

一种动态生态环境需水计算方法及其应用

杨志峰, 陈 贺

(北京师范大学环境学院, 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 随着经济的发展, 我国的水资源形势日趋严峻, 河流生态环境问题日渐突出。生态环境需水是影响河流生态系统健康的重要因素, 生态环境需水量的界定、计算和分析是水资源管理中实现人与自然和谐发展的重要途径。针对传统生态环境需水计算方法实用性和可操作性差的缺点, 开发出动态生态环境需水计算方法, 利用月保证率法计算出初始生态环境需水状态空间, 再根据实际的水资源开发利用形势, 将自然因素和社会因素综合考虑, 形成生态环境需水量的状态空间, 然后用改进的水文指数法评价各生态环境需水状态, 使生态环境需水的计算由静态变为动态。将该方法应用于水量年内分配不均, 时有断流现象发生的年楚河, 计算出了 9 个具有可操作性的生态需水状态, 根据当地的实际情况, 建议水资源管理部门以状态 3 和状态 4 为近期水资源管理的目标。

关键词: 生态环境需水; 水文指数; 年楚河; 雅鲁藏布江

文章编号: 1000-0933(2006)09-2989-07 **中图分类号:** Q14, TV21, X143 **文献标识码:** A

A dynamic hydrological method to calculate instream flow and its application

YANG Zhi-Feng, CHEN He (State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2989~2995.

Abstract: With the rapid economic development in China, water shortage and water quality deterioration in rivers have become serious problems for ecological systems. Recognition of such situation of rivers has led to the establishment of the science of instream flow assessment. Instream flow assessment can determine the quantity and quality of water required for ecosystem conservation and resource protection.

The majority methods of instream flow assessment can be grouped into four categories, such as hydrological, hydraulic rating, habitat simulation (or rating), and holistic methodologies. Hydrological method is the most widely used and suitable for China, with lack of detailed ecological data. The hydrological method has been criticized for offering an assessment resolution only from low to moderate, and encompassing limited temporal differences in flow allocations.

In order to increase assessment resolution a dynamic method to determine the instream flow for a wide range of ecological states was developed with the combination of monthly percentile curve method and hydrological index. Monthly percentile curve is widely used in instream flow assessment in China while lacking linkage with ecosystems. Hydrological index is closely relevant with ecosystem while it can't be directly used in instream flow assessment. Based on a screening of the most popular hydrological indices, an amended hydrological index method, AAPFD, was used to assess the instream flow of the range of scenarios. AAPFD can be used as an indicator of hydrological alteration. We combined monthly percentile curve and hydrological index to develop a dynamic method. Monthly percentile curve was employed to make out a range of scenarios, and development status of actual water resources was used to adjust the range of scenarios. Then AAPFD was used to evaluate every scenario, and each scenario was

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50239020); 国家重点基础研究发展计划资助项目(973)(2006CB403303)

收稿日期: 2005-12-07; **修订日期:** 2006-08-30

作者简介: 杨志峰(1963~), 河北辛集人, 男, 教授, 环境科学专业, 主要从事水资源与水环境、生态水文研究。E-mail: zfyang@bnu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50239020) and Major State Basic Research Development Program (973) (No. 2006CB403303)

Received date: 2005-12-07; **Accepted date:** 2006-08-30

Biography: YANG Zhi-Feng, Ph. D., Professor, mainly engaged in water resources and water environment, ecological hydrology. E-mail: zfyang@bnu.edu.cn

linked with AAPFD. The number of AAPFD was relevant to ecosystems, and then each scenario was linked with ecosystems.

Nianchu River is a main branch of Yarlung Zangbo River, the largest river in Tibet and the highest river in the world. The dynamic hydrological method developed in this paper was then used in Nianchu River and nine scenarios were set to assist water resources management. Scenario 1 indicates a state that hydrological regime is seriously altered, and scenario 9 indicates a state that hydrological regime is close to natural state.

According to the water resources situation and social development status the department of water resources should take scenario 3 and scenario 4 as the management target in the near future, and the corresponding AAPFD is 3.07 and 2.59. These scenarios indicate states moderately altered by water resources development.

