

岩溶水资源开发利用与综合治理经验 ——以湘西岩溶区为例

梁 彬, 朱明秋, 裴建国, 何师意, 唐健生

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

摘要:在分析湘西岩溶水资源环境、岩溶水资源开发利用现状及存在问题的基础上, 剖析岩溶水资源开发利用、治理成功与失败的典例, 总结出堵截地下河出口溶洼成库、引水农田灌溉或开发水能等岩溶水资源开发利用方式与方法及地表水、地下水综合利用开发与治理等经验, 为湘西岩溶石山地区生态环境重建与恢复、石漠化治理提供了科学依据。

关键词:岩溶水资源; 生态环境修复; 岩溶地下水利用; 湖南西部

中图分类号:TV213.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-6933(2007)02-0064-06

Experience on development and comprehensive management of karst water resources: A case study of karst regions in West Hunan

LIANG Bin, ZHU Ming-qiu, PEI Jian-guo, HE Shi-yi, TANG Jian-sheng

(Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the analysis of karst water environment, present situation, and existing problems of karst water resources development, some typical cases of successful or unsuccessful utilization and management of karst water were analyzed. Utilization manners and methods for karst water resources were summarized, such as the construction of karst depression reservoirs by blocking up the outlets of streams, water diversion for irrigation, and exploitation of hydropower. Experiences in integrated utilization and treatment of surface water and groundwater were also presented, which would supply scientific foundations for reconstruction and rehabilitation of ecological environment and for control of rocky desertification in West Hunan.

Key words: karst water resources; rehabilitation of ecological environment; utilization of karst groundwater; West Hunan

岩溶地下水历来是岩溶地区重要的供水水源, 近年来由于城乡经济的发展及地表水体的污染, 对地下水的需求量急剧增加, 尤其是在碳酸盐岩分布地区, 岩溶水的开发利用日益重要。在广西、贵州、湖南、四川、云南等主要岩溶分布区, 地下河及其天窗、大泉的利用程度及地表水、地下水综合利用程度都日益提高。

几十年来人们采用各种方式开发岩溶水, 如城市、工矿、农业的凿井供水或直接引用地下河、大泉供水; 修建各种利用地表水、地下水的水利工程, 建成了大量的中、小型水库和山塘; 采用堵水洞、拦截、围堰等多种方式蓄积岩溶地下水。在有条件的地方建成地下水库, 采用大量各种形式的引水、提水工

程; 利用地表河(尤其是高原区地表河流)、地下河、大泉出口的落差, 建立水电站, 如猫跳河梯级开发; 热、矿水资源已部分用于农田灌溉、育秧、及建疗养院; 利用岩溶景观的天然风光, 发展旅游业等^[1]。

湘西岩溶区地处湘、鄂、黔、渝毗邻的武陵山区, 是我国西南岩溶区具有典型特征的岩溶石山地区, 由于其特有的岩溶山区自然条件和边缘地域社会经济状况构成较为特殊的岩溶山区生态系统^[2]。因而, 总结湘西岩溶水资源开发利用与综合治理经验与教训, 对促进湘西岩溶水资源开发与生态环境保护相适应、岩溶水资源合理开发利用与社会经济可持续发展相匹配具有重要意义。

1 岩溶水资源环境特征

1.1 自然地理环境

湘西岩溶区是一个以山地为主的贫困少数民族地区,这些地区主要以裸露岩溶山地为主,地形起伏大,高低不一,总地势为西北高、东南低,武陵山脉横贯全区,西北部标高多在1000m以上,东南标高500m左右,河流深切,多形成峡谷、峰谷,在龙山、桑植、花垣、张家界等地有小型山间盆地。地貌上以中低山为主,类型比较复杂,主要以溶丘洼地、丘峰深谷洼

地、龙崎洼地、台丘洼地和斜坡沟谷等为主。湘西地区属亚热带季风湿润气候,降雨充沛,多年平均降水量一般介于1200~1700mm之间。区内地表水系主要有澧水河及沅江支流西水河。

