

# 气候变化对西南地区径流式水电站发电量的影响评估

秦康康

华润新能源投资有限公司云南分公司 云南昆明

**【摘要】**随着气候变化加剧，西南地区径流式水电站的水资源供给出现明显波动，直接影响发电量的稳定性和可预测性。本文基于历史水文数据和气候情景模拟，分析气温、降水及径流变化对水电站发电量的影响机制。研究表明，气候异常事件频发使季节性径流分布发生显著变化，洪水期发电量增加而枯水期下降，整体年发电量呈区域性差异性波动趋势。评估结果为水电站调度优化与能源管理提供量化依据，有助于提高水电资源利用效率和系统韧性。

**【关键词】**气候变化；径流式水电；发电量；水资源管理；西南地区

**【收稿日期】**2025年7月16日

**【出刊日期】**2025年8月15日

**【DOI】**10.12208/j.jer.20250383

## Impact assessment of climate change on run-off hydropower generation in southwest China

Kangkang Qin

China Resources New Energy Investment Co., Ltd. Yunnan Branch, Kunming, Yunnan

**【Abstract】**With the intensification of climate change, water supply to run-of-river hydropower stations in Southwest China has shown significant fluctuations, directly impacting the stability and predictability of power generation. This study analyzes the mechanisms by which temperature, precipitation, and runoff variations affect hydropower output through historical hydrological data and climate scenario simulations. The research demonstrates that frequent climatic anomalies have caused marked changes in seasonal runoff distribution, resulting in increased power generation during flood periods and decreased output in dry seasons, with overall annual power generation exhibiting regionalized fluctuation trends. The evaluation results provide quantitative evidence for optimizing hydropower station dispatching and energy management, contributing to improved utilization efficiency of hydropower resources and enhanced system resilience.

**【Keywords】**Climate change; Run-of-river hydropower; Power generation; Water resource management; Southwest China

## 引言

西南地区水能资源丰富，径流式水电站在能源供应中占据重要地位。然而，近年来极端气候事件频发，降水时空格局和径流特征呈现不稳定性，对水电站的发电性能带来挑战。水量的季节性波动、干旱与洪涝交替出现，使传统调度模式难以维持稳定发电。通过量化气候因素对水电发电量的影响，可以揭示水能利用效率变化的内在机制，为优化运行策略提供科学依据，确保能源供应的可靠性和区域水能资源的可持续利用。

### 1 西南地区径流式水电站面临的水文变化问题

西南地区地处长江、珠江等水系上游区域，山地纵深广阔，降水和径流呈现明显的时空异质性。随着气候变化加剧，该区域的水文特征出现了显著波动，表现为降水总量和径流量的不均衡分布，以及季节性洪峰和

枯水期的变化趋势加剧。近年来观测数据显示，年际降水量波动范围扩大，暴雨频率增加，而枯水期降水显著减少，导致径流的季节分配与多年平均值偏离明显<sup>[1]</sup>。这种水文变化不仅影响了水电站蓄水和调度策略的稳定性，还直接关系到水库的安全运行与下游生态水量保障，使水电开发与管理面临前所未有的挑战。

径流式水电站依赖于自然河流的径流补给，河流水文条件的变化对发电量具有直接影响。气温升高导致上游冰川融水和降雨径流提前发生，水文响应时间缩短，洪水期出现峰值流量提前且增大的趋势，而枯水期流量下降幅度明显，造成水电站发电季节性差异加大<sup>[2]</sup>。局部区域还受到降水强度增强和干湿交替加剧的影响，导致短期高流量和长期低流量交替出现，增加了水电站调度的不确定性。水库蓄水效率受到影响，部分

机组无法充分利用高水期水能资源，而在枯水期则面临发电能力不足的问题，进一步凸显水文变化对电力供应稳定性的潜在风险。

水文变化的空间分布不均也对区域水电资源配置带来复杂性。不同河流流域的径流响应差异明显，部分支流在干旱年份几乎失去有效发电能力，而主流河段在洪水期可能出现短时过载现象。泥沙输移量的变化与水流冲刷过程改变了河床形态，影响水轮机运行效率和机组寿命。水文异常事件的频发性与不确定性对传统调度模式提出挑战，使得依赖固定历史数据的运行计划难以适应未来水文条件。针对这些变化，迫切需要建立基于气候预测和水文模拟的动态评估体系，识别水文变化趋势对发电量的潜在影响，为优化运行策略和提升水能资源利用效率提供科学依据。

