

两千年来太原盆地古湖泊的水量平衡研究

孟万忠 王尚义

摘要: 根据 1919-1970 年汾河流域近 50 年器测的水文、气象资料, 应用水量平衡的方法, 从湖面降水量, 入湖径流量和湖面蒸发量等方面, 对两千年来不同的历史时段, 太原盆地湖泊的水量平衡进行了估算。研究表明, 在不考虑湖泊出湖水量的情况下, 所有时段太原盆地湖泊水量都处于盈余的状态, 所以能够维持存在。如果不考虑入湖径流量, 只有先秦时期, 水量处于盈余的状态。因此入湖径流量是太原盆地湖泊存亡的决定性因素, 湖泊的消亡与汾河改道有直接的关联。由于湖泊来水量逐年减少, 导致湖泊不断萎缩, 而流出湖盆的径流量却逐年递增。

关键词: 两千年来; 太原盆地; 古湖泊; 水量平衡

1 引言

湖泊是流域系统中主要的组成部分, 具有极其重要的生态功能。它不仅可以调节河流的水量, 调蓄洪水, 避免洪涝灾害, 并能补充地下水供给。研究表明洪水来袭时, 湿地可以吸收洪峰流量 80% 的水^[1], (说明: 当然这个研究成果不能代表地球上所有湿地的情况, 湿地确实可以吸收一部分洪水量, 从而削减一部分洪峰流量, 但削减和吸收洪峰流量的比例取决于诸多因素, 如: 湿地的面积大小、洪水量的多寡、洪水过程线的形状等, 因此不能将一个案例作为普遍的原则) 能够保护河流免受污染和洪水袭击。而且可以接受河水中的泥沙等沉积物及空气中的尘埃物质, 净化水质, 清洁空气, 起着调节气候的作用, 能够孕育许多物种, 维持生物多样性等。但湖泊并不是固定不变的地理事物, 它具有发生和消亡的过程。在地质史上, 湖泊的演替最后都是被充填消灭的, 属于自然消亡。而水是湖泊得以存续的基本物质, 不仅是维持流域生态平衡、保证生态系统良性循环的决定性因素, 而且也是协调上、中、下游之间水量分配的基础。研究流域内湖泊的水量平衡与变化, 对于理解流域生态水文过程, 对提高河流生命权的认识水平, 制定科学的解决流域水问题的策略, 具有指导性的意义。

2 研究区概况

太原盆地(图 1) 位于山西中部, 汾河中游, 又名晋中盆地。南北长约 160km, 东西宽约 30-40km, 整体略呈东北—西南向的长方形, 面积 5000 余 km²。盆地北有系舟山, 东有太行山脉, 东南为太岳山, 西及西南为吕梁山脉。太原盆地河流众多, 汾河干流及其第一、第二大支流文峪河与潇河等汇入。太原盆地属暖温带重半干旱季风气候区。年平均气温 9.5-10.5℃, 气温 ≥ 10℃ 积温 3400-3600℃, 年平均降水量 450-490mm, 主要集中在 7-9 月。

