

澜沧江(云南段)河道生态需水量计算

胡波, 崔保山*, 杨志峰, 王娟, 翟红娟, 姚敏

(环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:综合分析澜沧江地理地貌、水文气象以及人类活动等现状特征,将澜沧江河道分为三区五段九大支流,并根据需水特征选取了上游旧州、中下游戛旧、下游允景洪3区作为研究区。在多年逐月实测径流量数据的基础上,通过运用生态现状的时空分析比较、数据资料的集中趋势以及离散程度分析等方法设定了河道生态需水等级系数;在通过对澜沧江径流量集中与离散程度分析的基础上,选择了频度法进行生态径流量的计算;综合河道生态需水等级系数与生态径流量进行澜沧江河道生态需水的计算,并对澜沧江汛期与非汛期河道生态需水量进行了分析计算。通过综合分析比较,结果显示澜沧江河道最小、适宜以及理想河道生态需水量分别为 $161.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $278.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $358.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,占澜沧江多年实测平均径流量($567.76 \times 10^8 \text{ m}^3$)的28.49%、49.00%、63.20%,占澜沧江多年径流量($765 \times 10^8 \text{ m}^3$)的21.15%、36.37%、46.90%。

关键词:生态需水量;河道;实测径流量;需水系数;频度;澜沧江;纵向岭谷区

文章编号:1000-0933(2006)01-0163-11 中图分类号:P333.1,Q14 文献标识码:A

Calculation of ecological water requirements for in-stream in the Lancang River, Yunnan Province, China

HU Bo, CUI Bao-Shan*, YANG Zhi-Feng, WANG Juan, ZHAI Hong-Juan, YAO Min (State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (1):163~173.

Abstract: Since the mid-1980s, with the exploitation and operation of the "two dam and eight cascade" program, which takes Xiaowan dam and Nuozhadu dam as its core component, the ecosystem health of the Lancang River has been seriously affected by the construction and the operation of those dams. And the ecological water requirements, the most important basis to maintain the ecological health of the Lancang River, have attracted most of our attention. According to our field investigation of the Lancang River and analysis of the data collected during the investigation, the ecological water requirement of the Lancang river mainly includes the following several respects: the basic flow which is used to maintain the basic form of river; the environmental (purifying) flow which keeps water of the river in a good quality to maintain its basic function; the transporting sediment flow which is used to maintain and regulate water sediment balance and the ecological flow which is used to provide enough water in order to guarantee the survival of living beings in the river and their habitat. Considering the supporting information data, the present paper adopts the ecological runoff—grade coefficient of ecological water requirements methods.

Firstly, based on the investigation of hydrological, ecological and human activity condition of the Lancang River, this paper divides the Lancang River into three regions, nine reaches and five branches, and the present study choose up reach (Jiuzhou), the middle reach (Gajiu) and the lower reach (Yunjinghong) as study targets.

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415104);国家科技攻关西部专项资助项目(2002BA901A22-05)

收稿日期:2005-08-20; **修订日期:**2005-11-18

作者简介:胡波(1980~),男,山东日照人,硕士生,主要从事生态环境需水、生态环境规划管理研究. E-mail: hu-bo1234@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: cuiba@163.com

Foundation item: National Key Basic Research Development Program of China (No. 2003CB415104), the western project of National Project (No. 2002BA901A22-05)

Received date: 2005-08-20; **Accepted date:** 2005-11-18

Biography: HU Bo, Master candidate, mainly engaged in eco-environmental water requirements, eco-environmental planning and management. E-mail: hu-bo1234@sohu.com

Secondly, Built on the annual measure runoff, the present paper uses the ecological characteristic comparison and statistical methods including variation and concentration analysis to calculate the grade coefficient of ecological water requirements in the three different regions of the Lancang River, and uses the frequency method to calculate the ecological runoff based on principle of low runoff with high frequency.

At last, this paper calculates the ecological water requirements in the Lancang River. During this process, this paper combines the grade coefficients of EWR with ecological runoff to calculate the Lancang River ecological water requirement, by using the frequency and Coefficient of variation methods. Considering the big difference in coefficient of variation of runoff in flood and non-flood season, this paper calculates the ecological water requirement respectively.

By the systematic analysis of the outcome, we can get the minimum, satisfying and optimal ecological water requirements in the Lancang River, and they are $161.77 \times 10^8 \text{ m}^3$, $278.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $358.82 \times 10^8 \text{ m}^3$. The three ecological water requirements respectively occupy 28.49%, 49.00%, 63.20% of the average measure run-off ($567.75 \times 10^8 \text{ m}^3$) of Lancang River, and they also respectively occupy 21.15%, 36.37%, 46.90% of the natural run-off ($765 \times 10^8 \text{ m}^3$) of Lancang River.

