

# 岩溶山区石漠化治理生态需水量初步研究

——以贵州普定后寨河流域为例

王腊春<sup>1</sup> 李道元<sup>2</sup> 左平<sup>3</sup> 吴国平<sup>1</sup>

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093;

2. 国立汉城大学环境大学院, 韩国 汉城 151-742;

3. 南京大学生物学系, 江苏 南京 210093)

**摘要** 治理岩溶山区石漠化, 尽快恢复植被、实现生态系统的良性循环, 水资源是生态建设所要考虑的主要问题之一。贵州普定后寨河流域是一典型的高原喀斯特流域。在分析了流域内喀斯特特征、水资源及开发利用现状的基础上, 利用蓄满产流模型, 对流域石漠化治理生态需水量作了预测, 并对 2010 年在  $P = 95\%$  特枯年下石漠化治理后的水资源供需平衡作了分析, 提出了流域水资源开发利用对策。

**关键词** 岩溶山区; 石漠化治理; 生态需水量; 贵州省

中图分类号: TV213.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2004)05-0010-06

生态环境需水量是指一个特定区域内的生态环境系统的需水量。生态环境需水量的理论研究, 国外始于 20 世纪 40 年代。美国渔业和野生动物保护组织为避免河流生态系统退化, 规定需保持河流最小生态流量, 这也是最早生态环境需水流量的概念<sup>[1]</sup>, 确定了自然和景观河流的基本流量以及河道内用水、湿地需水和海湾和三角洲的流量。

目前的生态环境需水量概念从内容和范围上已经有了较大的扩展。由中国工程院组织 43 位院士和近 300 位院外专家参加完成的《21 世纪中国可持续发展水资源战略研究》认为: 广义的生态环境用水, 是指“维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水, 包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等, 都是生态环境用水”。狭义的生态环境用水是指为“维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量”<sup>[2]</sup>。

中国西南地区岩溶发育典型, 分布范围广, 石漠化现象严重。在中国的西部大开发战略中, 西南岩溶山区石漠化治理是重点之一。裸露的喀斯特持水量极小, 因蒸发消耗的水量也极少。石漠化生态环境治理后, 由于有土壤和植被覆盖, 必然增加了蒸散发水量。本文研究的岩溶山区石漠化治理生态环境恢复重建需水量问题, 属陆地生态环境需水量问题, 也即属“为维持生态环境不再恶化并逐步改善所需消耗的水资源”。本文就因石漠化生态治理所需增

加消耗的水量作一简要预测。

## 1 研究流域概况及水资源评价分区

贵州省普定后寨河流域位于普定县城以南, 面积 80.65 km<sup>2</sup>。流域内地势东南高西北低, 峰丛、峰林耸立, 洼地、盆地广泛分布, 地势平坦开阔。海拔一般为 1100~1400 m, 最高 1585 m, 最低 1218 m。相对高差一般在 250~300 m, 最大达 363 m。

该研究区属亚热带季风气候区, 全年温湿多雨, 冬温夏暖, 春干秋雨。多年平均降雨量为 1314.6 mm, 年平均温度为 15.1℃, 无霜期长达 289 d, 平均日照为 1184 h。

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, 将流域划分为 3 个喀斯特水资源开发利用区(图 1)。

### 1.1 上游生态保护区(I 区)

该区面积 16.95 km<sup>2</sup>, 为喀斯特径流补给区, 垂直流动带深厚, 喀斯特地表径流一经形成则大量流失或转入地下, 地下水埋深较大, 山势陡峻。喀斯特地貌组合类型主要是峰丛洼地、漏斗等<sup>[3]</sup>。耕地大多为零星分布, 区内有水田 174.7 hm<sup>2</sup>, 旱地 147.3 hm<sup>2</sup>。该区水资源开发难度较大, 目前水资源开发利用很少, 且耕地面积少, 为各区最低。

基金项目: 国家科技部“西部开发”重大基金项目(2003BA901A12)