太原盆地是典型的新生代断陷盆地，属新构造运动活跃的地区，约至上新世早期，开始断裂下陷。据钻孔资料表明：盆地中新生界总厚度在 400-3800m 之间，为一套以河、湖相沉积为主的地层，其中第四系厚度为 160-460m，最厚的地方可达 700m^[2]。由此可知，第四纪以来，太原盆地基本上为湖泊所覆盖。史前传说中有晋阳湖，历史文献中记载的昭余祁、九泽、邬泽、祁藪、文湖等是汾河中游著名的古湖泊，湖面广阔，多蒲鱼之利，到了元明以后，这些湖泊相继消亡。根据王尚义教授的研究^[3]，得出太原盆地古湖泊的范围与消亡时间顺序：先秦时期昭余祁总面积约 1800km²，占太原盆地总面积的 36%，北魏时期的邬泽和祁藪的面积约 700km²；隋唐时期邬泽和祁藪的面积约 500km²；唐宋的邬泽面积约 300km²；元代昭余池面积约 50km²。（说明：根据王尚义教授的研究成果，元代的昭余池实际上仍是邬泽的残存部分，也就是所谓的邬城泊洼。而《万历太原府志》也记载有昭余池，“在祁县东南七里祁城村。元至元十一年（1274）浚得细水，为昭余池，岁溉民田，下树木，旁建成汤庙。后池水复涸”。这两个昭余池地理位置完全不同，所以不可以将二者混淆等同。）古昭余祁消亡时序是由北向南，北部早南部晚。古文湖位于今汾阳东部的低洼地带，地势西高东低，北魏之前面积至少在 130km² 以上^[4]。根据王尚义教授的研究成果，绘制完成太原盆地湖泊变迁示意图（图 2），本图依据王尚义教授《太原盆地昭余古湖的变迁及湮塞》中的图为蓝本，改绘而成。然而今天的山西却成为一个水资源极端匮乏的地区，多年人均水资源不足 500m³，低于国际公认的 1700m³（缺水警戒线），属于严重缺水的地区。这些情况的发生与太原盆地湖泊的消亡有着必然的联系，历史时期星罗棋布的湖泊为汾河流域的可持续发展提供了良好的生态环境，因此尽管太原盆地的湖泊现在已消亡殆尽，但鉴于湖泊对地处半干旱地区所具有的重大生态价值，所以我们有必要对这一区域湖泊的水量平衡进行深入的研究。