Key words: ecological water requirements for in-stream; measure runoff; frequency; coefficient of ecological water requirement; Lancang River; longitudinal range-gorge region

澜沧江(N21°08' ~ 29°15', E98°36' ~ 102°19')发源于中国青海省唐古拉山东北部,西部以怒山(南段碧罗雪山)、邦马山等山脊线与怒江分界,东部则以云岭、无量山等山地分别与金沙江、红河分水,流经7地3市36个县,流域土地面积为 $14.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占云南全省土地面积的 38.4%。从流域整体地势看,地势由北向南呈阶梯状下降,主体地貌特征表现为高山峡谷相间,随山脉南延,山川间距由上游向下逐渐展宽。独特的自然地理及受西风带环流、西风带大气系统、副热带及热带天气系统的影响,该流域气候在地区和垂直方向上有明显的差异,从北纬 21°10'至北纬 29°16',从海拔 76.4m 到 6740m, 910km 长的地带内,出现了热带、亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、温带、寒带 7 个气候带,土壤、植被也呈现同样的变化规律。澜沧江水资源丰富,天然河川水资源总量 $771.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中云南境内为 $534.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但另一方面,水资源的时空分布不均匀,雨季雨量占全年降雨的 80%^[1-3]。

独特的自然地理位置赋予澜沧江流域河道落差大、年际洪枯径流变率小、水资源丰富等水电开发的便利条件。到 2020 年,澜沧江干流计划建设以小湾与糯扎渡为核心的“二库八级”水电站(图 1),但其作为一条西南纵向岭谷区生态状况保持良好的河流,流域内生物多样性丰富、珍稀濒危物种多、生态系统复杂、脆弱以及变化的纵向扩散效应显著等特点决定了水电开发必然会给自然生态带来一定胁迫和影响^[1-3]。同时,澜沧江作为一条国际河流,独特的自然地理位置及战略意义,使得梯级水电的开发会涉及多国、多边的利益关系,水资源分配、生态环境改变、水环境污染等带来的跨境问题。进行澜沧江河道生态需水量的研究在处理当前水资源配置及其争端具有十分重要的意义。

河道生态需水量作为一个与河流生态(内因)、水文情势及人类影响(外因)密切相关的变量,本文综合考虑相关影响,采用生态径流与需水等级系数耦合计算河道生态需水量的方法。其中,采用频度法确定生态径流量。需水等级系数涉及到生态、水文以及人为影响,计算比较繁杂,本文采用生态特征指数和实测径流差异系数综合分析的方法进行生态需水等级系数的计算。

1 河道生态需水等级系数的确定

1.1 资料来源

澜沧江干流上、中、下 3 个水文站点 1956 ~ 2000 年逐月实测径流量数据资料;2004 年 7 ~ 8 月、10 ~ 12 月、2005 年 9 ~ 11 月澜沧江野外考察资料,包括植被(乔木、灌木、草本)、土壤(河道两侧不同坡度)、水质(河道左、中、右)以及光合检测试验等数据结果;其它数据:澜沧江流域地区水资源公报,云南省 1961 ~ 1990 年间逐月蒸发监测数据、逐月降水监测数据和年逐月平均相对湿度监测数据,通过对上述数据进行预处理,获得多年月、年径流量的频率分布表。

类型复杂多样,不同的地貌类型以及地势高低、坡度大小、山川走向,直接影响着降雨径流的再分配。总体上,流域地势由北向南出现明显下降趋势,呈现高山峡谷区(旧州段)、中山宽谷区(戛旧段)、中低山宽谷盆地(允景洪段)等地貌景观。

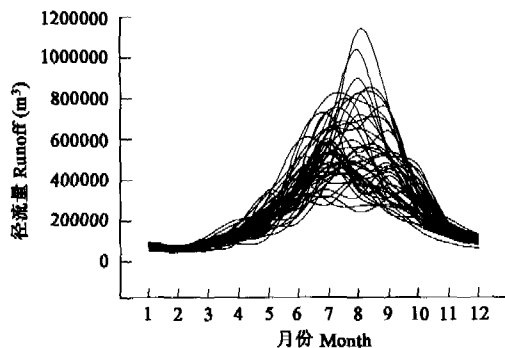


图2 澜沧江流域降雨特征值

Fig.2 The rainfall in the basin of Lancang River

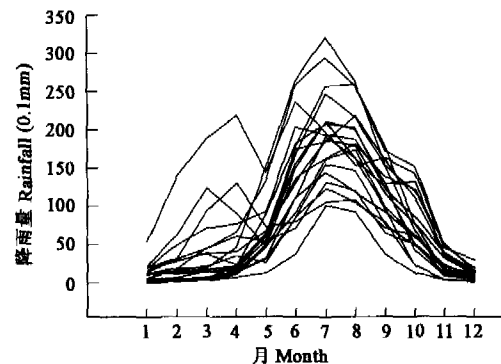


图3 澜沧江多年实测径流量

Fig.3 The measured runoff of Lancang River

1.3 区域生态特征指数分析

依据2004年对澜沧江野外实际考察、数据资料分析以及区域要素分析,本文选取了旧州、戛旧以及允景洪3个区段进行澜沧江河道生态需水的研究(表1)。

旧州水文站点(东经99°13',北纬25°47')以上,其河谷类型为高山深切峡谷,属于“V”型谷,河道中河漫滩欠发育,河道两侧土壤主要以棕壤为主,多砂壤,土壤平均含水率12.12%;气候属于寒带到温带过渡性气候区,垂直变化显著,年平均气温处于4.7~16.1℃之间,年蒸发量1230~1990mm,年平均相对湿度65%~81%,年降水量660~1330mm;河道两侧植被以杉木(*Cunninghama lanceolata*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)、车桑子(*Dodonaea viscosa*)、余甘子(*Phyllanthus emblica*)、南烛(*Lionia ovalifolia*)、金盏银盘(*Bidens biternata*)、白茅(*Imperata cylindrica*)为主,乔木与灌木的平均盖度达60%;此段水系分布主要是汇入型,有沱江、漾濞江、永顺河等;此段还拥有澜沧江碧罗雪山自然保护区。