作者简介: 王腊春(1963—), 男, 江苏金坛人, 教授, 博士, 从事水文模拟、洪涝灾害、岩溶水文、水资源研究。

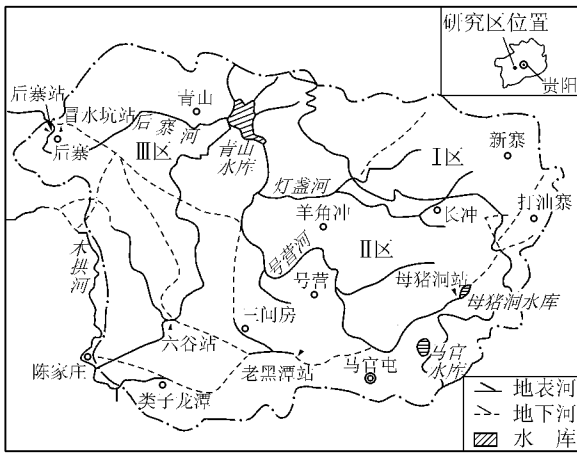


图1 后寨喀斯特流域水资源开发利用分区

### 1.2 中游农业经济开发区(Ⅱ区)

该区主要为马官镇区域,面积 41.87 km<sup>2</sup>,喀斯特地貌组合类型为峰林-谷地及峰林-盆地,谷地和盆地内均有薄层土层覆盖。谷地及盆地宽广,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,水田 714.7 hm<sup>2</sup>,旱地 178.6 hm<sup>2</sup>,耕地面积占该区面积的 21.3%。该区内人口众多,农业产品深加工的潜力很大,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(库容 119 万 m<sup>3</sup>)、母猪洞地下水(库容 108 万 m<sup>3</sup>),引水及提水工程众多,是该区的重要供水工程。

### 1.3 下游工农业综合开发区(Ⅲ区)

该区面积 21.80 km<sup>2</sup>,主要包括城关镇的青山,后寨、马官镇的二官、冯家、湾河等行政村,其中后寨工业小区为普定县初具规模的乡镇企业的工业小区。该区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,地下水富集,埋深较浅。喀斯特径流均由地表河和地下河排泄,为后寨河全流域的径流排泄区<sup>[3]</sup>。区内现有水田 222.7 hm<sup>2</sup>,旱地 213.9 hm<sup>2</sup>,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(库容 252 万 m<sup>3</sup>),该工程除为该区供水外,还向分区外提供 511.2 hm<sup>2</sup> 耕地的灌溉用水。该区水资源除了满足研究区内用水,还跨流域供给城关镇的部分用水。

## 2 研究区水资源现状

### 2.1 天然水资源量及分布特征

降雨是流域水资源的主要补给来源。丰沛的降雨量为流域水资源提供了丰富的补给量。根据流域实测雨量资料统计(1980~1995年),平水年降雨量为 1314.6 mm,枯水年雨量为 909.0 mm。因研究区域面

积较小,降雨的空间分布变化不明显,但年际和年内的分布变化较为明显。

喀斯特地区的水资源量主要取决于设计年降雨量的多少。区域设计年( $P = 50%$ )的水资源量为 4326 万 m<sup>3</sup>,枯水年( $P = 75%$ )水资源量为 3855 万 m<sup>3</sup>。水资源的年内分配与降雨量的年内分配相一致,汛期(5~10月)降雨量大,水量也大,但其中很大一部分组成是洪水径流,排泄较快,如无工程拦蓄,利用价值不大,汛期水资源量占全年水资源总量的 80% 左右。

### 2.2 供水工程现状

后寨河喀斯特流域虽然雨量充沛,天然水资源丰富,但由于喀斯特发育,地表持水能力低,坡面径流大部分入地下或直接由地表河迅速排泄出流域,水资源利用率低。为改善城镇居民用水和工农业用水困难,流域内兴建了不少水利设施。

