

河流冰期储冰量估算

崔泰昌¹, 王耀东²

(1. 山西省水文水资源勘测局, 山西 太原 030001; 2. 太原市优威建筑安装公司, 山西 太原 030002)

摘要:利用河流冰期由于结冰减少的水量大致等于春季融冰增加的水量这一水量平衡原理, 计算一般河流冰期结冰存储量、受结冰影响减少径流天数和其间平均减少的流量, 以汾河上游静乐水文站 1975~1976 年冰期河槽结冰存储量计算为例, 详细叙述了水量平衡关系的建立及其求解方法, 实例计算表明: 该方法概念明确、简便可行, 适用于一般河流、采用天然河道输水的供引水工程冰期储冰总量的估算, 以及受结冰影响减少径流天数和其间平均减少流量的估算。

关键词:冰期; 河流; 储冰量; 径流量

中图分类号:TV121+.6

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)05-0033-03

在我国北方地区, 冬季河流会出现结冰现象, 部分水量以冰凌形式储存于河道, 待到次年春季, 河冰消融, 又形成凌汛, 这一对河流流量过程再分配的自然现象, 对河流供水、引水会造成一定影响, 因此, 探讨冰期河槽结冰存储量是十分必要的。

1 估算原理与方法

在河流中, 冰的生消变化过程, 是大气与水流之间热交换作用的结果, 其规律取决于流域气候、河流水量及河道特征等条件, 亦即随流域气候的差异、河道形态和水量大小的不同, 会使不同的河流冰期长短、冰情轻重千差万别, 但就冰的生消过程而言, 大体上都可以分为结冰、封冻、解冻三个时期。

秋末冬初, 冷空气不断南侵, 太阳辐射热量逐渐减少, 气温渐趋下降, 当气温下降到低于水温时, 水体热量经水面不断向空中散失, 而将有效混合层中的热量全部耗尽, 形成过冷却水, 开始结冰。随着气温继续下降, 结冰量逐渐增加, 岸冰与冰盖及部分水内冰储存于河槽之中。次年春季随着气温升高, 太阳辐射热增强, 冰凌逐渐融化, 直至全河解冻, 所有结冰水量全部排泄。就某一断面而言, 冰期由于结冰减少的水量大致等于春季融冰增加的水量, 其水量平衡方程式为

$$\Delta W_{\text{结冰}} - \Delta W_{\text{损耗}} = \Delta W_{\text{融冰}} \quad (1)$$

设 $W_{\text{储冰}} = \Delta W_{\text{结冰}} - \Delta W_{\text{损耗}} \quad (2)$

得 $W_{\text{储冰}} = \Delta W_{\text{融冰}} \quad (3)$

此外, $\Delta W_{\text{损耗}}$ 一般相对很小, 可以忽略不计, 则有

$$\Delta W_{\text{结冰}} \approx W_{\text{储冰}} \quad (4)$$

式中: $\Delta W_{\text{结冰}}$ 为冰期由于结冰而减少的水量; $\Delta W_{\text{损耗}}$ 为结冰引起的水量损耗增量; $\Delta W_{\text{融冰}}$ 为春季融冰增加的水量; $W_{\text{储冰}}$ 为冰期河槽结冰存储量。

由式(4)即可认为河流冰期由于结冰减少的水量大致等于冰期河槽结冰存储量。

据此原理, 绘制水文站历年结冰前至凌汛后的逐日平均流量过程线图, 根据结冰前和凌汛后的退水趋势, 参照水文气象要素变化过程, 在绘制的逐日平均流量过程线图上, 估绘设想的不受结冰影响的退水曲线(假定为直线, 并称之为亏水曲线)。亏水曲线与其下方的流量过程线包围的面积为受河槽结冰影响而减少的水量; 亏水曲线与其上方的流量过程线包围的面积为凌汛期融冰增加的水量(其间降水量小时, 可忽略不计; 反之, 要予以扣除), 两种量大致相等, 由此即可估算出各站历年冰期河槽结冰存储量。显然, 某一区段河槽结冰存储量等于下断面以上河流的结冰存储量减去上断面以上河流的结冰存储量。