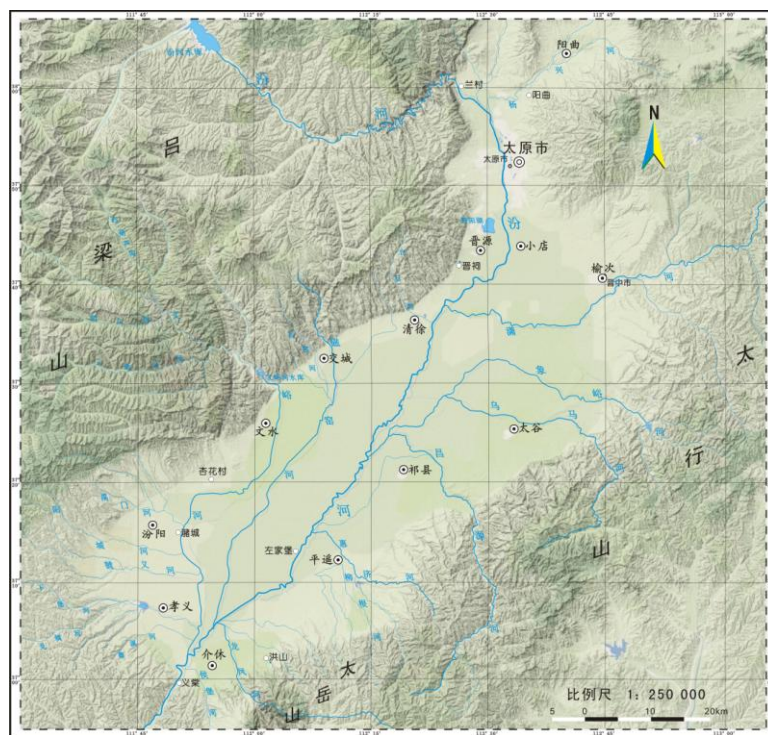


图 1 太原盆地三维地形图

Fig.1 Three-dimensional topographic map of Taiyuan Basin

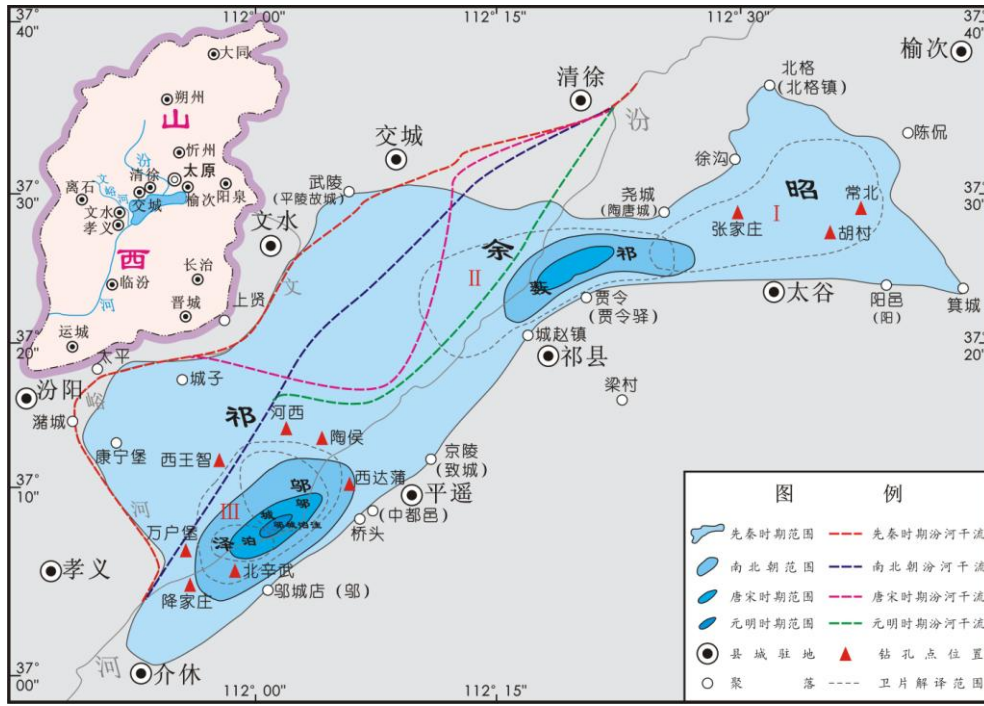


图 2 太原盆地湖泊变迁示意图

Fig.2 Schematic diagram of Taiyuan basin lakes changes

3 资料来源和方法

3.1 资料来源

对于目前流域内水量平衡的问题,通过现代器测资料已有大量的研究成果。但对于历史时期的研究,由于缺乏数据,进行定量研究的难度很大。两千年来黑河流域水资源平衡估算研究(肖浪生等,2008),对地处干旱地区的黑河流域,千年-百年尺度上的流域水资源平衡进行了估算,并分析了历史时期各阶段下游湖泊水环境和天然绿洲演变过程和驱动机制,为历史时期水量平衡的定量研究提供了可借鉴的方法^[5]。

研究河流流域的水文资料主要来源于实测记录、历史文献记载和水文考古三个方面。在各种史料中有许多有关河流水情的记载。汾河流域有1919-1970年器测的水文、气象资料^[6],可作为基础数据。汾河中上游在20世纪70年代起,开始大兴水利水土保持工程,也就是说人类活动对汾河流域的影响程度加大,而1970年以前,汾河流域自然生态环境受人类活动影响很小,因此,这些数据可以看作历史时期汾河流域的自然状态数值。王尚义教授发表在

《地理学报》1997年第3期的《太原盆地昭余古湖的变迁及湮塞》一文对于历史时期太原盆地昭余祁古湖泊的面积进行了定量研究,给出了比较准确的数据。以这些成果为背景,为研究太原盆地昭余祁古湖泊的水量平衡提供了数据方面的支持。

