

安陆站 - 隔蒲潭站区间水量不平衡研究

汪 庆, 张 虎, 尹伟荣

湖北省孝感市水文水资源勘测局, 湖北 孝感

收稿日期: 2024年9月24日; 录用日期: 2024年11月21日; 发布日期: 2025年2月27日

摘 要

天然径流量是区域水资源分析评价工作的基础,但随着水资源的开发利用,湖北省多个区间出现了水量不平衡的现象。本文以安陆站 - 隔蒲潭站区间为例,从地下水与地表水交换、分项还原计算原理入手,分析论证了区间水量不平衡产生的因素及程度;建立了区间水量平衡模型、二参数月水量平衡模型,应用该模型对系统误差造成的水量不平衡进行了校正,校正后的区间水量不平衡现象出现了缓解甚至逆转;径流修正后,建立新的降水径流关系线拟合效果好。此研究方案的思路清晰、可操作性强,可为其他地区的水量不平衡提供参考,也可为水资源管理、评价等工作提供依据。

关键词

安陆水文站 - 隔蒲潭水文站, 水量不平衡, 分项调查法, 水量平衡模型, 两参数月水量平衡模型, 径流修正

Study on Water Imbalance between Anlu Station and Geputan Station

Qing Wang, Hu Zhang, Weirong Yin

Water Resources Investigation and Survey Bureau of Xiaogan City, Hubei Province, Xiaogan Hubei

Received: Sep. 24th, 2024; accepted: Nov. 21st, 2024; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

Natural runoff volume serves as the foundation for regional water resources analysis and evaluation. However, with the development and utilization of water resources, the phenomenon of water imbalance has emerged in multiple intervals within Hubei Province. Taking the interval between Anlu Station and Geputan Station as an example, this paper commences from the exchange between groundwater and surface water and the principle of itemized reduction calculation, and analyzes the factors and extent contributing to water imbalance within the interval. Moreover, a water balance model for the interval and a two-parameter monthly water balance model are established. The application of this model corrects the water imbalance

作者简介: 汪庆(1976.08-), 男, 湖北竹溪人, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为水文水资源分析评价。Email: 94185996@qq.com

caused by systematic errors, and the water imbalance phenomenon after correction has witnessed alleviation or even reversal. After the runoff correction, the establishment of a new precipitation-runoff relationship curve exhibits a better fitting effect. The research scheme in this paper is characterized by clear thinking and strong operability, which can offer references for water imbalance in other regions and provide a basis for water resources management and evaluation.

Keywords

Anlu Station - Geputan Station, Water Imbalance, Itemized Investigation Method, Water Balance Model, Two-Parameter Monthly Water Balance Model, Runoff Correction

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水资源评价与规划、水量分配等水资源分析计算工作都是以天然径流量为基础[1], 因此通过径流还原获得天然径流数据的计算精度直接影响水资源公报与区域水资源计量评价分析成果的质量。

天然径流还原计算方法包括分项调查法、水文模型法、降雨径流关系法等[2], 目前湖北省水资源单站还原采用的是分项调查法, 它是基于水量平衡原理, 运用详实的实测水文气象数据及用水、耗水调查资料等来估算各项还原水量[3]-[5]。这种方法可靠性高, 是最为常用的径流还原计算方法。但随着水资源的开发利用, 湖北省多个区间出现了下游天然来水小于上游天然来水的情况。按照一般规律, 在忽略区间蒸发、下渗损失水量的前提下, 下游站年径流量应不小于上游站年径流量, 否则就认为该河段出现了上、下游水量不平衡问题[6], 这既是长期困扰水文的历史遗留问题, 也是缺少可借鉴经验的难题。