1.2 地质及岩溶水文地质

湘西岩溶区主要为寒武系、奥陶系、二叠系、三叠系地层分布,其主要特点是碳酸盐岩中夹有非碳酸盐岩。碳酸盐岩分布面积约1.19万km²,其中裸露型分布最广,覆盖型分布较少。具体分布见图1。

湘西地区地处新华夏系第三隆起带中段,整体

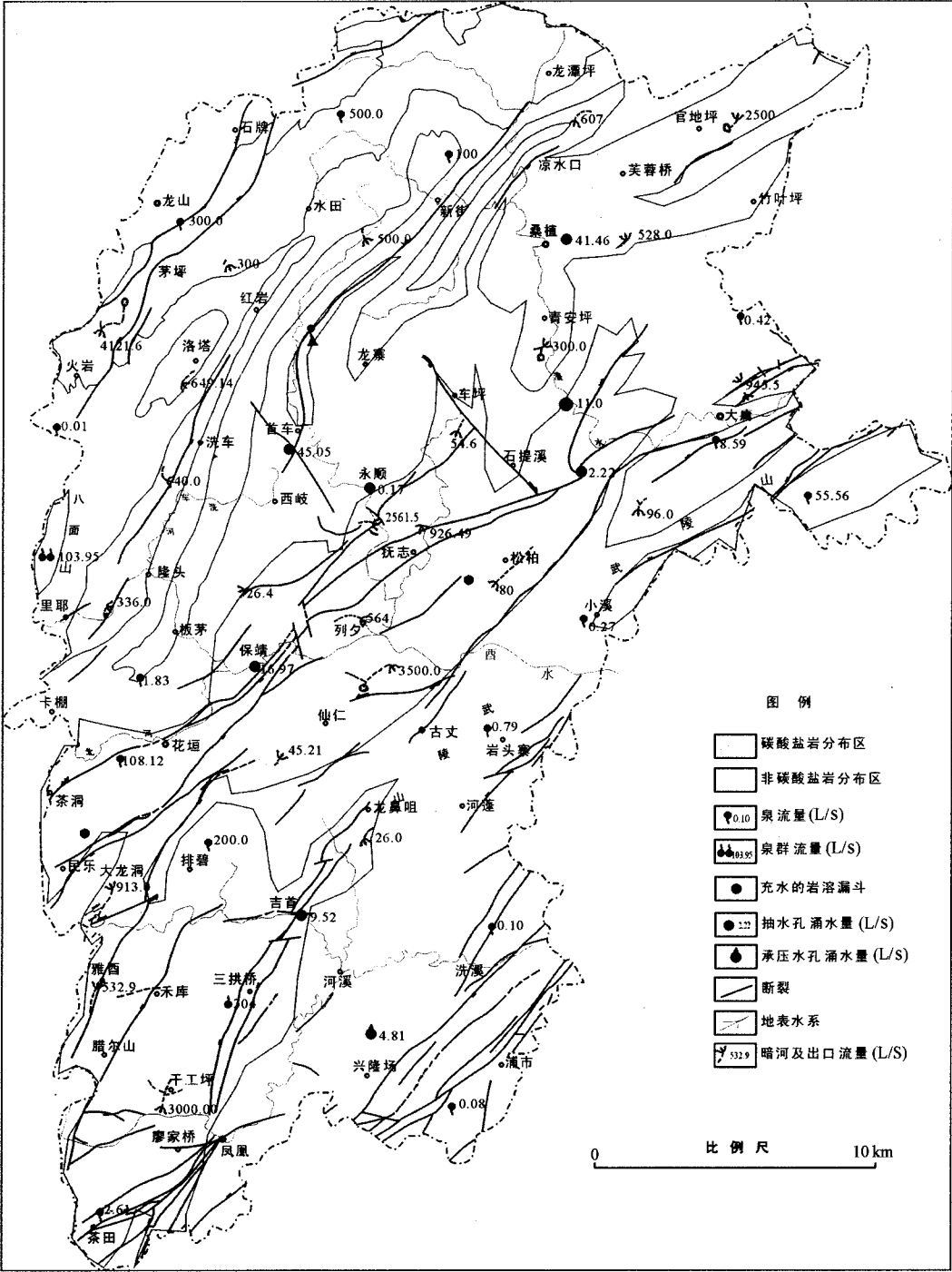


图1 湘西岩溶水文地质分布

为武陵弧形构造,主要为北东、北北东向断裂、褶皱,为一系列相间排列的复背斜和复向斜。

湘西地区属亚热带季风湿润气候,降雨充沛,岩溶作用强烈,不但形成了岩溶裂隙密集的表层岩溶带,而且在地下发育了大量洞穴和管道,形成特殊的地表、地下双层水文地质结构,造成水资源时空分布的复杂性,如洛塔屋檐洞岩溶水系统(约 69 km²),发育有 50 多条地下河、300 多个溶洞^[3]。

湘西岩溶区按地质构造、地下水补径排条件划分 117 个^①岩溶水系统,各岩溶水系统地表、地下分水岭基本一致,地下河系统边界比较清楚,多以分水岭或非碳酸盐岩为边界。岩溶水系统之间均互无明显的水力联系,各具独立的补给区和明显的地下分水岭。

地下水多以地下河、岩溶大泉等形式集中排泄。据统计,流量大于 10 L/s 的岩溶大泉 429 个,总流量 38 507.71 L/s; 流量大于 1 000 L/s 的 2 个,总流量 5 627.03 L/s。