

气候变化对水利水电工程调度策略的影响分析

仇宁波

崇仁县水利事务服务中心 江西 抚州 344000

摘要: 本文探讨了气候变化对水资源系统的影响,并分析了其对水利水电工程调度策略的挑战。基于动态适应性调度原则、多目标协同优化模型和弹性调度能力构建的理论框架,提出了监测与预测技术升级、调度算法优化和工程设施适应性改造的技术路径,以提升水利水电工程在气候变化背景下的调度灵活性和应对能力。

关键词: 气候变化; 水利水电工程; 调度策略; 动态适应性; 多目标优化

引言: 水利水电工程对区域发展意义重大,其调度策略关乎水资源合理利用、防洪安全及能源供应。然而,全球气候变化正深刻改变水资源系统,降水时空分布不均、气温升高、极端水文事件频发等状况频现,给传统调度策略带来严峻挑战。在此背景下,深入研究气候变化对水利水电工程调度策略的影响,探索科学合理的调整方法,成为保障区域水资源安全与能源稳定供应的迫切需求。

1 气候变化对水资源系统的核心影响

1.1 降水与径流模式变化

气候变化致使降水时空分布不均性愈发显著。在许多地区,季节性干旱与暴雨交替出现成为常态。原本湿润的季节,降水可能大幅减少,引发长时间干旱,土壤水分迅速流失,农作物因缺水生长受限,甚至干枯死亡,严重影响农业生产。而在原本降水较少的时段,却可能突降暴雨。短时间内大量降水难以迅速渗透与排泄,极易引发城市内涝。街道瞬间变为泽国,车辆被淹,居民生活秩序被打乱,基础设施也遭受不同程度损坏。这种降水的异常变化,直接导致径流量年际与年内波动幅度增大。在多雨年份,河流径流量急剧增加,河水漫溢,淹没周边农田与低洼地区,给沿岸居民生命财产安全带来巨大威胁。而在干旱年份,河流水位大幅下降,甚至部分河段干涸断流。一些依赖河流补给的湖泊,面积也随之萎缩,湖泊生态系统遭到破坏,鱼类等水生生物生存空间锐减,生物多样性受到严重影响。

1.2 气温与蒸发作用增强

全球气候变暖这一现象正深刻影响着地球的水循环系统,气温的攀升直接导致蒸发作用显著增强,这一连锁反应加剧了水资源的自然损耗。在广袤的河流、湖泊表面,以及广袤的土壤层中,水分在高温的催化下加速挥发,大量宝贵的水资源以无形的水汽形态散逸至大气层中,这一过程无形中加剧了水资源的匮乏^[1]。以干旱

地区为例,这里的水资源本就稀缺,如同沙漠中的绿洲般珍贵。然而,随着气温的升高,强烈的蒸发作用让这有限的水资源进一步流失,如同干涸的河床,难以再滋润这片土地。植被因缺水而枯黄,土地逐渐失去生机,沙漠化的阴影悄然逼近,生态环境变得愈发脆弱,仿佛一阵风就能将其摧毁。与此同时,冰川与积雪的融水补给模式也悄然发生了改变。在高海拔与高纬度的寒冷地带,随着气温的持续上升,冰川和积雪如同被点燃的蜡烛,加速融化。原本在春夏季节缓缓流淌,为下游地区带来稳定水源的融水,如今可能在冬季或早春就已汹涌而出,导致下游地区在枯水期面临水源短缺的困境。长远来看,若冰川持续退缩,甚至消失殆尽,那些依赖冰川融水维系的河流将逐渐干涸,如同失去源泉的河流,再也无法为周边地区提供必要的工农业用水和居民生活用水。这一系列变化,无疑是对人类生存环境的严峻挑战,提醒我们必须正视气候变暖带来的影响,积极采取措施应对。

1.3 极端水文事件频发

洪水频率与强度上升,对防洪能力构成严峻挑战。由于降水模式改变,短时间内强降水事件增多,河流流量迅速上涨,超出河道行洪能力。防洪堤坝在洪水冲击下,可能出现漫顶、管涌等险情。一旦堤坝决口,洪水将如猛兽般肆虐,淹没大片城乡区域,大量房屋被摧毁,人员伤亡和财产损失惨重。现有的防洪工程体系,如水库、堤防、水闸等,在频繁且高强度的洪水冲击下,难以充分发挥防洪减灾作用,需要进一步升级改造和优化布局。长期干旱对水库蓄水与发电能力产生严重威胁,尤其是与水电关联紧密。水库依靠河流来水进行蓄水,长期干旱导致入库水量大幅减少,水库水位持续下降。当水位降至一定程度,不仅影响水库的供水功能,无法满足周边地区工农业生产和居民生活用水需求,还对水电发电能力造成重创。水电站因水量不足,