从代表性及效益性考虑, 选取安陆水文站~隔蒲潭水文站的流域区间(以下简称为安隔区间)水量不平衡分析作为研究课题: 一是安隔区间在 2017 年、2018 年出现了 2 次水量不平衡的情形, 区间所在的府澧河是全省水资源开发利用程度较高的河流之一, 具有较好的代表性; 二是按照《省水利厅关于印发第一批重点河湖生态流量(水位)保障目标的函》(鄂水利函[2020] 596 号)安隔区间的两处水文站分别为生态水量考核断面与管控断面。

顾再浩等[7]采用分项调查与水文模型相结合的方法对九江流域的天然径流量进行了还原计算及评价, 效果较好。陈梁等[8]在做都江堰渠首区间水量不平衡分析时, 校正已知的误差外还建立了 DJ-1 模型, 校正了水量系统误差, 有效解决了单一还原方法的系统误差问题。综合参考文献, 本文采取了分项调查法与水量系统误差校正模型[9]模拟手段相结合的流域天然径流量综合还原法。首先采用分项调查法对区间内安陆(二)站、隔蒲潭站两个水文站点的径流数据进行还原计算; 其次分析平衡的各还原分项、地表水与地下水交换情况的影响及程度; 然后建立区间二参数月水量模型[10][11], 率定区间产水参数, 最后建立区间水量平衡模型[12], 率定各还原分项的误差系数对径流数据进行修正。修正后上下游水量不平衡的现象得到了改善; 新降水径流关系拟合效果较好。

2. 问题的提出

安隔区间位于府河流域, 府河发源于随州市大洪山北麓, 经随州、广水、在安陆李畈入境, 经安陆、应城、云梦, 在孝南区卧龙潭与澧河汇合后称府澧河, 是我省重要的农业生产区和经济发达地区。

区间上、下断面有两处国家级水文站点。上游的是安陆(二)站, 设立于 1951 年 4 月, 位于安陆市洑水镇, 1989 年 1 月建安陆解放山水库, 水文站下迁 6 km 后, 站名由安陆站改为安陆(二)站, 集水面积 7152 km², 拥有 1956 年以来的年度月年实测径流资料。隔蒲潭水文站设立于 1962 年 5 月, 位于云梦县隔蒲镇袁家湾, 1993 年

4月下迁2180m至隔蒲潭镇,是府河中游干流控制站,集水面积8812km²,拥有1956~2020年度月年实测径流资料。这两个水文站点之间1660km²的流域范围即为本次研究区域——安隔区间。域内水库、塘堰等水利工程较多,影响较大的是两座大坝,分别位于安陆断面下游3km、隔蒲潭断面上游9km。区间流域示意图见图1。

按照水量平衡原理,在忽略区间蒸发、下渗损失水量的前提下,下游站年径流量应不小于上游站年径流量,对比2007~2021年径流还原资料发现2017、2018年出现了上下游水量不平衡现象,“倒挂水量”分别为-1.75亿m³, -1.5亿m³;且2010~2013、2018、2019、2021年计算天然径流量与查算值的偏差率分别为38.8%、-25%、-25%、-24.9%、42.4%、-32.4%,不符合允许误差±15%的标准,视为还原不合格,且以上不合格年份均为枯水年,有一定的共性。径流资料作为水资源分析评价的依据,是水文现象和水文过程分析研究的基础,不仅直接影响着水资源公报的编制质量,还关系到水资源规划、管理与保护等工作质量。因此需要查明导致安隔区间水量不平衡的原因及其影响程度,提出水量不平衡的校正措施。



图1. 安隔区间流域示意图

3. 安隔区间水量不平衡原因剖析及验证

3.1. 安隔区间水量不平衡原因分析

区间两个水文站的还原计算,是基于水量平衡原理采取的是分项还原方法,即

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{农耗}} + W_{\text{工耗}} + W_{\text{生活耗水}} \pm W_{\text{蓄水变量}} + W_{\text{库蒸}} + W_{\text{引水}} - W_{\text{调水}} \quad (1)$$

