

水库及下游河道的水温分析

蔡为武

(水利部松辽水利委员会, 吉林 长春 130021)

摘要:在收集国内外水库与下游河道水温时空分布资料的基础上,对水库水温分布类型判别及其影响因素,水库表层年平均及各月水温变化估算,下游河道水温秋冬升温与春夏降温及冬季最小不封冻距离估算等进行探讨。

关键词:水库;下游河道;水温;封冻距离

中图分类号:TV62

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)05-0020-04

建设水库改变了河道径流的年内分配和年际分配,同时也相应改变了水体的年内热量分配。水库夏、秋季拦蓄了温暖的洪水,使库区秋、冬季水温升高。反之,水库在春、夏季下泄存贮的冬季低温水,又使下游河道水温降低。由此引起的小气候变化、生态环境变化,对国民经济发展和环境保护等产生了一系列影响。本文就水库及其下游河道水温变化进行探讨。

1 水库水温分类判别

环境学界一般认为,水库水温分布有3种类型:稳定分层型、混合型 and 过渡型。稳定分层型的水库表层温度竖向梯度大,称为温跃层,其下温度梯度小,称为滞温层;但到冬季则上下层水温无明显差别,严寒地区甚至出现温度梯度逆转现象,上层近于0℃,底层近于4℃。混合型水库无明显分层,上下水温均匀,竖向温度梯度小,年内水温变化却较大。过渡型水库介于两者之间,春、夏、秋季有分层现象,但不稳定,遇中小洪水时水温分层即消失。

日本学者以 $\alpha = W_y/W_r$ 和 $\beta = W_f/W_r$ 作为分类指标(W_y 为年入库总水量; W_r 为总库容; W_f 为一次洪水总量),认为 $\alpha < 10$ 时为稳定分层型, $\alpha > 20$ 为混合型, $10 < \alpha < 20$ 为过渡型。对于分层型水库,认为如遇 $\beta > 1$ 的洪水则为临时混合型,如遇 $\beta < 0.5$ 的洪水则认为对水温结构无多大影响,如遇 $0.5 < \beta < 1$ 的洪水则认为过渡型。

上述日本学者提出的分类指标较适用于年内洪枯分季不明显、洪水次数频繁而每次洪量不太大的气候情况。我国大多数水库洪枯分季明显,不少地区每年只有一二次洪水,且总量占全年总水量的比例

相当大,与日本的情况有很大区别;且日本学者提出的指标可能受湖泊学的影响,不太适用于水库。因此分类判别准则尚宜另行制定。

日本学者分类的基本出发点是:水温垂直分层的原因是不同温度的水的比重差异,仅在库容小洪水大时才有临时混合作用。对进出水高程相同的湖泊,这种看法是适宜的。由于温差所产生的竖向流动力很小,而水库深层孔口泄水所造成的竖向流动力却大得多,因此,水库的分层状况与湖泊相差颇大。

水库水温分层类型应根据水库调节性能、年内泄水状况、泄水孔口相对位置三种因素来判断。泥沙有时也起一定作用。

水库按调节性能可分为径流式(包括日调节和周调节)、季调节、年调节(包括多年调节)三大类。径流水库不能调节洪水,季调节水库能调蓄洪水、年调节水库能将洪水贮存到枯水季节,多年调节水库能将丰水年水量贮存到枯水年,并且很少泄洪。

水电站和城市工业供水水库常年放水,其取水孔口高程对水温常年有影响,汛期泄洪时,泄洪孔口高程对水温有短期影响。灌溉水库通常在灌溉期放水,平时水温分层较稳定,汛期泄洪很少,其影响也较短暂。

泄水孔口(包括溢流堰、深式泄洪孔、排沙孔和灌溉发电供水取水孔)可分为表层、上中层和底层3种。溢流堰表层泄洪对深层库水扰动小,且历时短暂。灌溉和供水采用表层配水时,通常都竭力避免对分层的扰动。上中层泄水孔常年泄水会使上游大范围内水温分层有所不同。底层常年泄水孔则产生混合型水温分布。

