

金沙江下游主要支流对干流水温的影响

徐火清¹, 赵红红², 吴义军³

(1. 中国三峡建工(集团)有限公司, 四川 成都 610041; 2. 日照市政务服务中心, 山东 日照 276827;
3. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为研究金沙江下游主要支流入汇后对其下游干流水温的影响,选取金沙江下游16个测站的流量及水温实测资料,统计分析金沙江下游各支流的流量占比,探讨了岷江、嘉陵江和乌江等较大流量支流入汇后下游干流水温变化规律。结果表明:宜昌站水体组成中岷江来流占18.8%,嘉陵江占14.2%,乌江占10.79%;金沙江下游干流水温变化规律与支流基本一致,且随着距离的增大,滞后效应逐渐明显,其中岷江对干流水温影响最大,其次为嘉陵江和乌江;通过线性函数拟合法得到岷江、嘉陵江和乌江干支流温差与汇口上下游沿程温差的相关系数分别为0.9502、0.8845和0.7863。

关键词:水温监测;干支流;金沙江;岷江;嘉陵江;乌江

中图分类号:TV697.21

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2023)01-0022-07

Influence of main tributaries on water temperature of main stream in lower Jinsha River //XU Huoqing¹, ZHAO Honghong², WU Yijun³ (1. China Three Gorges Construction Engineering Corporation, Chengdu 610041, China; 2. Rizhao Municipal Government Service Center, Rizhao 276827, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the influence of the main tributaries in the lower reaches of the Jinsha River on the water temperature of the main stream, the measured data of flow and water temperature at 16 stations in the lower reaches of the Jinsha River were selected. The discharge proportions of each tributary in the lower reaches of the Jinsha River were statistically analyzed, and the water temperature change regularity of the main stream in the lower reaches of the Minjiang River, Jialing River, Wujiang River and other large tributaries after confluence was discussed. The results show that the Minjiang River, the Jialing River and the Wujiang River accounts for 18.8%, 14.2% and 10.79% of the flow discharge at the Yichang Station respectively. The change rule of water temperature downstream the main stream of Jinsha River is basically consistent with that of the tributaries, and the lag effect is gradually obvious with the increase of distance. The Minjiang River has the largest impact on the water temperature in the main stream, followed by the Jialing River and the Wujiang River. Through the linear function fitting method, the correlation coefficients of the temperature difference between the main stream and tributaries of the Minjiang River, the Jialing River and the Wujiang River and the temperature difference along the upstream and downstream of river confluences are 0.9502, 0.8845 and 0.7863 respectively.

Key words: water temperature monitoring; main and branch streams; Jinsha River; Minjiang River; Jialing River; Wujiang River

水温是水环境中最重要的影响因素之一,其对水的物理、化学性质,水生生物的繁殖、生长和分布,以及水生生态系统的稳定性等都存在直接或间接的影响^[1-4]。水温受人类活动和气候变化等多因素影响,水温的变化尤其涉及水生生物的生存与发展^[5]。金沙江下游及川江段入汇支流众多,各支流自然环境复杂且存在明显差异性,该江段含有鱼类国家级自然保护区,支流的入汇引起干流水温变化,从而影

响干流的水生态系统。三峡水库蓄水后,下泄低温水引起下游水温出现升温期滞冷、降温期滞热的温度延迟现象,水温的变化改变了四大家鱼及中华鲟的繁殖条件,造成鱼类的繁殖产卵时间有不同程度的推迟甚至产卵规模大幅下降^[6-9]。作为水生物种生存的重要条件,长期的水温变化可能会加快物种的进化和更迭^[10]。近年来,国内外学者对河流水温变化及其影响因素的研究热度居高不下,气候变化、

基金项目:国家自然科学基金(52179130)

作者简介:徐火清(1973—),男,高级工程师,主要从事水电生态保护研究。E-mail: xu_huoqing@ctg.com.cn

通信作者:赵红红(1979—),女,高级工程师,主要从事水工结构工程及水环境保护研究。E-mail: zhhq79318@163.com

水文过程和人类活动被认为是导致水温波动的主要诱因^[1]。Peaker 等^[11]依据多瑙河长期水温资料,确定了气候变化是引起多瑙河水温变化的主要因素,Zganec^[12]认为喀斯特地区诸河的水温变化除了与气候变化有关外,水电工程的影响也不容忽视。国内众多学者对河流水温变化的研究也有相似结论,即水电工程和气候变化是改变下游河道水温的重要因素^[13-14]。随着梯级水电站的逐渐运行,其对河流水温影响方面的研究也不断增加^[15-18]。由于支流与干流水温不同,导致入汇后干流水温发生变化的研究也有许多案例,如蒋博等^[19]采用原型观测和数值模拟方法分析了澜沧江支流补远江入汇对干流的水温影响。然而,目前针对长江各支流入汇对干流水温变化的影响研究鲜见报道。