由于分项还原未考虑区间下渗损失水量,所以从地表水与地下水的交换、还原分项等着手分析。对影响天然径流还原分项做影响占比分析,影响较大的是实测径流量(56%~81.05%)、农业耗水量(10.15%~24.50%)、蓄水体变量(7.85%~14.95%)。为此需要针对水文测验,区间取水等还原项,做进一步的补充调查与分析。

3.2. 安隔区间水量不平衡原因分析

3.2.1. 地表水和地下水补给平衡研究

一方面收集、整理 2018、2021、2022 年安隔区间降水、地表水位、监测站地下水位过程线图(部分图见图 2)。其中安陆水位站及隔蒲潭地表水位资料均来自于两水文站点的监测资料;地下水位选取了安隔区间的三个地下水位站点资料,分别是护国地下水位站、巡店地下水位站、施家湾地下水位站三处,三者均为国家级基本监测站。护国地下水位站位于安陆市府城街道护国村水文局院内,巡店地下水位站位于安陆市巡店镇政府大院内,施家湾地下水位站位于云梦县隔蒲潭镇政府院内。通过不合格年份与近年的变化趋势线观察,降水、地表水、地下水是错时段逐步上升,比较有规律;不存在地表水位下降、地下水上升的“水位变化反向”情况。

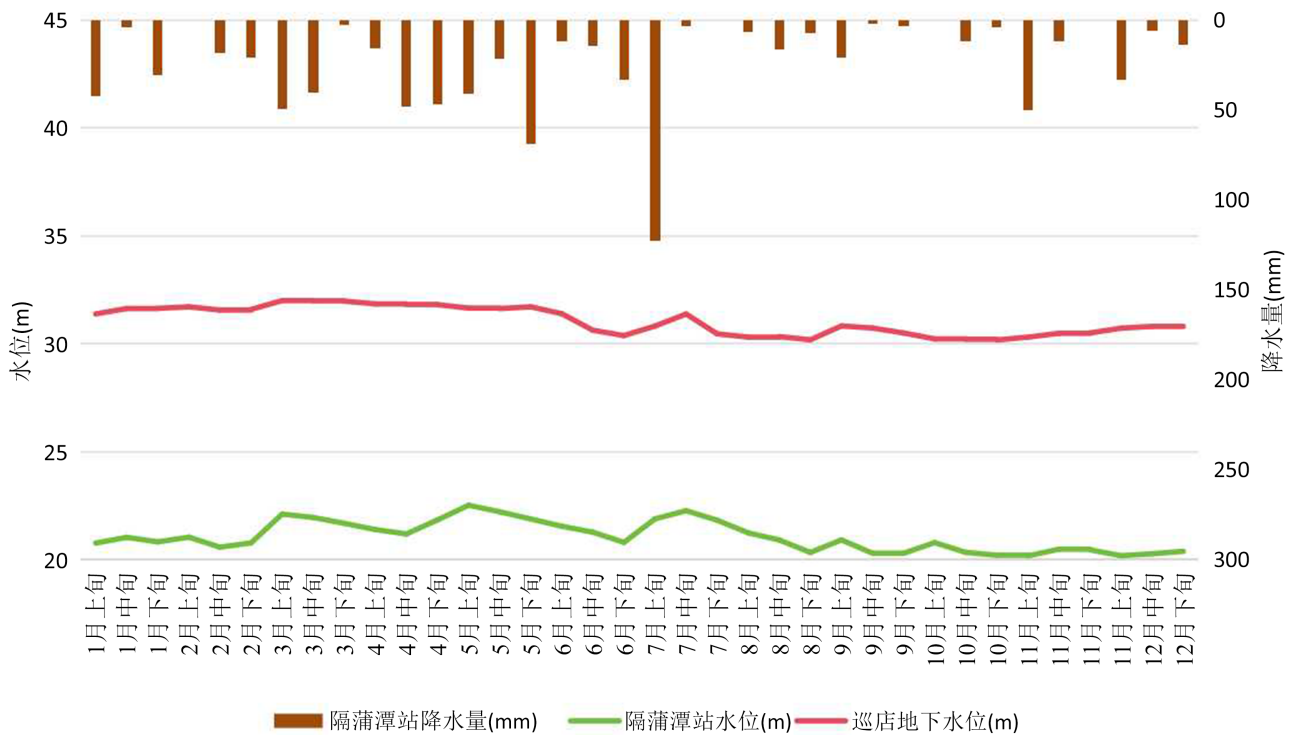


图 2. 2018 年安隔区间地表水及地下水位过程图

另一方面在安隔区间选取 6 个监测断面,从上游至下游分别为安陆解放山、安陆三桥、巡店大桥、义堂大桥、清明河乡大桥、隔蒲大桥,采用 ADCP 和流速仪分别进行数月的测量,其流量从上游至下游依次递增(见图 3)。结合二者判断安隔区间可以排除地表水大量补给地下水,还原漏项的情况。



图 3. 部分断面测流图

3.2.2. 水文测验精度研究

一是复核历史单站资料的精度。对安陆(二)选取近年系列资料(不低于 10 年), 分析大多数年份关系线与综合线最大相对偏差, 测验误差在允许范围内, 安陆(二)测验精度可靠, 流量测验方案可行。对隔蒲潭站选取 2015 年(枯水年)、2016 (丰水年)年实测流量资料, 选取高、中、低流量测次分别估算不确定度和系统误差, 误差符合精度要求。

