

三峡水库水温变化及其对中华鲟繁殖的影响

余文公^{1,2}, 夏自强^{1,2}, 于国荣², 蔡玉鹏²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 : 分析了三峡库区相关水文站建库前后的水温变化规律, 利用水库热量平衡方程计算了三峡水库下泄水温的“ 滞温 ”和“ 滞冷 ”幅度, 并对下泄水温变化对坝下中华鲟繁殖的影响进行了研究. 结果表明, 三峡水库围堰发电期库区近坝段主槽没有出现水温分层现象, 下泄水温“ 滞温 ”和“ 滞冷 ”现象较轻, 葛洲坝下 10 月份水温生态因子演变为中华鲟产卵场繁殖的限制因子.

关键词 : 三峡水库; 水温; 中华鲟

中图分类号 : X171.4 **文献标识码** : A **文章编号** : 1000-198X(2007)01-0092-04

三峡工程是一项规模宏大的多目标水资源开发利用工程. 该工程虽然会在防洪、发电、航运等方面发挥巨大效益, 但也会产生一定的生态环境问题^[1], 其中水库水温变化^[2]将对库区及水库下游的生态环境产生巨大影响^[3]. 三峡水库属典型的峡谷河道型水库, 总库容 393 亿 m³. 其中调节库容 165 亿 m³, 约占坝址年径流量的 3.7%. 由于库水量交换频繁且换水周期差别很大, 水库下泄水温会发生变化. 为了从整体上了解三峡水库蓄水以来下泄水温的变化情况及其对坝下中华鲟繁殖的影响, 本文根据三峡库区相关水文站建库前后的水温资料分析了水库下泄水温的变化规律, 利用水库热量平衡方程计算了三峡水库下泄水温的“ 滞温 ”和“ 滞冷 ”幅度, 并研究了下泄水温变化对坝下中华鲟繁殖的影响.

1 水库蓄热量变化分析

由于不同水库所接收的太阳辐射量不同, 规模、形状、调度方式等也存在一定差异, 其水体热传导、对流换热等在时间和空间上具有不同的变化特征^[4].

水库蓄热量的变化主要与蓄水体和周围介质(大气和岩土)以及水库出、入库流量之间产生的各种热量交换有关. 本文根据水气、水土和上下游 3 个界面上热通量的变化来分析水库下泄水温的变化规律.

1.1 水气界面的热交换

水气界面的热交换是水体的主要热量来源和水库水温分层的主要原因之一. 通过水气界面总的热通量^[4]为

$$\varphi_n = \beta_1 \varphi_{sn} (1 - r) + \varphi_{an} - \varphi_{br} - \varphi_e - \varphi_c \tag{1}$$

式中: β_1 ——水体吸收率; φ_{sn} , φ_{an} , φ_{br} , φ_e , φ_c ——到达水面的太阳短波辐射、大气长波辐射、水体长波的返回辐射、水面蒸发热损失和热传导能量; r ——水面反射率.

1.2 水土界面的热传递

水土界面温度的均一化过程与热量从高温点向低温点的流动相伴随, 并且任意 2 点间的热流动速率随着温差的加大而增加^[5]. 设有一垂直于水和岩土界面的 x 轴以及距原点为 x 的平面, 则在 dt 时间内, 流过此

平面上面积为 F 的平面的热通量为

$$\varphi_s = - \kappa F \frac{d\theta'}{dx} \tag{2}$$

式中: κ ——热导率; θ' ——水土界面处的温度; F ——水土界面面积. 其中热导率 κ 取决于组成介质的物质的性质.

1.3 上下游界面的热交换

水库出、入流携带的热量是蓄水体热量的最主要损失和来源, 与水库调度方式密切相关. 如果不考虑其

收稿日期: 2006-05-18
基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(30490235)
作者简介: 余文公(1968—)男, 湖南益阳人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水资源评价和生态水利研究.