在Ⅰ区内,无蓄水工程,仅有 2 个引水工程和几处小型提水工程,这 2 个引水工程均位于Ⅰ区和Ⅱ区交界处,在Ⅰ区内较为平坦的洼地内。

Ⅱ区内已建母猪洞地下水水库和马官地下水水库两个蓄水工程,可蓄水 217 万 m<sup>3</sup>。除灌溉农田外,马官地下水水库还为马官和马堡居民提供生活用水,区内几个工厂均自备水源,以供厂内工业用水及厂内生活用水,供水能力合计 800 m<sup>3</sup>/d。

Ⅲ区内蓄水工程为青山水库(集水面积在Ⅱ区)。青山水库灌区在区内有农田 46.7 hm<sup>2</sup>,区外 511.2 hm<sup>2</sup>。另后寨工业小区工厂自备水源,提水能力 1000 m<sup>3</sup>/d。此外为解决县城用水困难,在后寨冒水坑建立了自来水提水站,向县城日供水 2000 m<sup>3</sup>/d。

各规划分区供水能力见表 1。

表 1 后寨河流域各规划分区现状供水能力

设计水平年	供水量/万 m <sup>3</sup>			
	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	全流域
$P = 75%$	31.7	464.1	656.0	1151.8
$P = 95%$	31.7	431.0	566.6	1029.3

### 2.3 需水量现状分析

#### 2.3.1 农业灌溉需水

后寨河流域以农业生产为主,农业需水量的计算是采用附近平坝县羊昌河农业灌溉试验站和贵州省其他 18 个试验站的资料,结合该流域实际情况,推求出各分区农作物的需水量。全流域枯水年和特枯年的毛灌溉定额分别为 26.67 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 和 35.53 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,计算得该流域枯水年和特枯年灌溉需水量分别为 974.27 万 m<sup>3</sup> 和 1308.66 万 m<sup>3</sup>。

#### 2.3.2 城镇居民生活用水及农村人畜用水

根据流域内的具体用水设施,参照全国调查结

果 确定流域内城镇居民用水定额为每人 80 L/d,估算出流域内城镇居民生活用水量为每年 1.45 万 m<sup>3</sup>。另外,普定县城内缺水严重,流域每日向县城供水 2000 m<sup>3</sup>,每年需供水 73.0 万 m<sup>3</sup>。

农村生活用水分散,其用水标准比城镇居民生活用水标准低得多,用水定额可定为每人 40 L/d,大牲畜(牛等)用水定额为每头 40 L/d,小牲畜(猪等)用水定额为每头 20 L/d。计算得流域内现状农村人畜用水总量为 60.32 万 m<sup>3</sup>。

### 2.3.3 工业用水

经实际调查,流域内所有工厂均有自备水源,其供水量调查资料为:Ⅰ区没有工厂;Ⅱ区有工厂 3 个,提水设备供水总量为 750 m<sup>3</sup>/d,即每年工业供水量为 27.4 万 m<sup>3</sup>;Ⅲ区有工厂 4 个,提水设备供水总量为 1000 m<sup>3</sup>/d,即每年工业供水量为 36.5 万 m<sup>3</sup>。因此全流域工业需水总量为 63.9 万 m<sup>3</sup>。

现状各分区各设计年需水量见表 2。

### 2.4 现状供需平衡分析

以 1994 年为基准年,对流域内现状条件下不同保证率的工农业生产和生活用水与可供水量进行分析,并以水资源规划分区为单元进行余缺水对比(表 3)。

由各分区供需平衡分析,在  $P = 75\%$  枯水年份,表现为天然水资源量远远大于可供水量和流域需水量,整个流域表现为供需基本平衡,只有Ⅰ区及Ⅱ区由于水利工程设施较少或需水量过大,尚有少量缺

水,Ⅲ区尚余水 49.9 万 m<sup>3</sup>。特枯年份  $P = 95\%$ ,流域天然水资源量也远高于流域需水量,但供水设施的供水能力较低,流域各规划分区经供需平衡后普遍为缺水,实为工程缺水。

## 3 流域生态环境恢复重建所需生态需水量

水资源是西部生态建设中所要考虑的主要问题之一。研究生态环境需水量就是要研究人类生产、生活用水和生态环境需水量之间的协调平衡关系,使有限的水资源得到更加充分合理的利用,维持人类社会经济及生态环境的可持续发展。