戛旧水文站点(东经100°30',北纬24°33')以上,此段河谷类型为中山宽谷区,也属于“V”型谷,河床险滩较多,沙砾石多,河道两侧土壤多以红壤、石灰岩土、黄棕壤和暗棕壤为主,砂质,平均含水率达12.74%;气候属于高温湿润的亚热带气候区,年降水量990~1700mm,年平均气温15.8~21.8℃,年蒸发量1580~2350mm,年相对湿度73%~86%;河道两侧植被以钝叶黄檀(*Dalbergia obtusifolia*)、大叶栎(*Q. Coccifera*)、思茅松(*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)、含羞草叶黄檀(*Dalbergia minosoides*)、肖梵天花(*Urena lobata* Linn)以及紫茎泽兰(*Camellia pitardii* var. *yunnanica*)为主,乔木与灌木的平均盖度达75%;此区间有黑惠江、罗闸河(顺甸河、顺宁河)、威远江及小黑江等支流汇入,主要的功能及自然保护区有澜沧江保山景洪保留区、苍山洱海自然保护区、弥苴河洱海源头水保护区、威远江源头水保护区、威远江景谷开发利用区和威远江景谷-沧源保留区等,此段还有众多的人类水利构筑物,小湾、漫湾以及大朝山水电站。

允景洪水文站点(东经100°47',北纬22°02')以上,河谷处于中低山与宽谷盆地相间分布,为中低山宽浅峡谷,属于U型谷,区间的河漫滩发育良好,土壤类型主要以赤红壤和砖红壤为主,沙壤质,平均含水率17.20%;气候属于热带、南亚热带季雨林气候,降水十分丰沛,多年平均降雨量为1224.36mm;河道两侧植被以牡竹(*Dendrocalamus* spp.)、思茅松(*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)、云南山蚂蝗(*Desmodium odinini*)、大叶胡枝子(*Lespedeza davidii*)以及云南羊茅(*Festuca orina* var. *langbianensis*)为主,乔木与灌木的平均盖度达65%;此段的有流沙河、补远江以及南腊河等支流汇入,重要的功能区有澜沧江景洪保留区以及澜沧江规划中最大的糯扎渡水电站。

根据澜沧江流域的实地考察资料以及典型年的生态资料综合分析,本文选取了部分生态特征指标进行模糊综合评判^①,计算结果见表 1,表 2。

1.4 区域径流变差分析

区域生态特征指数分析是为了确定研究区河道特征以及生态特征,为河道生态需水系数等级的划分提供理论分析依据并为河道生态需水量计算提供定量分析支持。区域径流变差分析主要是分析多年实测径流量的离散程度,突出河道生态需水量受胁迫的径流量变化,其中相关参数有:变异系数,表征多年实测径流量的离散程度,能反映河道现状用水的变异程度,又称为变异系数和变差系数;典型年变异系数,即纠正系数。变异系数、典型年变异系数及区域生态特征系数都与生态需水具有相关性;而相互间并没有显著相关性。通过对澜沧江年实测径流量的年内偏差与差异系数分析(图 4)可得:时间序列上,长时间序列中澜沧江实测径流量年际变化稳定,变化幅度无明显变异点,但在短时间序列内出现较大的变化,如 20 世纪 60 年代至 70 年代初和 20 世纪 90 年代中后期;空间尺度上,澜沧江上、中、下 3 段径流变化趋势吻合,并没有明显的跳跃点,这与澜沧江上中游区间径流比重较小、区间年内径流量的变化与年降水量场的变化密切相关、径流年内变化呈现单峰型有很大的关联。基于数据资料以及信息资料调查分析,1956~2000 年期间,1987 年为平水年,1962 年为丰水年,1994 年为枯水年。经过计算,可得澜沧江实测径流变差分析参数表,见表 3。

表 1 澜沧江河道区域特征生态特征指数

Table 1 The ecological characteristic index of regional channel in the Lancang River

研究区 Research region	澜沧江生态特征指数 The ecological characteristic index of regional channel in the Lancang River		
	基本健康 Basic health	适宜健康 Satisfying health	理想健康 Optical health
旧州段 Jiuzhou	0.216	0.313	0.592
戛旧段 Gajiu	0.191	0.254	0.541
允景洪段 Yunjinghong	0.256	0.334	0.583

