

文章编号:1001-4810(2005)04-0305-07

泸西小江流域岩溶水有效开发模式^①

王宇^{1,2},袁道先³,杨世瑜¹

(1. 昆明理工大学,云南 昆明 650093;2. 云南省地质调查院,云南 昆明 650051;
3. 中国地质科学院岩溶地质研究所,广西 桂林 501004)

摘要:为了指导岩溶水资源的有效开发和为岩溶石山地区石漠化综合治理提供技术支持,选择典型性突出的泸西小江流域开展示范研究。研究结果认为,由于岩溶生态地质环境条件差异,主要的岩溶水源地类型和岩溶水的赋存特征及开发技术条件也不同。为此,依据流域不同的生态地质环境分区,选择具有典型意义的岩溶水源地利用核磁共振、地质雷达等新技术进行勘查及其开发实验和示范,共设计建设了9项不同技术方案的岩溶水开发示范工程,总结出了适合不同岩溶生态地质环境及其水源地类型的岩溶地下水勘查及开发技术方案和岩溶盆地流域岩溶水有效开发模式。

关键词:泸西小江流域;岩溶水源地类型;开发技术条件;勘查技术;开发工程方案
中图分类号:P641.134;TV213 **文献标识码:**A

0 引言

在西南岩溶石山地区的各级岩溶高原面或夷平面上,分布着许多耕地面积达数千到上万公顷、居住人口数万至上百万的岩溶盆地。主要江河水面大大低于主要耕地分布区、人口聚居区、经济活动区^[1],形成了“水土不配套”的问题。而岩溶水储水系统犹如江河上游一座座天然的调蓄水库,对其进行科学的勘查、规划、开发和调度,对解决“水土不配套”的问题,缓解日益紧张的水资源供需矛盾,将发挥非常重要的作用。沿着岩溶盆地流域岩溶水的补给、径流、排泄流程^[2],生态地质环境及其主要岩溶水源地类型急剧变化,岩溶水赋存与运动特征及勘查开发技术条件、用水需求也随之而变^[3]。因此,研究这些变化,分别采用不同的先进适用技术,部署不同的岩溶水源地勘查开发实验工程,通过实验研究,总结提出了适合不同生态地质环境条件和水源地类型的岩溶水有效勘查及开发技术方案,集成了泸西小江流域这样中等空间尺

度的岩溶盆地流域的岩溶水有效开发利用的模式,供广大的岩溶石山地区推广应用,对提高岩溶水开发效益、有效整治石漠化是非常必要和迫切的^[4]。

1 地理地质背景

1.1 地理概况

泸西小江流域位于云南省东部,东经103°30′~104°05′,北纬24°10′~24°45′,属南盘江水系一级支流。主体为红河哈尼族彝族自治州泸西县辖区。流域总面积1009.28 km²,岩溶面积占70%以上。流域中上游为椭圆形的岩溶盆地,长轴呈北东—南西向延伸,盆底沉积平坦区海拔1700 m左右,面积78.1 km²,地形较平坦;盆地周围裸露型岩溶中山区海拔1800~2459 m,各种岩溶形态发育齐全;盆地以南流域下游的小江河谷,为流域的排泄基准,最低点海拔820 m,横剖面呈“V”形,切割深度500~1639 m。

该流域属亚热带高原季风气候,气候温和、雨量

^① 基金项目:国土资源大调查项目“云南典型地区岩溶地下水调查与地质环境整治示范”(200310400024)、云南省科技计划项目“岩溶水有效开发技术方案研究”(2003py04)

第一作者简介:王宇(1960—),男,云南个旧人,教授级高级工程师,博士研究生,主要从事水文、工程、环境地质调查研究。E-mail: ynddywy

©1994-2011 万方数据

收稿日期:2005-06-30

适中, 枯、雨季分明。山区、坝区气候差异较大。区内多年平均气温 15.2℃, 最高气温 36.1℃, 最低气温 -4.3℃。多年平均降水量 966.8mm, 最大 1251.5mm, 降水量 80% 以上集中于 6—10 月。水面蒸发量多年平均值在 1204.1~1279.3mm 之间。小江全长 97.5km, 落差 1001m, 流量 0.52~39.83m³/s, 年平均流量 5.44 m³/s。