汛期洪水通常挟带大量泥沙,浑水的比重比清水大得多,常常因此打破分层现象且长期不稳定。异重流通常可使库底水温升高,并且常常可直达坝前。此外,多沙河流水库淤积面常可与进水口齐平,使原来属于上中层取水的水库变成实际是底层取水(如官厅水库)。有些少沙河流的推移质泥沙较多而取水口以下库容很小时,往往也会因淤积至取水口而变成底层取水。

综上,笔者建议按表1判别水温分类。

表1 水库的水温分类判别

水库调节类型	孔口高程与功能							
	表孔取水	表孔泄洪	深孔泄洪	深孔季节性取水	深孔常年取水	底孔季节性取水	底孔常年取水	
年调节水库	稳定分层型 ^①	短期过渡型	过渡型	过渡型	稳定分层型	过渡型	混合型 ^②	
季调节水库	过渡型	过渡型	过渡型	过渡型	过渡型	过渡型	混合型 ^③	
径流水库	过渡型	混合型	混合型	混合型	混合型	混合型	混合型	

注:①有异重流时为过渡型,汛期分层不稳定;②水工建筑物采取此种布置极少,但在泥沙淤积至取水口后实际上已变成了底孔取水。

稳定分层型水库的分层状况与前述表层为温跃层的情况有所不同。例如,原苏联克拉斯诺雅尔斯克水电站为少沙河流上的高坝中层取水多年调节水库。夏季水深50m以下为死水区,水温5℃,50m以上水温6~21℃,等温线水平,但无明显温跃层,春季暖水向下游缓慢推进,库尾水温9℃,坝前却只有4℃,库区等温线倾斜。秋季冷水向下游推进,库尾水温2℃,坝前水深0~50m范围为9℃,50m以下递减至5℃,库区等温线倾斜,但与春季有明显区别。由于深层取水,水深50m以下水温变化明显地少于50m以上部位,属于稳定分层型。

原苏联齐姆良水电站为底部取水季调节水库。在1965年5月末,春汛暖水向下游推进,库尾水温19.5℃,坝前却只13.5~17℃,坝前深潭底部死水只12℃。库区等温线倾斜,竖向温度梯度不大且缺少规律。夏季全库都转为22.5~25℃暖水,等温线转为垂直,全年并不分层,属于混合型。

丹江口水库为季调节水库,发电取水口与泄洪深孔都位于坝高的上中层。2月全库上下水温一致而不分层。5月上层为22~25℃的暖水,其下为厚约25m的温跃层,显然是受发电取水影响,但库底仍为10℃冷水。7~8月上游有较热的来水和深孔泄洪,出现两个温跃层,库底水温上升至13℃左右。11月全库又恢复上下等温不分层状态,坝前处上下均为16.5℃,上游40km处则上下均为14℃左右,属于过渡型。

2 水库表层水温估算

水利部东北勘测设计院在编制《大中型水利水

电工程水文规范》的附件时,收集了不少国内外库水温资料。其中表面水温经笔者稍加修整,绘成图1和图2。需要说明的是该资料收集时,黄坛口水库上游尚无湖南镇多年调节水库,而目前湖南镇水库已投入运行,黄坛口水库水温将有所变化。

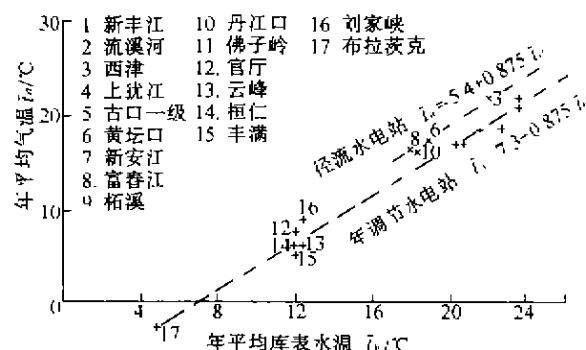


图1 年平均库表水温与气温的关系

图1为17个水电站的坝前库表年平均水温 t_w 与坝址年平均气温 t_a 的关系。径流电站(包括日及周调节)集中于 $t_w = 5.4 + 0.875 t_a$ 直线上。而季、年及多年调节水电站点据多集中于 $t_w = 7.3 + 0.875 t_a$ 直线上,连远在西伯利亚,年平均气温为负温的布拉茨克也位于此线上,关系良好。