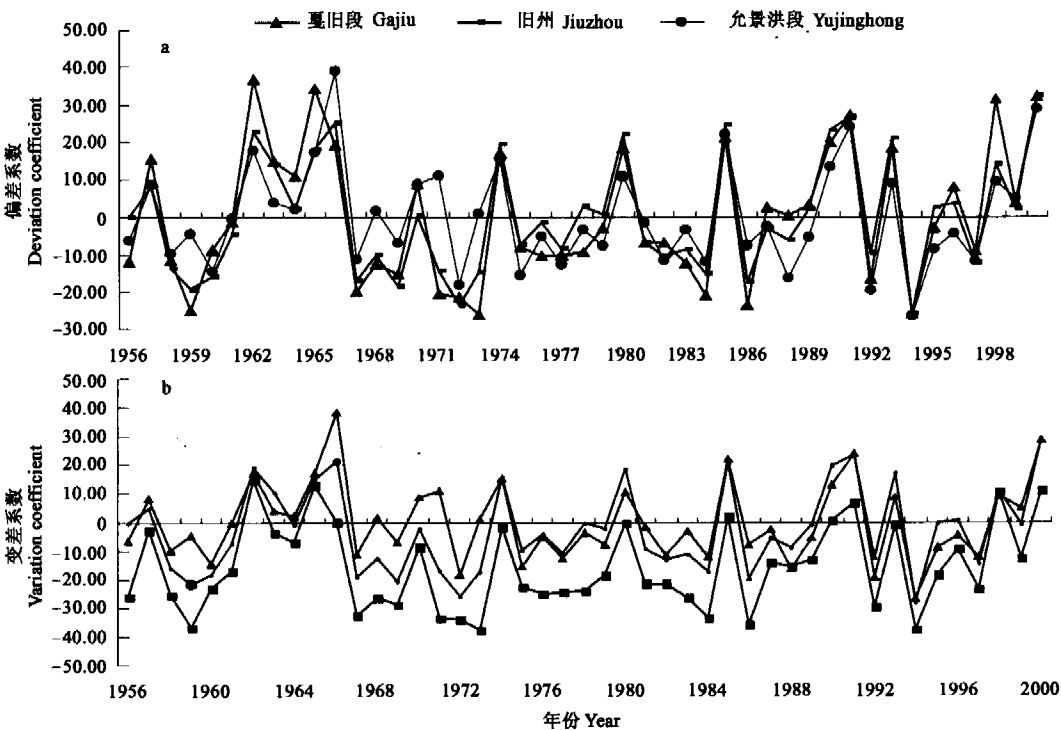


图 4 澜沧江年径流量年际变化分析图

Fig. 4 Analytical of the change of annual runoff in the Lancang River

① 西南纵向岭谷区河道生态需水计算方法研究

表 2 澜沧江河道区域特征指标特征值
Table 2 Eigenvalue of the ecological characteristic index of regional channel in the Lancang River

属性 Attribution	旧州段 Jiuzhou				夏旧段 Gajiu				允景洪段 Yunjinghong				
	过水断面宽 Meandering width	土壤含水 率 Soil moisture content	覆盖率 Effective vegetation cover	多样性指数 Diversity index	过水断面宽 Meandering width	土壤含水 率 Soil moisture content	覆盖率 Effective vegetation cover	多样性指数 Diversity index	过水断面宽 Meandering width	土壤含水 率 Soil moisture content	覆盖率 Effective vegetation cover	多样性指数 Diversity index	
生态系统健康 程度 Degree of ecosystem health	基本健康 Basic health	100 ^①	0.11 ^②	0.28 ^③	0.8905 ^④	110 ^①	0.11 ^②	0.25 ^③	0.8889 ^④	120 ^①	0.12 ^②	0.30 ^③	0.9110 ^④
	适宜健康 Satisfying health	140 ^①	0.14 ^②	0.34 ^③	0.9231 ^④	150 ^①	0.15 ^②	0.35 ^③	0.9022 ^④	160 ^①	0.16 ^②	0.41 ^③	0.9474 ^④
	理想健康 Optical health	180 ^①	0.17 ^②	0.60 ^③	0.9670 ^④	180 ^①	0.19 ^②	0.55 ^③	0.9570 ^④	220 ^①	0.22 ^②	0.60 ^③	0.9784 ^④
	特征值 Eigenvalue	80	0.05	0.15	0.8453	80	0.045	0.181	0.8300	90	0.055	0.17	0.8550
隶属度 Subor- dinating degree	取大 Maximum	250	0.45	0.7	0.9894	300	0.5	0.69	0.9890	350	0.59	0.73	0.9950
	基本健康 Basic health	0.12	0.15	0.24	0.31	0.14	0.14	0.14	0.37	0.12	0.12	0.23	0.40
	适宜健康 Satisfying health	0.35	0.23	0.35	0.54	0.32	0.23	0.33	0.45	0.27	0.20	0.43	0.66
	理想健康 Optical health	0.59	0.30	0.82	0.84	0.45	0.32	0.73	0.80	0.50	0.31	0.77	0.88

①健康程度根据地貌、河道类型以及两侧河漫滩发育程度确定;②健康程度根据土壤类型、厚度、含水率以及地理地貌确定;③健康程度根据调查乔木、灌木以及草本植物的类型、持水性以及覆盖率等确定;④根据已有的研究成果结合现状调查所得①data based on the topographic characteristics, channel type and the development degree of the flood plain;②data based on soil type, soil thickness, soil moisture content and topographic characteristics;③data based on the research of distribution and type of trees, shrubs and herbs, and also the vegetation cover;④data based on the combination of the research result with the field survey