二是实地比测, 复核测验精度。在安隔区间设置安陆解放山、安陆三桥、巡店大桥、义堂大桥、清明河乡大桥、隔蒲大桥等 6 个测流断面。共计开展 130 多次现场流量测验工作, 采取上下游断面同时实测、两两比测法, 流量从上游至下游依次递增, 符合水文规律, 两种方法测量数据误差在允许范围内, 进一步验证测验的合理性。

3.2.3. 区间取用水分析及调查

一是采用无人机野外自动巡航调查, 查看河流主干道取用水情况; 二是结合用水统计直报系统取用水情况对取水口门进行了补充与更新; 三是分组实地探勘, 重点针对大型的取用水口门及跨流域引调水单位或者企业, 对资料进行进一步复核、补充、调整。

经过补充调查, 二处水文站点重要口门均覆盖到位, 对比水工程运行单位的台账资料, 数据一致且合理。但也有部分口门遗漏, 结合补充调查, 安陆(二)站补充了 3 处取水口, 隔蒲潭站补充了 36 处取排水口。将补充调查的区间引调水的资料完善后, 2018 年原下游水量比上游小 1.5 亿 m^3 , 补充调查后变为小 0.9324 m^3 , 在一定程度上削减了“水量倒挂”的现象。2019 年及 2020 年通过补充调查后, 分项还原的计算天然径流深与查线值的误差变小, 但是还是在不合格的范围內。

3.3. 原因分析结论

由以上的分析论证可知, 水量不平衡的原因不是地表水与地下水交换补给导致还原缺项, 数据遗漏; 不存在测量精度不达标或测量方案有误差导致实测流量与实际流量有偏差; 存在取用水调查遗漏但是影响范围有限, 补充调整后也无法弥补水量不平衡量。目前, 对于水量不平衡现象的校正方法较多, 譬如原因校正法和水文学法等。一般对河渠区间的水量不平衡, 除了对已知的误差进行校正外, 还需对系统误差进行校正[8]。故需要建立区间水量分析模型, 消除实测流量、还原分项等的误差。从本章节的分析讨论可知对还原影响较大的是实测径流量、农业耗水量、蓄水体变量等, 按照权重影响, 系统误差主要来源也主要是这三个方面, 这与实测径流部分支流未覆盖、农业耗水、蓄水变量粗估算等基本情况也符合, 为此模型建立之前要重点关注这三部分资料