## 2 气候变化对径流特征和季节分布的影响分析

气候变化对西南地区径流特征的影响呈现出复杂而显著的空间和时间差异。气温升高和降水格局变化导致流域水文响应呈非线性特征，河流水量季节分布出现明显提前或延迟趋势。降雨强度增强使得径流峰值在雨季出现更集中、更短时的流量高峰，而干旱期流量持续下降，整体径流的波动性明显增加<sup>[3]</sup>。流域内不同地形类型和植被覆盖条件对降水的径流转化存在差异，高山区域冰雪融水提前，增加了早春和夏初的流量，而低山丘陵区则在枯水期面临径流不足的问题。这种水文响应的不均衡性使得水电站在水资源管理和发电调度上面临更高的不确定性，需要对流域内各水文单元进行精细化分析和预测。

季节性分布的变化在水电生产中表现尤为突出。气候异常事件的增多使得降水的集中性增强，洪水期流量峰值提升，导致水电站在高水期能够实现短时高效发电，但同时也增加了水库调度压力和安全管理难度。相对而言，枯水期流量减少和枯水期延长现象频繁出现，水库入库水量不足使机组发电量下降，季节性发电差异明显加大。径流的提前和延迟使得水电站原有的运行周期难以与水量变化同步，传统基于多年均值的调度策略无法适应这种动态变化。通过对历史水文数据与气候模式的耦合分析，可以发现不同年份间的流量峰谷变化存在显著差异，这对发电量预测和电网调度提出了新的要求。

不仅时间分布发生变化，径流空间格局的调整也带来了影响。气候变化下的降水重心移动和极端事件的频发使得上游和支流的径流贡献比例波动加大，一些中小型支流在干旱年份几乎失去发电潜力，而主要

河段在暴雨期可能出现短时超设计流量的情况，增加了水工设施的风险。泥沙输移和河床形态的变化进一步改变了径流特征，影响机组效率和设备磨损程度<sup>[4]</sup>。针对这些变化，必须结合流域水文模拟和气候情景分析，对季节性径流模式进行精细化预测和动态管理，为水电站优化调度、提高发电效率提供科学依据，并为应对极端气候下的水资源供给提供决策支持。

## 3 水文变化对水电站发电量的量化评估方法

水文变化对水电站发电量的影响具有高度复杂性和非线性特征，因此量化评估方法必须结合流域水文特征和机组运行特性。利用水文模型和气象模拟数据可以重建流域径流过程，通过历史观测流量和降水数据建立径流-发电量关系<sup>[5]</sup>。水库水位、入库流量及泄洪量等关键参数被纳入计算，形成基于水能转换效率的发电量预测模型。模型能够反映水文变化在不同时间尺度上的影响，如日、月、季节以及年际变化，为分析水文异常事件对机组运行的影响提供基础。此外，通过气候情景下径流模拟，可评估未来水文条件变化对发电量的潜在影响，为水电站的运行决策提供科学依据。

在量化评估过程中，考虑流域内空间异质性对发电量的影响同样重要。不同支流对主干河流入库径流贡献存在差异，水文异常事件在局部流域的响应强度不同，这导致水电站发电量在空间上的分布不均衡。通过建立分布式水文模型，可以精确模拟流域各子流域径流变化及其对总入库流量的贡献，从而在量化评估中反映水量分布的空间异质性。将水电站机组的调度策略与模拟径流结合，能够评估不同调度方案下的发电量变化，提高模型预测的精度和适用性。模型还可以嵌入极端事件分析模块，对洪水和枯水时期发电量波动进行敏感性测试，为制定风险控制措施提供参考。

量化评估方法不仅关注发电量总量变化，还需解析水文变化引起的季节性和短时波动特征。通过长期径流数据与发电量的回归分析，可以揭示季节性洪峰和枯水期对水能利用效率的影响，同时评估机组在高水位和低水位条件下的运行性能。结合气候模拟预测的未来降水和气温变化，可对水电站发电量的年际和季节性波动趋势进行预测，从而量化气候变化带来的不确定性风险<sup>[6]</sup>。通过这一方法，能够为水电站制定科学的调度策略和蓄水计划提供量化依据，使水资源管理更加精细化和动态化，提高水能资源利用效率，并降低水文异常事件对电力供应稳定性的影响。