流量大于 10 L/s 的地下河共 437 条,总流量 327 753.35 L/s; 流量大于 1 000 L/s 的 29 条,总流量 271 628.69 L/s^②。晚近期以来,地壳运动一直处于间歇性上升状态,地表河流下切速度远大于本区岩溶垂向溶蚀速率,各岩溶水系统在排泄区常形成悬崖峭壁上的地下河出口或岩溶大泉,形成“飞流直下三千尺”的壮丽景观,为岩溶水资源开发利用提供了较好的条件。

1.3 岩溶水资源概况

湘西岩溶区地表和地下岩溶强烈发育,岩溶水资源丰富。据统计,地表水资源总量为 133.3 亿 m³/a,地下水资源总量为 1 443.97 万 m³/d(1998 年),其中岩溶水资源总量 1 109.51 万 m³/d(1998 年),占地下水资源总量的 78.4%(表 1)。总体而言,湘西岩溶区岩溶水资源比较丰富,对发展工农业生产及能源建设起着重要作用。

表 1 湘西自治州地下水资源^② 万 m³/d

县(市)名	地下水资源 总量	岩溶水资源 总量	岩溶水可开采 资源总量
龙山县	337.34	285.15	101.78
永顺县	318.07	228.66	84.85
保靖县	186.55	150.52	56.05
花垣县	137.40	130.49	50.79
古丈县	83.83	40.49	15.03
吉首市	73.48	53.73	19.95
凤凰县	240.17	215.34	86.79
泸溪县	67.13	5.13	1.97
合 计	1 443.97	1 109.51	417.21