他损失,上下游界面输入和输出的热量差为

$$\psi_w = c \rho (Q_i \theta_i - Q_o \theta_o)$$

(3)

式中: ρ 、 c ——水的密度和比热容; Q_o 、 Q_i ——出、入库流量; θ_o 、 θ_i ——水库出、入水体温度。

1.4 水库热量平衡方程

若以水库水气界面、上下游出入库界面和水土界面包围的空间作为控制体,则水库的热量平衡方程为

$$\varphi_n F_a + \psi_s + \psi_w = \frac{\partial Q_g}{\partial t}$$

(4)

式中: φ_n ——水体界面吸收的热通量; F_a ——水库水面面积; Q_g ——水库相对于水体最低温度的总热量; ψ_s ——水土间的热交换量。

在分析水库蓄热量变化时,可根据水库热量平衡方程对相关因素所起的作用进行综合分析。

2 三峡水库蓄水前后水温的变化

本文以三峡大坝上游 14 km 处庙河水位站观测到的水温作为三峡水库库前的水面水温,寸滩、宜昌水文站观测到的水温作为入、出库水温(其中寸滩站也作为宜昌站水温变化的参照站),月平均水温^[6]作为分析时段,利用建库前 1956~1986 年以及建库后 2004 和 2005 年水文站实测水温资料来分析三峡水库蓄水以后下泄水温的变化规律。

2.1 影响三峡库区段天然水温变化的因素

2.1.1 太阳辐射与气温

三峡库区属亚热带大陆性季风气候区,太阳辐射季节变化明显、强度变化有一定的规律(图 1)。重庆至宜昌太阳辐射强度的变化特点是,11 月~次年 2 月较低,3~5 月上升较快,6 月与 5 月差别不大,7 月又逐渐上升,8 月最大,9 月开始逐渐下降。据此可计算出水体表面吸收的总热量并判断其作用大小。

三峡库区气温变化与太阳辐射强度变化规律相似且同步性好(图 2),说明气温的高低与太阳辐射强度密切相关。

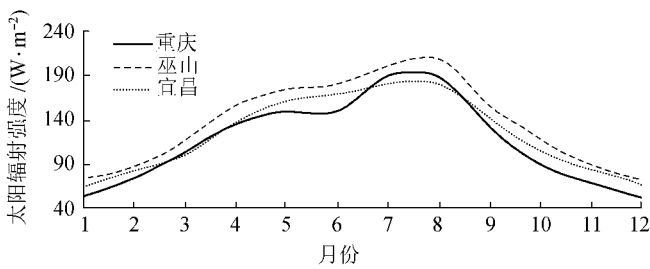


图 1 重庆至宜昌太阳辐射强度变化曲线
Fig.1 Variation of solar radiation intensity for Chongqing-Yichang section

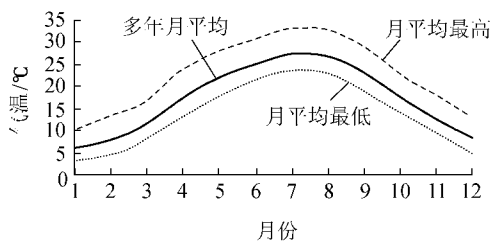


图 2 三峡气象站 1992~2001 年月平均气温变化曲线
Fig.2 Variation of monthly mean air temperature at Three Gorges weather station in 1992-2001

2.1.2 上下游站的水温比较

由寸滩入库站和宜昌出库站 1956~1986 年的月平均水温变化过程(图 3)可知,在建三峡水库之前,寸滩站和宜昌站多年平均水温分别为 18.4、18.1℃,1~5 月寸滩站的水温比宜昌站高,6~7 月两站水温持平,8~11 月寸滩站的水温比宜昌站低,12 月两站水温持平。其主要原因是:(a)长江上游金沙江下段的干热河谷夏长无冬、秋春相连,1~5 月长江上游来水的平均水温比宜昌高;(b)重庆至宜昌是著名的三峡峡谷,两边高山林立,阴天多,全年地面接收的太阳辐射量为全国最低^[7],且三峡峡谷 1~5 月太阳直射江面的时间较少;(c)武陵站虽然来水比寸滩站少得多,多年年平均径流量仅为宜昌站的 10%,但同期水温都比其他两站低。这也会对水库水温产生一定的影响。

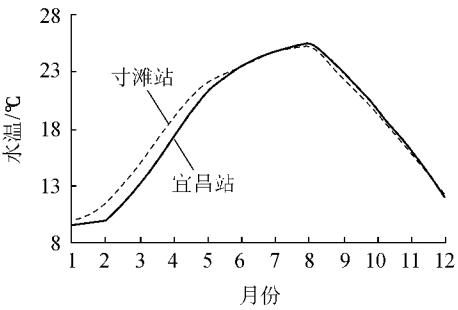


图 3 建库前寸滩站和宜昌站多年月平均水温过程线
Fig.3 Variation of monthly mean water temperature for many years of Cuntan and Yichang stations before the construction of Three-Gorges Reservoir