的数据质量。

4. 水量系统误差校正模型的建立

4.1. 数据收集

收集降水、蒸发、径流、区间还原分项 1980~2020 年逐月资料等水文模型驱动数据。选用区间安陆(二)、隔蒲潭、唐陈三者的雨量算术平均值为区间面雨量；蒸发资料，采用 1980~2016 年与安隔区间相距较近的安陆和云梦站蒸发量的算术平均值作为面平均蒸散发量，缺失 2016~2020 年蒸发数据，采用花园站和汉川站蒸发量的算术平均值作为面平均蒸散发量；选用安陆(二)站、隔蒲潭站径流、农业耗水量、工业耗水量、城镇生活耗水量、蓄水体蓄水变量、水库蒸发损失量、跨流域引出水量和引入水量等数据。以上数据均出自于湖北省孝感市水文水资源勘测局，本次研究应用的年月资料有 41 年，年资料系列有 61 年，资料系列长，覆盖丰平枯不同的水文年，且两水文站的径流资料做过一致性的预处理，资料的可靠性、代表性较好。

4.2. 建立模型

4.2.1. 区间水量平衡模型

根据上下游水量平衡关系，建立月尺度区间水量平衡模型如下(单位：mm)：

$$Q_{g,c} + Q_{g,h} + \Delta Q_g = Q_{a,c} + Q_{a,h} + Q_q + \Delta Q_a \quad (2)$$

式中， $Q_{g,c}$ 、 $Q_{a,c}$ 分别为实测下游隔蒲潭和上游安陆(二)水文站径流； $Q_{g,h}$ 、 $Q_{a,h}$ 分别为下游隔蒲潭和上游安陆(二)水文站控制流域的还原水量，其中包括工业、农业等人类活动取用水量、蓄水体变量和跨流域引入及引出水量等； Q_q 为区间产流；考虑到地下水的交换这些无法被观测到的量，此处设置 ΔQ_g 、 ΔQ_a 作为误差量，包括人类取用水的退水，径流观测的误差及地下水交换等水量要素。

基于线性假设，设置误差水量为各种水量要素的线性组合，根据特性，误差量与其余观测水量要素关系设置如下：

$$\Delta Q_a = aQ_{a,c} + bQ_{a,h} + cQ_q \quad (3)$$

$$\Delta Q_g = dQ_{g,c} + eQ_{g,h} \quad (4)$$

式中， a ， b ， c ， d ， e 为待确定的参数。基于上述式子，可将式(2)转化为下式：

$$Q_{g,c} + Q_{g,h} + dQ_{g,c} + eQ_{g,h} = Q_{a,c} + Q_{a,h} + Q_q + aQ_{a,c} + bQ_{a,h} + cQ_q \quad (5)$$

等式左边即为还原后的隔蒲潭水文站天然径流，等式右边为还原后的安陆(二)水文站天然径流与区间产流，根据水量平衡，可得到下列关系：

$$Q_{g,t} = (1+d)Q_{g,c} + (1+e)Q_{g,h} \quad (6)$$

$$Q_{a,t} = (1+a)Q_{a,c} + (1+b)Q_{a,h} \quad (7)$$

$$Q_{q,t} = (1+e)Q_q \quad (8)$$

式中， $Q_{g,t}$ 、 $Q_{a,t}$ 、 $Q_{q,t}$ 分别表示还原后的隔蒲潭、安陆(二)径流及天然区间产流。基于上述式子还原径流问题可转化为求解上述区间水量平衡模型的各个参数。