表 3 澜沧江实测径流量变差分析系数

Table 3 The variation coefficient of the measure runoff in the Lancang River

研究区 Research region	偏差系数 ^① Coefficient of deviation		实测径流量特征系数 ^② The characteristic index of measure runoff				
	负偏差系数 ^① Coefficient of negative deviation (%)	正偏差系数 ^① Coefficient of positive deviation (%)	最枯年最枯月 径流量比率 ^① Ratio of the lowest flow season's lowest month flow account for annual year(%)	稳定性参数 ^③ Stability indicator	年内变 异系数 ^① Coefficient of annual variation (%)	年际变异系数 ^① Coefficient of inter-annual variation (%)	典型年变异系 数 ^① Coefficient of variation of typical case(%)
旧州段 Jiuzhou	20.84	7.41	18.64	0.2626	73.74	21.71	31.26
戛旧段 Gajiu	11.57	16.32	21.72	0.2845	71.55	15.58	21.42
允景洪段 Yunjinghong	9.54	13.05	24.13	0.2552	74.48	13.77	22.01

①统计软件对澜沧江多年实测径流量分析的直接结果;②系数名称录取自《GT/T3358.1~3 统计学术语》;③稳定性参数为年内变差系数的差补,反映河道内径流量的稳定程度①the result of statistical soft analyzing of measure runoff in Lancang River;②the name of coefficient is get from 《GT/T3358.1~3 统计学术语》;③stability indicator is patch volume of annual variation, and it can reflect the stability of runoff

1.5 澜沧江河道等级生态需水系数计算

1.5.1 河道最小生态需水系数设定 澜沧江作为典型的西南纵向岭谷区河流,水资源充沛但年内差异明显,流域生态特征随经度的变化而呈现梯度变化,从干热河谷到下游的河漫滩发育型河谷,生态状况变化显著。基于整体宏观层面的分析,同时,基于河道基流的层面进行澜沧江河道最小生态需水系数的确定,主要采用最枯年最枯月径流现状分析、径流量稳定性参数以及生态状况综合分析的方法,将表 2、表 3 数据代入(1)式可得澜沧江河道最小生态需水系数,见表 4:

$$\begin{cases} \varphi' = \alpha_1 \cdot \zeta_{\text{最枯年最枯月径流量比率}} + \alpha_2 \zeta_{\text{最小生态特征指数}} + \alpha_3 \zeta_{\text{稳定性指数}} \\ \sum \alpha_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, φ' 表征河道最小生态需水系数; ζ 表征影响河道生态需水系数的特征要素; α_i 表征特征要素与河道最小生态需水系数的相对隶属程度,可根据专家打分以及相关分析(统计分析)获得。

表 4 澜沧江河道最小生态需水系数

Table 4 The minimum ecological water requirement for in-stream in the Lancang River

研究区 Research region	最枯年最枯月径流量比率 Ratio o of the lowest flow season's lowest month flow account for annual year(%)	赋值 ^① a Valuation	稳定性参数 Stability indicator	赋值 ^① b Valuation	生态特性指数(基本健康) The ecological characteristic index(basic health)	赋值 ^① c Valuation	澜沧江河道最小 生态需水系数 ^② Minimal EWR coefficient(%)
旧州段 Jiuzhou	18.64	0.22	0.263	0.35	0.216	0.43	28.00
戛旧段 Gajiu	21.72	0.16	0.285	0.36	0.191	0.48	29.22
允景洪段 Yunjinghong	24.13	0.11	0.255	0.33	0.256	0.56	30.12

①赋值 a、b、c 采用定性定量相结合的方法确定,定量是指三参数的出现频率占总事件发生的概率比进行权值分配;②采用赋值叠加法获得,即 3 参数分别与赋值积的和①Valuation of a, b and c are obtained from combining qualitative and quantitative method, and the valuation is based on the appeared frequencies occupied of total event;② coefficient is obtained from valuation sum methods

1.5.2 河道适宜、理想生态需水系数设定 澜沧江适宜、理想河道生态需水系数的确定主要是基于生态系统健康与功能保护的角度进行确定的,计算公式如下:

$$\begin{cases} \varphi'' = \varphi' + \left[\alpha_1 \frac{1}{2} (cv_{\text{年际}} + cv_{\text{典型年}}) + \alpha_2 a_2 \right] \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中, φ'' 表征河道适宜生态需水系数; α_i 表征特征要素与河道适宜生态需水系数的相对隶属程度,特征要素包括变异系数和适宜生态特征指数; b_2 表征河道适宜生态特征指数。

$$\begin{cases} \varphi''' = \sum \beta_i \cdot \rho = \beta_1 \cdot cv_{\text{年际}} + \beta_2 \cdot b_3 \\ \sum \beta_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中, φ_k 表征河道理想生态需水系数; ρ 表征影响河道生态需水系数的特征要素, 包括理想生态特征指数(b_3)以及年内变异系数; β_i 表征特征要素与河道理想生态需水系数的相对隶属程度。

将表 1、表 3 的数据代入到公式 2、公式 3 可得澜沧江河道适宜、理想生态需水系数, 见表 5、表 6、表 7。

表 5 澜沧江河道适宜生态需水系数

Table 5 The grading coefficient of the satisfying ecological water requirement for in-stream in the Lancang River

研究区 Research region	最小河道生态需水系数 Minimal EWR coefficient(%)	变异系数 Coefficient of variation			生态特性指数(良好健康)The ecological characteristic index (favorable health)	澜沧江河道适宜生态需水系数 ^② Satisfying EWR(%)
		年际变异系数 Coefficient of inter-annual variation(%)	典型年变异系数 Coefficient of variation of typical case(%)	修正变异系数 ^① Amend Coefficient of variation(%)		
旧州段 Jiuzhou	26.82	21.71	31.26	26.49	0.3128	40.16
戛旧段 Gajiu	28.54	15.58	21.42	18.50	0.2539	33.38
允景洪段 Yunjinghong	32.11	13.77	22.01	17.89	0.3344	38.37

