

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.02.004

花江峡谷示范区表层岩溶水资源的开发与保护

贺 卫, 李 坡, 吴克华

(贵州科学院喀斯特资源环境与发展研究中心, 贵州 贵阳 550001)

摘要 论述了贵州省花江峡谷示范区表层岩溶水的发育特征、循环规律、出露条件, 评价了区内表层岩溶水资源的开发利用条件, 并根据表层岩溶水的出露条件、保障程度和供水需求等情况提出了对表层岩溶水的开发利用方式。同时, 认为生态环境建设、卫生防护区带的建立、封闭式取水工程的修建、动态监测和科学研究、水利工程设施的有效管理和维护以及合理利用和调配水资源等举措是峡谷区内对表层岩溶水的主要保护方法。

关键词 花江峡谷; 表层岩溶带; 水资源开发; 岩溶水; 贵州省

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)02-0013-05

Epikarst water resources development and protection in Huajiang Gorge exemplary area

HE Wei, LI Po, WU Ke-hua

(Karst Resources Environment and Development Research Center, Guizhou Science Academy, Guiyang 550001, China)

Abstract: Based on discussion of the development features, cycles, and exposed conditions of epikarst water in the Huajiang Gorge exemplary area of Guizhou, the conditions of the development and utilization of epikarst water resources were evaluated. According to the discharge characteristics, ensured amount, and supply and demand of epikarst water, modes for the development and utilization of epikarst water are proposed. It is noted that ecological environment construction, establishment of a sanitation protection zone, construction of a closed-type water intake project, dynamic monitoring and scientific research, effective management and maintenance of water conservancy project facilities, and rational use and deployment of water resources are the main protection methods for epikarst water in canyon areas.

Key words: Huajiang Gorge exemplary area; epikarst zone; water resources development; Guizhou Province

表层岩溶水是赋存于表层岩溶带中的浅层地下水。而表层岩溶带是碳酸盐岩表层的不规则带状强岩溶化层^[1], 其地貌形态为石芽、石林、溶沟、溶隙、溶痕、溶盘、溶孔等, 且常常以相对完整的可溶岩为其下界面^[2]。表层岩溶带由于强烈的岩溶发育程度和高裂隙率而成为岩溶地区, 特别是重要的岩溶峡谷区含水层。表层岩溶水资源对解决岩溶地区人畜饮水和生产用水具有重要的意义^[3]。笔者通过对贵州省花江岩溶峡谷示范区表层岩溶水资源的赋存特点、分布规律及开发利用条件分析, 提出表层岩溶水资源的开发利用方式和保护措施, 旨在对岩溶峡谷

和其他岩溶地区的表层岩溶水的合理开发利用和保护有一定的指导和示范作用。

1 概 况

花江峡谷示范区位于贵州省关岭县和贞丰县交界的北盘江中游河段, 总面积 47.63 km², 有耕地 566.6 hm², 人口 6 845 人, 海拔高度为 500 ~ 1 200 m, 相对高差 600 ~ 800 m。示范区地层以碳酸盐岩为主, 出露面积为 88%^[4], 是较典型的深切岩溶峡谷地貌区。

示范区属中亚热带低热河谷气候, 年均温度

18.4℃,年均降水量为1248 mm左右,降水丰富,但时空分布不均,降水主要集中在5—10月,占全年降水量的80%以上^[5]。同时,由于地表严重渗漏,地下水深埋,地表河深切,以及经济和水利工程薄弱等原因,工程性缺水严重,成为示范区生活、生产及社会经济发展的瓶颈。而丰富的表层岩溶水资源和可方便利用的条件,对解决示范区缺水问题具有重要的意义。

2 表层岩溶水资源的发育特征

示范区的表层岩溶水赋存于中三叠统垄头组(T_2lt)灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩地层的裂隙中,多以表层岩溶泉的形式出露。通过野外调查,目前共发现15处表层岩溶泉(图1),分布分散,上下游泉点间多不具有水力联系。表层岩溶水与地层产状和裂隙发育程度有关。在岩层产状平缓、构造裂隙发育的区域,表层岩溶水发育,出露泉点多,而在岩层产状较陡的区域,则发育程度较低,较少形成表层岩溶泉。