流域内森林面积 269.38km², 覆盖率为 26.69%。石漠化总面积 211.75km², 占流域面积的 20.98%, 主要分布于泸西盆地周围和小江河谷裸露型岩溶山区。

流域内共有人口 20.04 万人, 其中农业人口占 86.98%。2003 年国内生产总值(GDP)50791.72 万元, 其中农业产值占总产值的 68.02%, 人均有粮 391kg, 农民人均纯收入 1426 元, 处于岩溶高山区的三塘乡人均纯收仅 688 元。耕地总面积 70.76 万亩, 其中水田 9.81 万亩, 旱地 60.95 万亩, 人均占有耕地 3.53 亩。目前缺水人口 5.17 万人, 缺水耕地 39.22 万亩。

1.2 地质背景

小江流域属华南褶皱系滇东南褶皱带, 构造以北东和北东东向的断裂和褶皱为主。主要发育雨龙断裂、白水向斜、杨梅山背斜。构造控制了小江流域的地

貌特征及地下水的分布, 是北东向暗河管道形成的主控因素, 通常沿断裂走向出露泉点, 发育串珠状的洼地、落水洞及溶洞等。

小江流域出露地层以中生界三叠系为主, 局部地段分布古生界二叠系、新生界下第三系, 坝区、河谷区及山区洼地内分布有新生界第四系。古生界地层仅出露二叠系中统宣威组(P_{2x})泥岩、砂页岩、粉砂岩。中生界三叠系: 上统鸟格组(T_{3n})、火把冲组(T_{3h})为砂泥岩; 中统个旧组(T_{2g})、法郎组(T_{2f})以灰岩、白云岩为主, 夹少量薄层泥质灰岩、砂泥岩; 下统飞仙关组(T_{1f})为砂泥岩, 永宁镇组(T_{1y})为薄层灰岩夹砂泥岩。新生界下第三系路美邑组(E_{1l})为砾岩; 新生界第四系(Q)为红粘土、砂质粘土、细砂、砂砾。流域内地层以个旧组(T_{2g})灰岩、白云岩分布最广。

2 岩溶生态地质环境及水文地质特征

小江流域岩溶生态地质环境类型复杂多样, 从岩溶水的补给区到排泄区, 历经岩溶山地、岩溶槽谷、岩溶丘陵、峰丛洼地、岩溶平坝、岩溶河谷等不同类型的岩溶形态组合单元(图 1、2)。

