

文章编号:1001-4810(2007)04-0285-06

西南岩溶山区生态用水及其分配协调性评价 ——以贵州普定后寨地下河流域为例

李大军¹,杨先寿¹,苏维词^{1,2},李坡²

(1. 贵州大学资环学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要:以贵州普定后寨地下河流域为例,分别计算河道内外生态用水量及流域生态需水量,并选用协调度、满意度、合理度和差异性作为评价因子,构建了岩溶流域生态用水分配协调性的数学评价模型。研究结果表明:(1)后寨河流域枯水年($P=75\%$)和特枯水年($P=95\%$)生态用水量分别为568 6.7万 m^3 和473 2.1万 m^3 ,当石漠化生态环境得到有效治理后,由于喀斯特径流形成过程及水资源组合分配发生了变化,天然水资源量将会减少,最终消耗于土壤或植被的蒸散发,整体上流域生态用水仍处于短缺状态,生态缺水量为833.6万 m^3 ;(2)后寨河流域地下水资源丰富,降水充沛,流域内生态用水与社会经济用水不存在很强的竞争关系,生态缺水属工程性缺水,可以通过综合平衡地开发利用各分区的水资源等方法进行缓解;(3)应用数学评价模型研究表明,流域内生态用水的协调度为0.999 44~0.999 35,生态需水满意度和分配合理度均为0.878~0.856,系统生态需水满足程度的差异性较小,有利于流域内各系统整体功能的发挥。

关键词:岩溶;生态用水;协调性评价;生态需水;水资源配置;后寨河流域

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

0 引言

水是生态系统中最敏感的因子,流域生态系统的平衡离不开水,因此生态用水和生态需水成为了当前学术研究的热点。当前我国对生态用水和生态需水的研究主要集中在西北、华北等干旱半干旱、半湿润的水资源相对匮乏的地区。西南喀斯特地区由于特殊的水文地质条件,地形复杂破碎,岩溶发育强烈,河谷深切,石漠化现象严重,生态环境十分脆弱,被誉为“湿润气候下的干旱缺水地区”^[1],有关其生态用水和生态需水的研究却非常之少。流域内社会用水、经济用水和生态用水之间常表现为竞争关系,生态需水在局部地区十分突出^[2]。研究生态用水的最终目的是为了合理配置生态和社会经济用水,以便使水的总价值最大,对有限的水资源做出更符合人与自然和谐共处的

合理配置。生态用水的分配协调性是指流域内各分区之间在发展演化过程中生态用水保持协调的关系,表征了生态用水分配的一种生态合理性,反映了流域内各分区生态用水的满足程度。本文从流域水资源配置的角度,应用流域水量平衡理论对岩溶小流域的生态用水和生态需水进行估算,并对流域生态用水的协调性做初步的分析和评价,为我国西南喀斯特山区水资源合理配置和生态修复中的生态配水方案提供重要参考。

1 生态用水的概念与内涵

生态用水是国内外学者近30年来提出来的全新概念,属于水资源学与生态环境保护研究的交叉领域。目前有关生态用水和生态需水的概念和内涵国际

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(973)(2006CB403200)、国家自然科学基金项目(40261003,40561006)、贵州省优秀青年科技人才培养计划项目(黔科人合(2005)0513)、贵州省科技厅重大专项计划项目(黔科合重大专项字[2006]6014)

第一作者简介:李大军(1979—),男,硕士研究生,主要从事环境生态、水文水资源方面的研究。E-mail: Cherish168@163.com Tel: 13312213260。

收稿日期:2007-10-17

上没有统一的定义,因而,在生态用水的研究中,所采用的概念界定多达 20 余种^[3~5]。一般认为,生态用水是指在特定的时空范围内,生态系统维持一定的稳定状态时所实际利用的水资源(包括地表水、地下水和土壤水量),它具有水量和水质两方面的要求。因此,生态用水不一定是合理的水量,它受人类对水资源开发利用的影响,生态用水从人工供水的角度来研究生态系统与水资源间的关系,它是一个研究区域范围内适应可持续发展的概念,而且随着认识的深入和研究的进展,其内涵也在不断地发生变化^[4]。