Key words: instream flow; hydrological index; Nianchu River; Yaluzangbu River

水是生命的载体,是维系自然界一切生命活动与生态过程的基础性自然资源。河流是水资源的首要输运通道,担负着水资源从自然界向人类社会输移和分配的重要任务。河流生态系统的健康与否不但影响以水贯穿其中的整个生态系统,还影响水资源输运通道的功能,并直接影响到人类可利用水资源的数量和质量。河流生态环境需水研究是建立在对河流生态系统结构认识的基础上,在保证河流生态系统的完整性或者可允许程度上的退化前提下,分析河流生态系统的外部可供水量以及河流生态系统的需水量。河流生态环境需水也就是分析应该为下游河道和河漫滩预留多少水,以维护河流生态系统的健康。生态环境需水量的界定、计算和分析是水资源管理中实现人与自然和谐发展的重要基础因素。

生态环境需水的研究始于 20 世纪 40 年代的美国西部,到了 20 世纪 70 年代,由于相关法律法规的颁布以及建坝高潮的到来,生态环境需水的研究也相应的发展迅速。20 世纪 80 年代,澳大利亚、英国、新西兰和南非等国在该方面的研究开始出现。而在东欧、拉美、非洲和亚洲,该方面的研究较少。

目前,有将近 50 个国家开展了生态环境需水量的研究,大概有 200 多种研究方法,这些方法可归为四大类:水文学法、水力学法、栖息地模拟法和整体法^[1]。水文学方法出现最早并且应用最广泛,几乎上应用到了世界上所有的地方,适合于设定初级目标和国家性战略决策,至今仍然是应用最为广泛的方法^[2,3];水力学法属于中间方法,本身并没有太大的发展前途,但可以为栖息地模拟法和整体法提供研究方法和手段,属于向栖息地模拟法和整体法过渡的方法,终将融合到这两种方法之中;栖息地模拟法强调水文、物理形态和生物信息的有机结合,并产生动态的水文和栖息地时间序列数据,能够用这些数据来验证不同的生态环境用水对目标生物生命周期和聚集习性的影响,最具科学性,但对数据要求太高,不适用于我国;整体法将生态需水目标生物从一种扩展到多种和整个生态系统,强调流域系统的整体性,符合流域综合管理的要求,是生态环境需水计算方法的巨大进步,但对该法对数据的要求依然很高,在我国运用有一定的困难^[4~6]。

因此,水文学方法成了我国生态环境需水计算的主要方法,并会在一定时期占据主导地位。但是一般的水文学方法仅仅计算出来一个最小值、最优值或者一个简单的区间,在实际的水资源管理中,不能根据水资源情势做出适当调整,具体实施有很大困难。本文将月保证率法和水文指数法结合起来,用月保证率法计算出一个初始生态环境需水,而后使生态环境需水在这一值附近离散,生成系列值,再根据河流生态系统评价法的思想,评价系列值对生态系统的影响。这样,计算出来的生态需水将是动态的,而不是一个简单的值,更有利于实际的水资源管理。

1 动态生态环境需水计算方法

动态生态环境需水计算方法包括两个部分:启动部分和分析部分。其中,启动部分用月保证率法计算出来一个初始的生态环境需水,用这一值确定一个生态环境需水的大致区间,最终生态环境需水的结果与此值并没有直接关系。而后根据这一初始值,将生态环境需水在附近的区间上离散,构成生态环境需水状态空间。分析部分的核心是水文指数法,利用水文指数法逐一分析生态环境需水状态空间中的需水系列值,并为每一个值确定一个评价因子,这样就会构成一个动态的生态环境需水范围。

1.1 初始生态环境需水

初始生态环境需水根据月保证率法计算,然后推求出生态环境需水状态空间。月保证率法是根据研究区实际情况及现有的水文资料,在参考 Tennant 法基础上提出的一种计算河道生态环境需水的方法^[7,8]。

月保证率设定法,根据系列水文统计资料,以不同的月保证率下的天然年径流量百分比作为河道生态环境需水量的等级,分别计算不同保证率、不同等级下的月河道生态环境需水量,具体步骤如下:

- (1) 根据系列水文资料,首先对各月天然径流量按照从小到大的顺序进行排列;
- (2) 计算不同保证率(25 %、50 %、75 %、95 %)下所对应的各月天然流量,以及各月的多年平均值;
- (3) 根据系列水文统计资料,在不同的月保证率前提下,以相对应的年天然年径流量百分比作为河道生态环境需水的等级,分别计算不同保证率、不同等级下的月河道生态环境需水量。

生态环境需水状态空间的初始点应该建立在一个较为合理的状态点上,根据月保证率设定法^[7],这里将 1956~2000 年 50 %保证率条件下 30 %的月天然径流量作为初始河道内生态环境需水的一个因素,并计算出此条件下 12 个月生态环境需水占多年平均月天然径流量的比例,分别为 $P_{11}, \dots, P_{121}$ 。将水资源配置目标年份的实测流量与天然流量的比值作为初始河道内生态环境需水的另一个因素,分别为 $P_{12}, \dots, P_{122}$ 。初始生态环境需水为两项之和的一半,各月初始生态环境需水分别为 $P_1 = (P_{11} + P_{12}) / 2, \dots, P_{12} = (P_{121} + P_{122}) / 2$ 。

而后,构造如表 1 所示的生态环境需水计算状态空间,也可以根据实际情况向两个方向扩展状态空间。如果存在小于 0 的项,则变为 0。

表 1 生态环境需水计算状态空间

Table 1 Computation scenarios of instream flow									
月	状态 1	状态 2	状态 3	状态 4	状态 5 ^①	状态 6	状态 7	状态 8	状态 9
Month	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9
1	$P_1^* (1 - 80 \%)$	$P_1^* (1 - 60 \%)$	$P_1^* (1 - 40 \%)$	$P_1^* (1 - 20 \%)$	P_1	$P_1^* (1 + 20 \%)$	$P_1^* (1 + 40 \%)$	$P_1^* (1 + 60 \%)$	$P_1^* (1 + 80 \%)$
2	$P_2^* (1 - 80 \%)$	$P_2^* (1 - 60 \%)$	$P_2^* (1 - 40 \%)$	$P_2^* (1 - 20 \%)$	P_2	$P_2^* (1 + 20 \%)$	$P_2^* (1 + 40 \%)$	$P_2^* (1 + 60 \%)$	$P_2^* (1 + 80 \%)$
3	$P_3^* (1 - 80 \%)$	$P_3^* (1 - 60 \%)$	$P_3^* (1 - 40 \%)$	$P_3^* (1 - 20 \%)$	P_3	$P_3^* (1 + 20 \%)$	$P_3^* (1 + 40 \%)$	$P_3^* (1 + 60 \%)$	$P_3^* (1 + 80 \%)$
4	$P_4^* (1 - 80 \%)$	$P_4^* (1 - 60 \%)$	$P_4^* (1 - 40 \%)$	$P_4^* (1 - 20 \%)$	P_4	$P_4^* (1 + 20 \%)$	$P_4^* (1 + 40 \%)$	$P_4^* (1 + 60 \%)$	$P_4^* (1 + 80 \%)$
5	$P_5^* (1 - 80 \%)$	$P_5^* (1 - 60 \%)$	$P_5^* (1 - 40 \%)$	$P_5^* (1 - 20 \%)$	P_5	$P_5^* (1 + 20 \%)$	$P_5^* (1 + 40 \%)$	$P_5^* (1 + 60 \%)$	$P_5^* (1 + 80 \%)$
6	$P_6^* (1 - 80 \%)$	$P_6^* (1 - 60 \%)$	$P_6^* (1 - 40 \%)$	$P_6^* (1 - 20 \%)$	P_6	$P_6^* (1 + 20 \%)$	$P_6^* (1 + 40 \%)$	$P_6^* (1 + 60 \%)$	$P_6^* (1 + 80 \%)$
7	$P_7^* (1 - 80 \%)$	$P_7^* (1 - 60 \%)$	$P_7^* (1 - 40 \%)$	$P_7^* (1 - 20 \%)$	P_7	$P_7^* (1 + 20 \%)$	$P_7^* (1 + 40 \%)$	$P_7^* (1 + 60 \%)$	$P_7^* (1 + 80 \%)$
8	$P_8^* (1 - 80 \%)$	$P_8^* (1 - 60 \%)$	$P_8^* (1 - 40 \%)$	$P_8^* (1 - 20 \%)$	P_8	$P_8^* (1 + 20 \%)$	$P_8^* (1 + 40 \%)$	$P_8^* (1 + 60 \%)$	$P_8^* (1 + 80 \%)$
9	$P_9^* (1 - 80 \%)$	$P_9^* (1 - 60 \%)$	$P_9^* (1 - 40 \%)$	$P_9^* (1 - 20 \%)$	P_9	$P_9^* (1 + 20 \%)$	$P_9^* (1 + 40 \%)$	$P_9^* (1 + 60 \%)$	$P_9^* (1 + 80 \%)$
10	$P_{10}^* (1 - 80 \%)$	$P_{10}^* (1 - 60 \%)$	$P_{10}^* (1 - 40 \%)$	$P_{10}^* (1 - 20 \%)$	P_{10}	$P_{10}^* (1 + 20 \%)$	$P_{10}^* (1 + 40 \%)$	$P_{10}^* (1 + 60 \%)$	$P_{10}^* (1 + 80 \%)$
11	$P_{11}^* (1 - 80 \%)$	$P_{11}^* (1 - 60 \%)$	$P_{11}^* (1 - 40 \%)$	$P_{11}^* (1 - 20 \%)$	P_{11}	$P_{11}^* (1 + 20 \%)$	$P_{11}^* (1 + 40 \%)$	$P_{11}^* (1 + 60 \%)$	$P_{11}^* (1 + 80 \%)$
12	$P_{12}^* (1 - 80 \%)$	$P_{12}^* (1 - 60 \%)$	$P_{12}^* (1 - 40 \%)$	$P_{12}^* (1 - 20 \%)$	P_{12}	$P_{12}^* (1 + 20 \%)$	$P_{12}^* (1 + 40 \%)$	$P_{12}^* (1 + 60 \%)$	$P_{12}^* (1 + 80 \%)$