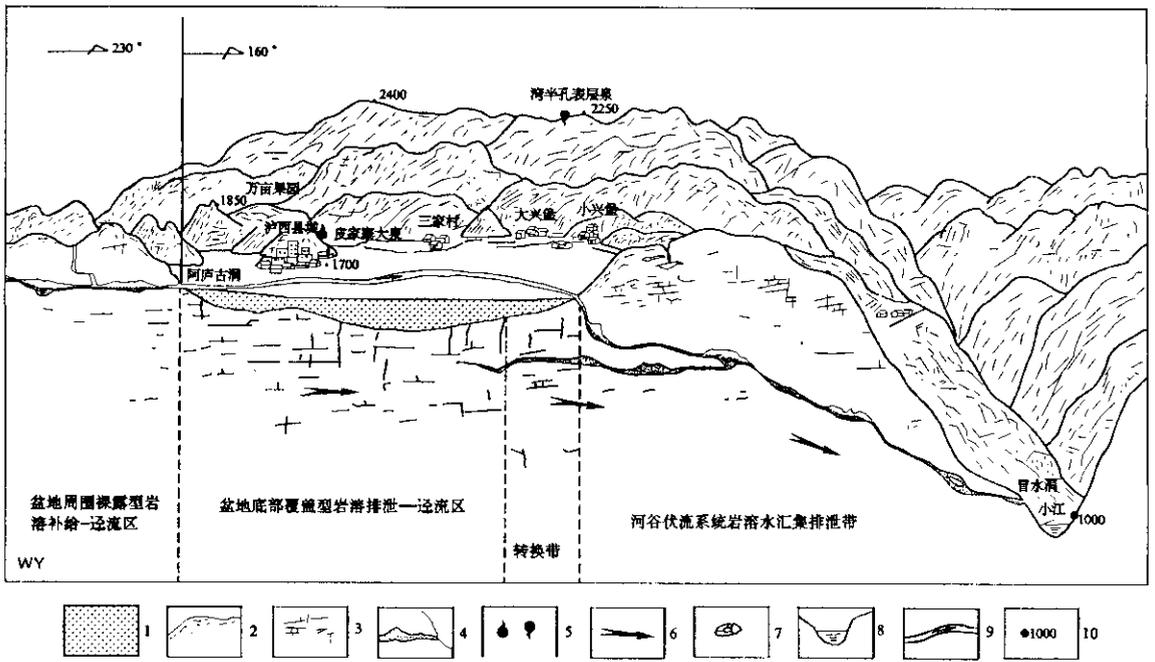


图 1 泸西小江流域水文地质结构概化图

Fig. 1 Sketch map of hydrogeologic framework model of Xiaojiang river basin in Luxi county

- 1. 松散土覆盖层; 2. 表层岩溶带; 3. 岩溶空隙; 4. 导水溶洞管道; 5. 岩溶上升和下降泉; 6. 岩溶水流向;
- 7. 岩溶落水洞; 8. 地表河流及水位; 9. 地表河流及流向; 10. 高程点

岩溶山地山高坡陡, 气候冷凉, 基岩裸露, 土层浅薄, 分布零散, 土壤贫瘠, 多属宜林区, 耕地多为旱地, 以旱作农业为主产业, 主要种植玉米、荞、土豆等作

物。交通不便, 村镇规模小, 居住分散。地表岩溶洼地、谷地发育, 漏斗、落水洞密布, 降水漏失严重, 是岩溶水的主要补给区, 建库条件极差, 水资源严重匮乏。地

下岩溶发育极不均匀,岩溶饱水带埋深大于100m,导储水空间以洞管为主,岩溶水主要为溶洞管道流,沿暗河有许多漏斗、落水洞与其沟通,岩溶水主要通过这些通道获得补给,岩溶水系统储存调节能力弱,水位流量季节变化剧烈。岩溶水很大一部分以大泉、暗河形式在盆谷底边缘排泄,饱水带岩溶水的开发十分困难,形成了地带性的资源性缺水。农村生活用水、抗旱保苗用水都十分紧缺。但岩溶石山区表层泉出露位置较高,水质较好,开发技术难度小,水量基本能满足岩溶山区分散居住的农村生活及抗旱保苗用水。因此,在饱水带深埋的岩溶石山区具有很大的供水意义和开发价值。

岩溶槽谷、岩溶丘陵、峰丛洼地主要分布于盆地外围山区与盆底平坝之间,气候温和,地势起伏较小,植被覆盖率低,洼地、谷地发育,地形破碎,土层较薄,土壤肥力差,水土流失强烈,石漠化严重,灌溉条件较差,以旱地为主,水田次之,主要种植玉米、荞、土豆、水稻,经济作物和林果种植也较普遍。交通方便,人口稠密,村镇密布。地表落水洞、溶井、脚洞、溶沟溶槽发育,水库渗漏强烈,地下岩溶发育不均匀,岩溶饱水带埋藏较深,导储水空间以洞管隙构成网络,溶洞管道流及溶隙扩散流并存,沟谷、洼地内泉点较多,但流量动态变幅较大。此类地区因地表水严重渗漏、岩溶水埋藏分布不均匀、成井率低形成了工程性缺水^[6],导致农村生活用水、发展种植业和庭院经济、抗旱保苗、岩溶石山名特优果林规模经营、生态环境建设用水困难。适宜通过开发隐伏的饱水带和表层带富水块段岩溶水,解决农村生活和生产用水困难。