3.2 方法

对于地球表面的4大圈层来说,水是渗透于各个圈层的基本物质,水的循环是地球上最基本的物质大循环和最活跃的自然现象,是自然界产生云、雨、雾、霜、蒸发、降水和径流等千变万化水文现象的根源。水通过周而复始永不停息的循环运动,将各个圈层耦合在一起,深刻地影响着全球的地理环境、生态平衡和水资源的开发利用。水循环水量平衡是指任意区域或水体,在任意的时段内,其水量收入与支出之间的差额必等于该时段区域或水体内蓄水量的变化量,即水在循环过程中,收入与支出平衡。水量平衡是质量守恒原理在水循环过程中的具体体现,也是地球上水循环能够持续不断进行下去的基本前提。水量平衡是水循环内在的规律,是保证整个地球系统稳定健康运行的基础。水量平衡的研究,可以定量地揭示水循环过程与全球自然生态系统的相互联系、相互制约的关系;揭示水循环过程对人类社会的深刻影响,以及人类活动对水循环过程的消极影响和积极控制的效果;通过分析系统内部蒸发、降水及径流等各个环节相互之间的内在联系,揭示自然界水文过程的基本规律。

水量平衡方程式是水循环的数学表达式,可以根据不同水循环类型,建立不同水量平衡方程。通用水量平衡方程为:

$$\bar{P} - (\bar{E} + \bar{R}) = 0 \quad (1)$$

式中, \bar{P} 为多年平均降水量, \bar{E} 多年平均蒸发量, \bar{R} 为多年平均径流量。

对于历史时期的湖泊来说,水量平衡的研究,能够以定量的方法估算历史时期流域内的河流与湖泊水量盈亏,为河湖变迁的研究提供比较科学的方法和手段。如果不受其他条件的影响,在历史时期内一条河流流域内的蒸发量和渗入土中或地下的水量不会发生显著变化,所以河流的径流量与流域内的降水总量有十分密切的关系,根据河流的径流量、降水量和蒸发量的变化可以探讨历史时期流域的水量平衡。

对于任意一个湖泊,任意时段的水量平衡方程式可以用下式表示:

$$V_P + V_{Rd1} + V_{Rg1} = V_E + V_{Rd2} + V_{Rg2} + V_q \pm \Delta V \quad (2)$$

式中, V_P 为湖面降水量, V_{Rd1} 为入湖地表径流量, V_{Rg1} 为入湖地下径流量, V_E 为湖面蒸发量, V_{Rd2} 为出湖地表径流量, V_{Rg2} 为出湖地下径流量, V_q 为工农业用水量, ΔV 为研究时段湖泊蓄水变量。

3.3 太原盆地古湖泊水量平衡方程式

1) V_{Rg2} : 实际上就是渗漏损失^[7]: 在水文地质中等条件下,年损失水深0.5-1.0m; 优等条件0-0.5m; 恶劣条件1.0-2.0m。地质和水文地质条件优良,是指库床为不透水层,地下水水面与枯水位接近; 条件恶劣是指库床透水性大,地下水水面与库水位差别大。太原盆地地质构造属于典型的新生代断陷盆地,东有太谷大断层,西有交城大断层。这两个大断层都是由一

系列断层组成的断裂带，地质和水文地质条件优良，渗漏损失量可以忽略不计。

2) V_{Rd2} : 太原盆地是一个相对封闭的断陷盆地，只有湖面水位高出湖盆时，其湖水才有可能外泄，我们研究时不考虑出湖水量。

3) V_q : 历史时期人类对水资源的利用主要是引泉水与河水进行农业灌溉，湖泊由于地势低洼，利用起来比较困难。因此可以假定太原盆地的湖泊处在没有人为干扰的状态下。

排除了以上 3 个出湖水量的影响，只需要考虑湖泊的来水量和蒸发损失量，来水量包括湖面降水量、入湖地表径流量和地下径流量。对于湖泊多年平均水量平衡而言， $\Delta V \rightarrow 0$ 。

通过对公式 (2) 的修正，我们可以得出适用于太原盆地古湖泊量平衡的方程式：

$$\Delta V = V_P + V_{Rd1} + V_{Rg1} - V_E \quad (3)$$

4 数据分析

4.1 不同历史时段湖泊的面积

太原盆地不同历史时段，湖泊的名称、数量和面积处在不断的变化之中，我们主要对昭余祁古湖和文湖进行研究。

表 1 昭余祁古湖的面积表

Tab.1 The Zhao-Yu Qi ancient lake area table

时期	湖泊名称	湖面面积 (km ²)
先秦时期	昭余祁	1800
北魏时期	邬泽和祁藪	700
隋唐时期	邬泽和祁藪	500
唐宋时期	邬泽	300
元 代	昭余池	50

