

小水电站尾水对下游水温的影响观测

胡文静

湖南建投水利水电有限公司 湖南 长沙 410000

【摘要】：小水电站尾水排放会改变下游天然水温状态，进而影响流域水生态系统平衡。开展尾水对下游水温影响的观测研究，是明晰水温变化规律、保障流域生态安全的关键。通过系统观测尾水排放前后下游不同河段水温分布特征，探究尾水温度与下游水温的响应关系，识别影响水温传递与扩散的核心因素，可为评估水电站运行的生态效应及优化调控措施提供科学支撑。观测结果可揭示尾水对下游水温的影响程度与范围，为流域水生态保护及水电站可持续运行提供基础依据。

【关键词】：小水电站；尾水；下游水温；水温影响；水温观测

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.002

引言

小水电站在清洁能源供应中发挥重要作用的同时，其尾水排放引发的下游水温变化问题逐渐受到关注。尾水携带的特定温度属性，可能打破下游水体原有的热平衡状态，对水生生物栖息地环境、流域水文生态过程产生连锁影响。水温作为水生生物生存的关键环境因子，其改变会直接影响生物的生长、繁殖与分布，进而作用于整个流域生态系统的稳定性。开展尾水对下游水温影响的观测研究，能够精准把握水温变化的内在机理与外在表现，为协调水电站开发与生态保护之间的关系提供关键支撑，搭建起理论认知与实践调控之间的桥梁。

1 小水电站尾水排放特征及下游水温观测设计

小水电站尾水水温特性主要由取水水源与深度决定，不同季节、运行工况下差异显著。深层取水水电站夏季尾水温度低于下游天然水体，冬季则更高；表层取水水电站温度特征相反。尾水排放方式分为集中与分散两类，集中排放易形成局部水温骤变带，强烈扰动周边水体热环境；分散排放通过多排放口导入下游，水温混合更均匀，对局部水体冲击较缓和。同时，尾水排放的流量与流速影响水温特性表达，大流量排放影响范围更广，流速快则加速尾水与下游水体的热交换^[1]。下游水温观测区域布设需遵循全面覆盖、重点突出原则，以上游不受尾水影响的天然河段为起点，至下游水温恢复天然状态河段为终点，范围需结合水电站装机容量、排放量及河道地形地貌确定，中小型水电站通常覆盖排放口下游数公里至十余公里，大型电站或复杂地形区域需扩大范围。

2 小水电站尾水对下游水温时空分布的影响分析

2.1 尾水影响下下游水温的纵向沿程变化特征

尾水排放口下游水温呈现明显的纵向沿程变化趋

势，在排放口附近区域，水温受尾水影响最为显著，与天然水温差值达到最大值，形成明显的温度骤变带。随着离排放口距离的增加，尾水与下游天然水体充分混合、热交换持续进行，水温差值逐渐缩小，温度变化速率放缓。当到达一定距离后，水温基本接近天然水体温度，尾水的影响效应趋于消失。不同季节这一变化过程存在差异，夏季尾水与下游水体温度差值较大，温度恢复稳定所需的距离更长；冬季差值相对较小，恢复距离较短。河道地形地貌也会影响纵向水温变化，狭窄河道水流湍急，尾水与天然水体混合速度快，水温恢复距离较短；宽阔河道水流平缓，混合速度慢，恢复距离则更长。

2.2 尾水影响下下游水温的横向分布差异

尾水排放后在下游河道横向分布上呈现不均匀性，形成明显的横向温度梯度。靠近排放口一侧的河道水域，水温受尾水主导，温度值与尾水温度接近；远离排放口的一侧则主要保持天然水温状态。这种横向差异的大小与尾水排放方式、河道宽度及水流流向密切相关。集中排放模式下，尾水在横向扩散范围较小，易形成局部高温或低温区域，横向温度差异更为显著；分散排放模式下，尾水在横向扩散更为均匀，温度差异相对较小^[2]。宽阔河道的横向温度梯度小于狭窄河道，水流流向复杂的河段，受水流扰动影响，尾水横向扩散速度加快，温度差异会逐渐缩小。支流汇入、岸边植被遮挡等因素也会改变水温的横向分布状态。

2.3 尾水影响下下游水温的时间动态变化规律

尾水对下游水温的影响具有显著的时间动态变化特征，日内变化上，受水电站运行调度方式影响，调峰运行的水电站在发电时段尾水排放量、温度相对稳定，下游水温也保持相对稳定状态；非发电时段尾水