本文所指的岩溶山区流域生态用水是指在西南喀斯特山区,在一定的历史或现状条件下,流域内生态系统的物质循环、能量流动和信息传递过程中,生态系统实际所消耗或占用的水资源量。即扣除流域内所有社会和经济耗水后,在历史或现状水平下,生态系统实际所消耗或占用的全部水资源量。对于任何一个流域的生态系统而言,生态用水具有时空性、阈值性、优先性、可持续性和可控制性的特征^[4]。

生态需水与生态用水是两个不同的概念,它们之间既有联系又有区别。目前国内有关生态需水的研究是在现有生态系统和生态水文条件下进行的,所讨论的问题大都是针对现有植被或水土条件,并不代表流域真实的生态需水,而是将生态需水混同于生态用水或生态耗水,这给实际的研究工作带来了诸多的不便和困难。事实上,需水和用水是属于不同层次的概念,需水是一个状态值,它强调的是为了维持某种状态或达到某种程度而需要的水量,而用水是一个动态的概念,强调的是在人类的干扰下,生态系统实际所消耗的水量。因此,生态需水可以看作是在一定的生态保护目标上,维持流域内某种生态系统功能或生态平衡所需要使用的水资源量。生态需水与相应的生态保护、恢复或建设目标直接相关,生态保护、恢复或建设目标不同,生态需水就会不同,它是相对合理的水量^[3, 5],是反映生态系统在时空变化上的状态值,具有客观与目标二重性。生态需水与生态用水之差称为生态缺水。在干旱区,由于水资源管理不善,往往出现社会经济用水挤占生态用水,致使生态用水远远小于生态需水,从而造成生态系统恶化的现象。

2 研究区概况与系统分区

普定后寨河流域地处贵州省普定县城以南的亚热带季风气候区,面积 80.65 km²。流域内地势东南高西北低,是黔中高原西部未受深切的部分,地势相对平坦而开阔。后寨河流域为一典型的喀斯特流域,岩

万方数据

石以中三叠纪关岭组(T_{2g})的碳酸盐岩为主,其碳酸盐岩出露面积高达 95% 以上,峰丛、峰林耸立,洼地、盆地广泛分布,流域最高海拔 1 585 m,最低 1 218 m,相对高差 367 m^[6, 7]。

在构造上,刚好位于普定复式向斜的南东翼,关定庄背斜的北西翼。其间从西向东还分布着两个次一级的褶曲,即三间房背斜和马官向斜,构造线的总方向为北东向且大致平行排列。该区构造节理十分发育,辅之以区内丰沛的降水,使该流域的岩溶化十分强烈,具有典型的喀斯特流域二元结构。从地貌上看,流域从上游到下游,地貌变化趋势为峰丛洼地—峰丛谷地—峰林盆地—峰林溶原变化,全流域形成以峰林、峰丛、丘陵与谷地、洼地、盆地相间的地貌景观,在云贵高原具有广泛的代表性^[6, 7]。

流域内全年温湿多雨,降水充沛,年均降水量达 1170.9 mm,年蒸发量 920 mm,年平均温度为 15.1℃。流域内降水时空分布极不均匀,5—10 月份为雨季,降水量占全年的 80% 以上,11—4 月份为旱季,降水量仅占全年降水量的 20%。区域内发育有地表河和地下河,地下河系发育十分完善。地表河主要有灯盏河、号营河和后寨河,向西最后注入波玉河。由于区内岩溶化高度发育,使流域具有良好的二元结构,致使地表河的许多河段基本上常年干枯,只在暴雨期起排泄作用,或因渗漏或伏流而潜入地下。

根据区域水土资源分布状况及喀斯特地貌类型的一致性和开发利用方式的近似性,考虑流域具体特点,结合行政分区,可将流域划分为 3 个水文系统分区(见图 1):上游生态保护区(I 区)、中游农业经济开发区(II 区)、下游工农业综合开发区(III 区)^[8]。

2.1 上游生态保护区(I 区)