文湖的面积，依据遥感影像资料判读，形状基本上是椭圆形的。结合历史文献记载，以椭圆形的面积进行计算。面积公式为： $S = \pi ab$ ，其中 a 为椭圆长半轴的长， b 为短半轴长。计算结果见表 2。

表 2 文湖面积表

Tab.2 The Wen-hu Lake area table

时期	文献记载	湖面面积 (km ²)
北魏以前		130 ^[4]
北魏时期	《水经注》记载：东西十五里，南北三十里	88.31
北宋时期	围四十里	31.85
明 代	深一丈，长十五里，阔八里	23.55

4.2 不同历史时段的湖面降水量 V_p :

将汾河中游兰村至义棠段的 23 个水文站记录的 1916-1970 年降水量, 取平均值为 474.74mm。在《山西省 1956-2000 年降水等值线图》上, 我们可以看到太原盆地基本上被 450mm 等值线所包围, 结合汾河中游周边山地的降水量的情况, 取汾河中游各站降水量的多年平均值 474.74mm 作为湖面降水量来计算是比较接近实际情况的。文湖采用文峪河汾阳站的数据 472.3mm 为标准。按不同时段湖泊面积的大小, 将降水量折算成径流量, 单位为亿 m^3 。见表 3。

表 3 历史时期不同时段湖面降水量表

Tab.3 Precipitation in the lake during the different periods of history table

湖泊名称	历史时段	多年平均降水量 (10^8m^3)
昭余祁藪	先秦时期	8.5453
邬泽和祁藪	北魏时期	3.3232
邬泽和祁藪	隋唐	2.3737
邬泽	唐宋	1.4242
昭余池	元代	0.2374
文湖	北魏以前	0.6140
文湖	北魏时期	0.4171
文湖	北宋时期	0.1504
文湖	元明时期	0.1112

4.3 不同历史时段的入湖径流量 $V_{RdI} + V_{RgI}$:

入湖径流量是地表径流量与地下径流量之和, 将汾河干流及其 17 条支流的径流量之和作为入湖地表径流量, 将兰村泉、晋祠泉、洪山泉 3 个岩溶大泉的径流量作为入湖的地下径流量。历史时期的不同时段, 汇入昭余祁和文湖的入湖地表径流量与地下径流量是不同的。先秦时期, 汾河中游全部径流量汇入昭余祁。北魏时期, 注入祁藪和邬泽的河流有汾河干流、杨兴河、潇河、象峪河、乌马河、昌源河、惠济河、柳根河、龙凤河、侯堡河等和兰村泉、晋祠泉、洪山泉; 注入文湖的河流有汾河干流、文峪河、神堂河、禹门河、阳城河、虢义河等和兰村泉、晋祠泉; 北魏时期, 汾河干流基本上处于两大湖泊之间, 所以汇入湖泊的径流量, 二者各占一半 (兰村泉和晋祠泉也如此) 计算。对于文湖, 兰村泉、晋祠泉的入湖地下径流量, 北魏以前, 折半计算; 北魏时期, 不再计入。隋唐时期以后, 汾河干流东西迁徙频繁, 其径流量不可能全部注入湖泊, 而是流出盆地, 所以对其入湖径流量均折半计算。注入祁藪和邬泽的河流有汾河干流、象峪河、乌马河、昌源河、惠济河、柳根河、龙凤河、侯堡河等与洪山泉; 注入文湖的河流有文峪河、神堂河、禹门河、阳城河、虢义河等。唐宋时期,