但图1中的丹江口(季调节)、刘家峡(年调节)、官厅(多年调节)水库的三点都位于径流电站的延长线上。原因可能是:丹江口水库是由于异重流,导致表层水温降低;官厅和刘家峡水库属于多沙河流,夏季浑水多集中于底部,且已淤积至进水口,实际上是底部取水,因而库表水温也较低,与其余诸库泥沙淤积少者有所不同。因此,引用图1时,须注意泄洪孔口高程和泥沙影响。此外,图1只适用于上游产水区气候与坝址相近的一般情况。发源于高山积雪或上下游纬度相差很大的河流上,其水库表面温度宜稍加调整。

图2为黄坛口(日调节)、丹江口(季调节)、官厅、流溪河、丰满(均为多年调节)等水电站的逐月气温和库表水温关系。无调节能力的黄坛口水库,各月点据均位于一条直线上。有调节能力的诸库,夏、秋与初冬季水面温度点据都位于该直线上方,春、夏季水温点据则位于该直线下方,冬季水温点据介于两者之间,形成一个绳套形,且三部分点据又大致位于三条直线上。无深孔泄洪也无异重流影响且位于严寒地区的丰满水库,具绳套范围最大。有深孔泄洪影响属于过渡型的丹江口水库,和实际上变成底部取水属于混合型的官厅水库,两库的绳套范围比较小。广东流溪河水库为多年调节水库,由于气温和水温冬、夏季都相差不大,绳套就较窄,且只有2支,冬季影响不明显。图2中虚线为黄坛口的参考线,丰满等

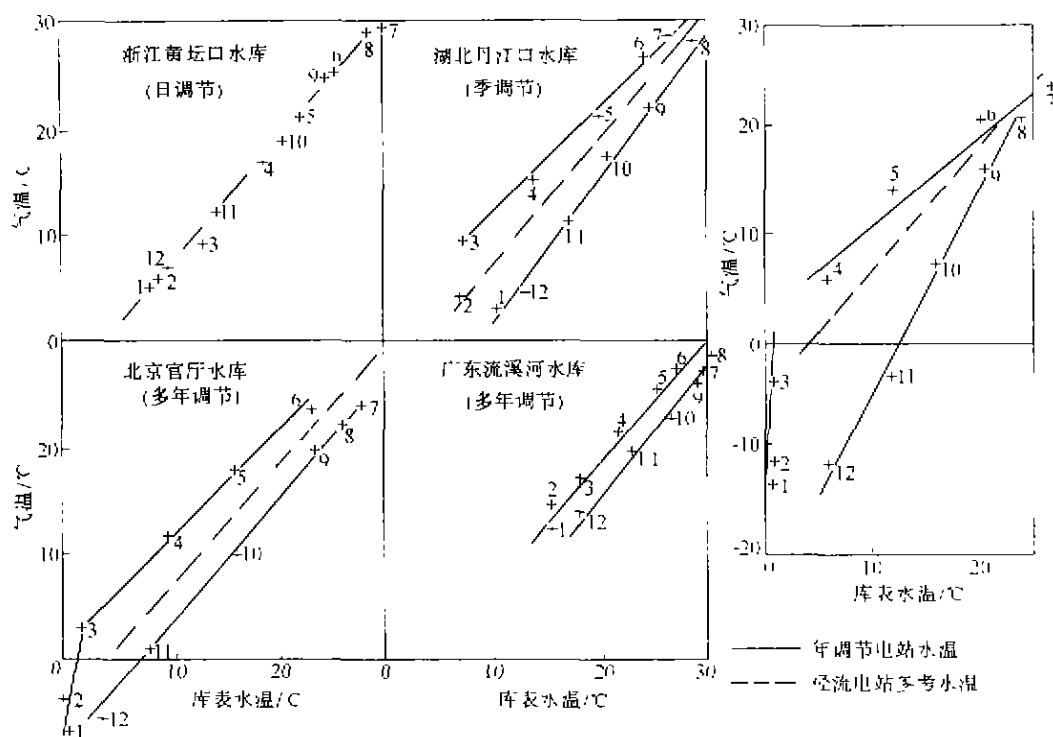


图2 典型水库逐日气温与库表水温的关系

诸库均在绳套中间,而流溪河的该参考线却与其上半年一支相重合,由此可推测:比黄坛口更热地区,径流电站参考线应向右移,即表面水温可能更高些;比黄坛口更冷地区,则应向左移,或表面水温可能更低些;冬季水库表面封冻的地区,冬季冰下为 0°C ,气温却是负温,相应冬季的关系线应为近竖直的直线,因此全年关系为折线形。

需要说明几点:一是上述库表水温都是白天测值而不是日平均测值,实际平均水温可能略低;二是上述库表水温都是坝前值,上游库区表面水温还会有些出入,视季节而不同,但年平均值出入不大;三是上游库内港湾浅水区,流速很慢,辐射升温较高,其库表水温将高于图1和图2.