发电设备无法满负荷运转,发电量大幅下降,影响电力供应的稳定性。对于一些依赖水电的地区,电力短缺可能制约工业生产,影响居民正常生活,甚至对整个地区的经济发展产生负面影响。气候变化引发的极端水文事件,正全方位冲击着水资源系统及与之相关的各个领域。

2 调度策略调整的理论框架

2.1 动态适应性调度原则

在水资源与能源系统的调度中,动态适应性调度原则尤为关键。这一原则依托基于实时监测与预测的调度决策机制。通过在流域内广泛部署水文监测设备,如雨量计、水位计、流量监测仪等,实时收集降水、水位、流量等数据^[2]。利用先进的气象预测技术和水文模型,对未来一段时间内的降水、径流变化趋势进行精准预测。例如,当预测到某区域将迎来强降雨时,调度决策系统可提前降低水库水位,预留防洪库容,以应对即将到来的洪水,保障下游地区的防洪安全。在水电调度方面,水电发电优先权与生态需水的动态平衡是重要准则。水电作为清洁能源,在能源结构中占据重要地位,其发电具有高效、灵活等特点。河流生态系统对维持生物多样性、保障河流健康至关重要。在枯水期,为保障河流生态系统的基本需水,可能需适当限制水电发电,优先满足生态用水需求,确保河流生态功能正常运转。而在丰水期,在满足生态需水的前提下,可适当提高水电发电优先权,充分利用水资源进行发电,提高能源利用效率,实现水电发电与生态需水在不同时段的动态平衡。

2.2 多目标协同优化模型

发电、防洪、灌溉、生态等目标在水资源调度中均不可或缺,多目标协同优化模型通过权重动态分配来协调这些目标。不同季节、不同年份,各目标的重要性有所差异。在农业灌溉关键期,如春季农作物播种与生长初期,灌溉用水需求紧迫,此时灌溉目标权重可适当提高,优先保障农田灌溉用水,确保农作物正常生长,维持农业生产稳定。在雨季来临前,防洪目标权重增大,调度策略侧重于降低水库水位,预留防洪库容,以应对可能发生的洪水灾害,保障人民生命财产安全。而在能源需求高峰期,如夏季高温时段,电力需求大增,发电目标权重相应提高,合理安排水电发电,满足电力供应。水电新能源联合调度策略是跨能源系统协同的重要体现。水电具有调节性能好、启停迅速的优势,而太阳能、风能等新能源具有间歇性、随机性特点。将水电与新能源联合调度,可实现优势互补。在风能、太阳能资源丰富时,优先利用新能源发电,水电可作为备用电源,起到调节和稳定电力供应的作用。当新能源发电不

足时,加大水电发电力度,填补电力缺口,保障电力系统稳定运行。例如,在白天阳光充足时,充分利用光伏发电,水电厂适当减少发电出力;而在夜晚或阴天,光伏发电量下降,水电厂则增加发电,维持电力供需平衡。

2.3 弹性调度能力构建

水库群联合调度的冗余设计是增强弹性调度能力的重要手段。多个水库联合运行时,通过合理规划各水库的功能与调度方式,形成冗余配置。部分水库在正常情况下可承担主要的供水、发电任务,而其他水库作为备用,在主要水库出现故障或遭遇极端情况时,能够迅速接替工作。在面对特大洪水时,部分水库可加大泄洪量,而备用水库则通过控制泄洪速度,维持下游河道安全泄量,保障防洪安全。梯级水电站群的联合防洪与发电优化是水电群协同的关键应用。梯级水电站分布在同一条河流的不同段落,通过联合调度可实现防洪与发电效益最大化^[3]。在防洪方面,当上游水电站监测到洪水来临时,可提前削减发电流量,腾出库容。同时向下游水电站传递洪水信息,下游水电站根据上游来水情况,合理调整发电与泄洪计划,避免洪水叠加,保障整个梯级流域的防洪安全。在发电方面,根据各水电站的水头、流量特性,优化发电组合,实现水能资源的高效利用。位于高水头段的水电站可承担基荷发电任务,而低水头段水电站则根据电力需求变化,灵活调整发电出力,参与调峰,提高整个梯级水电站群的发电效益,增强水资源与能源系统在复杂多变环境下的弹性调度能力。