综上所述,三峡库区段天然水温变化主要受太阳辐射和地理位置的影响,其主要特点是,1~5月寸滩站的水温整体上比宜昌站高,8~11月寸滩站的水温整体上比宜昌站低。

2.2 三峡水库蓄水后水温的变化

2.2.1 水库水量的交换过程

三峡水库一般按汛前水位消落期、汛期汛限水位期和汛后水位期进行调度。据此可分析水库的调节作用。2004年全年来水总量为4150亿m³,年平均入库流量为13100m³/s,较多年平均入库流量14300m³/s少8.4%,全年大于45000m³/s的洪水仅出现1次,洪峰流量为60500m³/s,洪峰出现时间为9月8日800。库前水位调度过程如图4所示。

2.2.2 水库水温的分层情况

分析图5可知,庙河站与宜昌站月平均水温差值变化幅度(0.5~−0.7℃)不大,庙河站和宜昌站逐日水温的相关系数R达0.99。这说明三峡水库库前水面水温与下游宜昌站的水温有很好的相关性,也就是说三峡水库坝前段泄口水以上未出现水温分层现象。由库前庙河水位站和人渡码头大断面水温可知:在三峡水库围堰发电期,由于受太阳辐射的影响,水温弱分层现象仅出现在岸边缓流区0~10m水深的范围内,而最有可能出现分层现象的时间是4~6月,在近坝段14km左右范围内的主槽水温未出现分层现象。

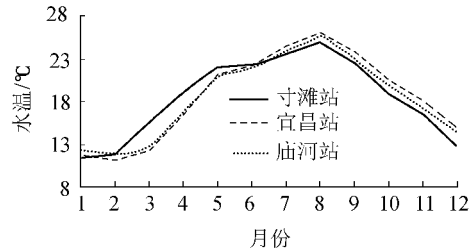


图5 2004年寸滩站、庙河站和宜昌站月平均水温过程线
Fig.5 Variation of monthly mean water temperature of Cuntan, Miaohe and Yichang stations for 2004

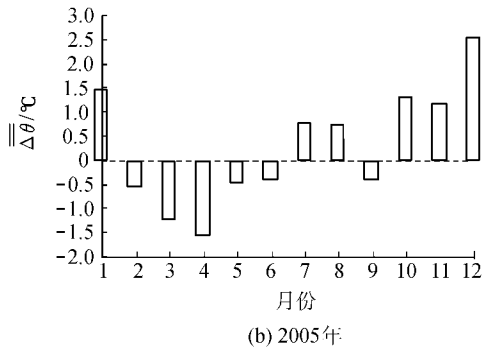
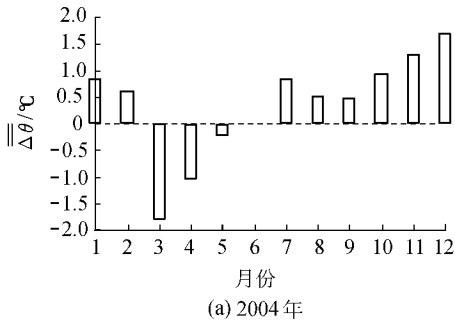


图6 Δθ变化过程

Fig.6 Variation of Δθ

b. 坝下水温变幅变窄。比如,宜昌站多年水温月平均变幅为16.1℃,2004年水温月平均变幅为14.8℃。
c. 3~5月水库下泄径流水温出现“滞冷”现象,而10月~次年1月下泄径流水温出现“滞温”现象。比如:与寸滩站和宜昌站多年月平均水温差相比,2004年1月和2月的月平均水温差大0.6~0.8℃,3~5月热量有所损失,3月平均水温差下降1.8℃,7月水温差加大;宜昌站建库前年末持平期为12月,建库后持平期延至次年1~2月。

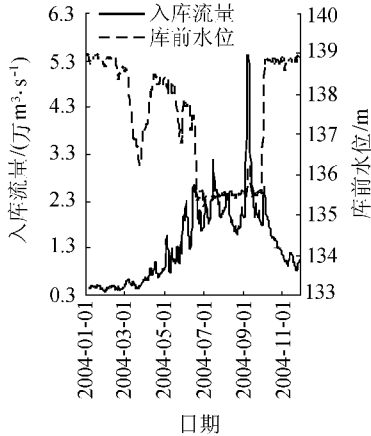


图4 三峡水库2004年入库流量及库前水位过程线

Fig.4 Hydrograph of inflow rate and water level of Three-Gorges Reservoir for 2004

d. 下泄径流水温变化影响范围不大.沙市中国科学院水产研究所的水温观测资料表明 :三峡水库下泄径流水温对长江沙市段水温未产生影响 ;下游水温变化影响范围在宜昌至枝城之间.