2 岩溶水资源开发利用现状

当地多年来在充分开发利用地表水的同时,逐渐对岩溶地下水进行了开发利用,其中开发利用岩溶水较多的城镇是吉首市,其利用量达 147 万 m³/a。但总体而言,目前对岩溶水的开发利用程度还很低。有关资料表明,湘西岩溶区水资源利用率仅 5.5%。据不完全统计^③,湘西岩溶区已开发利用岩溶水蓄引提总水量为 4.13 亿 m³/a,其中农业开发利用量为 3.873 亿 m³/a,占总量的 93.78%,工业及生活开发利用量 0.257 亿 m³/a,占总量的 6.22%。共灌田 11.436 万 hm²,发电装机容量 1.321 万 kW。地表水资源水能蕴藏量为 168 万 kW,其中可供开发 108 万 kW,现已开发 17.8 万 kW,仅占可开发量的 16.5%,年发电量 6 亿 kW·h。截止到 2001 年底,州内共有大、中、小型水库 612 座,其中中型水库 9 座,小型水库 603 座。总的来说,岩溶水资源的有效开发利用,解决了大部分人畜饮水与农田灌溉问题,同时带动了乡镇企业的发展。

3 岩溶水资源开发利用存在的问题

3.1 水资源总量大而利用差,农田灌溉、人畜饮水困难

研究区内水系发育,多年平均径流量为 62.5421 亿 m³,人均占有 6 221 m³,均高于全国人均水量 2 700 m³和湖南省人均水量 4 000 m³的水平。耕地占有水量 517 m³/hm²(全国平均为 120 m³/hm²),水田占有水量 565 m³/hm²(全省 342 m³/hm²)。由于区内地形复杂,地表切割强烈,地表水利用率仅为 3.6%~4.2%,造成人畜饮水困难 197 589 人,占区内总人口的 19.3%。且由于区内地形地质结构地区差异和降水的地域分布不均以及年际降水变化较大,致使农业用水时空不均,旱涝灾害严重,农业生产处于不稳定状态。如龙山县共有水田 17 609.17 hm²,其中缺水干旱的 9 544.17 hm²,占 54.2%。历年因缺水干旱,常常造成粮食减产。

3.2 水利工程初具规模,配套任务艰巨

当地已建成的水利设施有中型水库 4 座,小型水库 210 座,山塘、溪坝 1 891 处,引、提水工程数千项,总蓄引提水量达 26 176.7 万 m³,灌溉面积 48.75 万 hm²。但是,由于历史原因,在工程布局、勘测设计、施工质量、工程管理以及经济效益等方面未能取得理想的效果,且由于经济、技术落后,人民生活贫

① 徐定芳,周锦忠.湘西岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查,湖南省地质调查院,2001。

② 中国地质科学院岩溶地质研究所,滇黔桂湘岩溶贫困区岩溶水有效开发利用规划建议与示范研究成果报告,1998。

③ 湖南土家族苗族自治州水利局,湖南省湘西自治州水力资源复查成果汇总,2002。

困,森林砍伐造成水土流失,且已建工程配套不够完善,因缺乏资金,致使工程难以发挥应有的效益。

3.3 河流坡降大、水能贮藏量丰富,但开发利用程度低

区内水能资源贮藏量 63.48 万 kW,可开发利用 14.8 万 kW,已开发利用 4.6 万 kW,开发利用率仅 31.1%。

4 岩溶水资源开发利用与综合治理经验

4.1 成功典例

a. 龙山县洛塔乡建设地表、地下联合水库。通过详细勘察,在地下河出口处用堵体堵塞洞口,建成地下水库,利用地面洼地引水建成地表水水库,两者连通实行联合开发,库容达 7000 万 m^3 ,解决了农田旱涝问题;同时采取封山育林等综合治理措施,从 1985 至 2000 年,人均粮食产量从 85 kg 增加到 400 kg,人均纯收入从 40 元增加到 1500 元,森林得到恢复。洛塔地区共有长度 1 km 以上的暗河 51 条,通过调查研究与统一规划,建成燕子洞、枇杷洞、牛鼻子洞、八仙洞等 4 处溶洼水库及燕子洞、八仙洞、刺猬洞 3 处地下水库,组合成以燕子洞地下河为主体的水库群,实行梯级开发,总库容为 75 万 m^3 ,灌溉耕地 138.3 hm^2 ,装机容量为 26 kW^[3]①。