本文分别选择金沙江下游及川江段 11 个流量监测点和 11 个表层水温断面共计 16 个测站的测量资料,采用线性函数拟合法,系统地对进行了干支流流量关系、各支流与干流的水温关系以及干流水温流量相关性分析,可为该江段水环境影响评价和生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 监测点布置及采集频率

2012—2017 年,布置金沙江下游及川江段流域流量监测点共计 11 个,其中长江干流有 6 个(三堆子、向家坝、朱沱、寸滩、清溪场、宜昌),支流有 5 个(宁南、横江、高场、赤水镇、北碚),流量资料为日均流量。2019 年 8 月至 2020 年 7 月,布置金沙江下游及川江段流域表层水温监测点共计 11 个,其中长江干流有 8 个(向家坝、李庄、合江、朱沱、江津区、寸滩、清溪场、万州),支流有 3 个(高场、北碚、武隆),每天 0:00、2:00、4:00、8:00、12:00、14:00、16:00、20:00 监测温度 1 次,共计 8 次,各监测点位置见图 1。对于表层水温监测点,需要说明的是:向家坝、高场、李庄、合江、朱沱、北碚、武隆水文站为河流段

监测水温;万州水文站为水库段监测水温;江津区、寸滩、清溪场在水库蓄水期为水库段监测水温,泄洪期为河流段河流监测水温。河流段监测水温由于河流水深较浅,水热交换作用较多,水温受气温影响明显,而水库段监测水温在一定程度上受水库滞后效应影响,且由于库区水深,水热交换作用较少,对研究结果有一定的影响。

1.2 监测设备及安装

1.2.1 监测设备

表层水温监测采用由北京基康仪器有限公司生产的精度为 0.1℃ 的铂电阻温度计(BGK3700P),表层水温数据采集及传输采用由北京基康仪器有限公司生产的 BGK-GM2 采集终端,数据的传输采用中国移动物联卡为载体,传输到设在湖南长沙的中国水利水电第八工程局有限公司总部的 GIS 地理信息系统。

1.2.2 监测仪器安装方式

表层水温监测设备的安装主要分为趸船安装、浮漂船安装和固定安装 3 种方式:①在有趸船的河流部位直接将 BGK-GM2 采集终端固定在趸船护栏边沿,温度计用镀锌钢管保护并牢固地固定在趸船上。②在没有趸船的河流部位,采用宽 1.3 m、高 1.4 m 的浮漂船将 BGK-GM2 采集终端和温度计固定在浮漂船上,浮漂船下部悬挂配重块,并用钢丝绳牵引牢固。③在因水流湍急无法安装浮漂船且距离坝址较近之处,认为水温不分层,观测断面任意深度处的水温即为出库平均水温。从坝址到监测断面沿程环境因素对平均水温的影响忽略不计,取任意深度点水温代表断面平均水温。

利用无线终端等配套自动采集传输装置实现自动化,并应用于从金沙江下游乌东德水电站库尾至长江大通水文站的表层水温监测中,以减少人工投入,确保采集数据的精准性和时效性。

2 结果与分析

2.1 金沙江下游干支流流量关系

图 2 给出了 2012—2017 年金沙江下游及川江段各支流日均流量实测过程线,可以看出各支流的流量普遍出现在 6—8 月,1—4 月和 11—12 月各支流下泄流量均较小,基本在 1500 m³/s 以下,各支流的流量大小与其所在河段的水库调度以及当地的降雨情况密切相关^[20-21]。嘉陵江日均流量在 7 月达到最大峰值,8 月急剧下降后于 9 月有所回升,流量变化主要与山区河段特殊的自然地理和气象条件,以及嘉陵江梯级水库的水库调度相关。黑水河、赤水河和横江 3 条支流平均入汇流量分别

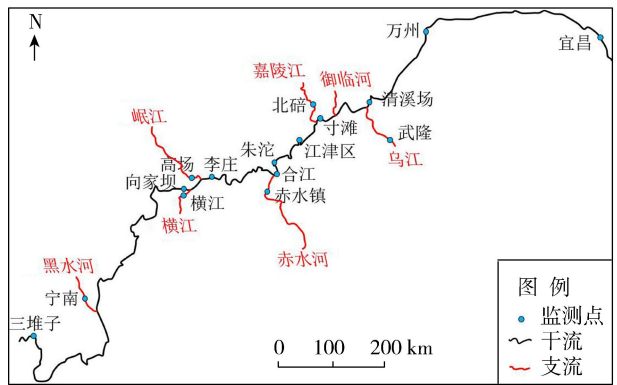
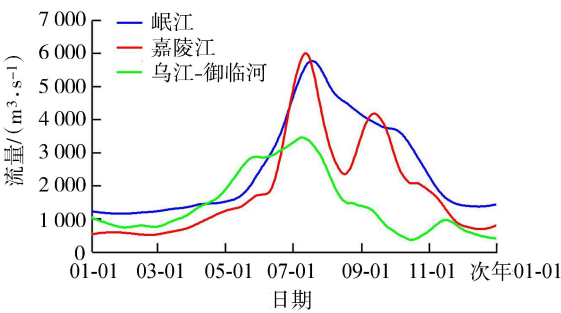
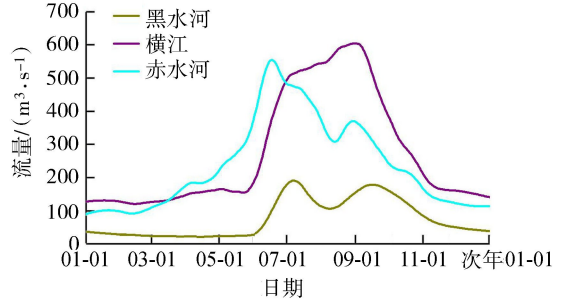