盆底沉积平坝地势平坦,气候温和,土层深厚,土壤肥沃,土地连片、平整,水资源较丰富,灌溉条件好,交通方便,最为适宜工农业生产与城镇建设。所以,人口稠密,城镇规模大,分布密集,工厂较多,农业生产发达,是传统的农业主产区。由此也造成了地表水和浅层孔隙水的严重污染。大兴堡一带取样化验分析表明亚硝酸盐超标2925倍,氨氮超标3019倍,细菌超标75倍,大肠杆菌超标大于800倍,造成了严重的水质性缺水,导致农村生活用水困难,周边岩溶台地区旱地的干旱缺水也很严重。该区岩溶水主要是来自周围裸露型岩溶山区的侧向径流,其次有少量的大气降水通过松散覆盖层孔隙的垂向渗透补给。在侧向径流中,一部分来自盆地底面以上上层径流带的岩溶水,以盆地底面为排泄基准,沿盆地边缘形成大泉、暗河排泄;盆地底面以下下层径流带的岩溶水,继续向深部呈近水平二维溶隙扩散流向盆地下游径流,通过盆地南部存在的落水洞和岩溶洞管,向小江峡谷区汇集

排泄。大兴堡一带是岩溶水由浅变深,由较均匀的水平二维溶隙扩散流向不均匀的三维溶洞管道流过渡的转换地带,岩溶水埋深逐渐增大,由水位埋深小于20m突变到大于100m,径流也逐渐集中成为溶洞管道流。该区岩溶水汇集,且覆盖型岩溶含水层组具有很大的储存资源可以发挥调节作用,允许开采量大,岩溶发育较均匀,是一般供水钻井开发的主要区域。适宜将大泉或暗河与富水块段联合规划开发,有效调节开发利用岩溶水。

南部岩溶河谷,纵坡降大,地形切割深,谷坡陡峻,沟谷发育,植被覆盖率较低,土层浅薄,土地零散,以坡地为主,上游多种小麦、玉米,下游种植柑桔、黄竹等,水土流失强烈,石漠化严重;交通极差,人口稀少,村落稀疏。谷坡之上地表径流很快,岩溶水深埋,空间分布极不均匀,以溶洞管道流为主,在谷底集中排泄,水资源短缺。拟以表层泉开发解决农村生活用水困难。由于小江河谷为全流域地表水和地下水的集中排泄带,水能资源富集,而土地及其它自然资源和环境条件差,因此,适宜建设中小型水电站开发水能资源。

小江流域岩溶水是由大气降水入渗而形成,流域岩溶水的年平均补给量,减去以泸西盆地为基准的上层径流排泄量及小江流域岩溶水开采利用后的损耗量,应等于小江流域岩溶水的下层径流量。本文以2003年为均衡年,通过流域水均衡计算,小江流域岩溶水2003年补给量为14013.12万 m^3/a ,上层径流量为6917.89万 m^3/a ,下层径流量为6124.51万 m^3/a ,下层径流量占年补给量的44%。该结果首次定量说明了小江岩溶盆地流域岩溶水开发的资源前景及潜力。

从空间分布来看,泸西盆地周围裸露型岩溶山区,岩溶水水质较好,多为良好和较好,大多适宜饮用;泸西盆地底部覆盖型岩溶坝区,水质以良好为主,少部分为较好,适宜饮用及工农业用水;小江裸露型岩溶河谷区水质较差,主要因为地表水大量转化为地下水,受污染严重,大部分岩溶水已不适宜饮用。反映出在岩溶水的溶解与搬运作用下,污染物逐渐向下游累积的过程。

3 岩溶水源地类型及开发技术条件

本文定义岩溶水源地是指在一个岩溶水循环深度较浅,循环周期在一个水文年内的浅循环岩溶水系统中,岩溶水资源富集,水质满足地下水质量标准要求,有较高的补给保证程度(允许开采量/多年平均补给量 ≤ 0.7),开采经济技术条件、地质环境及卫生防