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%(表 4)。石漠化治理生态建设的目标就是要消除裸岩。在现状条件下,采用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 20 mm,27 mm 和 35 mm<sup>[4]</sup>。当流域完成生态环境恢复重建后,彻底消除了石漠化,全部裸露地区均有土壤覆盖和植被覆盖,则流域土壤缺水水量就会增加:Ⅰ区为  $20/0.35 = 57$  mm,Ⅱ区为  $27/0.267 = 101$  mm,Ⅲ区为  $35/0.243 = 144$  mm,流域土壤缺水水量最终消耗于植物蒸散发。则喀斯特流域经过石漠化生态环境治理后,一部分水资源将用于植物生态需水,可用于工农业生产和人民生活的天然水资源量将减少。

表 2 流域现状需水量

分区	设计水平年	农业用水量/万 m <sup>3</sup>	工业用水量/万 m <sup>3</sup>	人畜生活用水量/万 m <sup>3</sup>			总需水量 /万 m <sup>3</sup>
				农村人畜	城镇居民	小计	
Ⅰ区	$P = 75\%$	31.74		11.28	0.00	11.28	43.02
	$P = 95\%$	38.89		11.28	0.00	11.28	50.17
Ⅱ区	$P = 75\%$	462.33	27.4	32.64	1.45	34.09	523.82
	$P = 95\%$	680.58	27.4	32.64	1.45	34.09	742.07
Ⅲ区	$P = 75\%$	480.20	36.5	16.40	73.00	89.40	607.10
	$P = 95\%$	589.19	36.5	16.40	73.00	89.40	715.09
全流域	$P = 75\%$	974.27	63.9	60.32	74.45	134.77	1172.94
	$P = 95\%$	1308.66	63.9	60.32	74.45	134.77	1507.33

表 3 后寨河流域现状水资源供需平衡

分区	设计水平年	资源量/万 m <sup>3</sup>			可供水量 /万 m <sup>3</sup>	需水量 /万 m <sup>3</sup>	供需平衡 /万 m <sup>3</sup>	回归水量 /万 m <sup>3</sup>	出境水量 /万 m <sup>3</sup>
		当地水资源	入境水量	合计					
Ⅰ区	$P = 75\%$	879	0	879	31.7	43.0	-11.3	9.5	857
	$P = 95\%$	772	0	772	31.7	50.2	-18.5	8.7	749
Ⅱ区	$P = 75\%$	1956	857	2813	464.1	523.8	-59.7	144.0	2493
	$P = 95\%$	1339	749	2088	431.0	742.1	-311.1	125.0	1782
Ⅲ区	$P = 75\%$	1020	2417	3437	656.0	606.1	+49.9	202.0	3032
	$P = 95\%$	698	1708	2406	566.6	715.1	-148.5	177.0	2017
全流域	$P = 75\%$	3855			1151.8	1172.9	-21.1	355.5	3032
	$P = 95\%$	2809			1029.3	1507.4	-478.1	310.7	2017

采用非闭合流域岩溶水模型(超蓄产流模型)<sup>[4]</sup>对1988年和1989年后寨河流域天然水资源量进行计算,见表5。从表5中数据可看出,1988年,1989年治理前后天然水资源量分别减少了327.1万m<sup>3</sup>和898.1万m<sup>3</sup>,而蒸散发增加分别消耗了水资源686.0万m<sup>3</sup>和625.2万m<sup>3</sup>。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的生态需水量,它一部分消耗于流域土壤植被的蒸散发,一部分储蓄在土壤中。由此可见,流域生态环境恢复建设生态需水量巨大。

表4 后寨河流域水资源利用规划分区特征

分区	面积/km <sup>2</sup>	人口/人	耕地/hm <sup>2</sup>	裸岩率/%	平均土壤 缺水/mm
I区	16.95	6656	322.0	35.0	20.0
II区	41.87	16966	893.3	26.7	27.0
III区	21.83	9143	436.6	24.3	35.0
全流域	80.65	32765	1651.9	27.8	27.7