图 1 监测点布置



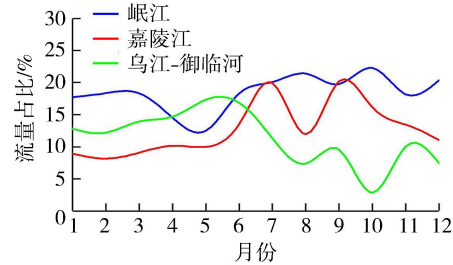
(a) 岷江、嘉陵江、乌江-御临河



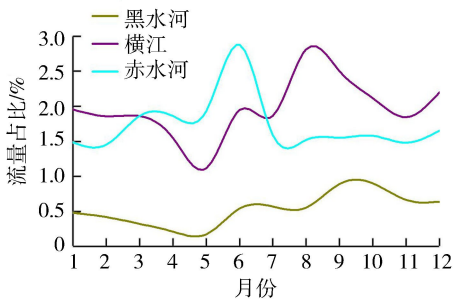
(b) 黑水河、横江、赤水河

图2 2012—2017年各支流日均流量

为 $75.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $238.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $273.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 相对较小, 对干流流量变化影响较微。利用各支流每月平均流量与宜昌站月均流量监测资料, 分析宜昌站各支流每月来流量占比变化(图3)。从图3(a)可以看出, 岷江除5月和9月外全年占比始终保持最高, 其中10月占比最高, 达22.27%, 可见岷江对干流流量变化有着重要影响。嘉陵江9月流量占比20.17%, 与岷江相当, 嘉陵江和岷江9月流量合计占比高达40%, 超过其他支流总和(14.51%); 此外, 乌江-御临河对宜昌站流量组成也有较大影响(因流量分析时仅有乌江和御临河的合计流量, 且御临河流量较



(a) 岷江、嘉陵江、乌江-御临河



(b) 黑水河、横江、赤水河

图3 2012—2017年主要支流月均流量

小, 故将两条支流合并分析), 4—6月乌江-御临河合计流量与岷江基本相当, 5月甚至超过岷江, 流量占比达17.33%, 可见乌江-御临河是该河段支流中流量变化幅度最大的支流。如图3(b)所示, 黑水河、赤水河和横江合计占比基本维持在5%以下, 因此这3条支流对宜昌站流量组成影响也相对较小。结合各支流整体来看, 1—4月支流平均流量占比岷江最大, 乌江-御临河次之, 嘉陵江第三; 5月支流平均流量占比乌江-御临河最大, 岷江次之, 嘉陵江排第三; 6—12月支流平均流量占比岷江最大, 嘉陵江次之, 乌江-御临河第三。上述分析表明不同月份宜昌站主要水体来源不同, 也反映了宜昌站流量组成的复杂性。

为得出各支流在该江段的流量组成分布, 以宜昌站流量监测数据为依据, 分析流量来源比例。金沙江上游(干流)来水占比最多, 占宜昌站流量的25.53%; 各支流中岷江占比最多, 为18.83%, 其次是嘉陵江(14.19%)和乌江-御临河(10.79%), 黑水河、赤水河和横江占比较小, 分别为0.56%、1.77%、2.03%, 合计仅为4.36%。需要说明的是, 三堆子至宜昌江段还有众多流量较小的支流(如白水河、普渡河、牛栏江、澎溪、沱江等), 其多年平均流量明显小于岷江、嘉陵江和乌江, 因为这些支流没有流量及水温监测数据, 本文暂不考虑其对干流水温的影响。

根据支流各月平均流量与支流入汇后汇口上游测站的平均流量实测数据, 可得支流流量占汇口下游合计流量之比(表1)。由表1可知, 各支流入汇干流的流量不断变化, 最大值普遍出现在5—7月, 其中岷江6月占比最大, 岷江入汇流量占汇口下游的47%, 即支流与干流流量基本相当; 嘉陵江7月占比最大, 占汇口下游流量的24.3%; 乌江5月占比最大, 为25.3%。综合来看岷江高场站流量占岷江汇口下游流量30%以上, 嘉陵江北碛站流量占嘉陵江汇口下游流量约13%~25%, 乌江流量占下游清溪场水文站流量比值变化较大, 在2.9%~25%之间, 乌江平均流量占汇口下游13.7%, 对干流流量组成也有较大影响。