3 下泄水温变化对中华鲟繁殖的影响

生物的生存和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用 ,其中限制生物生存和繁殖的关键因子就是限制因子.环境温度不仅会影响鱼类的摄食、饲料转化、胚胎发育、标准代谢和内源氮的代谢过程 ,而且会影响鱼类的免疫功能、消化酶活性和性别决定^[3 8].生物在长期的演化过程中 ,各自选择了自己最适合的温度.在适温范围内 ,生物生长发育良好 ;在适温范围之外 ,生物生长发育停滞、受限甚至死亡^[9].长江的洄游性珍稀水生动物中华鲟 ,每年 7~8 月由河口溯河而上 ,生殖季节为 10 月上旬~11 月上旬.中华鲟繁殖期间对环境的要求较高 ,其中产卵场的适宜水温范围为 17~20.2℃^[10-11].宜昌站多年 10 月平均天然水温为 19.7℃ ,而 2004 年 10 月和 2005 年 10 月水温分别为 20.4℃和 21.4℃ ,水温变幅虽很小 ,但超过了中华鲟适宜繁殖水温范围.实际观测资料表明 2004 年和 2005 年 10 月中华鲟的繁殖行为受阻而推迟至 11 月.这说明 ,三峡水库下泄水温变化对中华鲟繁殖产生了一定的影响.

4 结 论

三峡水库在围堰发电期 ,库区近坝段主槽没有出现水温分层现象 ;下泄径流逐月平均水温过程发生了变化 ,但水温变化很小 ,不同时期会出现“ 滞温 ”和“ 滞冷 ”现象 ,对葛洲坝下中华鲟繁殖来说 ,10 月份下泄水温的升高使得水温由一般的生态因子转变为限制因子.

参考文献 :

[1] 黄真理.三峡工程中的几个环境水力学问题 [J].中国三峡建设 ,1999(9) 36-39.
[2] 熊伟 李克锋 邓云 等.一二耦合温度模型在三峡水库水温的应用研究 [J].四川大学学报 :自然科学版 2005 37(2) 22-27.
[3] 刘建康.高级水生生物学 [M].北京 :科学出版社 ,1995 7-13.
[4] 邓云.大型深水库的水温预测 [D].成都 :四川大学 2003.
[5] 秦允豪.热学 [M].北京 :高等教育出版社 ,1999 115-117.
[6] 杨达源.自然地理学 [M].南京 :南京大学出版社 2001 275-276.
[7] 长江水系渔业资源调查协作组.长江水系渔业资源 [M].北京 :海洋出版社 ,1990 5-9.
[8] 易伯鲁 余志堂.葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼 [M].武汉 :湖北科学技术出版社 ,1995 55-60.
[9] 鲁升高 吕军.环境生态学 [M].杭州 :浙江大学版社 2003 5-15.
[10] 四川省长江水产资源调查组.长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究 [M].成都 :四川科学技术出版社 ,1988 98-105.
[11] 危起伟.中华鲟繁殖行为与资源评估 [D].北京 :中国科学院研究生院 2003.

Water temperature variation in Three-Gorges Reservoir and its influences on procreation of Chinese sturgeons

YU Wen-gong^{1 2} , XIA Zi-qiang^{1 2} , YU Guo-rong² , CAI Yu-peng²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Water Resources and Environment , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract The variation of water temperature at related hydrological stations in Three-Gorges Reservoir region before and after the dam construction was analyzed. The degree of water temperature lag during water discharge from the Three-Gorges Reservoir was calculated by use of the thermal equilibrium equation of the reservoir , and the influences of water temperature variation in the reservoir on the procreation of Chinese sturgeons were studied. The result shows that the layered water temperature does not occur in the main channel near the dam at the power generation stage with the cofferdam , and the phenomenon of water temperature lag during water discharge from the reservoir is not serious , and that the water temperature-ecological factor of the Gezhouba Reservoir for Oct. becomes an ecological limiting factor to the procreation of Chinese sturgeons.

Key words Three-Gorges Reservoir ; water temperature ; Chinese sturgeon