①系数采用平均值法确定; ②参数采用加权叠加法获得, 即代表河道基本径流量的最小河道生态需水系数与河道径流量变异系数的叠加与生态特征指数耦合所得, 加权系数根据野外考察及现状年特征分析获得 ① coefficient obtained from average method; ② coefficient is obtained from weighted sum method, and the weight is get from field research and actual characteristic analyzing

2 澜沧江河道生态需水计算

生态径流量主要是从河道基流的角度进行澜沧江河道生态需水量的计算, 具体计算有径流量均值分析法及频度综合分析方法。综合澜沧江河道生态需水系数、生态径流计算模型以及河道生态需水计算公式可得澜沧江河道生态需水量:

$$Y_k = \varphi_k Y' = \varphi_k \cdot \begin{cases} Y' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \\ Y' = Q_p^i(t, q) \end{cases} \quad (4)$$
$$(5)$$

式中, (4) 式为多年径流均值法, 式中 Y_k 表征河道生态需水量; Y' 表征生态径流量; Q_i 为第 i 年径流量, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, n 为统计年数;

(5) 式为频度法, 即低径流高频度高保证率的计算方法, 式中: Q_p^i 为第 i 年的年(或月、汛期、非汛期)径流量, 是根据澜沧江多年河道径流量频度分布来确定的; P 为多年河道径流量频度, 表征河道径流量大于或等于 Q_p^i 的出现频率, 通过统计软件分析可获得不同径流量的出现频度。

表 6 澜沧江河道理想生态需水系数

Table 6 The grading coefficient of the optimal ecological water requirement for in-stream in the Lancang River

研究区 Research region	年内变异系数 Coefficient of annual variation (%)	生态特性指数 (理想健康) The ecological characteristic index (optical health)	理想河道生态需水系数 ^① Optical EWR coefficient (%)
旧州段 Jiuzhou	73.74	0.593	67.19
戛旧段 Gajiu	71.55	0.541	62.83
允景洪段 Yunjinghong	74.48	0.583	68.81

① 采用加权叠加的方法, 加权系数根据现状年分析获得 The result is obtained by using weighted sum method, the weight are get from the analyzing the actual ecological characteristic in typical year

表 7 澜沧江河道等级生态需水系数

Table 7 The grading coefficient of the ecological water requirement for in-stream in the Lancang River

研究区 Research region	澜沧江河道生态需水系数 EWR for in-stream in the Lancang River		
	最小河道生态需水系数 Minimal EWR coefficient (%)	适宜河道生态需水系数 Satisfying EWR coefficient (%)	理想河道生态需水系数 Optimal EWR coefficient (%)
旧州段 Jiuzhou	22.56	40.16	67.19
戛旧段 Gajiu	22.87	33.38	62.83
允景洪段 Yunjinghong	25.42	38.37	68.81

2.1 径流量均值法

综合多年逐月径流量数据(径流特征值见表 8)、澜沧江河道生态需水系数以及河道生态需水综合模型(4)式, 运用数理统计软件 DPS 6.01 综合计算, 可得澜沧江河道生态需水量, 见表 9。

表 8 澜沧江多年实测径流量特征值 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)

Table 8 Eigenvalue of annual measure runoff in the Lancang river

水文站 Hydrological station	澜沧江多年实测径流量特征值 Eigenvalue of annual measure runoff in the Lancang river		
	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum
旧州 Jiuzhou	300.52(1988)	410.45(1962)	218.209(1973)
戛旧 Gajiu	384.94(1970)	510.957(2000)	284.68 (1994)
允景洪 Yunjinghong	567.74(1961)	787.58(1966)	416.91(1994)

① 括号内数字代表与特征值最相近的年份 Number in bracket represents the year which appeared similar runoff

表 9 澜沧江河道生态需水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)——径流量平均法Table 9 EWR for in-stream in the Lancang River ($\times 10^8 \text{ m}^3$)——annual runoff average method

研究区 Research region	澜沧江河道生态需水量 EWR for in-stream in the Lancang River		
	最小河道 生态需水量 Minimum EWR	适宜河道 生态需水量 Satisfying EWR	理想河道 生态需水量 Optimal EWR
旧州段 Jiuzhou	67.79	120.70	201.93
戛旧段 Gajiu	88.02	128.49	241.86
允景洪段 Yunjinghong	144.31	217.87	390.67

2.2 频度综合分析法

频度综合分析方法中的频度是指径流量频度,澜沧江年由于内径流量变差较大,进行汛期与非汛期的时间尺度划分能够较强的反映河道生态需求的年内变化;另一方面,年际径流量变异性不大,进行年径流量的时间尺度分析,可以较强的反映需水整体变化趋势。

2.2.1 时间尺度——年

运用数理统计软件对澜沧江多年逐月径流量数据综合计算,可得澜沧江河道多年年径流量频率分布表及旧州、戛旧、允景洪水文站的多年年径流量频度分布图,见表 10、图 5。依据小径流大频数的原则,选取了澜沧江河道不同区段生态径流量频度,见表 11。综合生态径流量计算模型(公式 5),可得时间尺度为年的澜沧江河道生态需水量值(表 12)。