表1 2012—2017年各支流月均流量占汇口下游流量比例
单位: %

支流	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
岷江	37.1	40.0	39.6	38.2	43.8	47.0	39.4	36.2	30.7	34.1	34.5	39.4
嘉陵江	13.7	13.5	14.4	18.1	21.7	21.4	24.3	14.5	20.5	17.0	17.3	15.2
乌江	16.4	16.3	17.3	19.6	25.3	20.0	11.8	8.0	5.7	2.9	11.6	9.2

2.2 各支流与干流的水温关系

汇口下游的水温与入汇支流和上游支流的水温

密切相关,两股水流汇聚后共同影响下游水温。图4、图5、图6分别为岷江、嘉陵江和乌江2019年8月至2020年7月与汇口上下游测站的水温关系曲线。可见水温变化趋势总体呈先降温后升温的趋势,表层水温的年内变化规律与气温变化规律一致,气温变化特性较好地反映了表层水温年内分布特征。

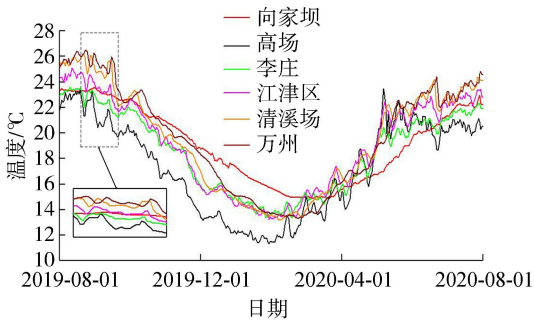


图4 岷江与上下游测站的水温关系曲线

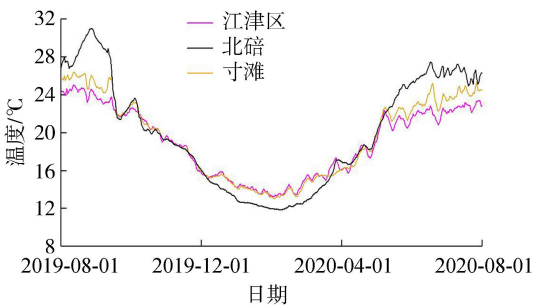


图5 嘉陵江与上下游测站的水温关系曲线

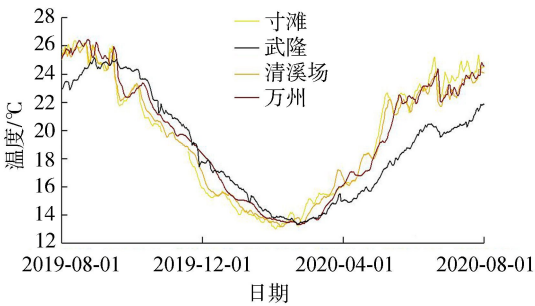


图6 乌江与上下游测站的水温关系曲线

岷江是该江段最大的支流,其入汇流量占下游汇口流量年均值超过38%,对下游水温影响明显。岷江高场水文站全年平均水温为17.35℃,日均水温在11.4~23.5℃之间变化,单日温度在-2~1.8℃之间变化。从图4可以看出,2019年9月至2020年1月岷江入汇水温整体呈下降趋势,2020年2—7月水温整体呈回升趋势,其中最高温度为23.5℃,出现在5月。岷江高场水文站月平均水温1月最低,为11.9℃,上游向家坝水文站1月平均水温为16.38℃,岷江入汇后,汇口下游李庄水文站1月平均水温仅为13.97℃,岷江入汇后,干流水温下降了2.4℃;5月岷江平均水温为21.03℃,上游

向家坝平均水温为17.98℃,下游李庄平均水温为19.82℃,岷江入汇后,干流水温上升了1.84℃。结合局部放大图可知,向家坝水文站水温日波动幅度较小,岷江相对较大,汇流后李庄水文站到清溪场水文站均出现轻微的日波动,其温度波动主要受岷江下泄水体影响,万州水文站也出现相似的水温日波动,但其波动具有相对的滞后性,主要是因为万州水文站与岷江汇口距离较远,可见岷江入汇后对李庄至万州段干流水温具有明显的影响。结合李庄水文站到万州沿程各水温监测站点的全年水温变化曲线可以看出,向家坝下泄低温水与岷江下泄低温水混合后,其水温一直保持到清溪场水文站,即李庄水文站到清溪场水文站之间的监测点水温变化不大。伴随着沿程气温上升,李庄到清溪场测站的水温也在逐步上升,但水温日波动与岷江保持着相同的趋势。万州属于三峡库区范围,结合万州水温变化曲线可以看出,清溪场水文站之前江段水温受向家坝和岷江影响显著,过清溪场后与三峡库区水体掺混,水温波动规律逐渐接近三峡库区水温变化规律。