护条件优良,能满足一般生产和生活供水要求的地下水天然出露点或隐伏富水块段,并以之作为岩溶水资源勘查评价及岩溶水开发技术方案研究的对象。根据影响岩溶水的勘查和开发工程技术方案选择及设计的地质因素,即开发技术条件的差异,以及相应的岩溶水勘查和开发技术的适宜性,按岩溶含水层的埋藏分布、岩溶水出露状态,流域内的岩溶水源地可划分

为天然出露的岩溶水源地及隐伏的岩溶水源地两类^[6]。再根据岩溶水源地的岩溶含水介质特征:导水和赋水空间形态、结构及水动力特征,又可进一步将天然出露的岩溶水源地划分为暗河、泉、表层泉三个亚类;将隐伏的岩溶水源地划分为饱水带富水块段、表层带富水块段两个亚类(表1)。

表1 岩溶水源地分类统计表

Tab. 1 Classification and allowable withdrawal of groundwater in karst water source field

类型		天然出露的岩溶水源地			隐伏的岩溶水源地	
亚类		暗河	岩溶泉	表层泉	饱水带富水块段	表层带富水块段
统计数(个)		7	120	27	2	2
允许开采量 (m ³ /d)	区间值	1000~41100	1~106444	0.76~145.15	53800~68800	2300~4700
	平均值	14317	1754	19.68	61300	3500
	标准差	3.25	1.02	32.57		
	分类合计	100300	208800	492.11	122600	7000
	总计	439192.11				
占流域允许开采总量的百分比(%)		22.54	47.54	0.11	27.92	1.59

天然出露的岩溶水源地宜采用地质调查、观测、试验等方法进行综合勘查评价;隐伏的岩溶水源地适宜采用地球物理探测、钻探、地质分析、观测、试验等多种方法进行勘查评价。

天然出露的岩溶水源地中,暗河水源地主要有阿庐古洞暗河、冒水洞暗河、永宁暗河、下寨暗河,多数分布于岩溶峡谷区,流量一般100~1400L/s,可作为生产生活用水、生态建设用水、能源开发的主要水源,适宜在出口或下游堵截建库调蓄及提引开采。泉流水源地主要有皮家寨大泉、阿路发大泉等,多分布在盆地边缘、岩溶槽谷中,流量一般20~1200L/s,是生产生活用水、生态建设用水等的主要水源,适宜在出口束流调压壅水引流开采或提引开采。表层泉水源地主要有湾半孔表层泉、李子箐表层泉等,多分布在岩溶山地、岩溶槽谷、岩溶丘陵、峰丛洼地、盆底边缘台地区,流量一般0.5~15L/s,但枯雨季变化大,枯季多断流,是岩溶石山地区分散农村生活用水和发展名特优经济作物用水的主要水源,适宜用小水窖、水池积蓄、小水沟、水管蓄引开发。隐伏的岩溶水源地中,饱水带富水块段主要有泸西、白水两个富水块段,面积约70km²,对城市、村镇及厂矿集中供水意义最大,适宜深井开采。表层带富水块段主要有纳堡富水块段、善导富水块段,面积约3km²,对区位较高的农村庭院供水意义最大,适宜采用浅井开采。

4 岩溶水有效开发利用

4.1 岩溶水探测技术方案

流域内岩溶发育在平面和垂向上都不均匀,富水性差异极大,找水的难度非常大。在盆底南部大兴堡一带钻孔成井率仅20%左右,一般单井涌水量在每日数十立方米,但最大涌水量则可超过1000m³/d。本次研究采用了目前最为先进的视电阻率测深、激电测深、核磁共振法、瞬变电磁法、地质雷达、高密度电法共6种地下水地球物理探测技术,并进行了有效的方法组合实验。选择了分布于不同的生态地质环境条件下的隐伏岩溶水源地饱水带富水块段、表层带富水块段和天然出露的岩溶大泉,共7个示范点开展工作,研究物探方法技术的有效性、取得技术经验和有关参数,集成有效的探测技术方案。