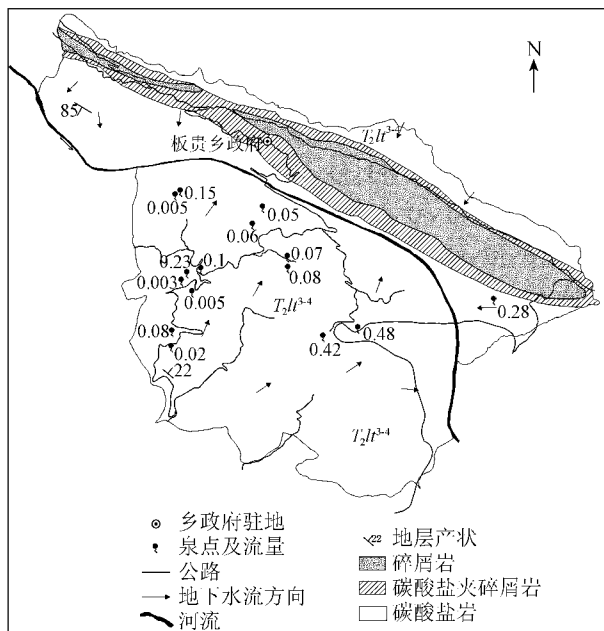


图1 花江峡谷示范区表层岩溶泉分布

示范区表层岩溶水为降水补给,降水通过土壤层到达岩溶表层带后,表层带裂隙中充满了水分,此时表层岩溶水分两部分流动,一部分循环于表层岩溶带内,在岩溶峰丛谷地底部、峰丛洼地边缘或峡谷斜坡上以泉水的方式流出地表。表层岩溶水埋深为2~5 m,多年长流不断,但流量季节性变幅较大。据统计,15处表层岩溶泉中有13处为长常流,占87%,但各泉点之间流量变化较大,最大泉水枯季流量可达0.48 L/s,最小仅为0.003 L/s,同时各泉点流量季节性变幅剧烈,可达近百倍,而另一部分表层岩溶水则通过裂隙、断裂向下渗流,补给其下深埋达

200余米的地下管道(地下河),在峡谷两岸排入花江(图2)。

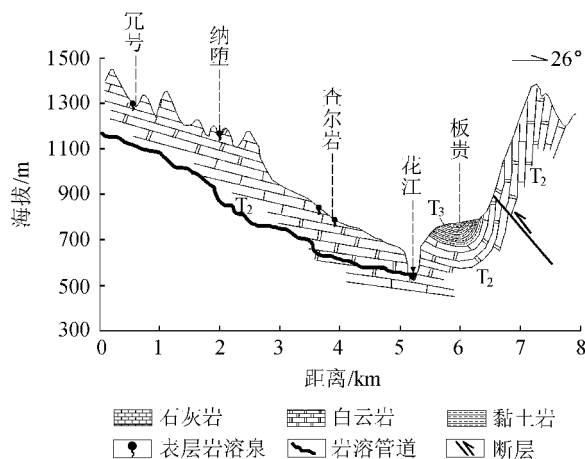


图2 花江峡谷示范区表层岩溶泉出露地貌位置

示范区表层岩溶水资源按含水介质的差异可分为3种类型:①有隔水底板的表层裂隙水。主要是因泥质白云岩、白云岩形成相对隔水底板,其上的表层岩溶裂隙水以泉的形式流出,流量小,但全年流水不断,如纳堕村1号泉,位于峰丛洼地边缘,四季长流,枯季流量为0.02 L/s。②裸露型表层岩溶裂隙水。在灰岩或白云质灰岩表层发育较多的裂隙含水介质,这些小规模的裂隙具有一定的连通性,裂隙水在峡谷斜坡上出露,如查尔岩村以南山坡上的赵家井泉属该种类型,为长流泉,枯季流量为0.003 L/s,是查尔岩村主要的生活水源。③表层岩溶管道水。表层岩溶带内的裂隙有一定的连通性,可形成表层岩溶管道系统,管道系统具有一定的汇流空间,管道水流沿峡谷斜坡向花江河谷排泄,沿途还可见表层岩溶天窗或岩溶潭,大雨时天窗中的表层岩溶水可溢出地表,如银洞湾村的毛家湾泉即为表层岩溶管道水露头,流量大,枯季流量可达0.48 L/s。