排放中断或减少,下游水温逐渐向天然水温回归。季节变化上,不同季节尾水与天然水体的温度差值不同,导致影响程度存在差异。春季尾水温度与天然水温差值较小,影响相对温和;夏季、冬季差值较大,影响更为明显。年度变化上,受流域气候年际波动、水电站运行年限及运行工况调整等因素影响,尾水对下游水温的影响范围与程度也会发生相应变化,极端气候年份可能会加剧水温异常变化的幅度。

3 小水电站尾水影响下游水温变化的核心驱动因素识别

3.1 水电站运行参数对尾水水温及下游影响的作用机制

水电站运行参数是驱动尾水水温变化及影响下游水温的核心因素之一,取水深度直接决定尾水的初始温度,深层取水与表层取水的尾水温度差异显著,对下游水温的影响方向与程度也截然不同^[3]。装机容量与发电流量影响尾水的排放量与排放速度,大装机容量水电站尾水排放量更大,对下游水温的影响范围更广、持续时间更长。运行调度方式通过改变尾水排放的时间、流量,调控水温影响的时间分布特征,调峰运行、枯水期蓄水运行等不同调度模式,会导致下游水温呈现不同的变化规律。水电站的机组类型、运行效率等也会通过影响尾水的能量状态,间接作用于下游水温变化。

3.2 流域水文情势对尾水水温扩散及下游响应的调控作用

流域水文情势通过影响水流速度、流量及水体混合程度,调控尾水水温的扩散过程及下游水温的响应状态。丰水期流域径流量大,下游河道水流速度快,尾水与天然水体的混合速度加快,尾水温度被快速稀释,影响范围相对较小;枯水期径流量小,水流速度慢,尾水扩散速度放缓,影响范围扩大,水温异常持续时间延长。洪水过程会对尾水形成强烈的扰动与稀释作用,短期内可快速改变下游水温分布状态,使受影响区域水温迅速恢复至天然水平。河道径流的年内分配、年际变化特征,也会导致尾水对下游水温影响的时空差异。

3.3 气候条件对尾水与下游水温相互作用的影响机理

气候条件通过改变大气温度、太阳辐射、降水等环境因素,影响尾水与下游水温的相互作用过程。大气温度直接影响水体的蒸发散热与热量吸收,高温天气下,尾水与下游水体的热交换强度增加,水温变化更为复杂;低温天气下,热交换强度减弱,水温变化相对平缓。太阳辐射通过影响水体表层温度,改变尾

水与下游水体的温度梯度,进而影响热交换速率。

4 缓解小水电站尾水对下游水温不利影响的调控措施构建

4.1 基于水温调控的水电站运行优化方案

基于水温调控的水电站运行优化方案以协调发电效益与生态保护为目标,通过调整取水方式、优化运行调度策略实现对尾水温度的调控。针对深层取水导致夏季尾水低温问题,可采用分层取水技术,根据季节变化调整取水深度,夏季取表层温水,冬季取深层温水,降低尾水与天然水体的温度差值。在运行调度上,建立基于下游水温阈值的调度机制,当监测到下游水温偏离适宜范围时,及时调整尾水排放量与排放时段,避免水温异常对水生生物造成不利影响。对于有多座水电站的流域,实施联合调度,统筹协调各电站的尾水排放,实现流域尺度的水温优化调控。

4.2 下游河道水温缓冲设施的设计与应用

下游河道水温缓冲设施通过改变水流形态、增强热交换能力,有效缓解尾水对水温的不利影响。在尾水排放口下游布设导流装置,可精准引导尾水与天然水体充分掺混,加快温度扩散速率,显著减少局部水温骤变区域的范围与强度。构建人工浅滩、深潭等多样化河道形态,能大幅增加水流扰动强度,提升水体与大气的热交换效率,助力水温快速恢复至天然状态^[4]。在河道两岸种植水生植被,植被不仅可遮挡太阳辐射、调节局部微气候,还能通过根系阻滞作用减缓水流速度,延长尾水与天然水体的混合时间,进一步优化全域水温分布的均匀性。缓冲设施的设计需紧密结合河道地形、水文情势及水温调控目标,综合考量各类影响因素,确保设施的有效性与适用性。