嘉陵江下游北碚水文站全年平均水温为20.06℃,日均水温在11.9~31.0℃之间变化,单日温度变化在-2.2~1.1℃之间。如图5所示,嘉陵江夏季水温相对较高,冬季水温相对较低,年均水温(20℃)高于下游川江干流水温(寸滩水文站年均水温19.4℃),嘉陵江入汇后,较高的水温将会影响干流的水温分布,带动下游一定范围内的水体温度上升。2019年9月至2020年2月嘉陵江水温整体呈下降趋势,2020年3—6月水温整体呈上升趋势,进入7月后出现小幅度降温趋势(约下降2.3℃)。与上游江津区水温相比,嘉陵江2019年8—9月中旬和2020年5月中旬至7月水温相对较高,在2019年12月至2020年3月中旬水温相对较低。从上游江津区和下游寸滩水温曲线对比来看,两者水温也略有差异,具体表现为冬季寸滩水文站水温略低于江津区,夏季寸滩水文站水温略高于江津,与嘉陵江和干流的水温对比规律基本一致。嘉陵江流量相对较大,对干流水温有一定的影响,在嘉陵江水温高于干流时有助于提高水温,在嘉陵江水温低于干流时会助力降低水温。

乌江武隆水文站全年平均水温为18.82℃,日均水温在13.3~25.2℃之间变化,单日温度变化在-1.2~0.5℃之间。如图6所示,2019年9月至2020年2月,武隆水文站月均水温从最高24.6℃逐月下降,2月时月均水温降至最低值13.7℃,其中9月和2月水温分布较为集中,日均变化幅度较小;2020年3—7月月均水温逐月升高,3月月均水温仅

为 14.1℃,至 7 月时月均水温已升高至 20.5℃,表层水温变化主要受当地气温影响。2019 年 9 月中旬至 2020 年 1 月乌江水温略高于干流水温,而在 2020 年 3—7 月低于干流水温,年最低和最高水温出现日期相对滞后,具有水库下泄低温水温变化特征。结合汇口上下游测站水温变化曲线来看,乌江会拉低干流该江段升温期的水温,抬升该江段降温期的水温,与嘉陵江作用相反,两支流汇入并充分掺混后进入三峡库区,与库区水温再次掺混,结合万州水温变化曲线来看,万州的水温日波动幅度相比上游清溪场有所减小,水温变化特征趋于库区水温特征,所以乌江对该江段水温有一定影响。乌江和嘉陵江的共同影响导致该江段沿程水温变化并不明显。

2.3 干支流水温流量相关性分析

支流的流量是干支流水温关系分析中最关键的因素之一,假定 A、B 和 C 点分别为干流上游、干流下游和支流监测点位,O 点为 C 支流入干流河口点位,不考虑沿程热能转换损失,根据热能守恒可得

$$F_B = F_A + F_C + f_{AO+CO+OB} \tag{1}$$

式中: F_A 为干流上游监测点储蓄的热能; F_B 为干流下游监测点储蓄的热能; F_C 为支流监测点储蓄的热能; $f_{AO+CO+OB}$ 为 AO 段、CO 段和 OB 段沿程吸收的热能。

各监测点储蓄的热能与它的流量和温度成正比,根据温度热能转换公式可得

$$F_B = cM\Delta T \tag{2}$$

$$\text{其中} \quad M = Qt \tag{3}$$

式中: c 为水的比热容; ΔT 为温度变化; M 为水的质量; Q 为流量; t 为时间。

将式(2)(3)代入式(1)可得

$$Q_B T_B = Q_A T_A + Q_C T_C + C_1 f_{AO+CO+OB} \tag{4}$$

$$\text{其中} \quad C_1 = \frac{1}{ct} \tag{5}$$

式中: C_1 为综合系数; T_A 、 T_B 、 T_C 分别为 A 点、B 点和 C 点的温度。A 点和 B 点之间不考虑其他支流汇入,即 $Q_B = Q_A + Q_C$,代入式(4)可得