①状态 5 是计算空间的初始状态 Scenario 5 is the beginning scenario

1.2 水文特征和生态系统的关联

环境因子时空变化能够影响河流生态系统中生物群落的结构和连续性,河流的水温、溶解氧、沉积物、有机质和其它物质的变化能够改变水生栖息地的适宜度。

径流是上下游、地表水和地下水、河道和洪泛平原之间进行物质和能量交换的主要影响因素。水文事件是径流状况的表征因子,因此,河流的水文状况是河流生态系统的重要驱动因素。河流的水文状况变化可通过流量的变化率和变化幅度等特征来反映。水文值的大小可以定义生境特征值,特殊水文事件的发生时间与特定生物的生命过程需求是否得到满足有关,特殊水文事件的发生频率与生物繁殖或死亡事件有关,并进而影响种群动态变化,特定水文事件的持续时间可决定特殊生命循环是否能完成,水文值的变化率与生物承受变化的能力有关^[9]。已有的研究表明,水文特征与洪泛平原、鱼类、底栖动物、河流物理形态和河岸带植被等都存在相关关系^[10]。因此,可以用河流的水文特征来反映整个河流生态系统的健康状况。

1.3 动态水文指数法

水文指数法就是在上述规律的基础上,通过对流量、发生时间、频率、持续时间和变化率等水文特征的分析来计算生态环境需水。目前,大概有 100 种左右的水文指数,主要用来评价河流的状况和计算生态环境需水。表 2 是 4 种常用的水文指数计算方法^[11]。

表 2 4 种常用的水文指数计算方法^[11]Table 2 Four kinds of hydrological index methods^[11]

