而影响水利工程的生态功能。对于一些利用水温进行冷却的工业用水水利设施, 水温升高可能降低冷却效率, 影响工业生产的正常运行。

1.3 极端气候事件增加的影响

1.3.1 强台风、飓风等对水利设施的破坏

极端气候事件如强台风、飓风等的强度和频率增加, 对沿海和岛屿地区的水利基础设施造成直接破坏。风暴带来的狂风巨浪可能摧毁海堤、水闸等水利工程设施, 使其丧失防洪、防潮和挡潮功能。风暴潮叠加天文大潮, 导致海水漫溢, 淹没沿海低地, 破坏农田水利设施和城市供水排水系统。如在一些遭受台风袭击的地区, 海堤

被冲垮，海水倒灌，大量农田被淹，城市内涝严重，供水供电中断，水利基础设施恢复重建需要耗费大量的人力、物力和财力^[2]。

1.3.2 暴雨引发的地质灾害对水利工程的威胁

暴雨还容易引发山体滑坡、泥石流等地质灾害。这些地质灾害可能直接损毁山区的水利工程设施，如水库大坝、引水渠道、水电站厂房等。滑坡和泥石流堵塞河道，形成堰塞湖，一旦堰塞湖溃决，将引发更大规模的洪水灾害，对下游水利设施和居民生命财产安全构成严重威胁。例如，在一些山区，因暴雨引发的山体滑坡掩埋了引水渠道，导致水电站无法正常运行，同时堵塞河道，造成上游水位上涨，威胁周边地区安全。

2 气候变化冲击下水利基础设施面临的问题

2.1 设计标准与实际需求脱节

传统水利基础设施设计以历史气候和水文数据为依据，预设气候稳定。但气候变化导致实际水文气象条件超出原设计预期：水库防洪标准基于特定重现期洪水制定，如今极端洪水频发，原有防洪库容难满足需求；城市排水系统按既往降雨强度设计，面对频发的短时强降雨，排水能力严重不足，内涝频发。这种设计与实际的脱节，大幅削弱了水利基础设施应对气候变化的能力。

2.2 运行管理难度加大

气候变化增加了水文条件的不确定性，使水利设施运行管理难度骤升。水库蓄水、放水决策需兼顾防洪、供水、灌溉、发电等多重需求，同时应对来水波动：干旱期提前蓄水可能因后续降水不足影响供水，洪水期泄洪时机与水量控制失准则危及下游或设施安全。此外，极端气候易引发设备故障，高温高湿加速老化，强风暴雨损坏部件，进一步增加了运行管理的工作量与技术难度。

2.3 维护成本上升

气候变化加剧了对水利设施结构与材料的损害，推高维护成本。沿海设施因海平面上升遭海水侵蚀，钢筋锈蚀需频繁修复加固；暴雨洪水冲刷导致堤防、渠道基础掏空，需加固护坡；极端温差使建筑物产生裂缝，需修补维护。同时，为应对新风险而升级改造现有设施（如提高防洪标准、改善排水），进一步增加维护与改造成本。受影响严重地区的水利设施维护成本，过去数十年已显著上升^[3]。

3 水利基础设施适应性规划策略

3.1 优化工程设计

3.1.1 采用动态设计标准

摒弃传统的固定设计标准模式，引入动态设计理念。结合气候变化预测模型和水文气象数据的更新，定期评估和调整水利基础设施的设计标准。例如，对于防洪工程，根据未来暴雨频率和强度增加的趋势，适当提高洪水重现期标准，加大防洪库容和河道行洪能力设计；对于供水工程，考虑到水资源短缺风险增加，提高供水保证率标准，优化水源调配和蓄水设施设计。同时，在设计过程中充分考虑不确定性因素，采用风险分析和概率设计方法，使工程设计更具灵活性和适应性，能够应对不同程度的气候变化影响。

3.1.2 增强工程结构的韧性

在水利工程结构设计中，采用具有高韧性的材料和结构形式。例如，在大坝建设中，使用高强度、耐腐蚀的建筑材料，提高大坝在恶劣环境下的耐久性；采用新型的坝体结构，如自适应调节的溢流坝，能够根据洪水流量自动调整坝体泄流能力，增强大坝的防洪安全性。对于沿海地区的水利设施，采用抗海水侵蚀的材料和防护涂层，提高设施抵御海水侵蚀和风暴潮冲击的能力。此外，通过优化工程结构布局，增加结构冗余度，如设置备用排水通道、多水源供水系统等，当部分结构或设施受到气候变化影响损坏时，仍能保证整个水利基础设施系统的基本功能。

3.2 完善运行管理

3.2.1 建立智能化运行管理系统

利用现代信息技术，如物联网、大数据、人工智能等，建立水利基础设施智能化运行管理系统。通过在水利设施上安装大量传感器，实时采集水位、流量、水质、设备运行状态等数据，并将这些数据传输到管理中心进行分析处理。借助大数据分析和人工智能算法，对水利设施的运行状况进行实时监测和评估，预测可能出现的故障和风险，提前采取应对措施。例如，通过对水库水位、入库流量和降雨数据的实时分析，运用智能算法预测水库的蓄水量变化和洪水发生风险，优化水库的调度方案，实现科学合理的蓄水、泄水决策，提高水利设施的运行效率和安全性^[4]。