该区面积 16.95 km²,喀斯特地貌组合类型主要为峰丛洼地、漏斗,为喀斯特径流补给区。地表多为封闭的洼地,洼地常发育有漏斗、落水洞或竖井,降水以垂直渗流为主,其特点是降雨几乎全部被地表吸收,并迅速转化为地下水,无地表河流发育。地下水埋深可达 20 m 以上,山势陡峻。区内耕地大多为零星分布,耕地面积占该区面积的 20%,其中水田 174.7 hm²,旱地 147.3 hm²。该区目前水资源开发利用率低,约为 10%~20%。

2.2 中游农业经济开发区(II 区)

该区面积 41.87 km²,喀斯特地貌组合类型为半裸露或覆盖型峰林谷地及峰林盆地,谷地和盆地内均有薄层土层覆盖,地表河与地下河相互转化,地下水较为富集,埋深较浅,一般在 20 m 以内。区内农田成

片分布,耕地面积占该区面积的21.3%。区内人口众多,并分布有一些工厂,需水要求较高。区内蓄水工程有马官地下水库和母猪洞地下水库,引水及提水工程众多。

2.3 下游工农业综合开发区(Ⅲ区)

该区面积21.80km²,喀斯特地貌组合类型为峰林盆地、丘陵。区内地势平缓,土层覆盖厚,地下水丰富,埋深较浅。为后寨河全流域的径流排泄区。区内耕地占本区面积的20%。除了众多的小型引水、提水工程外,主要供水工程为青山水库,该工程除为区内供水外,还向区外提供511.2hm²耕地的灌溉用水。

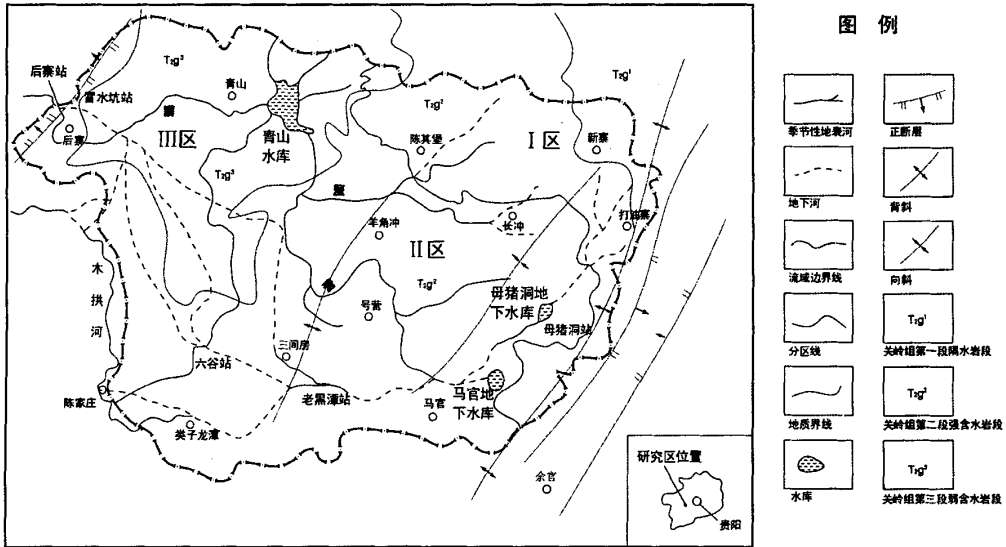


图1 后寨地下河流域水文系统分区简图(据王腊春等[8]改编,2004)

Fig.1 Sketch map of hydrologic system partition in Houzhai subterranean stream basin

3 生态用水与生态需水计算

喀斯特流域生态用水的计算可分为河道外生态用水和河道内生态用水两大类。生态用水量($U_{e,i}$)为两者之和。

3.1 河道外生态用水计算方法

从水资源管理的角度上来考虑,喀斯特流域内生态用水量属于降水性生态用水类型,特指其占用的狭义的水资源量(地表水和地下水量),即可称为生态减水量^[3]。降水性生态用水是指维持其生态系统平衡的水分来源完全靠大气降水补给。岩溶山区河道外生态用水主要包括植被生态用水和水土保持生态用水。根据流域水量平衡理论,河道外生态用水量可按下式计算:

$$U_{e,o,i} = P_i + R_i - O_i - \lambda U_{pd,i} \quad (1)$$

式中: $U_{e,o,i}$ 为流域内第*i*分区河道外生态用水量; P_i 为第*i*分区内降水总水量; R_i 为第*i*分区的入境水量; O_i 为第*i*分区的出境水量; $\lambda U_{pd,i}$ 为第*i*区内生活和生产总耗水量; λ 为生产、生活综合耗水率,耗水率是耗水量与总取水量的比值。