2.2.2 时间尺度——汛期、非汛期

运算方法与 2.2.1 相似,而时间尺度采用汛期和非汛期,分别计算了汛期与分汛期澜沧江河道生态需水量,并进行叠加,得相关结果(表 13,表 14)。

3 结果分析与讨论

(1) 生态需水量作为一个与河流生态(内因)、水文情势及人类影响(外因)密切相关的变量,交互作用复杂,本文主要是从生态径流与需水等级系数相耦合的角度进行河流生态系统生态需水量的最大近似模拟。其中,生态径流量是采用频度法,而需水等级系数涉及到生态、水文以及人为影响,计算比较繁杂,本文主要是基于年际、年内实测径流变化差量是实现河流一定生态功能的承载主体的前提,采用生态特征指数和实测径流差异系数综合分析的方法进行生态需水等级系数的计算。经过计算,得到澜沧江的河道最

小、适宜以及理想河道生态需水量依次为 $157.887 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $271.468 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $396.715 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占澜沧江多年实测平均径流量($567.746 \times 10^8 \text{ m}^3$)的 23.11%、36.47%、64.84%。同时,其分别占澜沧江多年径流量 $765 \times 10^8 \text{ m}^3$ (湄委会秘书处)的 17.15%、27.07%、48.12%。通过对澜沧江流域典型县区的典型年特征对照,能够较好的反应实际状况。

(2) 通过对澜沧江实测径流量的差异分析,自上而下,澜沧江年内、年际以及典型年实测径流量差异系数依次减小,年内、年际径流量出现均化现象,对于下游段的年际实测径流量年际变化尤其明显,年际差异系数为 13.77%;而多年最枯月径流量占河道内实测径流量比率依次增高,这一方面是由于下游区枯水期供水多样化,另一方面,中上游人类各种水利构筑物的兴建对澜沧江水文情势改变的影响也是一个重要的原因。

表 10 澜沧江河道多年实测年径流量频率

Table 10 Frequency of annual measure runoff in the Lancang River

属性 Attribution		水文站 Hydrological station		
		旧州 Jiuzhou	戛旧 Gajiu	允景洪 Yunjinghong
N	Valid	45	44	45
	Missing	0	1	0
最小值 Minimum ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)		221.82	284.68	416.91
最大值 Maximum ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)		410.45	510.95	787.59
频度 Percentiles *	90	233.360	316.11	478.02
	80	251.67	328.44	500.00
	70	265.52	346.01	522.83
	60	273.71	358.05	536.66
	50	291.34	377.244	549.71
	40	309.17	393.31	575.93
	30	335.20	408.28	615.61
	20	355.67	460.19	630.40
	10	387.03	476.86	677.19

* 径流发生概率 Probability of the runoff

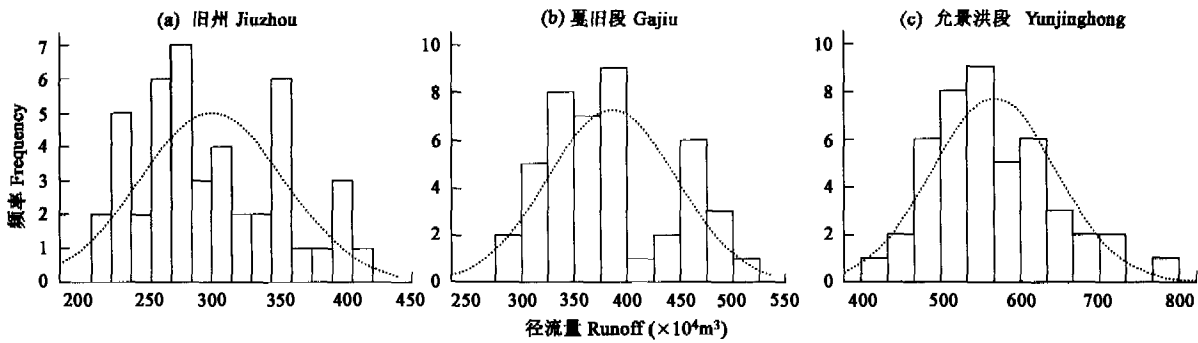


图 5 澜沧江(a)旧州站、(b)戛旧站、(c)允景洪站多年年径流量频度
Fig.5 Frequency of annual runoff in Jiuzhou, Gajiu, Yunjinghong in the Lancang river

表 11 澜沧江河道不同区段生态径流量特征表——频度法(年径流量)

Table 11 Characteristics of eco-runoff of different channel in the Lancang River —— frequency method (Annual runoff)					
研究区 Research region	实测值 Measure value($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)		修正值 Amend value ^③ ($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)		占多年均径流量的比率(%) Ratio account for annual runoff
	频度 ^① Frequency	径流量 Runoff	频度 ^② Frequency	径流量 Runoff	
旧州段 Jiuzhou	74.4	270.38(1977) c	75	260.00	86.52
戛旧段 Gajiu	47.7	379.60(1976) c	50	375.00	97.22
允景洪段 Yunjinghong	51.11	548.56(1978) c	50	550.00	96.87

①表征年径流量大于或等于固定值的频数度;②根据现状年特征分析所得的修正径流量;③括号内为实测径流量出现的年代①Represent frequency of annual runoff when it is more than or equal to one fixed value;②Amend value based on the characteristic analyze;③Number in bracket represents the time of runoff appeared