对于饱水带富水块段,首先利用视电阻率测深进行面积控制,初步确定富水地段,利用地质调查与电测深工作结果,综合选择多个备选孔位;再围绕备选孔位,采用核磁共振探测,确定每个天线围成的小面元的相对富水程度,优选出其中最富水的小面元;最后在最为富水的小面元内,用10m点距的瞬变电磁或加密的电测深测量,确定岩溶储水空隙的具体埋藏分布位置。这一方案,大大提高了定孔位的准确性,所

施工的5口深井,成井率100%。

为了探测表层带岩溶发育情况,为供水浅井的布置提供依据,布置了地质雷达剖面探测,用钻探验证了其中的3个探测点,均已成井,表明地质雷达对于浅层的岩性分层、岩溶破碎带的探查,精度较高。

在皮家寨大泉开发示范工程的勘查中,布置高密度电法探测上覆盖层结构和稳定性、岩溶发育情况。经钻孔验证,推测的地表粘土层厚度与实际情况接近,推断的岩溶发育带均已钻见导水通道。证明探测深度 $<60\text{m}$ 时,高密度电阻率法分辨率高,可较准确提供岩溶分布位置与埋深。

4.2 岩溶水开发工程方案

选择不同的生态地质环境条件,部署了不同类型的岩溶水源地勘查开发示范工程9项(图2):

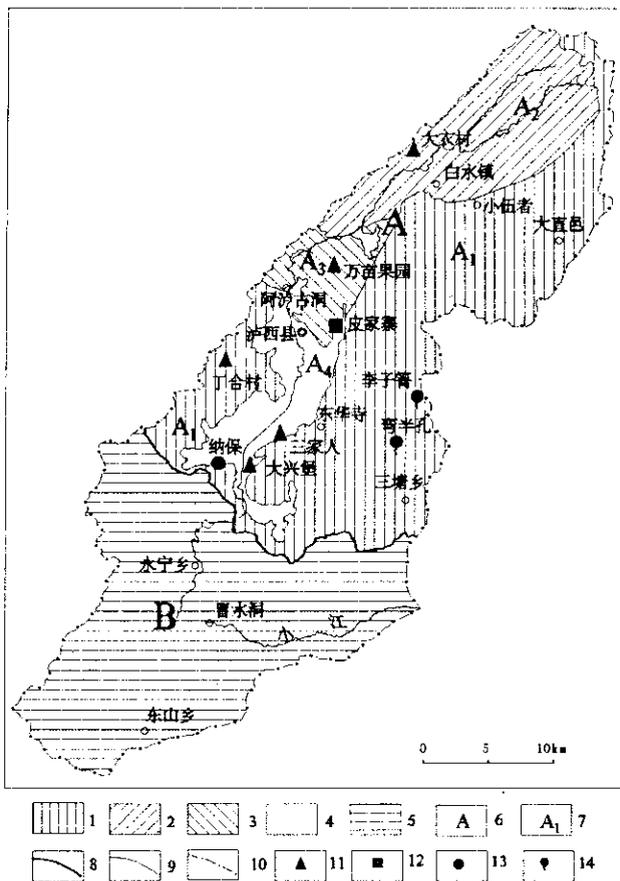


图2 泸西小江流域岩溶水有效勘查(开发示范工程)布置图

Fig. 2 Layout of the demonstrative engineering of effective karst water exploitation in Xiaojiang river basin, Luxi county

1. 岩溶中山; 2. 溶丘台地槽谷; 3. 峰丛洼地; 4. 沉积平坝; 5. 岩溶河谷; 6. 一级地貌分区代号; A: 岩溶盆地; B: 岩溶河谷; 7. 二级地貌分区代号; 8. 一级地貌分区界线; 9. 二级地貌分区界线; 10. 流域边界; 11. 深井开发工程; 12. 岩溶大泉束流高压壅水开发工程; 13. 浅井开发工程; 14. 表层岩溶水蓄引开发工程

在盆地外围岩溶中山岩溶水补给区的三塘乡,部署了湾半孔表层泉蓄引勘查开发实验工程、李子菁表层泉蓄积实验工程2项,解决岩溶高寒山区因地表水严重漏失、地表建库条件差、岩溶水饱水带深埋造成的局部资源性缺水问题,解决农村生活用水、发展特色种植业和庭院经济、抗旱保苗、改善生态环境的用水困难。