方法 Methods	计算公式 Computation formulas	说明 Explanations
水文偏差 Hydrological deviation	$HD = \sum_{j=1}^{12} \left[\frac{\sum_{i=1}^{12} c_{ik} - n_{ij} }{\sum_{i=1}^{12} n_{ij}} \right] \times 100\%$	(1) 反映实测流量相对于自然流量的变化 It can reflect the relative change between gauged flow and natural flow
流量偏差值 Ratio flow deviation	$RFD = \sum_{j=1}^{12} \left[\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} r_{ij} - 1 \right]$, 其中, 如果 $c_{ik} \geq n_{ij}$, $r_{ij} = \frac{c_{ik}}{n_{ij}}$; 如果 $n_{ij} \geq c_{ik}$, $r_{ij} = \frac{n_{ij}}{c_{ik}}$ 。	(2) 对高流量和低流量都比较敏感,但是不能计算实测流量或者自然流量为 0 的状态 Sensitive to high flow and low flow, whereas invalid to zero natural flow
全年流量偏差 Annual proportional flow deviation	$APFD = \sum_{j=1}^{12} \left[\sum_{i=1}^{12} \left \frac{c_{ik} - n_{ij}}{n_{ij}} \right ^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	(3) 对季节变化比较敏感,与鱼类的密度高度相关,但不适用于自然流量为 0 的状态 Sensitive to seasonal change and fish density, whereas invalid to zero natural flow
修正全年流量偏差 Amended annual proportional flow deviation	$AAPFD = \frac{1}{Y} \sum_{j=1}^{12} \left[\sum_{i=1}^{12} \left \frac{c_{ik} - n_{ij}}{n_{ij}} \right ^2 \right]^{\frac{1}{2}}$, 其中 Y 为评价年数, $\bar{n}_{ij} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} n_{ij}$ 。	(4) 对 APFD 的改良,该因子越大,说明对河流生态系统的人为影响越严重 Improved APFD, which increases with the human factors

c_{ik} 为第 k 评价年第 i 月的流量, n_{ij} 为第 j 年第 i 月的自然流量 c_{ik} is the flow of month i in year k and n_{ij} the natural flow of month i in year j

澳大利亚自然资源和环境部在 11 条河流检验了上述 4 个水文指标,认为 AAPFD 更能反映河流生态系统的健康状况,对流量变化的生态环境效应更敏感。Gehrke 将 AAPFD 法应用于澳大利亚的 Murray - Darling 河,发现 AAPFD 值与河流内的鱼类密度有较强相关性,能够反映河流生态系统的变化^[12]。AAPFD 法一般评价 5a 的流量, Marchan 和 Hehir 将其评价年变为 1a,并用于评价修建大坝以后流量变化对河流生态系统的影响^[13]。这里通过修改 AAPFD 法,将不同的生态环境需水状态与历史年水文状态相比较,将对历史年的评价转换为对各个生态环境需水计算状态空间的评价。

参考由 Ladson 等人在 1995 年开发的 ISC (Index of Stream Condition) 方法^[14],确定 AAPFD 与水文指数遵循表 3 所示的关系。

这样便可以形成各个生态环境需水状态空间的修正全年流量偏差 (AAPFD) 和相应的水文指数。AAPFD 的值越大,说明流量变化对河流生态系统的影响越大,河流的健康状况也就越差。水文指数可以给出一个直观的量化参数,用其判断河流生态系统的健康状况,如果该值大于 0,说明河流的健康状况是可以接受的;等于 0 则认为河流生态系统受损^[12~14]。水文指数越大,说明河流生态系统受人为改变流量模式的影响越小,河流生态系统也就越健康,当水文指数等于 10 的时候,则河流生态系统完全处于自然状态,没有人类活动对流

表 3 AAPFD 值和水文指数的关系

Table 3 Relationship between AAPFD and hydrological index	
AAPFD	水文指数 Hydrological index
< 0.1	10
0.1~0.2	9
> 0.2~0.3	8
> 0.3~0.5	7
> 0.5~1.0	6
> 1~1.5	5
> 1.5~2	4
> 2~3	3
> 3~4	2
> 4~5	1
> 5	0