$$Q_A (T_B - T_A) = Q_C (T_C - T_B) + C_1 f_{AO+CO+OB} \tag{6}$$

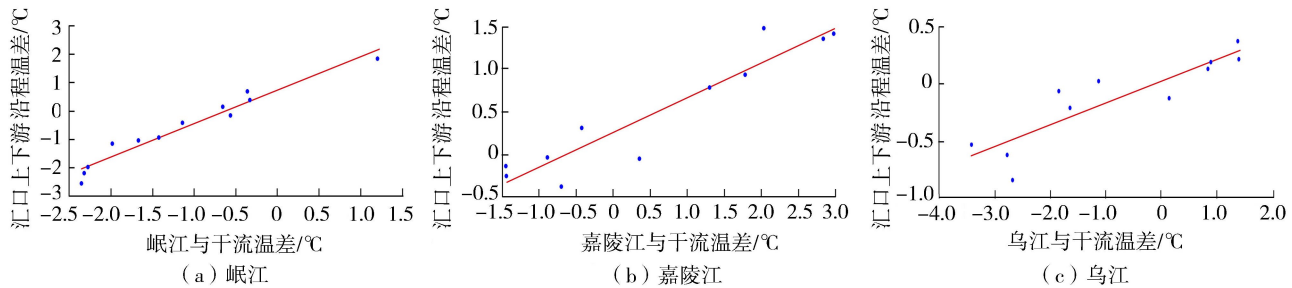


图 7 各支流与干流温差相关曲线

由式(6)可知,在不考虑沿程温升(温降)影响时,干流和支流的水温关系由干流上游来流量和支流流量决定,因此可以由干支流流量比值和水温变化的相关性来衡量各支流与干流水温的关系。

金沙江下游及川江段水温监测段流量较大的 3 条支流分别为岷江、嘉陵江和乌江,这 3 条支流年均流量分别占宜昌站流量的 18.83%、14.19% 和 10.79%。由年均流量占比确定本文主要分析的 3 条支流为岷江、嘉陵江和乌江,在分析支流对干流的水温作用时着重考虑支流在汇口下游的流量变化影响,依据各支流每月占汇口下游流量比值数据进行整理分析。

分别统计岷江、嘉陵江、乌江,以及干流汇口上下游监测点的水温,分析支流对干流沿程水温的影响,根据入汇口上下游沿程温差和干支流温差绘制这 3 条支流与干流温差相关曲线(图 7)。由图 7 可以看出,岷江、嘉陵江和乌江干支流温差和汇口上下游沿程温差的相关方程分别见式(7)(8)(9),相关系数分别为 0.950 2、0.884 5 和 0.786 3。

$$y = 1.1726x + 0.7483 \tag{7}$$

$$y = 0.4032x + 0.2587 \tag{8}$$

$$y = 0.19x + 0.019 \tag{9}$$

式中: y 为汇口上下游沿程温差; x 为支流与干流温差。

根据上述方程可知,岷江、嘉陵江和乌江支流流量与汇口上游流量的比值分别为 1.172 6、0.403 2 和 0.19。岷江高场站流量占岷江汇口下游流量 30% 以上,且月均流量占比波动幅度较小,月均流量占比标准差为 0.042,因此对岷江进行相关性分析时点数据更加集中,相关系数达 0.950 2,岷江对干流沿程水温的变化起到关键作用;嘉陵江占汇口下游 13% ~ 25%,月均流量占比波动幅度略大于岷江,标准差为 0.055,点数据相对岷江也略分散,相关系数为 0.884 5,对干流水温同样具有重要影响;乌江占汇口下游的比值相对较小,且月均流量占比波动幅度相对较大,波动幅度达 22.4%,标准差为 0.063,相关系数也较前两者小,仅为 0.786 3,对干

流水温影响相对较弱,这也与武隆水文站距汇口距离较远相关。由此可见,在不考虑沿程升(降)温影响时,支流流量越大,对干流水温的影响也越大。沿程升(降)温与大气温度、太阳辐射、光照条件、两岸地形、沿程流长、水深和流量等因素有关,还受降雨、空气湿度、风速等气象因素影响。

3 结 语

对金沙江下游及川江段 16 个测站的流量和表层水温监测数据进行分析,结果表明:各支流的最大流量均出现在 6—8 月,其中岷江对干流流量影响最大,多年平均流量占下游宜昌站达 18.8%,其次是嘉陵江和乌江。各支流的水温变化规律同当地气温变化规律相同,均为 2019 年 8 月开始降温,2020 年 2 月左右温度开始回升直至当年 7 月。岷江入汇流量较大,对干流水温影响距离较远,直到下游清溪场水温日波动幅度还保持和岷江相同的变化趋势;嘉陵江流量相对较大,在嘉陵江水温高于干流时会助力提升水温,而嘉陵江水温低于干流时会助力降低水温;与嘉陵江作用相反,乌江会拉低干流该江段升温期的水温,抬升该江段降温期的水温,两支流汇入并充分掺混后进入三峡库区,与库区水温再次掺混,导致该江段沿程水温变化并不明显。通过对干流水温流量的相关性分析可知,岷江对干流水温影响最大,其次是嘉陵江和乌江。因此,在对金沙江下游及川江段进行水电开发时,不仅要考虑梯级水库调度对下游水温的影响,也应考虑岷江、嘉陵江和乌江等主要支流对干流水温的影响。

参考文献:

[1] 邹珊,李雨,陈金凤,等. 长江攀枝花—宜昌江段水温时空变化规律[J]. 长江科学院院报,2020,37(8):35-41. (ZOU Shan, LI Yu, CHEN Jinfeng, et al. Temporal and spatial variation of water temperature in Panzhihua-Yichang segment of Changjiang River [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2020,37(8):35-41. (in Chinese))