在盆地上游溶丘台地槽谷区和峰丛洼地、暗河系统上游及分水岭不均匀岩溶水补给—径流区的大衣村、万亩果园,部署了裸露型饱水带富水块段深井开发实验工程2项,解决因地表水严重漏失、岩溶水埋藏分布极不均匀、成井率低造成的工程性缺水问题,解决农村生活用水、发展特色农业和庭院经济、抗旱保苗、岩溶石山名特优农副业、改善生态环境的用水困难。

在盆地上游盆地边缘岩溶山麓谷地区上层岩溶水排泄带,部署了皮家寨岩溶大泉束流调压壅水开发实验工程1项,解决盆地边缘山区地表水严重漏失、地表建库条件差、岩溶水径流带深埋及分布极不均匀造成的工程性缺水问题,解决坡地改造和灌溉、提高耕地产出率、解决农村生活用水、发展特色农业和庭院经济用水困难。

在处于岩溶水径流区的三家村、岩溶水径流转变带附近的大兴堡,部署了覆盖型饱水带富水块段深井开发实验工程2项,解决因地表水和浅层孔隙水严重污染造成的水质性缺水问题,解决农村生活用水、发展特色种植业和庭院经济、乡镇企业、抗旱保苗、改善生态环境的用水困难。

在盆地沉积平坝区的丁合村东部,部署了埋藏型饱水带富水块段深井开发实验工程1项,提水解决丘陵区集中分布的村落生活用水、发展特色种植业和庭院经济、乡镇企业、抗旱保苗、改善生态环境的用水困难。

在盆地中、下游边缘溶丘台地岩溶水补给—径流区的纳保村,部署了表层带富水块段浅井开发、庭院式供水实验工程1项,解决因地表水严重漏失、地表建库条件差、岩溶水饱水带深埋及分布极不均匀造成的资源性缺水问题,解决农村生活用水、发展特色种植业和庭院经济用水困难。

在小江上已建成梯级水电站7座,总装机容量为35380kW。

这些示范工程体现了因地制宜,多元取水,综合利用的原则^[7],取得了突出的经济、社会和环境效益(表2)。

经过示范总结,最终形成了岩溶盆地流域岩溶水

有效开发模式(图3),即:依据流域岩溶水循环的全过程,应用常规技术与先进技术相结合,查明在岩溶水的补给、径流、排泄及中间转换过程中,岩溶水的富集规律、水源地类型及开发技术条件、岩溶水资源;与生

态地质环境条件及其变化相适应,针对流域不同岩溶生态地质环境区内主要的岩溶水源地类型和岩溶水的赋存特征及开发技术条件,结合需水特点规划部署岩溶水开发工程。在盆地外围裸露型岩溶山地补给

表2 泸西小江流域岩溶地下水开发示范工程成果统计表

Tab. 2 Benefits of the demonstrative engineering of effective karst water exploitation in Xiaojiang river basin, Luxi county

工程名称	主体工程	开采量 (m ³ /d)	每吨水投资 (元/m ³)	人均投资 (元/人)	解决农村 生活用水 (人/户)	解决抗旱 保苗用水 (亩)
大衣村饱水带富水块段深井	深井(160m)	100	2.49	1024	432/98	200
万亩果园饱水带富水块段深井	深井(200.01m)	260	3.31			1000
三家村饱水带富水块段深井	深井(150.24m)	260	2.55	315	1200/320	100
大兴堡深井	深井(150m)	200	2.20	216	2907/700	600
湾半孔表层泉蓄引	调节水池(1500m ³)、输水管 (5600m)	200	6.49	78	7059/1700	5000
李子箐表层泉调蓄	调蓄水池(1000m ³)	10	19.97	111	650/164	
纳保村表层带富水块段浅井	浅井17口(14~45m)	529	0.70	157	562/128	
皮家寨岩溶大泉束流调压壅水开发	地上束流调压池(3015m ³)、地下 防渗束流帷幕(3833m)、倒虹吸 引水管(290m)	60000	0.06	158	15000/3570	25000
丁合村饱水带富水块段深井	深井(150.60m)	200	0.98	122	2478/705	300
合计		61370			30288/7385	32200