3 水库下游河道水温

据对丹江口、刘家峡、新安江、丰满 4 个水电站建库前后对下游河道水温的影响分析,径流式水电站对下游河道水温无影响,但季、年或多年调节水库则对下游河道水温有很大影响,这些影响主要表现在:

a. 建坝后多年平均水温都有不同程度变化,调节程度越大,变化也越大。四库中调节程度最大的新安江水库,坝下罗桐埠年平均水温由建库前 19℃降为建库后 13.5℃。严寒地区的丰满水库,由上游红石坝址水温 8℃,升至坝前断面平均 8.9℃或坝下平均 8.6℃。调节作用较小、位于寒冷地区的刘家峡水库,建库后河道水温由 9.7℃升至 10.9℃。调节作用

最小,位于温暖地区的丹江口水库,坝下黄家港平均水温仅由 16.4℃降为 15.7℃.

b. 建库后坝下水温趋于均匀。新安江水库水温变幅由 23.1℃ 降至建库后 7.3℃, 丰满水库变幅由 20.1℃ 降为 15.9℃, 刘家峡水库由 18.9℃ 降至 16.8℃, 丹江口水库由 23℃ 降至 18.4℃。

c. 春、夏季下游河道水温降低,如新安江下游4~6月的月平均水温下降6.6~11.7℃,丰满水库坝下5~7月水温下降5.2~8.1℃。相反,库表水温则无论冬、夏均有所提高,如丰满水库坝上库表水温2月份升高1.4℃,8月份升高7.2℃,年平均升高4.0℃。丹江口水库2月份升高1.6℃,8月份升高1.3℃,年平均升高1.8℃。

d. 下游水温影响范围很远。新安江水库, 直到进入杭州湾, 春、夏季降温仍可达 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。尽管新安江以下有流域面积大 $2 \sim 3$ 倍的支流注入, 仍难抵销其影响。丹江口水库冬季升温现象直到下游 465 km 的仙桃仍未消失。刘家峡水库的春、夏季降温, 秋、冬季升温现象, 直到下游 268.5 km 的安宁渡仍未消失。

需要说明的是:刘家峡建库后下游年平均水温上升 1.2°C ,丰满建库后年平均水温由红石 8.0°C 上升至坝前断面平均 8.9°C 或坝下 8.6°C 。这种升温并非由于蓄水后太阳辐射而升温,而是由于拦蓄汛期大量温暖的洪水之故。如果把洪水最大的影响计入,按月按逐月流量乘水温加权平均,则红石的加权平均水温是 13.2°C ,而不是不按逐月流量加权的 8.0°C ,即天然

表2 不封冻距离影响要素与成果对比

电站名称	年份	封冻时间	水温 $t/^\circ\text{C}$	最小旬平均单宽流量 $q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	相应旬平均气温 $/^\circ\text{C}$	L_f 计算值/km	L_f 实测值/km	误差/km
桓仁	1976	1月上中旬	3.5	0.321	-16.9	30.16	24.0	6.16
	1978	1月上中旬	2.5	0.0531	-12.8	8.76	12.5	-3.74
回龙山	1976	1月上下旬	1.6	0.449	-16.9	14.38	12.5	1.88
	1978	1月上中旬	2.0	0.12	-12.8	9.95	9.0	0.95
镜泊湖	1978	1月上旬	2.2	0.317	-16.7	17.66	21.6	-3.94
云峰	1978	1月上中旬	2.7	0.257	-14.0	19.34	17.3	2.04
	1979	1月中旬	4.4	0.963	-14.5	103.35	105	-1.65
丰满	1959	1月上旬	2.9	0.362	-20.2	26.76	30.0	-3.24
	1960	1月下旬	3.0	1.03	-18.4	67.39	66.0	1.39
	1961	1月中旬	2.9	0.862	-16.9	54.89	55.0	-0.11

来水的总热量因库面蒸发和长波辐射散热,使年加权平均水温由 13.2℃降至年平均 8.6~8.9℃.新安江建坝后坝下年平均水温下降 5.5℃,丹江口建库后下游黄家港年平均水温下降 0.7℃,坝前断面平均下降 1.9℃.这些都表明,建库后总体上热量是有损失的,调节作用越大,热量损失也越大.