此外,据分析测试,示范区的表层岩溶水为 HCO_3-Ca 型或 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型水,水质略偏碱,pH值在7~8之间。

3 表层岩溶水资源的开发利用条件评价

3.1 水量丰富,水质优良

据调查,示范区的表层岩溶水资源出露点多,水量丰富,初步测算已发现的15处表层岩溶泉,枯季流量(11月下旬—12月下旬)可达2.034 L/s,加上一些未发现的出水点,估测示范区表层岩溶泉的水量至少在2.5 L/s以上,日涌水量超过216 m³。但由于表层岩溶水时空分布不均,表层岩溶水年内流量变幅较大,枯、丰季流量可相差数倍,甚至上百倍,如示范区查尔岩村以南山坡上的赵家井泉,6月偶测流

量为 0.22 L/s,而枯季流量仅 0.003 L/s,水量变化达 70 余倍。如果针对表层岩溶水时空分布不均这一特点,通过工程措施对其进行季节性调配,则可极大缓解示范区的缺水问题,基本上解决人畜饮水困难,加之该区的其他水资源,如雨水、基岩裂隙水,则可保障示范区内的生活、生产及生态用水的需求,从根本上解决示范区的缺水问题。

对马刨井泉等表层岩溶水的水质主要指标的测试分析结果表明:示范区表层岩溶水多为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水, pH 值在 7.5 左右,由于区内以雨养农业为主,无工矿企业,污染程度轻,水质无论是感官性状、一般化学指标,还是毒理与微生物指标均达到 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求(表 1)作为主要的生活饮用水水源,水质优良。

3.2 表层岩溶水与村寨供水匹配性较好

示范区为典型的岩溶峡谷地区,山高坡陡,裂隙、落水洞、竖井、漏斗等岩溶地貌发育,丰富的降水很快注入地下和深切河谷中。地下水埋深达 200~300 m,且结构复杂,开发利用难度大。开发利用地下水资源需打深井,取水成本高,风险大,经济难以承担。同时,区内除花江外无一条常年有水的地表河流,而花江强烈深切,水位较低,水面海拔高度仅为 400 余米,而需要供水的林地、耕地、村寨大都散布于海拔 700~800 m 左右的宽谷或峰丛洼地上,与河水面相对高差达 200~400 m,从地表河取水不仅需要修建多级抽水泵站,而且即使将水抽上来后,仍然需要修建蓄水池及输水管网等水利设施,然后才能对分散的田土和村寨进行供水,在抽水的过程中,还需要额外地支付油费、电费及较高的管理成本,工程建设和经营费用高昂,效益低下,加之,地表破碎,地形崎岖,工程建设难度较大,难以形成较大规模和完整的集中取水和供水体系。

因此,解决示范区用水最主要和经济便捷的途径之一就是合理利用该地区的表层岩溶水。示范区表层岩溶水多分散出露于在峡谷地区的河谷斜坡、峰丛谷地底部及峰丛洼地边缘,出露海拔高度在 800~1100 m 左右,与需要供水的分散林地、耕地、村

寨有较好匹配性,大多数泉水通过水头的自然落差,配以简单的水利设施就可直接利用,具有较好的开发利用前景。

3.3 开发投资少、技术成熟可行

开发表层岩溶水资源多以修建微型储水柜、水窖、水池等微型蓄水工程为主,配以简单的取水、输水管道。修建蓄水池、水窖、水池,装配、铺设取水管、取水、蓄水,然后使用输水管网进行分散供水,技术简单成熟,农户容易掌握和推广。且修建微型蓄水工程,投入少,见效快,一般修建微型蓄水工程及配套设施仅需 30~50 元/ m^3 ,1 户村民修建 1 个蓄水量为 40m^3 左右的水池只需投入不到 2000 元即可解决自身生活和生产用水,如果国家适当进行补助,农户自身经济能力完全可以承受。