量模式的扰动。有了这两项参数以后,对生态环境需水认识将更深刻,在具体的水资源管理过程中,对生态环境需水管理的具体实施就会更容易操作。

2 案例研究

年楚河是雅鲁藏布江右岸最大的一条支流,发源于喜马拉雅山中段北麓的雪山,于日喀则县尼仓附近汇入雅鲁藏布江,如图 1 所示。从涅如藏布的桑旺湖至达巴(海拔 4305m)为年楚河上游,长约 74.6km,落差 845m,平均坡降为 11.3‰;从达巴至冲巴涌曲汇口(海拔 4050m)为中游,长约 39.7km,落差约 255m,平均坡降为 6.4‰。从冲巴涌曲口至年楚河口,为下游,长约 102.7km,落差 222m,平均坡降约 2.2‰。从源头至河口,河道全长 217km,天然落差 1322m,平均坡降 6.09‰,流域面积 1.1 万 km²,江孜站年蒸发强度 2570mm,河口处多年平均流量 56m³/s,年径流量 18 亿 m³。

将本文的动态生态环境需水计算方法用于雅鲁藏布江流域的年楚河,利用 1956~2000 年水文资料,以 2000 年为目标年,计算年楚河的各个生态环境需水方案下的修正全年流量偏差(AAPFD)和相应的水文指数。2000 年径流量 36 亿 m³,属于偏丰年份,但枯季径流低于平水年,雨季径流高于平水年,属于一般生态环境需水计算方法难于调节的年份。

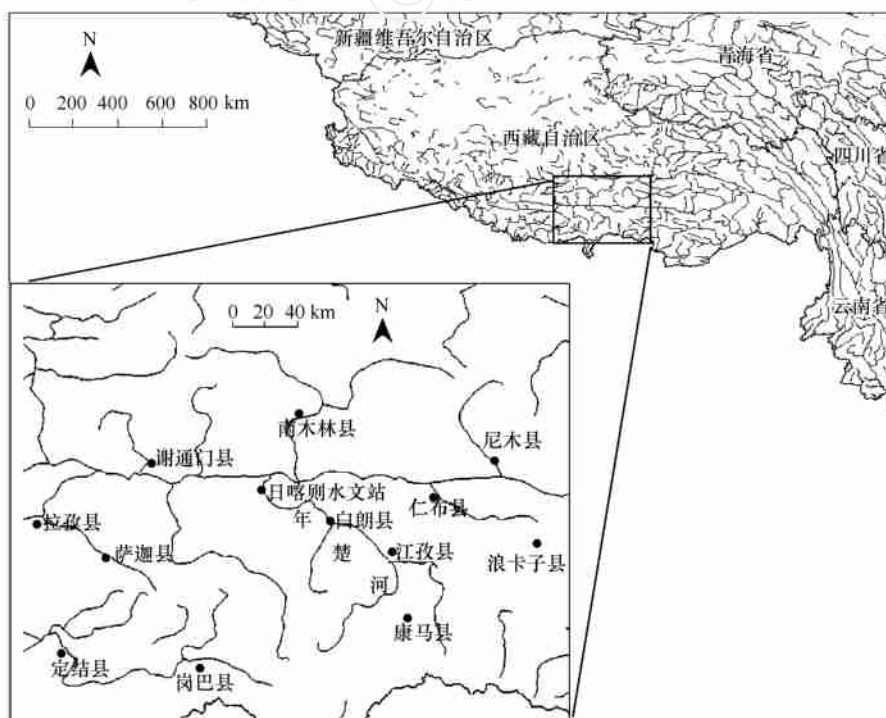


图 1 年楚河及其所在的位置^[15]

Fig. 1 Nianchu River and its location^[15]

利用初始生态环境需水计算方法,计算出如表 4 所示的生态环境需水计算状态空间。

应用式(4),计算出表 4 所示各个生态环境需水计算状态空间的修正全年流量偏差(AAPFD)和相应的水文指数,列于表 5 中。表 5 是各种可能调控状态下的生态环境需水,因为年楚河的流量存在严重的季节变异,干旱时期又难以避免对有限水资源的利用,因此各种状态的 AAPFD 和水文指数并不是特别理想,但这些状态为年楚河的水资源管理提供了可靠而实用的依据,可以根据表 5 中的各种状态逐步调整生态环境需水,最终使其达到满意的水平。近期的生态环境需水调控目标应该是状态 3 和状态 4。