(3) 澜沧江流域地理地貌、区域小气候、生物群落以及河流水文要素的梯度变化应该使得澜沧江河道生态需水量从空间上呈现梯度分布,但是由于上中游(部分干热河谷)、下游(河漫滩发育的热带亚热带宽浅河谷)的生态状况的渐好以及人类活动影响(水电站建设)的增强使得这种差异性减小,空间需水量变化不是很明显。

(4) 通过对结果分析,采用生态特征指数与变异系数耦合确定的河道生态需水量系数能够较好地反

表 12 澜沧江河道生态需水量——频度法(多年径流量)

Table 12 EWR for in-stream——frequency method(annual runoff)			
研究区 Research region	澜沧江河道生态需水量 EWR for in-stream in the Lancang River(×10 ⁸ m ³)		
	最小河道 生态需水量 Minimum EWR	适宜河道 生态需水量 Satisfying EWR	理想河道 生态需水量 Optimal EWR
旧州段 Jiuzhou	58.65	104.43	174.70
戛旧段 Gajiu	85.75	125.17	235.61
允景洪段 Yunjinghong	139.80	211.06	378.46

表 13 澜沧江河道不同生态需水等级下频度值——频度法(汛期、非汛期)

Table 13 The frequency value of different grade of EWR for in-stream in the Lancang River——frequency method(flood season, non-flood season)						
研究区 Research region	实测值 Measure value($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)		修正值 Amend value ($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)		占多年均径流量的比率 Ratio account for annual runoff(%)	
	频度 Frequency	径流量 Runoff	频度 Frequency	径流量 Runoff		
汛期 Flood season ^①	旧州段 Jiuzhou	53.3	204.54	55	200.00	66.55
	戛旧段 Gajiu	70.5	239.89	70	240.00	62.35
	允景洪段 Yunjinghong	62.2	373.94	61.5	375.00	66.05
非汛期 non-flood season ^②	旧州段 Jiuzhou	68.9	104.64	67.5	105.00	34.94
	戛旧段 Gajiu	40	139.81	39	140.00	36.37
	允景洪段 Yunjinghong	55.5	189.27	55	190.00	33.47

①澜沧江汛期生态径流量占多年平均径流量的比率为 64.98%;②澜沧江非汛期生态径流量占多年平均径流量的比率为 34.92%。①The three EWR of flood season occupies 64.98% of the average measure run-off ($567.746 \times 10^8 \text{ m}^3$) of the Lancang River, ②The three EWR of non-flood season occupies 34.92% of the average measure run-off ($567.75 \times 10^8 \text{ m}^3$) of the Lancang River

映不同生态状况下的生态需水的差异性,从纵向上看,生态需水系数呈现跳跃性,中段较小,上游其次,下游最大,这与不同河段的生态状况有较大的关联,上游由于无人类的较大干扰,河流自然生态状况良好,下游由于河漫滩发育以及生物多样性的增加使得河流生态承载力增强,中游由于大型水电站的阻隔作用,使得河流自然水文受到严重的干扰,使得河流生态系统受到较大的胁迫。

(5) 关于河道生态需水量计算方法的研究中,本文提出了一系列计算模型,在澜沧江流域进行了相关的应用,但由于部分资料短缺,使得参数确定具有一定的误差,希冀在以后的工作中得以更正。

References:

- [1] Feng Y, He D M, Bao H S. Study on the equitable and suitable allocation model of water resources in the Lancang-Mekong River Basin. Journal of Natural Resources, 2000, 15(3): 241 ~ 245.
- [2] Gan S, He D M, Dang C L. The comparison of three case study area on landscape structure of Lancang River basin in yunnan province. Journal of Mountain Science, 2002, 20(5): 564 ~ 569.
- [3] Yuan X P, He D M. Topographic comparison and analysis of case study in different area of Lancang river basin. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2002, 27(6): 1 ~ 5.

参考文献:

- [1] 冯彦,何大明,包浩生. 澜沧江-湄公河水资源公平合理分配模式分析. 自然资源学报, 2000, 15(3): 241 ~ 245.
- [2] 甘淑,何大明,党承林. 澜沧江流域上、中、下游典型案例区景观格局对比分析. 山地学报, 2002, 20(5): 564 ~ 569.
- [3] 袁希平,何大明. 澜沧江流域典型案例区地形地貌对比分析研究. 昆明理工大学学报, 2002, 27(6): 1 ~ 5.

表 14 澜沧江河道生态需水量 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)-频度法(汛期+非汛期)

Table 14 EWR for in-stream in the Lancang River ($\times 10^8 \text{ m}^3$)-frequency method(flood season + non-flood season)

研究区 Research region	澜沧江河道生态需水量 EWR for in-stream in the Lancang River($\times 10^8 \text{ m}^3$) ^①		
	最小河道 生态需水量 Minimum EWR	适宜河道 生态需水量 Satisfying EWR	理想河道 生态需水量 Optimal EWR
旧州段 Jiuzhou	68.80	122.50	204.94
戛旧段 Gajiu	86.89	126.84	238.75
允景洪段 Yunjinghong	143.61	216.81	388.7

① 计算结果为汛期与非汛期河道生态需水的加和 ① The result is the summation of the EWR of the flood season and non-flood season in the Lancang River