b. 花垣县道二与董马库—排碧—排料岩溶区、保靖梅花岩溶区、永顺县城岩溶区开采岩溶水成井经验。花垣县道二与董马库—排碧—排料岩溶区,在查明了水文地质条件及岩溶水资源分布的基础上,结合水文物探,成功成井 2 口,提供可采水量 450 m^3/d ,解决了道二乡政府附近、排碧板栗村两严重干旱缺水 4000 人及 13.33 hm^2 农田的灌溉问题;保靖梅花岩溶区,通过详细勘察,成功成井 5 口,钻孔自流量 1600 多 m^3/d ,抽水试验单井水量 5500 m^3/d ,基本解决了县城 2 万人口的饮用水困难;永顺县城岩溶区,地表水资源利用条件较差,地下水位埋深均大于 50 m,通过详细勘察,成功成井 3 口,年供水量为 44 万 m^3 ,解决了部分居民的生活用水②。

c. 地下河出口堵坝引水开发水能经验。龙山县洛塔乡屋檐洞电站,即是在地下河筑坝引水发电,在距屋檐洞出口段上游约 50 m 地段拦坝、开凿引水隧道 3.5 km,形成落差近 100 m,引水 1.0 m^3/s ,装机容量 1000 kW;又如大龙洞水电站,在洞口上游约 800 m 拦坝、开凿引水隧道 500 m,形成落差 200 m,装机容量 5000 kW;小龙洞水电站,引用地下河水发电,水电站

始建于 1971 年 3 月,1975 年 5 月竣工投产,装机 3 × 200 kW,1988 年至 1999 年先后对电站进行整改扩建,到 2000 年止,电站总装机已达 1550 kW,年发电量达 620 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。3 座电站发电运行至今,取得了良好的经济效益和社会效益①。

d. 表层岩溶泉集水箱开发经验。在湘西岩溶区利用集水箱模式开发表层岩溶泉成功例子极为普遍,表层岩溶泉的开发解决了居民、土地高度分散的农田灌溉及人畜用水问题^[5]。如花垣道二乡杠杠寨后一表层带岩溶下降泉,是该寨唯一饮用水源,通过在泉口建围堰,修引水渠道、接引水管,在村中建蓄水池,成功解决了该村约 700 人的饮用水问题。

4.2 失败典例

a. 吉首大龙洞地表水、地下水联合中型水库失败教训。大龙洞电站建成于 1971 年,大龙洞电站是在大龙洞地下河出口处建成一座高 20 m 的引水坝,开凿引水隧道 500 m,形成落差近 200 m,装机容量 5000 kW。由于大龙洞地下河流量季节变化大,枯季水量锐减,装机容量减少 60% ~ 80%,而丰水季节水量急剧增加,造成极大浪费。当地政府拟在地下河道内再次筑坝堵洞,以建成地表水、地下水联合中型水库 (7000 万 m^3),以起到防洪、供水、灌溉农田、发电等作用。在 1982 ~ 1996 年先后多次开展勘察工作,并于 1994 ~ 1996 年进行几次堵洞试验,但因对大龙洞地下河分布、枢纽区工程地质研究不够深入,经费支持力度较差,地表水、地下水联合中型水库建设都以失败告终。

b. 洛塔乡马蛇洞隧道截引地下河引水工程失败教训。马蛇洞引水工程在 1992 年开始,当地村民由于对马蛇洞地下河分布规律认识不清,且在无技术人员支持下,盲目开凿引水隧道 900 m,最终引水隧道高于地下河河床,后因无资金支持,引水工程瘫痪。2000 年在中国地质科学院岩溶地质研究所提供的技术支持、县政府资金扶持下,后在地下河选择工程地质较好地段建拦坝,使引水工程发挥了作用,解决了 1000 人饮用水、1000 hm^2 农田灌溉问题①。