3 调度策略调整的技术路径

3.1 监测与预测技术升级

高分辨率气象水文模型的研发与应用为精准调度提供关键支撑。传统气象水文模型在空间分辨率上存在局限,难以精确捕捉局部地区气象与水文要素的细微变化。新研发的高分辨率模型,能够细化到更小的地理单元,例如将空间分辨率提升至百米甚至十米级别。这使得对降水、气温等气象要素以及径流形成、河道水流演进等水文过程的模拟更为准确。在山区复杂地形区域,高分辨率模型可清晰呈现不同海拔、坡向的降水差异,为水库调度、防洪减灾提供更具针对性的信息。通过整合卫星遥感数据、地面监测数据以及数值模拟结果,模型能实时更新气象水文信息,提前准确预测洪水、干旱等极端事件发生的时间、地点与强度,为调度决策争取充足的准备时间。水电站运行数据的实时监测与预测技术在水电调度中发挥着重要作用。在水电站内部,安装各类传感器,对水轮机、发电机等关键设备的运行参数,如转速、出力、振动、温度等进行实时采集。借助

先进的通信技术,将这些数据迅速传输至监控中心。通过构建专门的预测模型,基于历史运行数据和实时监测信息,对水电站未来一段时间内的发电能力、设备状态进行预测。在丰水期,可提前预测来水流量变化,合理安排机组运行台数与负荷,避免因来水突然增加导致机组过载或弃水现象。在设备维护方面,通过预测设备可能出现的故障,提前安排检修计划,降低设备突发故障对发电和调度的影响,保障水电站稳定高效运行。

3.2 调度算法优化

人工智能与机器学习算法的嵌入革新了传统调度算法。以深度学习预测模型为例,其强大的数据分析与模式识别能力,能够处理海量的气象、水文、电力需求等多源数据。通过对历史数据的深度挖掘,模型可学习到不同因素之间复杂的非线性关系。在预测未来降水时,深度学习模型能够综合考虑大气环流、地形地貌、前期降水等多种因素,给出更为准确的降水预测结果。将这种高精度的降水预测融入调度算法,可提前优化水库蓄水和泄洪策略,提高防洪和水资源利用效率^[4]。水电站负荷预测与机组启停优化算法是水电调度算法优化的核心内容。负荷预测算法根据历史电力负荷数据、气象条件、季节变化等因素,预测未来不同时间段的电力需求。结合水电站自身的发电能力和设备特性,机组启停优化算法确定最优的机组启停方案。在电力需求低谷时段,合理安排部分机组停机,减少不必要的能耗;在电力需求高峰时段,精准调度机组启动与负荷分配,确保水电站以最高效率发电,满足电力供应。例如,通过优化算法,可使水电站在满足电力需求的同时,减少机组频繁启停带来的设备磨损和能源浪费,提高水电发电的经济性和稳定性。

3.3 工程设施适应性改造

水库扩容与泄洪设施的升级是增强水库调度灵活性的重要工程措施。随着气候变化和用水需求的增长,部分水库原有的库容已难以满足防洪和蓄水需求。通过水库扩容工程,如加高坝体、拓宽库区等方式,增加水库的蓄水量。这不仅能够在丰水期储存更多水资源,用于

枯水期的供水和发电,还能提高水库的防洪能力,有效拦蓄洪水,削减洪峰流量。对泄洪设施进行升级,采用新型的泄洪闸、溢洪道等,提高泄洪效率和安全性。新型泄洪闸可实现精准控制,根据洪水流量大小灵活调整泄洪量,避免因泄洪不当对下游造成灾害。水电站进水口与尾水系统的防淤改造针对水电设施运行中面临的泥沙淤积问题。在多泥沙河流上的水电站,进水口容易被泥沙堵塞,影响水流进入水轮机,降低发电效率。通过优化进水口设计,采用先进的防沙设施,如沉沙池、排沙廊道等,可有效减少泥沙进入进水口。对尾水系统进行防淤改造,通过合理布置尾水渠、设置冲沙设施等,防止泥沙在尾水区域淤积,保障尾水畅通,维持水轮机的正常工作水头。这些防淤改造措施能够提高水电站的运行稳定性和可靠性,延长设备使用寿命,确保水电站在复杂水流条件下持续高效运行,为调度策略的有效实施提供坚实的工程基础。

结束语

气候变化对水利水电工程调度策略提出了更高要求。通过动态适应性调度原则、多目标协同优化模型和弹性调度能力构建的理论框架,以及监测与预测技术升级、调度算法优化和工程设施适应性改造的技术路径,可以提升水利水电工程在气候变化背景下的调度灵活性和应对能力。未来,需进一步加强气候变化对水资源系统影响的研究,不断完善调度策略与技术路径,以应对日益严峻的水资源挑战。

参考文献

- [1]田芳磊.气候变化对水资源的影响及其应对措施[J].水资源保护,2022(11):10-15.
- [2]李媛媛.气候变化下水利水电工程的风险管理[J].水利水电工程,2023(03):28-35.
- [3]张开华.全球变暖对水资源的影响研究[J].环境科学与技术,2021(08):45-52.
- [4]柯仲伍.全球气候变化对水利水电工程影响的分析与对策研究[J].汽车博览,2024(18):185-187.