3.4 效益显著

开发表层岩溶水资源适合于人居分散、田土分散、田高水低的峡谷示范区分散供水的需求。根据 15 处表层岩溶泉枯季流量估算,示范区枯季表层岩溶泉日涌水量超过 216m^3 。若按目前贵州人(畜)用水每人每天 50 L(其中人用 35 L,牲畜用 15 L)的标准计算,基本上可解决 4300 余人的用水和部分生产用水。如示范区 1995 年前工程性缺水严重,人畜饮水极为困难,通过“九五”、“十五”期间一系列国家、省项目的实施,修建了近百个微型蓄水工程及其配套取水、供水设施,表层岩溶泉得到了有效利用和保护,配合其他水资源的开发利用,基本解决了示范区近 7000 人(畜)饮水困难和旱季部分生产、生态用水需求,促进了峡谷区农业产业结构的调整,推广了花椒、砂仁、金银花等经济效益和生态效益好的经济作物种植,农户收入有了较大幅度的提高。据统计,示范区查尔岩村大石板组人均纯收入 1997 年仅为 698 元,通过花椒、金银花等经济作物的种植,到 2002 年人均纯收入达 1870 元,银洞湾村 1997 年人均纯收入为 850 元,至 2002 年达 2250 元,经济效益明显。同时,示范区的植被覆盖率也有了较大的提高,生态环境得到了较大的改善,植被覆盖率由 1997 年的 14.16% 提高到 2002 年的 26.60%^[6],生态效益显著。

表 1 示范区表层岩溶水水质与 GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》比较

项目	色/度	臭、味	混浊度/度	pH	总硬度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Ca}^{2+})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Mg}^{2+})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cu})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Zn})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Fe})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Mn})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Pb})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
实测值	<5	无臭、 无异味	2	7.65	205	60.5	15.6	0.01	—	—	0.0016	—
标准值	<15	不得有 异臭、异味	1~3	6.5~8.5	≤450			≤1.0	≤1.0	≤0.3	≤0.1	≤0.01
项目	$\rho(\text{Cd})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{As})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cr})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Hg})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NO}_3^-)$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NO}_2^-)$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cl}^-)$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{F}^-)$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	细菌总数/ (个· mL^{-1})	
实测值	—	—	—	—	0.35	0.005	2.9	—	53.9	3.07	<100	
标准值	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.001	≤10		≤250	≤1.0	≤250	<5	100	

4 表层岩溶水的开发与保护

4.1 开发方式

花江峡谷示范区为典型的农业区,区内无工矿企业,表层岩溶水主要用于人畜饮水和部分农田灌溉。开发利用示范区表层岩溶水,应根据表层岩溶水的发育规律、出露位置,与村寨、田土的空间配置关系,供水需求及水源保障程度及经济能力等情况,因地、因水、因需制宜地选择不同的开发方式进行,目前主要开发利用其天然露头——表层岩溶泉,采取以蓄为主,引蓄结合,分散供水的模式实施,主要开发方式有以下几种。

a. 分散引蓄表层岩溶水。该方式成本低,技术简单易行,不存在风险,主要利用泉流量小、农户居住分散、田土不集中区域的表层岩溶水,可解决一户或几户农户的生活用水。它是利用表层岩溶水的出露位置与农户居住地之间存在的落差,用软塑胶管直接引水或在泉口处修建封闭式蓄水池后引水使用,以流量最小的泉水(枯季流量 0.005 L/s)为例,年涌水量至少为 160 m^3 ,若按人(畜)日均用水量 50 L (其中人用 35 L 、畜 15 L)的标准,水资源可利用率为 70% 考虑,即可保障 $6 \sim 7$ 人的用水问题。考虑到表层岩溶泉的流量季节分布不均,丰水期水量较多而枯水期水量较少甚至断流的情况,农户可在房前屋后修建微型蓄水工程(小水窖、水池、水柜等)进行蓄水,由于示范区村民生活贫困,能力不足,为此应采取“政府补助+专家指导+农户自建”的管理模式,一般修建 $30 \sim 60 \text{ m}^3$ 的蓄水池。