3 结论

因为具体条件的限制,水文学方法仍然是我国生态环境需水计算的主要方法。但是,一般的水文学方法

表 4 各计算状态占多年月平均径流量的百分比(控制站:日喀则)

Table 4 Monthly flow in every state in the gauge station of Rikaze									
月份 Month	状态 1 Scenario 1	状态 2 Scenario 2	状态 3 Scenario 3	状态 4 Scenario 4	状态 5 Scenario 5	状态 6 Scenario 6	状态 7 Scenario 7	状态 8 Scenario 8	状态 9 Scenario 9
1	10.52 %	21.04 %	31.56 %	42.08 %	52.60 %	63.12 %	73.64 %	84.16 %	94.68 %
2	10.02 %	20.05 %	30.07 %	40.10 %	50.12 %	60.14 %	70.17 %	80.19 %	90.22 %
3	9.21 %	18.42 %	27.64 %	36.85 %	46.06 %	55.27 %	64.48 %	73.70 %	82.91 %
4	7.14 %	14.27 %	21.41 %	28.54 %	35.68 %	42.82 %	49.95 %	57.09 %	64.22 %
5	7.76 %	15.51 %	23.27 %	31.02 %	38.78 %	46.54 %	54.29 %	62.05 %	69.80 %
6	6.27 %	12.54 %	18.80 %	25.07 %	31.34 %	37.61 %	43.88 %	50.14 %	56.41 %
7	9.01 %	18.02 %	27.03 %	36.04 %	45.05 %	54.06 %	63.07 %	72.08 %	81.09 %
8	11.37 %	22.74 %	34.11 %	45.48 %	56.85 %	68.22 %	79.59 %	90.96 %	100.00 %
9	11.27 %	22.53 %	33.80 %	45.06 %	56.33 %	67.60 %	78.86 %	90.13 %	100.00 %
10	10.83 %	21.66 %	32.50 %	43.33 %	54.16 %	64.99 %	75.82 %	86.66 %	97.49 %
11	10.88 %	21.77 %	32.65 %	43.54 %	54.42 %	65.30 %	76.19 %	87.07 %	97.96 %
12	3.23 %	6.46 %	9.68 %	12.91 %	16.14 %	19.37 %	22.60 %	25.82 %	29.05 %

表 5 各计算状态月径流、AAPFD、水文指数(控制站:日喀则)

Table 5 Flow, AAPFD and hydrological index in every state in Rikaze station									
月份 Month	状态 1 Scenario 1	状态 2 Scenario 2	状态 3 Scenario 3	状态 4 Scenario 4	状态 5 Scenario 5	状态 6 Scenario 6	状态 7 Scenario 7	状态 8 Scenario 8	状态 9 Scenario 9
1	0.06	0.13	0.19	0.25	0.32	0.38	0.44	0.51	0.57
2	0.05	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.37	0.43	0.48
3	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53
4	0.04	0.08	0.12	0.15	0.19	0.23	0.27	0.31	0.35
5	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.3	0.34	0.38
6	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.5	0.58	0.67	0.75
7	0.32	0.64	0.96	1.28	1.6	1.92	2.24	2.56	2.88
8	0.49	0.98	1.47	1.97	2.46	2.95	3.44	3.93	4.32
9	0.33	0.66	0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.64	2.93
10	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35
11	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81
12	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
AAPFD	4.05	3.55	3.07	2.59	2.15	1.78	1.51	1.39	1.38
水文指数 Hydrological index	1	2	2	3	3	4	4	5	5

计算出来的只是一个河流生态环境状态下的理想化的生态环境需水量,在实际的水资源管理过程中难以操作。动态生态环境需水计算方法在已有水文学方法的基础上,能够计算出不同生态环境状态下的需水量,使静态的生态环境需水计算转变为具有较强现实意义的动态生态环境需水。通过在年楚河的应用,给出了年楚河 9 种可行状态下的生态环境需水状态,为该流域的水资源管理部门提供了实用性的生态环境需水计算方法。