总体而言,岩溶水资源开发利用失败的主要原因大多由于对岩溶发育规律不清、工程地质研究不够深入及经济技术支持的可行性等问题造成的。

4.3 岩溶水资源开发利用方式与方法

根据湘西岩溶区岩溶水资源开发利用现状调查,岩溶水资源开发利用主要的方式与方法有:修建地表水地下水联合水库,溶洼成库,堵、截、引地下河,扩泉

① 梁彬,李兆林.西南岩溶山区典型流域水资源保护示范工程——湖南洛塔地区岩溶水资源合理开采利用示范,中国地质科学院岩溶地质研究所,2002。

② 徐定芳,周锦忠.湘西岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查,湖南省地质调查院,2001。

围堰,利用天窗或溶潭提水,钻井采水,邻区凿岩把水引向非岩溶区,采用水管直接引水和集水箱蓄水引用等方式开发利用表层岩溶泉水等^①。具体开发利用方式及利用途径有如下方式:①堵截地下河出口溶洼成库,引水农田灌溉或开发水能;②洞外建库,引水农田灌溉或开发水能;③地下河堵洞或筑坝引水,引水农田灌溉或开发水能;④隧道截引地下河,引水农田灌溉、人畜用水;⑤围堰引水,引水农田灌溉、人畜用水;⑥钻井开采,人畜用水;⑦表层岩溶泉集水箱开发,引水农田灌溉、人畜用水。

上述岩溶水资源开发利用方式与方法都已在湘西地区予以采用,多以堵、截、引为主^[2]。湘西岩溶石山地区地表水及地下水资源丰富,但由于各地具体条件不同,利用方式又千差万别,根据湘西岩溶区多年来岩溶水资源开发利用的实践,概括起来有以下几方面的开发利用与治理经验。

4.3.1 地表水、地下水综合开发利用

湘西岩溶区河流大多流动于深切峡谷之中,为岩溶地下河集中排泄的基准面,在河流有利于建坝的地段,修建水库蓄水用于防洪抗旱和水力发电。例如猛洞河全长 160 km,由北向南基本流经本区,最后汇入酉水,有多条地下河流入猛洞河,由于河流落差大,水能资源十分丰富,开发猛洞河具有多种综合经济效益:仅永顺县境内就能建小型水电站 20 座,总装机容量为 52550 kW,年发电量可达 23000 万 kW·h;扩大农田灌溉面积 2000 余 hm²;提高防洪、抗洪能力,每年可减少防洪、抗洪所付出的大量人力、物力和洪水直接造成的损失;可提供 1000 hm² 以上的水面用于养鱼;其他还有诸如旅游、航运、供水等。

4.3.2 围堵地下河出口及岩溶大泉引水开发利用

主要利用地下河出口或岩溶泉出露一般高于耕地分布区与居民生活区,在出露点围堵后进行引水,可作自流灌溉、生活用水及水力发电。如:①龙山他砂板屋—田家寨地下河,发育于二叠系茅口组灰岩中,出口出露于大冶组灰岩、泥质灰岩中,出口高程 640 m,流量 40~50 L/s,1963 年首次在洞口建引水坝,并修 1 km 长引水渠道,后因农业体制改革,曾有一段时间未能发挥作用,1999 年重修引水坝,并修引水渠道长约 4 km,基本解决了 2000 人饮水问题及 133.33 hm² 农田灌溉。②洛塔冒水洞地下河,出口高程 900 m,流量 50 L/s~60 L/s,在洞口建引水坝,并修 2 km 长引水渠道,解决 400 人饮水问题及 33.33 hm² 农田灌溉。除上述两处外,利用此开发方

法的岩溶水点在湘西岩溶区还比较多,如:①龙山他砂乡乡部溶洞水引水工程、湾桃岩溶泉引水工程、皮踢车岩溶泉引水工程等;②龙山洛塔热湖坪泉引水工程、八一天坑引水工程等;③花垣县雅西火焰洞地下河引水工程、排碧乡引水工程等。