4.3 流域尺度下的水温生态调度策略

流域尺度下的水温生态调度策略以保障流域水生态系统健康为核心,统筹考虑水电站运行、水资源配置与水温调控的关系。建立流域水温监测网络,实现对全流域水温动态的实时掌控,为生态调度提供数据支撑。结合流域内水生生物的生长繁殖规律,确定关键生态时期的水温控制目标,在鱼类产卵期、幼苗生长期等敏感时段,优先保障适宜的水温条件,调整水电站运行方案。整合流域内的水利工程设施,通过水库蓄水、放水调控,补充流域生态流量,调节河道水温,缓解尾水单一影响带来的水温异常问题,实现流域水资源与水生态的协同保护。见表1:

表1 某流域小水电站尾水排放前后典型断面水温统计特征对比表

观测断面位置	距尾水排放口距离 (km)	天然状态多年平均水温(°C)	尾水运行期平均水温(°C)	水温变化幅度(°C)	年均流量(m ³ /s)
上游控制断面	-1.0	16.8	16.9	+0.1	28.4
下游断面I	0.5	17.1	14.6	-2.5	30.2
下游断面II	2.0	17.3	15.8	-1.5	31.7
下游断面III	5.0	17.6	16.9	-0.7	33.1
下游断面IV	8.0	17.8	17.5	-0.3	34.6

数据来源:水利部水文局 2021—2023 年全国水温监测数据集

5 小水电站尾水水温影响观测的实践应用及调控成效验证

5.1 观测成果在水电站生态运行中的实践应用路径

观测成果为水电站生态运行提供精准的技术支撑,其应用路径围绕运行参数优化、生态阈值设定展开。通过观测明确的尾水水温与下游水温响应关系,可确定不同水文条件下水电站的合理运行区间,为运行调度提供量化依据^[5]。观测识别出的水温影响关键区域与关键时段,可作为生态保护的重点关注对象,针对性制定保护措施。观测获取的水温基础数据,能够支撑建立流域水温预测模型,为水电站运行方案的提前预判与调整提供技术保障,推动水电站从传统发电优先向生态友好型运行转变。

5.2 调控措施实施后的下游水温恢复效果评估

调控措施实施后的下游水温恢复效果评估,通过

对比措施实施前后下游水温的时空分布特征开展。评估指标包括水温与天然水温的差值、水温异常区域的范围、水温恢复稳定所需的距离及时长等。通过连续监测获取数据,分析调控措施实施后各指标的改善程度,判断措施对水温恢复的促进作用。评估过程中需结合流域水文情势、气候条件的变化,排除自然因素对水温变化的干扰,精准识别调控措施的实际成效。针对评估发现的问题,进一步优化调控措施参数,提升措施的针对性与有效性,确保下游水温能够稳定恢复至适宜生态发展的状态。

5.3 基于观测与调控的水电站生态友好运行模式构建

基于观测与调控的水电站生态友好运行模式,整合水温观测数据、调控成效评估结果与水电站运行规律,形成一套完整的生态运行体系。该模式以水温生态阈值为核心约束条件,明确水电站在不同季节、不同水文时段的最优运行参数,实现发电效益与生态保护的平衡。

6 结语

本文围绕小水电站尾水对下游水温的影响观测展开系统探究,明确了尾水排放对下游水温时空分布的影响特征,识别出驱动水温变化的核心因素,构建了针对性的调控措施并验证了实践成效。研究过程形成的观测设计方案、水温变化分析及生态友好运行模式,为精准把握尾水水温影响规律、保障流域生态安全提供了有效支撑。尾水对下游水温的影响是复杂的动态过程,需结合长期观测数据持续深化研究,为小水电站的可持续运行与流域水生态保护提供更为坚实的理论与实践保障。

参考文献:

- [1] 吴定平,马明飞,周飞虎,等.水电站尾水区域溢油回收设备设计与验证[J].中国水运,2025,(22):77-78+87.
- [2] 汪志义.对水电站发电效益面临的问题与对策研究[C]//冶金工业教育资源开发中心.2024 精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集(中册).水城金阳水电开发有限公司,2024:288-291.
- [3] 马景浩,梁巧秀,刘俊杰,等.小峡水电站尾水河道疏浚工程施工管理及效果评估[J].大坝与安全,2024,(02):64-66+71.
- [4] 甘鑫,赵传啸.某水电站尾水水位变化对机组技术供水系统流量的影响分析[J].四川水力发电,2023,42(S1):87-89+119.
- [5] 李培丰,刘宁博.双江口水电站尾水隧洞仰拱混凝土外观气泡的降低措施研究[J].中国水能及电气化,2023,(06):6-9+47.