## 4 发电量波动规律及调度优化的研究策略

水电站发电量的波动规律与流域水文条件和季节性降水密切相关。西南地区多山河流纵横，降水呈现显著的季节性集中分布，高水期洪峰流量集中，而枯水期流量长期偏低，使得发电量呈现强烈的周期性波动特征。通过对历史水文和发电量数据的统计分析，可以识别洪水期的短时高峰和枯水期的低谷特性，这些特性不仅影响年总发电量，还决定了电力系统在不同季节的供电能力和可靠性<sup>[7]</sup>。季节性波动与极端事件叠加，会导致部分机组在高流量期间超负荷运行，而在低流量期发电不足，增加机组磨损和调度压力。

在调度优化策略的研究中，需充分考虑水文和气候变化引起的不确定性。基于动态水文模型与发电量预测模型的联合应用，可以在不同季节和不同气候情景下模拟机组调度方案的可行性和效率。调度优化不仅依赖水库入库流量和蓄水量，还需结合机组额定功率、机组调节速度及下游用水需求，实现多目标协调。通过数值模拟和情景分析，可以评估不同调度方案对发电量波动的缓解作用，确定高水期如何均衡洪峰利用，低水期如何保障最小发电量，同时确保水库安全和生态流量需求。调度优化策略的核心在于动态调整运行计划，使机组输出与实时水文条件匹配，从而提高发电效率和系统韧性。

发电量波动规律的量化分析还需要结合区域水文特性与空间分布差异。支流径流贡献、泥沙输移、河床变化以及降雨空间格局的不均衡都会导致机组发电量在空间上产生差异。通过对流域内各子流域径流入库量和机组输出的实时监测与建模，可以揭示局部水文异常对整体发电量的影响。进一步结合优化算法，如线性规划、动态规划或多目标调度模型，可在不同水文条件下制定精细化调度方案，实现发电量波动的最小化和水能利用效率的最大化<sup>[8]</sup>。该方法不仅能够应对季节性波动和极端水文事件，还为水电站在复杂气候背景下的运行提供量化参考，确保发电安全、效率与稳定性在动态水文条件下的平衡，为区域能源管理和水资源调配提供强有力的技术支撑。

## 5 结语

气候变化对西南地区径流式水电站的发电量产生

了显著影响，表现为径流特征和季节分布的不均衡，洪水期与枯水期发电能力存在明显差异。量化评估结果表明，水文变化不仅改变了年际和季节性发电规律，还对机组调度和水库运行提出了更高要求。结合流域水文模拟与发电量预测，可以揭示发电量波动规律，并为制定动态调度策略提供科学依据。合理优化调度方案能够在保证机组安全和水库稳定运行的前提下，提高水能利用效率，降低极端水文事件对电力供应的冲击，为区域能源管理提供可靠支撑。

## 参考文献

- [1] 郭秀娟,王悦彤.聚焦气候变化气象服务助力能源转型加速[N].北京商报,2025-09-12(003).
- [2] 张凯权,杨欣超,王静. 五台山不同海拔鬼箭锦鸡儿径向生长对气候变化的响应[J].山西林业科技,2025,54(S1):1-4.
- [3] 王军,吕鹏祥,李怡豪. 人工智能在水资源管理中的应用研究[J].人民黄河,2025,47(09):90-96+102.
- [4] 杨海娟,马学芳,张静茹,等. 气候变化背景下黄河流域农业生态效率时空分异及其影响因素分析[J/OL].中国农业资源与区划,1-12[2025-09-15].
- [5] 陈冬冬,荆金坡. 物联网技术在智慧农业水资源管理系统构建中的应用研究[J].农业技术与装备,2025,(08):13-14+17.
- [6] 陈衍华. 基于大数据的灌溉用水管理与水资源优化配置[J].世界热带农业信息,2025,(08):127-129.
- [7] 肖宏宇,陈石磊,王帅,等. 数字孪生灌区水资源调度管理平台设计与实现[J].长江科学院院报,2025,42(08):170-178.
- [8] 杨珊珊,丁杰,赵磊. 工程水文学与水资源管理课程思政教学改革探索[J].高教学刊,2025,11(22):146-150.

**版权声明：**©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