4.3.3 凿引水隧洞拦截地下河开发利用

主要利用分布位置较高的地下河,在地下河内堵坝,开凿引水隧洞,引水灌溉、发电等。如他砂乡几车引水工程、洛塔大瓜拉洞引水工程^[4-5]、马蛇洞引水工程、大龙洞地下河水力发电工程等。

4.3.4 利用岩溶洼地、河谷为储水空间,修建地表水、地下水联合水库

主要是利用高位洼地、地下河或河谷作为储水空间,修建溶洼水库,建立地表水、地下水的联合调度工程,引水灌溉或发电等。如龙山河塔八的仙洞溶洼水库(库容 50 万 m³)、凤凰县腊尔山大小坪溶洼水库(库容 300 万 m³)、龙山他砂溶洼水库(库容 50 万 m³)、靛坊麻料河水库(库容 200 万 m³)、花垣东卫电站水库(库容 10 万 m³)等便是成功的典例。

4.3.5 表层岩溶泉集水箱蓄水开发利用

湘西岩溶区表层岩溶带比较发育,利用表层岩溶带具有一定的蓄水功能,开发利用表层岩溶泉,对解决居民、土地较为分散的岩溶区人畜用水与农田灌溉具有重要意义^[6]。主要开发方式有:①在表层岩溶泉泉口建蓄水池;②泉水引至村庄,修建集水池;③修引水渠道引水灌溉农田。前两种开发方式比较成功地解决了居民分散人畜用水问题,第 3 种开发方式解决了土地不集中的农田灌溉问题。

4.3.6 钻孔开采地下水

在地表出露水点较少、地下水位埋深相对较大的岩溶区,地表水可用资源比较缺乏,又无可直接利用的岩溶水资源,主要采用并采岩溶地下水。如永顺县城,地表水资源利用条件较差,周围也无地下河、岩溶泉出露,地下水埋深约 50 m,目前有 3 眼开采井,年供水量为 44 万 m³,解决了部分居民的生活用水^②。

4.3.7 搞好水资源的管理、保护生态环境,提高涵养水源能力

建立适宜的政策法律法规保障体系,实行依法治水、依法管水。改革开放几十年来,我国虽然相继出台了与水资源直接相关的政策法规,规范了水资源开发利用与保护行为,为水资源管理的法规化建设奠定了基础,但有法不依现象也颇为严重,各地

① 梁彬,李兆林.西南岩溶山区典型流域水资源保护示范工程——湖南洛塔地区岩溶水资源合理开采利用示范,中国地质科学院岩溶地质研究所,2002。

② 徐定芳,周锦忠.湘西岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查,湖南省地质调查院,2001。

方、各流域管理单位应依照国家有关法规政策,出台适合本地区的具体政策措施,真正做到有法可依、有章可循。同时树立科学发展观,有效保护水资源^[7],切实为实现水资源可持续利用营造一个良好的法制环境。因此,实行封山育林、退耕还林、植树造林等措施,恢复良好的植被,提高山林涵养水源的能力,充分发挥“生物水库”的作用是摆在第一位的工作,这一工作涉及范围大,需要各级政府的高度重视和全社会的通力合作。

4.3.8 推广节水农业新技术

实践证明,耕地实行计划和节约用水,能减少水的浪费,提高水的效益。节水技术包括工程节水技术、农业节水技术、管理节水技术。节水灌溉工程措施包括:喷灌、微灌(滴灌、微喷灌、涌泉灌、渗灌)、膜下滴灌技术等;农业节水增产配套技术(农艺措施)包括:节水增产的水肥综合施用技术、蓄水保墒耕作技术、秸秆地膜覆盖增温保墒技术、化学药剂抑制蒸腾保水技术、作物合理布局间套耕作技术、节水抗旱品种的选育等;节水灌溉管理技术是指根据作物的需求规律控制、调配水源,以最大限度的满足作物对水分的需求,实现区域效益最佳的农田水分调控管理技术^[8-9]。目前在湘西岩溶石山地区实行的节水措施主要有:①改漫灌、串灌为排灌分家;②改有水