2 应用实例

以黄河流域汾河上游山西省静乐水文站 1975~1976 年冰期河槽结冰存储量计算为例, 说明前述估算方法。

静乐站流域面积 2 799 km², 控制河长 82.6 km。河道纵坡 0.632%, 主槽河宽约 60~200 m, 冰面宽约 50~150 m, 河床质为卵石、粗砂组成。该站多年平均气温为 6.7℃, 月平均最低气温 -14.5℃, 极端最低

气温 -29.2°C , 冬季气候较寒冷。该站一般在 11 月上、中旬开始结冰, 3 月中、下旬终冰, 多年平均结冰天数为 131 d; 在 12 月中、下旬封冻, 2 月中、下旬开始解冻, 多年平均封冻天数为 42 d。

静乐站 1975 ~ 1976 年冰期河槽结冰储存量的具体计算方法是: 在同一直角坐标系中, 以时间横坐标, 绘制该站 1975 至 1976 年结冰前至凌汛后的逐日平均流量过程线图和逐日降水量过程柱状图, 该冰期 8 时气温过程线、水温过程线以及冰情变化过程图(结冰起止时间 1975 年 11 月 15 日至 1976 年 4 月 6 日, 结冰天数 144 d; 封冻起止时间 1975 年 12 月 15 日至 1976 年 2 月 12 日, 封冻天数 60 d)。根据结冰前和凌汛后的退水趋势, 参照上述其它水文气象要素变化过程, 绘制枯季亏水曲线, 见图 1。

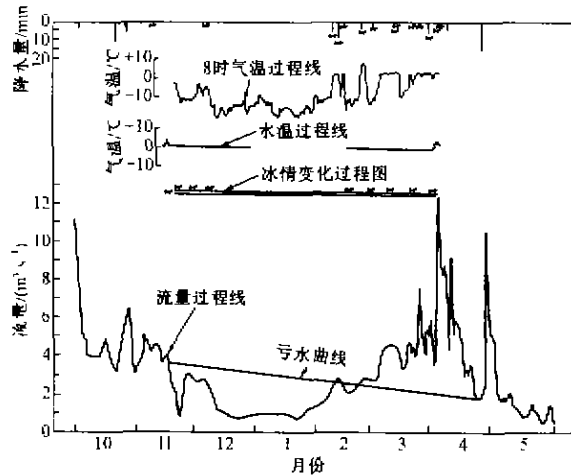


图 1 静乐水文站 1975 ~ 1976 年冰期亏水流量曲线

列表计算亏水曲线、流量过程线时段平均流量, 两者对应之差为正值时, 即为该时段因结冰影响而减少的时段平均流量, 其值与时段历时之积等于时

段因结冰而减少的水量, 亦即时段河槽结冰储存量, 各时段之累积值就是整个冰期河流结冰储存量; 反之, 两者对应之差为负值时, 则为该时段因融冰而增加的时段平均流量, 其值与时段历时之积等于时段融冰水量, 各时段之累积值就是整个凌汛期的融冰水量, 详细计算成果见表 1。

计算表明, 静乐站 1975 ~ 1976 年冰期因结冰影响而减少径流的天数为 95 d, 河道结冰储存量 $1190.9 \times 10^4 \text{ m}^3$, 平均每天减少流量 $1.45 \text{ m}^3/\text{s}$; 而静乐站 1975 年 11 月至 1976 年 4 月平均流量 $3.07 \text{ m}^3/\text{s}$; 凌汛期融冰水量为 $1279.46 \times 10^4 \text{ m}^3$, 与冰期储冰量 $1190.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 之差为 $88.56 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是冰期储冰量的 7.4%。