3.2.2 加强多目标协同管理

水利基础设施具有防洪、供水、灌溉、发电、生态等多种功能，在运行管理中需要加强多目标协同管理。制定科学合理的调度规则和运行方案，综合考虑不同功能需求和气候变化的影响，实现各功能之间的协调平衡。例如，在干旱时期，优先保障生活和农业用水需求，合理安排发电和生态用水；在洪水期，以防洪安全为首要

目标,同时兼顾水库蓄水和下游生态环境需求。通过建立跨部门、跨行业的协调机制,加强水利、农业、环保、能源等部门之间的沟通与合作,共同制定和实施水利基础设施的运行管理策略,提高整体管理效能。

3.3 加强监测预警

3.3.1 构建综合监测网络

完善水利基础设施的监测体系,构建涵盖气象、水文、地质、水利工程设施等多方面的综合监测网络。增加气象监测站点密度,提高对极端气象事件的监测精度,实时掌握降雨、气温、风速等气象要素变化;加强水文监测能力,在重点流域和水利设施周边设置更多的水位、流量、水质监测点,实现对河流水系和水库湖泊的全方位监测;利用卫星遥感、无人机等技术手段,对山区地质灾害隐患点进行定期巡查和监测,及时发现山体滑坡、泥石流等地质灾害迹象。通过整合各类监测数据,实现信息共享和互联互通,为水利基础设施的运行管理和灾害预警提供全面准确的数据支持。

3.3.2 提升预警能力与时效性

建立高效的预警系统,利用先进的信息技术和数据分析模型,对监测数据进行实时分析和处理,及时准确地预测灾害发生的时间、地点和强度,并向相关部门和社会公众发布预警信息。提高预警信息的传播速度和覆盖面,通过多种渠道,如手机短信、广播、电视、社交媒体等,确保预警信息能够迅速传递到受影响地区的每一个角落。同时,加强对预警信息的解读和宣传,提高公众的防灾减灾意识和应对能力,使公众能够在接到预警后及时采取有效的防范措施,减少灾害损失^[5]。

3.4 发展绿色基础设施

3.4.1 推广生态工程建设

在水利基础设施建设和改造中,积极推广生态工程理念和技术。例如,建设生态河道,通过恢复河道的自然形态、种植水生植物、投放水生动物等措施,改善河道生态环境,增强河道的自净能力和防洪能力;建设生态湿地,利用湿地的蓄水、净化水质、调节气候等功能,作为城市防洪和污水处理的补充设施,减轻传统水利工程的压力。在水库周边开展生态修复工程,保护和恢复植被,减少水土流失,改善水库生态环境,提高水库的稳定性和水质。通过生态工程建设,实现水利基础设施

与生态环境的协调发展,提高水利系统的整体韧性。

3.4.2 应用绿色技术与材料

采用绿色环保的技术和材料,降低水利基础设施建设和运行过程中的能源消耗和环境影响。在水利工程施工中,推广使用节能机械设备和环保施工工艺,减少施工扬尘和噪声污染;在水利设施的运行管理中,应用智能节能控制系统,优化设备运行参数,降低能源消耗。同时,选用可回收利用、对环境友好的建筑材料,如再生混凝土、竹纤维材料等,减少对自然资源的开采和对环境的破坏。例如,利用再生混凝土建设河道护坡和堤防,既降低了工程造价,又减少了建筑垃圾的排放,实现了资源的循环利用。

4 结论

气候变化通过改变降水模式、升高温度及增加极端事件,对水利基础设施的设计、运维和维护形成多重挑战,导致设计标准失配、管理难度加大及成本上升。为此,需优化工程设计、完善智能运维、强化监测预警、发展绿色设施并推进跨部门协作,以提升水利设施韧性。未来仍需深化研究与实践,持续完善适应性规划,应对气候变化带来的复杂挑战,保障水资源可持续利用与社会经济稳定发展。

参考文献

- [1] 高长胜, 胡江. 气候变化对我国水利基础设施安全影响及应对建议[J]. 中国水利, 2024, (24): 60-67.
- [2] 王晓清. 气候变化对农田水利的影响及应对措施研究[J]. 棉花科学, 2024, 46(08): 128-130.
- [3] 巩立霞, 韩金红. 农田水利基础设施优化与升级[J]. 新农民, 2024, (22): 75-77.
- [4] 金妍岑. 过度依赖水利基础设施可能降低非洲干旱地区牧民应对气候变化的韧性[J]. 水利水电快报, 2024, 45(04): 4.
- [5] 张文海, 葛金金, 佟宇晨. 澜湄流域水利生态合作现状、挑战及路径深化[J]. 中国水利, 2022, (01): 58-61.

作者简介: 姓名: 林湖津, 性别: 男, 民族: 汉, 出生日期: 1994年10月20日, 籍贯: 浙江乐清, 职务/职称: 水资源与运行管理科办事员, 学历: 本科, 研究方向: 水利资源。