4 水库与下游河道冰情

a. 建库后水库与下游河道冰情有很大变化.具有调节能力的水库,因贮有夏、秋季的温暖洪水,库面封冻比天然情况减轻.丰满建库前,河道每年 11 月上中旬流冰,中下旬封冻,4 月上中旬解冻流冰,并且常有冰块壅塞现象.冰封期长约 150 d.建库后不再流冰和壅塞,库面封冻期推迟至 12 月下旬至 1 月下旬,解冻期提前至 3 月下旬至 4 月上旬,冰封期缩短为 60~110 d.水库冰情视拦蓄夏季洪水多少而定,而天然情况冬季冰情与夏季洪水关系不大.

径流水电站则库面封冻期反而延长.辽宁回龙山水电站因上游桓仁水库冬季泄水温度较高,建坝前回龙山坝址并不封冻,冬、春季有轻微流冰现象.回龙山建坝后库水位稳定不变,流速降低,不再流冰,库面封冻厚达 60 cm.辽宁太平湾水电站也是如此.

b. 建库后下游河道不再流冰,下游远处冰情也有所减轻.水电站下游总有一段河道不封冻,对下游两岸来往有影响,不封冻使水中含氧量增加,对水质和鱼类过冬有很大好处.

陈储军对丰满、镜泊湖、桓仁、云峰、回龙山等 5 个东北地区的水电站下游不封冻距离进行调查,并提出计算不封冻距离的两个经验公式^①,但公式形式复杂,标准差分别为 5.4 和 4.8 km,最大误差超过 10 km,物理概念也不很直观.

笔者利用上述调查资料,重新求得 not 封冻距离

的公式为

$$L_f = 29.61q(t-1) + 6.4 \quad (1)$$

式中: t 为断面平均水温,℃; q 为单宽流量, m^3/s .

式(1)的相关系数为 0.995,标准差 3.03 km,计算方便可靠,物理概念也比原来公式清楚. $q(t-1)$ 为单宽热量,即不封冻距离与单宽热量成直线关系.应该说明的是,式(1)只适用于下游水位多变化的峰荷水电站,下游水位稳定的基荷水电站,不封冻距离可能较短.计算成果对比见表 2.

(收稿日期:2000-04-18 编辑:马敏峰)

欢迎订阅 2002 年《水土保持科技情报》

《水土保持科技情报》是水利部主管的、惟一以译文为主的全国性水土保持科技期刊,主要传递国内外水土保持先进研究成果、治理经验、测试技术、执法监督、要闻简讯、产业开发等科技动态,以及与水土保持有关的农业、林业、水利、土壤、环境保护等综合内容.融方针政策、科技新闻、实用技术、致富开发为一体,为科研单位、大中专院校、水利水保管理机构、基层水利水保站、情报部门、图书馆等单位提供系统的国内外水土保持科技动态、信息反馈,一刊在手,博览全球.

本刊自 2001 年已改为双月刊,标准 16 开本,48 页,70 g 双胶纸印刷.每册定价 5.00 元,全年 30.00 元(包括寄费).国内统一刊号:CN21-1159/S,邮发代号 8-111.全国各地邮局(所)均可订阅.也可直接向本编辑部汇款邮购(请在汇款单上工整注明收件人姓名、地址、邮政编码、份数).

编辑部地址:辽宁省朝阳市龙山街四段 235 号

邮编:122000

电话:(0421)2911717-8318,8319,8321

传真:(0421)2917149

E-mail:SBKJQB@mail.cypit.ln.cn

①陈储军 水电站下游最小不封冻距离的估算.水文预报学术讲座会议文集,东北勘测设计院,1981.