层灌溉为湿润灌溉、饱和灌溉和非充分灌溉;③微灌技术,如喷灌、雾灌、滴灌(适于旱作物)及渗灌、管灌(管道埋于地下,适于水稻)等。

参考文献:

- [1] 陈梦熊.西南岩溶石山地区岩溶水资源与石漠化治理[C]//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究,南宁:广西科学技术出版社,2003:1-12.
- [2] 梁彬.洛塔岩溶生态系统可持续发展模式[J].中国岩溶,2002,21(4):290-298.
- [3] 洛塔岩溶地质研究组.洛塔岩溶及其水资源评价与利用的研究[M].北京:地质出版社,1984.
- [4] 李兆林.洛塔大瓜拉洞地下河系水资源开发利用与保护[J].中国岩溶,2001,20(2):149-154.
- [5] 李兆林.湘西洛塔岩溶水的综合开发与持续利用[J].中国岩溶,2002,21(4):276-282.
- [6] 劳文科.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(1):30-35.
- [7] 石秋池.对水资源保护工作的再认识[J].水资源保护,2005,21(1):49-52.
- [8] 黄乾.北方地区节水灌溉现状简述[J].水资源保护,2005,21(2):12-15.
- [9] 沈振荣.节水新概念——真实节水的研究和应用[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

(收稿日期:2005-06-06 编辑:高渭文)

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] 杨永芹.试论安阳市洪水资源的利用[J].安阳师范学院学报,2002(2):95-97.
- [2] 施雅风,曲耀光.乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M].北京:科学出版社,1992:10-25.
- [3] 许有鹏.干旱区水资源承载力综合评价研究[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.
- [4] 阮本青.区域水资源适度承载能力计算模型研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(3):58-61.
- [5] 陈家琦,刘昌明.水与可持续发展[J].水科学进展,1997,2(3):377-384.
- [6] 冯尚友,刘国全.水资源持续利用的框架[J].水科学进展,1997,8(4):301-307.
- [7] 惠浣河.水资源承载力评价指标体系研究[J].水土保持通报,2000,21(1):30-34.
- [8] 汪恕诚.水环境承载能力分析 with 调控[EB/OL].[2001-11-6].http://www.hwcc.com.cn
- [9] 夏军.水资源安全的量度:水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269.
- [10] 新疆水资源软科学课题组.新疆水资源及其承载力的开发战略对策[J].水利水电技术,1989(6):2-9.
- [11] 傅湘.区域水资源承载力综合评价[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):168-172.
- [12] 魏斌.城市水资源合理利用与水资源承载力研究[J].城市环境与城市生态,1995,8(4):19-23.
- [13] 徐中民.情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J].冰川冻土,1999,21(2):100-106.
- [14] 贾嵘.区域水资源承载力研究[J].西安理工大学学报,1998,14(4):382-387.
- [15] 门宝辉,王志良,梁川.物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用[J].四川大学学报,2003,35(1):34-37.
- [16] 王顺久,侯玉,张欣莉,等.流域水资源承载能力的综合评价方法[J].水利学报,2003(1):88-92.
- [17] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.区域水资源承载力研究[J].水科学进展,2003,14(1):109-113.
- [18] 焦士兴.安阳市理论条件下的水资源承载能力研究[J].节水灌溉,2005,133(5):11-14.
- [19] 中国水利水电科学研究院,河南省安阳市水利局.安阳市水资源及其开发利用现状调查评价[R].2001.
- [20] 中国水利水电科学研究院,河南省安阳市水利局.安阳市水资源可持续利用综合规划[R].2002.
- [21] 胡新艳.东南沿海耕地资源承载力研究[J].国土经济,2000(4):22-25.

(收稿日期:2005-06-14 编辑:高渭文)