经同样分析计算, 在 1951 至 1997 年间, 汾河静乐以上(包括支流)冰期河道结冰储存量多年平均为 $1218 \times 10^4 \text{ m}^3$, 因结冰影响减少径流的天数多年平均为 102 d, 平均每天减少流量多年平均约为 $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$, 该站每年 11 月至来年 4 月多年平均流量 $3.87 \text{ m}^3/\text{s}$; 结冰量最大年份发生在 1978 ~ 1979 年, 结冰量 $2566 \times 10^4 \text{ m}^3$, 历时 104 d, 平均每天由于结冰减小流量 $2.86 \text{ m}^3/\text{s}$, 该站 1978 年 11 月至 1979 年 4 月平均流量为 $7.08 \text{ m}^3/\text{s}$; 结冰量最小年份发生在 1994 ~ 1995 年, 结冰量为 $276.7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 历时 82 d, 平均每天减小流量 $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$, 该站 1994 年 11 月至 1995 年 4 月平均流量 $2.41 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3 结 论

a. 汾河静乐以上(包括支流)历年(1951 ~ 1997 年)冰期河道结冰储存量计算结果表明, 河流冰期储冰量呈现随河流水量增大而增加的趋势, 反映了在

表 1 静乐站 1975 ~ 1976 年冰期河槽结冰储存量

时 段	流量过程线时段流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		亏水曲线时段日平均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	结冰减少的时段日平均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	河槽结冰时段储存量/(10^4 m^3)	融冰时段增加水量/(10^4 m^3)
	总数	日平均				
1975-11-18至30	31.83	2.45	3.58	1.13	126.90	
1975-12-01至10	25.10	2.51	3.48	0.97	83.81	
1975-12-11至20	11.63	1.16	3.37	2.21	190.90	
1975-12-21至31	11.63	1.06	3.25	2.19	208.10	
1976-01-01至10	11.99	1.20	3.14	1.94	167.60	
1976-01-11至20	10.96	1.10	3.02	1.92	165.90	
1976-01-21至31	13.80	1.25	2.92	1.67	158.70	
1976-02-01至10	18.90	1.89	2.82	0.93	80.35	
1976-02-11至20	26.13	2.61	2.71	0.10	8.64	
1976-02-21至29	24.96	2.77	2.60	-0.17		13.22
1976-03-01至10	35.31	3.53	2.50	-1.03		88.99
1976-03-11至20	43.10	4.31	2.39	-1.92		165.90
1976-03-21至31	55.28	5.03	2.28	-2.75		261.40
1976-04-01至10	74.91	7.49	2.16	-5.33		460.50
1976-04-11至20	50.74	5.07	2.04	-3.03		261.80
1976-04-21至25	13.18	2.64	2.00	-0.64		27.65
总 计					1190.9	1279.46

特定的河道上,相同的气候条件下,随河流水量增大,冰面扩宽,河流储冰量增加的客观事实。

点绘静乐站历年冰期(每年11月至来年4月)来水量与结冰量和来水量的比值相关图(略),可以看出关系点据比较散乱,这是因为河冰的消融不仅取决于河流水量,也取决于气象条件、河道特征。另一方面也可以看出,结冰量与来水量的比值不仅在一定范围变化(0.07~0.37之间),而且有随河道流量增大而减小的趋势。当静乐站11月至来年4月平均流量大于 $5.0\text{ m}^3/\text{s}$ 时,结冰量与来水量的比值均小于0.23,反映了冰盖增至一定厚度,达到热量平衡时即停止增厚和部分河段受其断面形状控制,冰面宽不会随流量的增大而不断地扩大的自然现象。由此说明所采用的计算河流储冰量的方法是合理、可行的。

b. 由于冰情的复杂性、亏水曲线绘制的任意性以及亏水曲线的直线假定,必然会影响到计算成果精度,甚至带来较大误差。静乐站1975~1976年出现冰期因结冰影响减少的径流量反而比凌汛期融冰增加的径流量小的矛盾现象。据分析,虽然与未扣除

凌汛期降水量(该凌汛期降水量不大,前面计算时忽略不计)影响有直接关系,但主要还是计算方法本身粗糙的原因所致。另一方面,如前所述,两者之差仅占该年冰期储冰量的7.4%,相对误差较小,成果还是可以采用的。