#### 4 考虑生态建设需水量的水资源供需平衡预测

水资源供需平衡分析的最终目的是预测将来不同水平年水资源的供需关系中的主要矛盾,探讨将来水资源开发利用的途径和潜力,为合理利用流域水资源,加速工农业生产的发展和保护建设生态环境服务。

根据国民经济中长期规划,本文预测2010年生

表5 后寨河流域石漠化治理前后天然水资源量对照

时间	分区	降雨量/mm	径流量/mm	折合水资源量/万m <sup>3</sup>	蒸散发/mm	折合水量/万m <sup>3</sup>
1988年 治理前	I区	1321.0	969.4	1177.0	356.1	603.6
	II区	1263.4	898.8	3763.3	369.4	1546.7
	III区	1245.0	847.3	1849.7	404.6	883.2
	全流域	1270.5	899.7	6790.0	376.2	3034.4
1988年 治理后	I区	1321.0	884.7	1499.6	432.9	733.8
	II区	1263.4	796.2	3333.7	459.8	1925.2
	III区	1245.0	746.5	1629.6	486.2	1064.1
	全流域	1270.5	801.3	6462.9	461.3	3720.4
1989年 治理前	I区	840.4	460.4	780.4	370.0	627.2
	II区	840.3	435.8	1824.7	394.1	1650.1
	III区	860.5	417.9	911.0	437.0	954.0
	全流域	845.8	436.1	3516.1	400.7	3231.3
1989年 治理后	I区	840.4	347.9	589.7	471.3	798.9
	II区	840.3	320.2	1340.7	460.1	1926.4
	III区	860.5	315.6	688.0	518.2	1131.2
	全流域	845.5	324.7	2618.0	478.2	3856.5

表6 流域2010年水资源供需平衡预测分析(P=95%)

分区	现状天然 水资源量	生态建设 耗水量	实际天然 水资源量	农业灌溉 用水量	工业用水量	人畜用水量	需水量	可供水量	余缺水量
I区	772	238.4	533.6	38.9	0.0	18.0	56.9	31.7	-25.2
II区	1339	605.0	734.0	647.0	125.9	54.8	827.7	431.0	-396.7
III区	698	278.7	419.3	561.3	167.7	209.7	938.7	566.6	-372.1
全流域	2809	1122.1	1686.9	1247.2	293.6	282.5	1823.3	1029.3	-794.0

态建设及国民经济各部门对水资源的供需求求如下:

a. 生态建设需水量预测。以1989年为典型来水年,预测P=95%特枯年在流域生态恢复重建后各水资源利用规划分区的新增生态需水量为:I区238.4万m<sup>3</sup>,II区605.0万m<sup>3</sup>,III区278.7万m<sup>3</sup>,全流域生态需水量1122.1万m<sup>3</sup>(表6)。

b. 农业需水量预测。流域上游生态保护区(I区)受地形条件限制,工农业基础差,发展前景小,工农业投入产出效益差。故规划2010年灌溉面积仍以现水田面积计算,渠系利用系数采用0.8。

流域中游农业开发区(II区),现状水田面积占耕地面积的80%。经实地调查,旱地主要分布于一些高地,全部改造成水田不现实,以1/3旱地面积改造为灌溉面积计算,到2010年,灌溉面积为773.6hm<sup>2</sup>,区外引水灌溉面积以现状计算。区内渠道正进行整治,到2010年渠系利用系数可提高到0.9。

流域下游工农业综合开发区(III区),区内现状水田和旱地各占50%左右,到2010年,区内水田规划占80%,区内灌溉面积可增加126.7hm<sup>2</sup>,区外灌溉面积以现状计,2010年灌溉面积为860.5hm<sup>2</sup>,渠系利用系数采用0.8。

以灌溉保证率95%计算,推算各区预测年的灌溉需水量为:I区为38.89万m<sup>3</sup>,II区为647.0万m<sup>3</sup>,III区为561.3万m<sup>3</sup>,全流域生态需水量为