3.2 河道内生态用水计算方法

岩溶小流域河道内生态用水主要是保证最小生

态基流的用水量。最小生态基流的定量分析采用 Tennant 法^[9](又叫蒙大拿法)计算。Tennant 法最初是研究鱼在不同年平均流量百分比时的生活状态,进而归纳出河川年平均流量的10%为维持流域生态功能的底限,定为河流的基础流量,即有:

$$U_{d,i} = 10\% \times O_i \quad (2)$$

式中: $U_{d,i}$ 为流域内第*i*分区河道内生态用水量,其余同上。

3.3 生态需水量计算方法

生态需水与相应的生态保护、恢复或建设目标直接相关,生态保护、恢复或建设目标不同,生态需水就会不同,它是相对合理的水量。后寨河喀斯特流域岩溶发育,生态环境恶劣,流域裸岩率占全流域的27.8%,其中I区裸岩率为35.0%,II区为26.7%,III区为24.3%。生态建设的目标就是要植树造林(或封山育林),消除裸岩、治理好石漠化。在现状条件下,采用非闭合流域岩溶水模型计算流域水资源量时各分区的平均土壤田间持水量分别为20mm,27mm和35mm^[8,10]。当流域完成生态环境恢复重建,彻底消除了石漠化后,全部裸露地区均有土壤覆盖和植被覆盖,则流域土壤缺水量就会增加:I区为20/0.35=

57mm，Ⅰ区为 $27/0.267=101\text{mm}$ ，Ⅲ区为 $35/0.243=144\text{mm}$ ^[8]。

需要强调的是，流域通过植树造林(或封山育林)，使石漠化得到有效治理后，由于地表植被、土层的覆盖，对流域内水资源的调蓄能力毫无疑问将增强。然而，分析喀斯特径流形成过程^[11]，从水资源平衡角度，我们不难理解：石漠化治理前，基岩裸露，裂隙、节理发育，土壤瘠薄且持水性差，贮蓄在大小裂隙中的水除向深部饱水带渗流外，还以蒸散发形式返回大气；而石漠化治理后，随着土层、植被覆盖度的不断增加，喀斯特径流形成过程及水资源组合分配也发生了变化，降水的损失量除了裂隙水蒸散发返回大气外，还有滞蓄在土层中的持水量和植被截流量，雨后这些水量中的相当部分也将通过土壤或植被的蒸散

发形式返回大气。综上所述，石漠化治理后，流域对整个水资源过程的调蓄能力将有所增强，但天然水资源量将会减少，并最终消耗于土壤或植物的蒸散发，使可用于工农业生产和人民生活的水资源量相对减少。可见，流域生态建设前后天然水资源的减少量就是流域生态环境恢复重建后将新增的生态需水量。

所以，流域生态需水可按下式进行计算：

$$W_{e,i} = U_{e,i} + \Delta m_i \times F_i \tag{3}$$

式中： $W_{e,i}$ 为流域内第*i*区内生态需水量； Δm_i 为第*i*区生态环境治理后土壤缺水量的增量； F_i 为第*i*区的区域面积。

根据水文统计和调查资料，选取后寨地下河流域的综合耗水率 $\lambda=60\%$ 计算，再根据(1)~(3)式，后寨河流域生态用水和生态需水的计算结果如表1所示。

表1 后寨河流域生态用水量 and 生态需水量(单位： 10^4m^3)

Tab. 1 The ecological water use and ecological water requirement in Houzhai subterranean stream basin