b. 集中引蓄表层岩溶水。主要用于利用流量稳定、水量相对较大、田土及农户相对较集中地区的表层岩溶泉。泉水枯季流量多大于 0.04 L/s ,年涌水量至少 1260 m^3 ,最少可保障 50 人(畜)的用水需求。一般在表层岩溶水出露点下游修建调节水池,水池大小视需水情况而定,一般为 500 m^3 ,由于水池与泉水水头存在一定的自然落差,用镀锌管或塑料软管将表层岩溶水引入调节水池,再通过输水管网将水分散引入农户家中水池或田间地头。此类开发方式需要一定的投资,可采取农户集资或政府和项目出资,专家指导,农户参与的方式进行。

c. 天窗虹吸引蓄表层岩溶管道水。利用表层岩溶管道水在向花江河谷沿途排泄的岩溶天窗或岩溶潭开发表层岩溶水资源,一般日可取水量至少为 20 m^3 ,可保障 300 余人(畜)的用水。主要在天窗或岩溶潭下游修建蓄水量为 $1500 \sim 2000 \text{ m}^3$ 的供水水池,通过管道虹吸的方式将天窗或岩溶潭的水引入水池,再进行分散供水。该方式有一定技术要求,且

需投入较大的资金,农户无力投资,主要由政府和项目出资修建供水水池及配套输水管网,然后交付农户使用和管理。

d. 多个水池联网,实现水资源的合理调配及水池的有效利用。由于表层岩溶水资源时空分布不均,造成蓄水池的水源不稳定,枯季和旱季蓄水率低,部分蓄水池在枯季和旱季甚至无水可蓄,为此可将部分水池与有稳定水源的水池通过管道相连,形成多个水池的联网,提升水池的蓄水率,以达到水资源的合理调配和水池的有效利用。

4.2 保护措施

水资源保护是为防止水资源不当利用而造成水源污染或水源破坏,采取法律、行政、经济、技术等综合措施,对水资源实行积极保护与科学管理的做法。水资源保护是环境保护的主要内容,也是水资源管理的重要组成部分^[7]。花江峡谷示范区是生态环境脆弱的岩溶峡谷区,碳酸盐岩发育,岩石裸露程度高,表层岩溶水作为区内最可方便利用和重要的水资源,合理开发利用与保护对区内的社会稳定、发展与和谐有一定的影响。因此,应根据表层岩溶水的类型、出露条件、流量大小、保障程度等情况,分别采取不同措施加强对表层岩溶水资源的保护和管理(表2)。具体保护措施如下。

a. 生态环境建设。加强生态环境建设,防治石漠化,提高植被覆盖率,增强地表的持水能力是区内表层岩溶水可持续利用的关键和重要措施。在岩溶地区,表层岩溶水以表层岩溶泉的形式出露,是岩溶山区的重要水源之一。据研究,表层岩溶水的赋存、流量大小等与森林植被覆盖率呈正相关,森林生态环境对表层岩溶的延滞给水具有重大意义^[11]。长期以来,示范区内人们在生存压力和经济利益的驱使下对森林资源采取掠夺性开发,植被遭到破坏,导致水土流失加剧,石漠化日益严重,生态环境退化,表层岩溶水的水量减少,甚至威胁到表层岩溶泉水的存在,某些长流性的表层岩溶泉退化为季节性泉水,甚至断流,因此采取退耕还林、封山育林、坡田改梯田等措施提高植被覆盖率,防治水土流失,增强表层岩溶水对降水的调蓄能力是保护该区表层岩溶水资源的有效途径。

b. 建立卫生防护区(带),修建封闭式的取水工程。在表层岩溶泉点附近一定范围内应建立卫生防护区(带),加强对表层岩溶水资源的保护,特别是对区内有重大供水意义的表层泉水的保护。在某些取水泉口修建封闭式、半封闭的引水工程,以防止水源的污染,同时禁止在卫生防护区(带)内进行一切生产、生活活动。