1247.19 万  $m^3$ 。

c. 人畜生活用水。预测城乡人口自然增长率为 0.11%。考虑到城乡建设和生活水平的提高,参照中小城镇用水标准,城镇居民生活用水为每人 100 L/d,农村人口每人 60 L/d。

牲畜数根据普定畜牧局中远期规划,大牲畜自然增长率为 4.72%,小牲畜为 5.34%。牲畜用水定额为大牲畜每头 40 L/d,小牲畜每头 20 L/d。

另外,Ⅲ区为解决县城工业和居民生活用水,向县城供水 2000  $m^3$ /d,即Ⅲ区每年向县城供水 183 万  $m^3$ 。

由此推算,2010 年流域人畜用水:Ⅰ区为 18.0 万  $m^3$ ,Ⅱ区为 54.8 万  $m^3$ ,Ⅲ区为 209.7 万  $m^3$ ,全流域人畜用水量为 282.5 万  $m^3$ 。

d. 工业用水预测。根据本流域现状和中长期规划,工业用水量以年增长率 10% 计算,各规划区工业用水量为:Ⅰ区 0.0  $m^3$ ,Ⅱ区 125.93 万  $m^3$ ,Ⅲ区 167.7 万  $m^3$ ,全流域工业用水量 293.6 万  $m^3$ 。

全流域生态恢复重建后,在  $P = 95%$  特枯年,2010 年总需水量为 2945.4 万  $m^3$ ,其中需供水工程供水的需水量为 1823.3 万  $m^3$ 。而  $P = 95%$  的特枯年现状天然水资源量为 2809 万  $m^3$ ,全流域表现为缺水 136.4 万  $m^3$ 。

Ⅰ区:现状  $P = 95%$  特枯年,天然水资源量 772 万  $m^3$ ,生态建设耗水量 238.4 万  $m^3$ ,可实际天然水资源量 533.6 万  $m^3$ ,工农业及人畜用水量 56.9 万  $m^3$ ,水资源丰沛。现状工程可供水 31.7 万  $m^3$ ,为工程性缺水。

Ⅱ区:现状  $P = 95%$  特枯年,天然水资源量 1339 万  $m^3$ ,生态建设耗水量 605.0 万  $m^3$ ,实际天然水资源量 734.0 万  $m^3$ ,工农业及人畜用水量 827.7 万  $m^3$ ,天然水资源缺乏。

Ⅲ区:现状  $P = 95%$  特枯年,天然水资源量 698 万  $m^3$ ,生态建设耗水量 278.7 万  $m^3$ ,实际天然水资源量 419.3 万  $m^3$ ,工农业及人畜用水量 938.7 万  $m^3$ ,天然水资源缺乏。

## 5 喀斯特流域水资源开发对策

由上述分析,到 2010 年,在石漠化生态治理恢复重建后,在  $P = 95%$  的特枯年水平下,全流域表现为缺水状态,且随着工农业生产和人民生活水平的提高,缺水有加重的趋势。为解决这一可能的缺水问题,本文提出以下建议:

a. 水资源开发利用以小型工程为主,建立统一的供水系统,实现水资源联合优化调度。

流域中,Ⅰ区水资源充沛,即使生态恢复重建后,在  $P = 95%$  枯水年,满足本区全部需水后,仍有余水 476.7 万  $m^3$ ,现状工程供水不足。但由于本区

属峰林洼地喀斯特地貌类型,坡陡,落水洞多,水资源开发利用难度较大。水资源开发应以分散小型需水工程为主。

Ⅱ区及Ⅲ区,在生态恢复重建后的特枯年  $P = 95%$  下,其天然水资源量均不能满足区内的需水要求。Ⅱ区缺水量 93.7 万  $m^3$ ,但区内有母猪洞地下水库和马官地下水库提供部分水资源,母猪洞地下水库库容 108 万  $m^3$ ,马官地下水库库容 119 万  $m^3$ ,可缓解Ⅱ区本身可利用水资源的不足。Ⅲ区在生态恢复重建后的  $P = 95%$  的特枯年下,其需水量大于天然水资源量,缺水 519.4 万  $m^3$ 。应充分利用Ⅰ区的多余水量,发挥母猪洞地下水库、马官地下水库和青山水库(库容 252 万  $m^3$ )的联合优化调度,建立统一的供水保障系统<sup>51</sup>,满足全流域的需水要求。另外,在流域中部拟兴建下坝水库(设计库容 300 万  $m^3$ ),与原有 3 个水库联合供水,可基本满足生态建设后特枯年份的需水要求。