各种生态环境需水计算方法的融合和交叉运用已经成为生态环境需水研究的一个趋势,动态生态环境需水计算方法就是将月保证率法和水文指数法联合运用,克服了单一方法的缺点。未来的生态环境需水计算方法应该建立在各种方法联合运用的基础上,将水文学方法用作流域战略规划和宏观管理的工具,将栖息地模拟法和整体法用作具体实施过程中的量化工具。

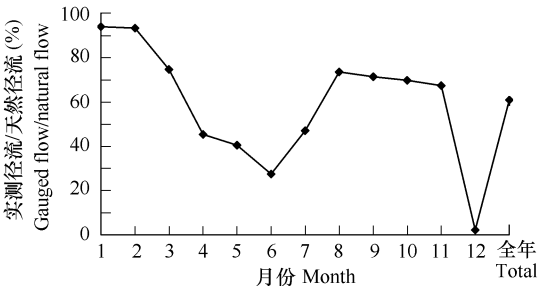


图 2 年楚河 1980~2000 年月平均实际径流占天然径流比

Fig. 2 Ratio of regulated flow to natural flow in Rikaze station between 1980 and 2000

References :

- [1] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Application*, 2003, 19(5) : 397~441.
- [2] Scatena F N. A survey of methods for setting minimum instream flow standards in the Caribbean basin. *River Research and Applications*, 2004, 20(2) : 127~135.
- [3] Yang Z F, Cui B S, Liu J L, *et al.* Methodologies of assessing ecological and environmental water requirements and its applications. *Science in China (D)*, 2004, 34(11) :1072~1082.
- [4] Zhao X N, Wu P T, Wang W Z, *et al.* Research advance on eco-environmental water requirement. *Advances in Water Science*, 2005, 16(4) :617~622.
- [5] Wurbs R A. Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability. *Journal of Hydrology*, 2005, 300(1) :100~113.
- [6] King J, Brown C and Sabet H. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 2003, 19 : 619~639.
- [7] Yang Z F, Cui B S, Liu J L, *et al.* Ecological and environmental water requirements: theories, methods and practice. Beijing: Science Press, 2003.
- [8] Yang Z F, Liu J L, Xiao F, *et al.* Conformity calculation of river ecological flows in the Hai He River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4) : 442~448.
- [9] Chen Q H, Xia Z Q, Hao Z C. RVA method for the computation of ecological water requirement and its application. *Water Resources Protection*, 2005, 21(3) :4~11.
- [10] Thoms M C and Parsons M. Identifying spatial and temporal patterns in the hydrological character of the Condamine-Balonne River, Australia, using multivariate statistics. *River Research and Applications*, 2003, 19(5) : 443~457.
- [11] Richter B, Baumgartner J V and Powell J. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 1996, 10(4) : 1163~1174.
- [12] Cehrke P C, Brown P, Schiller C B, *et al.* River regulation and fish communities in the Murray-Darling River system, Australia. *Regulated Rivers: Research and Management*, 1995, 11(3) :363~375.
- [13] Marchant R and Hehir G. The use of AUSRIVAS predictive models to assess the response of lotic macroinvertebrates to dams in southeast Australia. *Freshwater Biology*, 2002, 47(5) :1033~1050.
- [14] Ladson A R, White L J. An Index of Stream Condition: Reference Manual. Department of Natural Resources and Environment, Australia, 1999.
- [15] 1:4000000 database of national fundamental geographic information system. <http://nfgis.nsdi.gov.cn>, 2006-07-20

参考文献:

- [3] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量评估方法与例证. *中国科学(D 辑)*, 2004, 34(11) :1072~1082.
- [4] 赵西宁, 吴普特, 王万忠, 等. 生态环境需水研究进展. *水科学进展*, 2005, 16(4) :617~622.
- [7] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] 杨志峰, 刘静玲, 肖芳, 等. 海河流域河流生态基流量整合计算. *环境科学学报*, 2005, 25(4) :442~448.
- [9] 陈启慧, 夏自强, 郝振纯, 等. 计算生态需水的 RVA 法及其应用. *水资源保护*, 2005, 21(3) :4~11.
- [15] 国家基础地理信息系统全国 1:400 万数据库. <http://nfgis.nsdi.gov.cn>, 2006-07-20