[2] 纪道斌,成再强,龙良红,等. 三峡水库不同运行期库首水温分层特性及生态效应[J]. 水资源保护,2022,38(3):34-42. (JI Daobin, CHENG Zaiqiang, LONG Lianghong, et al. Characteristics of thermal stratification in head area of Three Gorges Reservoir and ecological effects in different operation periods [J]. Water Resources Protection,2022,38(3):34-42. (in Chinese))

[3] PRATS J, VAL R, ARMENGOL J, et al. Temporal variability in the thermal regime of the Lower Ebro River (Spain) and alteration due to anthropogenic factors[J]. Journal of Hydrology,2010,387(1/2):105-118.

[4] BROWN L E, HANNAH D M, MILNER A M.

Hydroclimatological influences on water column and streambed thermal dynamics in an Alpine River system [J]. Journal of Hydrology,2006,325(1):1-20.

[5] 李褪来,陈黎明,王向明. 梯级水电站对库区和河道水温的影响预测[J]. 水利水电科技进展,2013,33(3):23-28. (LI Tilai, CHEN Liming, WANG Xiangming. Influence forecast of the cascade power station on water temperature of reservoirs and rivers [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2013,33(3):23-28. (in Chinese))

[6] 惠二青,毛劲乔,戴会超. 上游水库水温情势变化对中华鲟产卵江段水温的影响[J]. 水利水电科技进展,2018,38(2):44-48. (HUI Erqing, MAO Jingqiao, DAI Huichao. Effects of temperature variation at upstream of the Three Gorges Reservoir on Chinese sturgeon spawning reach [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2018,38(2):44-48. (in Chinese))

[7] 蔡玉鹏,杨志,徐薇. 三峡水库蓄水后水温变化对四大家鱼自然繁殖的影响[J]. 工程科学与技术,2017,49(1):70-77. (CAI Yupeng, YANG Zhi, XU Wei. Effect of water temperature variation after impoundment of the Three Gorges Reservoir on natural reproduction of the four major Chinese carps [J]. Advanced Engineering Sciences,2017,49(1):70-77. (in Chinese))

[8] 彭期冬,廖文根,李翀,等. 三峡工程蓄水以来对长江中游四大家鱼自然繁殖影响研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2012,44(增刊2):228-232. (PENG Qidong, LIAO Wengen, LI Chong, et al. Impacts of four major Chinese carps' natural reproduction in the middle reaches of Changjiang River by Three Gorges Project since the impoundment [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition),2012,44(Sup2):228-232. (in Chinese))

[9] 陶雨薇,王远坤,王栋,等. 三峡水库坝下水温变化及其对鱼类产卵影响[J]. 水力发电学报,2018,37(10):48-55. (TAO Yuwei, WANG Yuankun, WANG Dong, et al. Assessing water temperature variations and impacts on fish spawning downstream of Three Gorges dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2018,37(10):48-55. (in Chinese))

[10] 郭文献,王鸿翔,徐建新,等. 三峡水库对下游重要鱼类产卵期生态水文情势影响研究[J]. 水力发电学报,2011,30(3):22-26. (GUO Wenxian, WANG Hongxiang, XU Jianxin, et al. Effects of Three Gorges Reservoir on the downstream eco-hydrological regimes during the spawning of important fishes [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2011,30(3):22-26. (in Chinese))

[11] PEAKER J, SKODA P. Is the water temperature of the Danube River at Bratislava, Slovakia, rising? [J] Journal of Hydrometeorology,2008,9:1115-1122.

[12] ZGANEC K. The effects of water diversion and climate change on hydrological alteration and temperature regime of karst rivers in central Croatia [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2012,184:5705-5723.