系统 分区	面积 /km ²	裸岩率 /%	设计水 平年/%	区域降 水量	入境 水量	出境 水量	生产生活 总需水量	生态用 水量	生态需 水量	生态缺水 量
Ⅰ区	16.95	35.0	$P=75$	1 847.9	0	857	43.02	1 050.8	1 147.4	96.6
			$P=95$	1 514.5	0	749	50.17	810.3	906.9	
Ⅱ区	41.87	26.7	$P=75$	4 564.7	857	2 417	523.82	2 932.1	3 354.7	422.6
			$P=95$	3 741.1	749	1 708	742.07	2 507.7	2 930.3	
Ⅲ区	21.83	24.3	$P=75$	2 379.9	2 417	3 032	607.10	1 703.8	2 018.2	314.4
			$P=95$	1 950.5	1 708	2 017	715.09	1 414.1	1 728.5	
全流域	80.65	27.8	$P=75$	8 792.5		3 032	1 172.94	5 686.7	6 520.3	833.6
			$P=95$	7 206.1		2 017	1 507.33	4 732.1	5 565.7	

注：流域75%和95%的设计水平年降水量分别按1 090.2mm和893.5mm计算。

由表1可知，在流域石漠化得到有效控制，土壤植被总覆盖度达65%的条件下，各分区的生态缺水量分别为Ⅰ区 $96.6 \times 10^4\text{m}^3$ ，Ⅱ区 $422.6 \times 10^4\text{m}^3$ ，Ⅲ区 $314.4 \times 10^4\text{m}^3$ ，流域总生态缺水量将达到 $833.6 \times 10^4\text{m}^3$ 。

从表1数据分析可得知，喀斯特流域内生态用水问题主要表现在生态用水与水环境的治理关系上。换句话说，该流域内由于地下水资源丰富，且水体分布广泛，生态用水与社会经济用水在一定程度上并不具有很强的竞争关系^[12]。但是，当流域石漠化得到有效控制以后，流域内仍表现出生态缺水的现象，预计全流域总生态缺水量将达到 $833.6 \times 10^4\text{m}^3$ 。论其性质当属“工程性缺水”，究其原因，则是由于喀斯特山区地形破碎、河谷深切，加上喀斯特溶裂、漏斗发育——导致地表径流快速流入深切河谷或进入地下水系，而难以被地表植被利用；另一方面，碳酸盐岩抗风化能力强，喀斯特山区地表土层瘠薄——导致坡面蓄水保水能力弱，反映了喀斯特山区水分亏缺的客观存

在^[2]。对流域内的工程性生态缺水，可以通过综合平衡地开发利用各分区的水资源等方法进行缓解。

4 生态用水的分配协调性评价

水资源作为流域生态系统中最关键的因子之一，其分配结果直接影响着流域的各种形态和功能发挥，从而生态用水的合理分配蕴含着流域系统分区结构之间的一种协调。从广义角度而言，流域现状生态用水是在人类活动影响下，由自然进行分配的结果。虽然与人类主动进行资源分配的概念不同，但依然可以看成是一种分配的结果。流域生态需水的满足程度影响着各系统分区里生态和社会经济功能的发挥，而流域生态系统的演化是各系统分区中共同作用的结果，因此，生态用水在系统分区之间的合理分配对于保证流域整体功能的发挥起着重要作用。

4.1 评价依据与方法

生态用水分配的协调性是反映各分区内生态用

水的满足程度的总体状况,表征各子系统生态用水分配的一种合理性程度。流域内生态用水的协调与否受到诸多因素的制约,其中生态系统良性发展取决于在相同条件下各分区系统生态用水分配的最差状态。这恰好与“木桶法则”具有较好的一致性,可以用数学上的“最大概率乘积定理”来进行定量刻画^[13,14]。最大概率乘积定理认为,在每组中各个事件的概率之和为常数的条件下,当某一组中各个事件的概率相等时,那么这一组事件的概率的乘积最大,说明每个事件概率之间的差异最小。根据以上分析,我们可以选用生态用水系统协调度、生态需水满意度、生态需水分配合理度和生态需水满足程度差异性四个评价因子构建数学评价模型。

4.1.1 生态用水系统协调度(C)

$$\text{令: } A_i = \frac{U_{e,i}}{W_{e,i}} \quad (4)$$

$$X_i = A_i / \sum_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

$$\text{则: } C = n \times n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i} \quad (6)$$