b. 大力发展节水农业,提高工业用水循环利用率。

农业用水是流域内的用水大户。生态建设后,农业需水量( $P = 95%$  特枯年)占流域天然水资源量的 74%。因此,在农业的发展中应逐步改善灌溉方式,发展节水灌溉农业。如果农业用水能节约 15%,则全流域可节约水资源 187.1 万  $m^3$ 。

工业用水量在流域用水量中所占比例不大,但随着社会经济的发展,工业需水量所占比重会有所增加。要降低工业万元产值耗水量,积极提高工业用水循环利用率。

c. 夜郎湖提供县城全部居民生活用水。

普定县城居民在岩溶水资源研究开发利用前饮水困难。“六五”岩溶研究期间,后寨冒水坑建立了供水站,向县城居民提供生活用水 2000  $m^3$ /d。随着岩溶研究深入和经济发展,普定三岔河上建设了夜郎湖水库,库容 4.2 亿  $m^3$ ,向安顺市提供城市用水。普定县城要发展,必须要有新的水源供应,夜郎湖水量大,水质好,可满足普定县城的发展用水要求,是一极佳的水源供给地。

d. 开发水资源与生态建设相结合,减少水土流失,防止污染,保护水资源。

流域进行开发时,严禁陡坡开荒,发展经济水源涵养林,防止水土流失,减少洪峰流量及河流含沙量,恢复生态平衡<sup>61</sup>。逐步对岩溶石漠化景观进行治理,种植适合的植被,完善排灌系统,使岩溶生态向良性发展。

流域内工业基础还很薄弱,但工业废水已使河道内水污染逐渐加重<sup>71</sup>。要严格控制工业污水的排放,实行达标排放和总量控制相结合。另外要特别

重视农业面源污染问题,减少化肥和农药的使用量,以免出现环境缺水问题,使流域水资源得到可持续利用,并减轻下游的环境压力<sup>[8]</sup>。

## 6 讨论和结论

生态需水量和生态环境需水量及环境需水量,从本质上来说并没有太大的差别<sup>[1]</sup>。中国西南岩溶山区自然环境恶劣,石漠化严重,是中国西部大开发中需着重解决的问题之一。但经过生态环境恢复重建后,原先裸露的石地被土壤植被覆盖,土壤持水及土壤植被蒸散发必然会消耗掉部分水资源,这部分因生态建设而消耗的水资源也应该纳入流域生态需水量范畴来考虑。

贵州普定后寨河流域属于典型的高原喀斯特流域,岩溶发育,石漠化现象严重。目前流域天然水资源丰富,但由于生态建设需消耗一定的水资源,本研究预测,到2010年如出现 $P=95\%$ 的特枯年,全流域水资源量将缺少136.4万 $m^3$ ,而工程可供水量缺少794.0万 $m^3$ 。因此在流域生态建设除了考虑水土保持、涵养水源外,必须建设全流域配套的供水保障体系,节约用水,大力发展节水灌溉农业,并重视工农业生产可能对环境造成的影响,使该地区水资源得以持续利用,保证流域经济发展。

本文得到韩国高等教育财团2002~2003年国际学者交流支援项目资助,特此致谢!