注入鄂泽的河流有汾河干流、昌源河、惠济河、柳根河、龙凤河、侯堡河等与洪山泉；注入文湖的河流有文峪河、神堂河、禹门河、阳城河、虢义河等。元明时期，随着太原盆地湖泊面积的萎缩，汾河干流的径流量已不再注入这些湖泊，而是流出太原盆地，所以不将其计算在内。注入昭余池的河流有昌源河、惠济河、柳根河、龙凤河、侯堡河与洪山泉等；注入文湖的河流有文峪河、神堂河、禹门河、阳城河、虢义河等，文峪河也不是完全注入文湖，所以其径流量折半计算。具体计算结果见表 4。

表 4 历史时期不同时段入湖径流量表

Tab.4 Historical runoff into the lake at different times during the scale

湖泊名称	历史时段	入湖径流量 (10 ⁸ m ³)
昭余祁藪	先秦时期	15.5233
鄂泽和祁藪	北魏时期	8.3975
鄂泽和祁藪	隋唐	5.9185
鄂泽	唐宋	5.6365
昭余池	元代	1.4567
文湖	北魏以前	6.5569
文湖	北魏时期	6.0964
文湖	北宋时期	2.7964
文湖	元明时期	1.7016

4.4 不同历史时段的湖面蒸发量 V_E :

入湖径流量是地表径流量与地下径流量之和，将汾河干流及其 17 条支流的径流量之和。湖泊实际蒸发损失计算公式^[8]:

$$V_E = 0.1 (kE_{\text{水}} - P) * A \quad (4)$$

式中： V_E 为湖面蒸发损失量（单位为 10⁴m³）； $E_{\text{水}}$ 为当地蒸发器皿所测的水面蒸发量； k ^[9]为换算系数（以Φ 80cm 为标准）； P 为当地年均降水量； A 为湖泊水面面积。

汾河中游水面蒸发量的换算系数：官厅水库的经纬度为东经 115°51'20"，北纬 40°27'19"；三门峡水库的经纬度为东经 110°12'20"东经 34°48'10"。而太原盆地的经纬度为东经 111°30'至 113°09'，北纬 37°27'至 38°25'之间。太原盆地的纬度介于三门峡水库和官厅水库中间的位置，所以折算系数取二者的平均值来计算。以Φ 80cm 为标准计算汾河中游的换算系数，三门峡平均值 $k=0.736$ ；官厅平均值 $k=0.816$ ；经计算，汾河中游水面蒸发量的换算系数为： $k=0.776$ 。

将汾河兰村到义棠 15 个水文站记录的 1950-1970 年的蒸发量，取其平均值为 1474.40mm。文湖以文峪河汾阳站的数据 1913.6mm 为标准。将数据代入公式（4），计算出历史时期不同时段太原盆地湖泊蒸发的损失量，按不同时段湖泊面积的大小，将蒸发量折算成径流量，单位为亿 m³。结果见表 5。

表 5 历史时期不同时段湖面蒸发量估算表

Tab.5 History of the lake at different times during the evaporation estimation table

湖泊名称	历史时段	蒸发量 (10^8m^3)
昭余祁藪	先秦时期	12.0030
邬泽和祁藪	北魏时期	4.6678
邬泽和祁藪	隋唐	3.33422
邬泽	唐宋	2.0005
昭余池	元代	0.3334
文湖	北魏以前	1.3164
文湖	北魏时期	1.0127
文湖	北宋时期	0.2876
文湖	元明时期	0.2714

4.5 不同历史时段太原盆地湖泊水量平衡

将以上所以相关数据代入公式 (3) 中, $\Delta V = V_P + V_{RdI} + V_{RgI} - V_E$, 计算结果见表 6。

表 6 历史时期不同时段太原盆地湖泊水量平衡估算表

Tab.6 History of the lake at different times during the evaporation estimation table

湖泊名称	历史时段	ΔV (10^8m^3)
昭余祁藪	先秦时期	12.0656
邬泽和祁藪	北魏时期	7.0529
邬泽和祁藪	隋唐	4.95798
邬泽	唐宋	5.0602
昭余池	元代	1.3607
文湖	北魏以前	5.8545
文湖	北魏时期	5.5008
文湖	北宋时期	2.6592
文湖	元明时期	1.5414