式中: C 为系统协调度, C 值越小,系统协调度越低,系统综合状态越差, $C \in [0,1]$; n 为系统分区个数; A_i 代表了第 i 系统分区生态用水相对于生态需水的满足程度; X_i 代表第 i 个分区生态用水满足程度相对于整个流域生态用水满足程度的比例,这里 $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$ 。

4.1.2 流域自身生态需水满意度(S)与分配合理度(R)

$$S = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n A_i \quad (7)$$

$$R = \begin{cases} S & C \geq C_0 \\ \frac{C}{C_0} \times S & C < C_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: C_0 表示一种协调性标准,它受到社会、经济和生态环境综合因素的影响,并且与决策者的偏好程度相关。根据生态需水自身满足要求和这种协调性标准,从而可以确定流域生态用水分配的总体合理性标准^[14]。

4.1.3 分区系统生态需水满足程度的差异性(D)

$$D = \sum_{i=1}^n |X_i - \frac{1}{n}| \quad (9)$$

式中: D 值代表流域内各分区系统对生态需水满足程度的差异性, D 值越大,差异性就越大,从而各分区系统之间生态用水分配的协调性就越低。其余同上。

4.2 协调性评价

将上述评价方法应用于后寨地下河流域,对该流域不同设计水平年进行协调性分析和评价。各评价指

标数值计算结果见表2所示。

表2 流域生态用水分配协调度、满意度、合理度和差异性

Tab. 2 The compatibility, contentment, rationality and diversity of ecological water allocation in Houzhai subterranean stream basin

设计水平年	C	S	R	D
P=75%	0.999 44	0.878	0.878	0.028 7
P=95%	0.999 35	0.856	0.856	0.029 4

由表2可知:(1)在枯水年($P=75\%$)和特枯年($P=95\%$)中,流域内生态用水的协调度分别为0.999 44和0.999 35,接近最大值1。说明后寨河流域生态用水分配的协调度较高,流域内生态系统在没有人严重破坏的条件下,不会持续恶化发展;(2)流域生态需水满意度和生态用水分配合理度在枯水年和特枯年中分别为0.878和0.856,说明流域内各分区对生态需水的满意度较好,同时也表明喀斯特流域内生态缺水的客观存在,生态用水在流域各分区内的分配较合理;(3)流域各分区系统生态需水满足程度的差异性较小,遇到枯水年和特枯水年,其差异性分别为0.028 7和0.029 4。说明各分区系统之间生态用水分配的协调性好,有利于流域内各系统的整体功能的发挥。流域内水资源丰沛,暂时不会出现生产生活用水挤占生态用水的情况,但在以后的开发利用水资源过程中应注意综合平衡地开发利用各分区的水资源,避免上、中游因开发过度而影响下游的生态用水。

5 结论

本文从流域水资源配置的角度,应用流域水量平衡理论对岩溶小流域的生态用水和生态需水量进行估算,并在此基础上构建了岩溶流域生态用水分配协调性的数学评价模型,从而完善了岩溶山区小流域生态用水分配合理性的评价体系,可为西南喀斯特山区水资源合理配置和生态修复中的生态配水方案提供重要参考。

(1)后寨地下河流域枯水年($P=75\%$)和特枯年($P=95\%$)生态用水量分别为5 686.7万 m^3 和4 732.1万 m^3 。石漠化生态环境得到有效治理以后,由于喀斯特径流形成过程及水资源组合分配发生相应变化,天然水资源量将会减少,最终消耗于土壤或植被的蒸散发,整体上流域生态用水仍处于短缺状态,预计生态缺水量为833.6万 m^3 。

(2)应用生态用水的分配协调性评价模型研究结果表明,目前流域内生态用水的各项评价因子表现出的状况均较好,有利于流域内各系统的整体功能的发挥。但在以后的水资源开发利用过程中应注意综合平

衡地开发利用流域内各分区的岩溶水资源,避免上、中游因开发过度而影响下游的生态用水,以保证岩溶流域内生态用水的分配协调性,使水资源得以永续利用。

(3)西南喀斯特山区流域内岩溶十分发育,石漠化现象严重,生态环境脆弱,生态用水问题主要表现在生态用水与水环境的治理关系上,生态用水与社会经济用水在一定程度上并不具有很强的竞争关系。生态缺水的存在表明了喀斯特山区植被吸收水分相对困难,反映出喀斯特山区水分亏缺的客观现实。

致谢 本文参考并引用了王腊春、苏维词、贺涛等专家教授的众多研究数据资料,特此说明并致谢!