4.2.2. 两参数月水量平衡模型

两参数月水量平衡模型是一种用于模拟流域径流过程的简化模型，它通过两个主要参数来描述流域的水文特性。以下是该模型计算产流的基本步骤：

Step1，确定模型参数：模型中的两个关键参数是土壤含水量 S_t 和模型参数 SC ，可以通过历史水文数据进行

估计或优化得到。

Stp2, 计算实际蒸散发量: 建立蒸发、降水关系, 使用公式来计算月实际蒸发值。

Stp3, 计算月径流量: 根据土壤含水量和模型参数 SC , 来计算月径流量。

Stp4, 更新土壤含水量: 根据当月的降水量、实际蒸散发量和径流量, 更新下一个月的土壤含水量, 以便进行下一个月的计算。

Stp5, 重复计算: 对于每个月份, 重复步骤 2 至 4, 以模拟整个时间段内的流域径流过程。

总的来说, 两参数月水量平衡模型通过简化的数学表达式和少量的参数, 能够在一定程度上模拟出流域的径流过程。对于区间产流 Q_q 采用熊立华等于 1996 年提出的两参数月水量平衡模型, 该模型已被广泛应用于流域中长期水文模拟, 其具有模型结构简单、物理概念明确、对输入资料要求不高、模型参数较少等优点。其中, 月实际蒸发值的计算公式为:

$$ET_t = C \times PET_t \times \tanh(P_t / PET_t) \sqrt{b^2 - 4ac} \quad (9)$$

式中, t 表示月份; ET_t 为月实际蒸发值; PET_t 为月潜在蒸发值; $\tanh$ 为双曲正切函数; P_t 为月降水量; C 为模型的第一个参数, 综合反映了降水及蒸散发间的关系。潜在蒸发值的获取方法主要包括观测法和公式估算法。观测法包括蒸发皿测量以及数据回归分析; 公式估算法包括综合法、辐射法、温度法等。本次选用的是蒸发资料来源于水文局长系列观测数据, 采用蒸发皿 $\Phi 20$ 型和 E601 型, 这些蒸发皿通过测量一定时间内水分的减少量来估算蒸发量。

月径流量与土壤含水量有密切关系, 其计算公式为:

$$Q_{qt} = S_t \times \tanh(S_t / SC) \quad (10)$$

式中, S_t 为土壤含水量; SC 定义为流域最大蓄水能力(mm), 代表当土壤几乎没有水分时整个流域的平均持水能力, 为模型的第二个参数。

扣除蒸散发后, 土壤含水量的计算公式为 $S_{t-1} + P_t - ET_t$ 代入公式(10)得:

$$Q_{qt} = (S_{t-1} + P_t - ET_t) \times \tanh[(S_{t-1} + P_t - ET_t) / SC] \quad (11)$$

式中, S_{t-1} 为第 $t-1$ 个月底, 第 t 个月初的土壤含水量。由水量平衡原理, 第 $t+1$ 个月初的土壤含水量计算公式为:

$$S_t = S_{t-1} + P_t - ET_t - Q_{qt} \quad (12)$$

4.3. 模拟方案设置

2000 年后 $\Delta Q_a = aQ_{a,c} + bQ_{a,h} + cQ_q$ 降雨、径流的时间序列多次出现了变点, 且降雨径流关系也发生了改变, 因此提出了不同的模拟方案:

1) 整段率定, $\Delta Q_a = aQ_{a,c} + bQ_{a,h} + cQ_q$, $\Delta Q_g = dQ_{g,c} + eQ_{g,h}$ 。

2) 分段率定, 分为 1980~1999 年和 2000~2020 年分别率定:

$$\Delta Q_g = dQ_{g,c} + eQ_{g,h}$$

采用遗传算法(Genetic Algorithm, GA)率定参数。

4.4. 模型性能评价

以隔蒲潭实测径流为模拟目标, 评价指标按照如下公式计算:

1) 确定性系数(NSE)

模拟径流过程与实测径流过程之间的吻合程度可用确定性系数作为指标, 确定性系数趋近于 1 代表模拟结果精度更高。按下式计算:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_t^{sim} - Q_t^{obs})^2}{\sum_{t=1}^N (Q_t^{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \tag{13}$$