## 参考文献:

- [1] 崔树彬. 关于生态环境需水若干问题的探讨[J]. 中国水利, 2001(8): 71~74.
  - [2] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告: 中国可持续发展水资源战略研究报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001, 第1卷: 12~13.
  - [3] 王飞燕. 贵州高原喀斯特区流域结构与边界[J]. 南京大学学报(地理学专辑), 1992, 13: 122~133.
  - [4] 王腊春, 史运良. 非闭合流域岩溶水模型[J]. 水科学进展, 1995, 4(4): 318~324.
  - [5] 王腊春, 史运良, 顾国琴, 等. 岩溶地区地表地下水库联合优化调度模型[J]. 中国岩溶, 1999, 18(3): 245~250.
  - [6] Du T de Villiers G. South Africa's water resources and the lesotho highlands water scheme: a partial solution to the country's water problem[J]. Water Resources Development, 1996, 12(1): 65~77.
  - [7] 万洪涛, 杨勇, 史运良. 典型流域水资源可持续利用研究[J]. 南京大学学报, 1998, 34(3): 285~291.
  - [8] Harald D F. Water crisis in developing world: misconceptions about solution[J]. J of Water Resources Planning and Management, 1996(2): 79~87.
- (收稿日期 2003-10-27 编辑 高渭文)
- 
- (上接第9页)
- [17] 李剑超, 褚君达, 丰华丽. 河流底泥冲刷悬浮对水质影响途径的实验研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002(3): 137~140.
  - [18] 田升平. 滇池湖泊磷负荷及其对水环境的影响[J]. 化工矿产地质, 2002(3): 11~16.
  - [19] 郑曦, 刘登义. 镜湖富营养化污染及其治理的初步研究——底泥氮磷及入湖污水对富营养化的影响[J]. 徐州师范大学学报(自然科学版), 1999(2): 54~56.
  - [20] Hong W, Adhityan A, John S G. Modeling of phosphorus dynamics in aquatic sediments: a model development[J]. Water Research, 2003, 37: 3928~3938.
  - [21] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 不同溶解氧水平对控制底泥向上覆水体释放污染物的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 170~173.
  - [22] 王庭健, 苏睿. 城市富营养湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. 环境科学研究, 1994(4): 12~19.
  - [23] 汪家权, 孙亚敏. 巢湖底泥磷的释放模拟实验研究[J]. 环境科学学报, 2002(11): 738~742.
  - [24] 秦伯强, 范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式探讨[J]. 中国环境科学, 2002, 22(2): 150~153.
  - [25] 李勇, 王超. 城市浅水型湖泊底泥磷释放特性实验研究[J]. 环境科学与技术, 2003(1): 29~28.
  - [26] 于世繁, 张国锋. 白洋淀底质磷的释放及与水体中磷的关系[J]. 环境科学, 1995, 16(增刊): 30~34.
  - [27] 由文辉. 沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. 上海环境科学, 1997(6): 23~25.
  - [28] 朱广伟, 陈英旭. 运河(杭州段)沉积物磷释放的模拟试验[J]. 湖泊科学, 2002(6): 343~349.
  - [29] 范成新, 张路, 杨龙元, 等. 湖泊沉积物氮磷内源负荷模拟[J]. 海洋与湖沼, 2002(4): 370~378.
  - [30] Roboert P, Lambertus L. Estimation of sediment-water exchange of solutes in lake veluwe[J]. Wat Res, 1999, 33(1): 279~285.
  - [31] Smits JGC, van der Molen DT. Application of SWITCH, a model for sediment-water exchange of nutrients, to Lake Veluwe in The Netherlands[J]. Hydrobiologia, 1993, 253(2): 281~300.
  - [32] Di Toro DM. Sediment flux modeling[M]. New York: Wiley, 2001.
  - [33] 黄岁樑, 万兆惠. 河流重金属迁移转化数学模型研究综述[J]. 泥沙研究, 1995(4): 42~49.
  - [34] Parmesha L S. An integrated model suit for sediment and pollutants transport in shallow lake[J]. Advances in Engineering Software, 1996, 27: 201~212.
  - [35] 全为民, 严力蛟, 虞左明, 等. 湖泊富营养化模型研究进展[J]. 生物多样性, 2001, 9(2): 168~175.
  - [36] 褚君达, 徐惠慈. 河流底泥冲刷沉降对水质影响的研究[J]. 水利学报, 1999(11): 42~47.
- (收稿日期 2004-04-30 编辑 高渭文)