参考文献

- [1] 王腊春,史运良.西南喀斯特峰丛山区雨水资源有效利用[J].贵州科学,2006,24(1):8—13.
- [2] 苏维词.中国西南喀斯特山区生态需水概述[J].贵州科学,2006,24(1):14—19.
- [3] 杨爱民,唐克旺,王浩,等.生态用水的基本理论与计算方法[J].水利学报,2004,12(12):39—44.
- [4] 徐建民,傅春.生态用水及其定量分析方法的研究评述[J].南昌水专学报,2004,23(4):1—4.
- [5] 柳长顺,陈献,刘昌明,等.流域生态用水与需水研究[J].水利水电技术,2005,6(36):17—21.
- [6] 王腊春,史运良,汪文富,等.岩溶山区生态环境区划—以贵州普定县后寨河流域为例[J].中国岩溶,2002,19(1):90—96.
- [7] 俞锦标,章海生.贵州普定岩溶地貌[J].中国岩溶,1988,7(2):163—172.
- [8] 王腊春,李道元,左平,等.岩溶山区石漠化治理生态需水量初步研究[J].水资源保护,2004,5:10—15.
- [9] Tennant DL. Instream flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4):6—10.
- [10] 王腊春,史运良.非闭合流域岩溶水模型[J].水科学进展,1995,6(4):318—324.
- [11] 俞锦标,杨立铮,章海生,等.中国喀斯特发育规律典型研究[M].北京:科学出版社,1990:177—180.
- [12] 方红远.区域水资源合理配置中的水量调控理论[M].郑州:黄河水利出版社,2004,10:146—156.
- [13] 吴次芳,徐宝根.土地生态学[M].北京:中国大地出版社,2003.113—198.
- [14] 贺涛,杨志峰,崔保山,等.流域生态用水分配的协调性评价研究[J].中国人口·资源与环境,2006,16(1):132—136.

Ecological water use and its coordination assessment in Southwest China karst mountain —A case study on Houzhai subterranean stream basin, Puding county, Guizhou province

LI Da-jun¹, YANG Xian-shou¹, SU Wei-ci^{1,2}, LI-Po²

(1. Resources and Environmental Engineering College, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550003, China;

2. Guizhou Science College, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Taking the Houzhai subterranean stream basin of Puding county as a case study, the ecological water use and ecological water requirement have been counted. By selecting the compatibility, contentment, rationality and diversity as evaluation factors, we establish a mathematic evaluation model of coordination assessment of ecological water use in karst river basin. The results show that: (1) The volume of ecological water use in low flow year ($P=75\%$) and in special low flow year ($P=95\%$) is 56.867 million m^3 and 47.321 million m^3 respectively. When rocky desertification got effectively treated, karst runoff forming procedures and water resource allocation combinations will change, which will result decrease in natural water resource. The decrease in natural water resource will ultimately used up by evaporation and evapotranspiration. The ecological water use is still in the state of shortage on entirety, and the ecological water deficiency will come to 8.336 million m^3 . (2) Karst groundwater and rainfall are quite abundant in Houzhai subterranean stream basin, and there is no strong competitive relationship between the ecological water use and the social water use in the river basin. The ecological water deficiency in Houzhai subterranean stream basin belongs engineering water shortage, it can be relieved by comprehensive and balanced development of water resources in each sub-area. (3) According to the ecological water use allocation mathematical model, the compatibility of ecological water use is 0.999 44~0.999 35, both the contentment and the rationality are 0.878~0.856, and the diversity are very small in different flow years, which is beneficial to give full play to the function of each sub-basin.

Key words: karst; ecological water use; coordination assessment; ecological water requirement; water resource allocation; Houzhai subterranean stream basin