式中 Q_t^{sim} 隔蒲潭模拟流量; Q_t^{obs} 为实测值, 其中 $t = 1, 2, \dots, N$, N 为实测资料系列长度; $\overline{Q_{obs}}$ 为实测系列值的均值。

2) 水量平衡系数(WBI)

采用水量平衡系数来衡量径流模拟值与实测值的总量差别, 模型模拟的水量平衡误差在 0.2 以内, 可以保证水文模拟过程中水量平衡。水量平衡系数趋近于 0, 表明能够完全满足水量相等, 按下式计算:

$$WBI = \left| \frac{W_{pre} - W_{obs}}{W_{obs}} \right| \tag{14}$$

式中: W_{pre} 为预报流量过程总水量, W_{obs} 为实测流量过程总水量。

4.5. 模型结果

模型在各研究时间范围内的率定期和检验期的长度均为 2:1, 各方案的效果如表 1 所示。

表 1. 不同方案下区间水量平衡模型模拟效果

方案		NSE 率定期	NSE 测试期	WBI 率定期	WBI 测试期
整段率定	1980~2020	0.974	0.961	0.014	0.091
	1980~1999	0.977	0.96	0.021	0.039
	2000~2020	0.98	0.928	0.003	0.149

从表 1 可以看出区间水量平衡模型在分段率定和不分段率定两个方案下均有着较好的表现, 证明了该模型的合理性。将率定后的参数带入式(6)和式(7), 即可得到修正后的安陆(二)和隔蒲潭水文站天然径流, 整段率定较分段率定更有益于缓解甚至逆转水量不平衡现象。修正后 2017 和 2018 年安隔区间计算天然径流量由原来的 -1.75 亿 m^3 、-1.31 亿 m^3 分别变为 0.89 亿 m^3 , 0.56 亿 m^3 亿, 不平衡现象得以消除。

4.6. 降雨径流关系线拟合

使用原降水~径流关系线查算站点的理论径流值一般偏大, 导致枯水年合格率偏低。由于 1980 年以前人类干扰较少, 1956~1979 采用原分项还原的天然径流量, 1980~2020 年采用修正后的天然径流, 重新拟合降水~径流关系线, 安陆(二)站及隔蒲潭站的降雨径流相关系数均大于 0.8, 说明拟合关系较好。采用新的关系线及修正后的数据查算, 2011、2012 年安陆(二)站、2021 年隔蒲潭站还原合格, 2022、2023 年两站点启用新查算关系线, 均还原合格, 见表 2, 尤其是 2022 年属于枯水年(以往一般枯水年还原合格难度相对较大)还原合格, 应用情况良。

表 2. 2022~2023 年单站还原情况

序号	年份	站名	集水面积(km ²)	流域平均降雨量(mm)	年径流量		径流系数	径流深查算值	合格率(%)	是否合格
					(亿 m ³)	(mm)				
1	2022	安陆(二)	7152	896.7	16.720	233.8	0.261	248.0	-5.7	是
2	2022	隔蒲潭	8812	897.8	21.010	238.4	0.266	248.2	-3.9	是
3	2023	安陆(二)	7152	1155.1	26.940	376.7	0.326	443.1	-14.8	是
4	2023	隔蒲潭	8812	1233.8	36.010	408.6	0.331	471.7	-13.4	是

5. 结语

本文针对安隔区间开展了水量不平衡的分析研究。从分项还原调查单项、地表水与地下水交换等方面分析验证水量不平衡的原因及影响,对取用水、引调水数据进行了补充,发现对区间水量不平衡有缓解作用但无法消除;除对分项还原的已知的误差进行校正外,还提出了系统误差进行校正[8]。选取分项还原调查与水文模型相结合的方法,先通过分项调查还原计算天然径流量,再建立月尺度区间水量平衡模型、两参数水量平衡模型,拟定还原分项、区间产流的误差,通过模型进行天然径流量的修正计算,安隔区间水量不平衡的情况得到了缓解甚至逆转,更加符合自然界的水文规律。并且按照修正后的天然径流,建立新的降雨径流关系曲线,相关度较高,拟合度好。