- [13] 蒲灵,李克锋,庄春义,等.天然河流水温变化规律的原型观测研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2006,52(3):614-617. (PU Ling, LI Kefeng, ZHUANG Chunyi, et al. Field measurement of distribution of water temperature's change along a river[J]. Journal of Sichuan University(Natural Science Edition), 2006, 52(3):614-617. (in Chinese))
- [14] 刘昭伟,吕平毓,于阳,等.50年来金沙江干流水温变化特征分析[J]. 淡水渔业,2014,44(6):49-54. (LIU Zhaowei, LYU Pingyu, YU Yang, et al. Variation in water temperature of the mainstream of the Jinsha River over last 50 years[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(6):49-54. (in Chinese))
- [15] 雷丽萍.大型梯级水库蓄水运行后对下游河道水温的影响[J]. 西北水电,2020(5):21-23. (LEI Liping. Impact of large-scale cascade reservoirs on the water temperature of downstream rivers after impounding and operation[J]. Northwest Hydropower, 2020(5):21-23. (in Chinese))
- [16] 王煜,李金峰,翟振男.优化中华鲟产卵场水动力环境的梯级水库联合调度研究[J]. 水利水电科技进展,2020,40(1):56-63. (WANG Yu, LI Jinfeng, ZHAI Zhennan. Research on joint operation of cascade reservoirs to optimize hydrodynamic environment for Chinese sturgeon spawning ground[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(1):56-63. (in Chinese))
- [17] 任玉峰,赵良水,曹辉,等.金沙江下游梯级水库生态调度影响研究[J]. 三峡生态环境监测,2020,5(1):8-13. (REN Yufeng, ZHAO Liangshui, CAO Hui, et al. Influence of ecological regulation of cascade reservoirs in the lower Jinsha River[J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2020, 5(1):8-13. (in Chinese))
- [18] 程帅,左新宇,黄蕙,等.溪洛渡、向家坝库区及坝下水温分布特性及成因分析[J]. 水利水电快报,2019,40(8):35-39. (CHENG Shuai, ZUO Xinyu, HUANG Hui, et al. Characterization and causes of water temperature distribution in Xiluodu and Xiangjiaba reservoirs and below the dam[J]. Express Water Resources and Hydropower Information, 2019, 40(8):35-39. (in Chinese))
- [19] 蒋博,王福山,沈忱,等.澜沧江支流补远江对干流水温影响研究[J]. 水力发电学报,2019,38(2):82-88. (JIANG Bo, WANG Fushan, SHEN Chen, et al. Water temperature of Lancang River influenced by its tributary Buyuan River[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 38(2):82-88. (in Chinese))
- [20] 郭生练,熊立华,熊丰,等.梯级水库运行期设计洪水理论和方法[J]. 水科学进展,2020,31(5):734-745. (GUO Shenglian, XIONG Lihua, XIONG Feng, et al. Theory and method of design flood in cascade reservoir operation period[J]. Advances in Water Science, 2020, 31(5):734-745. (in Chinese))
- [21] 周根富,王佰伟,陈小田.大宁河流域降雨径流模拟研究[J]. 水资源开发与管理,2021(10):54-57. (ZHOU Genfu, WANG Baiwei, CHEN Xiaotian. Simulation of rainfall and runoff in Daning River basin[J]. Water Resources Development and Management, 2021(10):54-57. (in Chinese))

(收稿日期:2022-03-14 编辑:骆超)

+++++
(上接第8页)

- [18] 李贵宝.河长制实施五年总结之发布的地方标准规范篇[EB/OL]. (2022-02-10). <https://mp.weixin.qq.com/s/iBxlw2NRYkdhFrDM2ognaA>.
- [19] 李贵宝,张亮,鞠茂森.河长制实施五年总结:(4)河长学院(河湖长制研究院或中心)知多少?[EB/OL]. (2022-02-16). <https://mp.weixin.qq.com/s/eO8s3b4xpeXYvKuORuKETg>.
- [20] 李贵宝,鞠茂森.河长制实施五年总结:(5)出版的书籍[EB/OL]. (2022-02-20). <https://mp.weixin.qq.com/s/eqQvke7HT7aOffgT9tgASQ>.
- [21] 王亚华,陈相凝.探寻更好的政策过程理论:基于中国水政策的比较研究[J]. 公共管理与政策评论,2020,9(6):3-14. (WANG Yahua, CHEN Xiangning. Explore better theory of policy process: insights from comparative study of China's water policies[J]. Public Administration and Policy Review, 2020, 9(6):3-14. (in Chinese))
- [22] 胡耘通,樊雪.协同治理视角下河长制政策跟踪审计研究[J]. 会计之友,2022(1):132-137. (HU Yuntong, FAN Xue. Research on policy tracking audit of river chief system from the perspective of collaborative governance[J]. Friends of Accounting, 2022(1):132-137. (in Chinese))
- [23] WU Chenhui, JU Maosen, WANG Longfei, et al. Public participation of the river chief system in China: current trends, problems, and perspectives[J]. Water, 2020, 12(12):3496.
- [24] LI Jing, SHI Xing, WU Huaqing, et al. Trade-off between economic development and environmental governance in China: an analysis based on the effect of river chief system[J]. China Economic Review, 2020, 60:101403.
- [25] 贡力,田洁,靳春玲,等.基于ERG需求模型的幸福河综合评价[J]. 水资源保护,2022,38(3):25-33. (GONG Li, TIAN Jie, JIN Chunling, et al. Comprehensive evaluation of Happy River based on ERG demand model[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(3):25-33. (in Chinese))
- [26] 刘芳,朱玉春.农户参与度对河长制政策获得感的影响[J]. 中国农村水利水电,2022(4):85-91. (LIU Fang, ZHU Yuchun. The influence of farmers' participation on the sense of gain of the river chief system policy[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(4):85-91. (in Chinese))

(收稿日期:2022-05-27 编辑:俞云利)