5 结论与讨论

5.1 结论

通过上述研究, 可以得出以下几点结论:

- 1) 历史时期的不同时段, 太原盆地湖泊的 $\Delta V > 0$, 说明湖泊的水量都处于盈余的状态, 所以湖泊能够维持存在。

2) 如果只将湖面降水量与蒸发量作比较,发现所有的 $V_P < V_E$,说明太原盆地的降水量不足以弥补湖面蒸发量的损失,如果没有汾河及其支流的径流量的补给,太原盆地的湖泊是无法存在的。也就是说入湖径流量的补给是决定湖泊存续的决定性因素,太原盆地湖泊的消亡与汾河改道有直接的关联。

3) 数据显示 1958-1970 年汾河义棠站的年平均径流量是 9.29 亿 m^3 ,这是汾河中游在太原盆地所有湖泊已消失的情况下,汾河流出太原盆地径流量。如果我们把这个数据计算在内,只有先秦时期 $\Delta V > 0$,湖泊水量处于盈余的状态,水量维持平衡;其它历史时段 $\Delta V < 0$,水量均处于亏欠的状态,湖泊难以存在。由于太原盆地大量湖泊的存在,使得流出盆地的径流量大为减少。不过随着湖泊的逐渐萎缩和消亡,流出盆地的径流量应该是逐年增加的。

5.2 讨论

根据以上研究,在太原盆地湖泊存在的历史时段,汾河中游水资源量存在盈余,能够满足生态需水量,流域生态系统比较稳定,处于良性循环的状态。但人类对水资源利用强度在不断增加,水量盈余逐渐减少,平衡状态逐步走向不稳定状态,导致整个流域生态系统功能退化,对人类社会的可持续发展产生威胁。汾河流域是处于半干旱区比较典型的流域之一,太原盆地上游山地的水资源总量,决定了盆地的水环境演变过程。在两千年尺度上,表现出不同历史时段的流域水资源平衡模式和水环境演变特征,以及气候变化和人类活动在不同历史时期的耦合驱动机制。

由于文献资料的有限性,现代水文和气候代用资料如何还原为历史时期的情形及其可靠性,流域水循环和水量平衡的复杂性,以及不同代用资料之间的时间尺度匹配性等诸多相关问题,文章只是在所收集到的资料基础上,对汾河中游不同历史时段湖泊水面的入湖径流补给量和流域水资源平衡进行了粗略估算,忽略了出湖径流量和流域人类水利生产和生态耗水量的影响。

致谢: 本文在写作的过程中,得到了任伯平、赵淑贞老师的悉心指导,在此一并表示谢忱。

参考文献

- [1] [美]生态学关于变化中的地球(第3版).刘雪华译.Ecology of Changing Planet (Third Edition) Mark B.Bush 2003.北京:清华大学出版社,2007.8: 176.
- [2]华北地区区域地层表·山西省分册.山西省地层编写组.北京:地质出版社.1979.8
- [3]王尚义.太原盆地昭余古湖的变迁及湮塞.地理学报,1997,52(3): 262-267.
- [4]桑志达等.试论太原断陷盆地古湖泊的演变.环境遥感,1988,3(4): 273-282.
- [5]肖生春,肖洪浪.两千年来黑河流域水资源平衡估算.冰川冻土,2008,30(5): 733-709.
- [6]水利电力部黄河水利委员会革命委员会.1919-1970年黄河流域水文特征值统计第4册:黄河中游区下段(龙门至三门峡水库),1974.10.
- [7]郑濯清.水文水利计算.北京:水利水电出版社,1985年第二版.

[8]金相灿主编.中国湖泊水库环境调查研究(1980-1985).北京:中国环境科学出版社,1990.

[9]山东省水文总站主编.中小型水库水文预报.北京:水利水电出版社,1979:269-270.

本文刊载于《旱区资源与环境》2011年,8期