本次研究方法覆盖面广且易操作,具有一定的应用前景:1) 将修正序列作为更科学的研究数据源头,分析区域的水资源情况,为制定水资源政策和管理措施提供科学依据,有利于政府的科学决策及管理。2) 分项还原的方法,其他很多省市也通用,所以水量不平衡的情况及原因大概率相似,故本研究的方法有较好的复制性;加之本研究全面,从还原分项、地表水与地下水交换、计算误差等多原因剖析,技术路线简明可操作性强;水文模型的建立基于水量平衡原理,通用且推广性较好,可优化后批量使用。

本次研究中也有一些不足,一是地下水资料少,地表水与地下水交换缺乏更深入论证的数据支撑。二是安隔区间支流较多,未覆盖完全,导致下游实测流量可能有遗漏。三是缺乏1980年以前的年月还原项目的具体数据,建模采用的是1980~2020系列的资料,2016~2020年区间的蒸发资料缺失,借用邻近站点蒸发资料建立的两个参数月水量平衡模型影响参数的率定。四是模型的目标函数无上下游天然径流的大小关系,影响天然径流模拟的预期,还存在部分月份水量倒挂的现象。针对这些不足,建议一是加强资料的收集,结合地质资料,特别是地下水井的长系列历史资料进行分析论证地下水与地表水交换;地面实测范围应结合补充后的地下水点位设置监测断面印证分析,这样有利于掌握其变化规律和量级,以便更好地还原径流。二是补充水文资料,增设水文站网。在重要支流处建立水文监测点进行实时监测,掌握区间各支流来水情况;增加区间农业耗水、生活取用水、引调水等的调查及数据合理性的检验,避免遗漏或重复。三是建议进一步完善蒸发资料,结合水文、气象的蒸发数据做模型拟合。四是增加下游天然流量值与上游天然流量值大于1的目标函数,进行模型拟合,确保模型贴近真实情况且达到解决两站点天然流量合理的目标,更能贴合实际解决区间水量“倒挂”的问题。

参考文献

- [1] 李原园,汪觉献,郦建强,等. GB/T 51051-2014, 水资源规划规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 魏茹生. 径流还原计算技术方法及其应用研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2011.
- [3] 张佑民. 河川径流分项调查还原法中若干问题的探讨[J]. 水文, 1991(2): 24-28.
- [4] 付亚丽, 许志敏. 云南杞麓湖径流还原及一致性订正[J]. 人民长江, 2011, 42(19): 28-30+37.
- [5] 李焯, 任凤仪, 李晓, 等. 黄河流域天然径流量还原及一致性处理方法研究[J]. 人民黄河, 2023, 45(12): 37-40+134.
- [6] 卢彬. 大通河天堂-连城区间水量不平衡调查分析[J]. 中国水利, 2016(11): 58-59.
- [7] 顾冉浩, 王文, 郭富雄, 等. 分项调查与水文模型相结合的九龙江流域天然径流量计算[J]. 水文, 2021, 41(2): 38-44.
- [8] 陈梁, 李翊, 李菁. 都江堰渠首区间水量不平衡分析及其校正[J]. 四川水利, 2011, 32(4): 50-52.
- [9] 郭家力, 郭生练, 李天元, 等. 鄱阳湖未控区间流域水量平衡分析及校验[J]. 水电能源科学, 2012, 30(9): 30-32+58.
- [10] 熊立华, 郭生练, 付小平, 等. 两参数月水量平衡模型的研制和应用[J]. 水科学进展, 1996(S1): 80-86.
- [11] 李帅, 熊立华, 万民. 月水量平衡模型比较研究[J]. 水文, 2011, 31(5): 35-41.
- [12] 王渺林, 郭生练. 月水量平衡模型比较分析及其应用[J]. 人民长江, 2000(6): 32-33.