对于冬季气候特别寒冷,降水又相对丰沛的地区(如东北地区),由于整个冬季全流域冰雪覆盖严重,就某一断面而言,春汛洪峰增加的水量有很大一部分来源于流域面上冰雪及冻土消融,这部分水量不能忽略。这种情况下,冰期河槽(包括干、支流)结冰存储量不再等于春汛洪峰增加的水量。此时,如果再利用前述绘制亏水曲线的方法计算河槽结冰存储量,就必须从春汛洪峰中割去流域面上冰雪及冻土消融的水量,而这部分水量如何准确计算,需进一步探讨。

c. 本计算方法比较粗略,适用于一般河流(区别于流域冰雪覆盖严重的河流),采用天然河道输水的供引水工程冰期储冰总量的估算,以及受结冰影响减少径流天数和其间平均减少流量的估算。因此,该法需进一步研究完善,提高精度,扩大使用范围。

(收稿日期:2000-04-08 编辑:张志琴)

·简讯·

雨水利用在日本

日本是个水资源比较缺乏的国家,目前全国水资源利用率已达到20%左右,新辟水源所需的投入越来越大。为此,日本政府除了采取开源措施和提高水利用率,鼓励全社会利用循环水外,还十分重视对雨水的利用。

早在1980年,日本建设省就开始推行雨水贮留渗透计划。采用雨水贮留渗透计划,可以有效地补充涵养地下水,复活泉水,恢复河川基流,改善生态环境条件。

利用雨水贮留渗透的场所一般为公园、绿地、庭院、停车场、建筑物、运动场和道路等。采用的渗透设施有渗透池、渗透管、渗透井、透水性铺盖、浸透侧沟、调节池和绿地等。

日本实施的雨水贮留渗透计划得到民间企业的支持。1988年成立的“日本雨水贮留渗透技术协会”,就吸引了清水、住友、西武、大成、东急、日产、三井和三菱等著名建筑株式会社在内的84家公司参加。

经过有关部门对东京附近20个主要降雨区22万 m^2 长达5年的观测和调查,平均降雨量69.3mm的地区,平均流出量由原来的37.59mm降低到5.48mm,流出率由51.8%降低到5.4%。

在东京都,已经有8.3%的人行道采用了透水性

柏油路面。雨水通过透水性柏油路面渗入到地下,经过收集系统处理后加以利用。

此外,日本还在一些城市的建筑物上设计了收集雨水的设施,将收集到的雨水用于消防、植树、洗车、厕所和冷却水补给等,也可以经处理后供居民饮用。据统计,日本目前已拥有利用雨水设施的建筑物100多座,屋顶集水面积20多万 m^2 。东京江东区文化中心修建的收集雨水设施集雨面积5600 m^2 ,雨水池容积为400 m^3 ,每年作饮用水和杂用的雨水占其年用水量的45%。东京的一座相扑馆,每天用水量可达300 m^3 ,其中一半用于厕所,这些水的大部分是利用大屋顶收集到的雨水。

在建筑物上收集雨水,多采用沉淀和过滤的方法,维修管理很方便,一般只需清扫沉淀池和过滤池。为解决降尘和酸雨问题,通常采用分离设置微滤网的方法,以清除雨水贮存池内的泥沙。部分集雨设施还备有注氯装置,对雨水贮存池进行定期消毒。

精于经营的日本商人发现,水在阿拉伯国家是贵重的商品,便着手向阿拉伯国家出口雨水,从而标志着雨水利用已经在日本显示出独特的价值。第一个向日本购买雨水的国家是阿拉伯联合酋长国,该国每年的雨水进口量大约为2000万 m^3 ,主要用于农作物灌溉。对于阿拉伯国家来说,进口雨水比淡化海水所花费用要低得多。此外,日本还在积极扩大对其他阿拉伯国家的雨水出口。

(杨文磊供稿)