表 2 花江峡谷示范区表层岩溶泉点及保护

泉点名称	海拔高度/m	枯季流量/ (L·s ⁻¹)	泉水类型	出露位置	保护措施
砂地泉	720.6	0.280	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,建立卫生防护区(带),实施监测
纳墎村 1 号泉	920.5	0.020	隔水底板表层裂隙水	峰丛洼地边缘	封山育林,采用封闭式取水方式
纳墎村 2 号泉	913.6	0.080	隔水底板表层裂隙水	峰丛洼地边缘	封山育林,可采用封闭式取水方式
戈贝后湾泉	782.4	0.005	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,可采用封闭式取水方式
马创井泉	751.3	0.100	表层岩溶管道水	峡谷斜坡	退耕还林,采用封闭式取水方式
赵家井泉	828.0	0.003	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,泉口建池,建立卫生防护区(带)
戈贝泉	762.4	0.230	表层岩溶管道水	峡谷斜坡	退耕还林,表层岩溶泉天窗,建立卫生防护区(带)
石板寨 1 号泉	715.3	0.070	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,引泉入池
石板寨 2 号泉	751.8	0.080	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,引泉入池
大石板泉	601.9	0.050	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,引泉入池
大水井泉	575.8	0.060	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	退耕还林,引泉入池
田坝 1 号泉	707.5	0.150	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	坡改梯,引泉入池
田坝 2 号泉	742.3	0.005	裸露型表层岩溶裂隙水	峡谷斜坡	坡改梯,引泉入池
毛家湾泉	816.5	0.480	表层岩溶管道水	峡谷斜坡	退耕还林,引泉入池,实施监测
胡家麻窝泉	865.4	0.421	表层岩溶管道水	峰丛谷底底部	退耕还林,引泉入池,实施监测
合计		2.034			

c. 加强对区内表层岩溶水资源状态的监测和科学研究,及时了解区内生态环境质量的变化。表层岩溶带的岩石裂隙化程度高,岩溶发育强烈,是一个独特的表层含水层,它对环境变化敏感度高(如气候土地利用),并有特殊的资源环境效应^[8]。因此加强对研究区内表层岩溶水资源,特别是具有重大供水意义的泉水水量、水质及其与环境变化相关性进行监测和科学研究,不仅能够了解该区生态环境变化对表层岩溶水的影响,而且能够更有效开发利用和保护区内表层岩溶泉。

d. 加强对已建水利设施的管理和维护,合理利用和调配区内现有水资源。可建立由村委会牵头,由村干部和村民代表共同组成的水资源管理和保护小组,制定相关的制度和章程。由管理保护小组指派专人进行水资源的管理和水利设施的维护,对用水村民收取一定的费用,用于专职管理人员的补助和水利设备的日常维护。以这种方式来进行统一调配、管理表层水资源,能够更合理地利用和保护区内表层岩溶水资源,同时,也提高了表层水资源的利用率。

5 结 论

花江峡谷示范区是贵州省最典型的岩溶深切峡谷区。区内表层岩溶水丰富,出露点多,位置高,与田土及村寨配套条件好,是示范区重要及可方便利用的生活和生产水源,根据其发育特点及出露位置,与村寨、田土的空间配置关系,采取以蓄为主、蓄输结合、分散供水的模式,开发表层岩水资源的天然露头——表层岩溶泉。可通过退耕还林、坡改梯、封山育林、建立卫生防护区(带)加强科学监测等手段对

表层岩溶水资源进行保护。

参考文献:

- [1] 蒋忠诚,王瑞江,裴建国,等.我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能[J].中国岩溶,2001,20(2):106-109.
- [2] 劳文科,李兆林,罗伟权,等.洛塔地区表层岩溶带基本特征及其类型划分[J].中国岩溶,2002,21(3):30-35.
- [3] 覃小群,蒋中诚.表层岩溶带及某水循环的研究进展与发展方向[J].中国岩溶,2005,24(3):250-253.
- [4] 李开忠,彭贤伟,熊康宁.贵州喀斯特峡谷地区土地利用效果评价:以贵州花江峡谷地区为例[J].中国岩溶,2005,24(4):293-299.
- [5] 贺卫,李坡.喀斯特峡谷区工程性缺水原因及解决途径:以贵州花江峡谷示范区为例[J].资源开发与市场,2010,26(2):129-134.
- [6] 苏维词,朱文孝,滕建珍.喀斯特峡谷石漠化地区生态重建模式及其效应[J].生态环境,2004,13(1):57-60.
- [7] 许有鹏.城市水资源与水环境[M].贵阳:贵州人民出版社,2003:249.
- [8] 章程,袁道先,曹建华,等.典型表层泉短时间尺度动态变化规律研究[J].地球学报,2004,25(3):467-471.

(收稿日期 2010-05-13 编辑 徐娟)