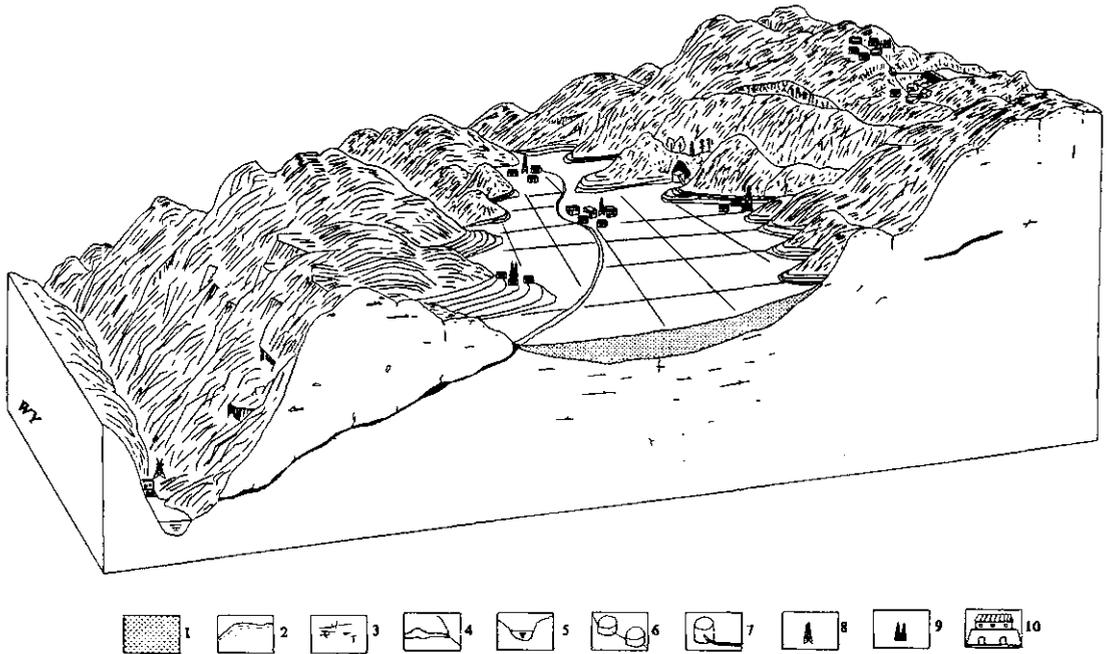


图3 岩溶盆地流域岩溶水有效开发模式图

Fig. 3 Effective model for developing the karst water in karst basin

1. 松散覆盖层; 2. 表层岩溶带; 3. 岩溶空隙; 4. 导水溶洞管道; 5. 地表河流; 6. 表层泉蓄工程; 7. 大泉壅水引流工程; 8. 饱水带富水块段深井工程; 9. 表层带富水块段浅井工程; 10. 梯级水电站工程

区,主要布置表层泉、泉流蓄引工程;在盆底周边岩溶槽谷、峰丛洼地、岩溶台地区,主要布置暗河、泉流引、提、堵与凿井开采饱水带和表层带富水块段相结合;在盆地底部沉积平坝区,以凿井开采饱水带富水块段为主,与暗河、泉流引、提、堵等相结合;在盆地下游河谷区,主要是梯级筑坝建库,建设梯级电站,开发丰富的水力资源^[8]。

5 结 语

泸西小江流域岩溶水有效开发模式,充分体现了因地制宜,多源、多方式取水的特点,达到了预定的示范目标,取得了显著的经济、社会和环境效益。开发岩溶水资源 2238.55 万 m³/a,共解决了 30288 人、3670 头大牲畜的饮水困难和 32200 亩耕地的抗旱保苗用水,取得了显著的经济效益,获得每年 287 万元的直接经济效益和每年 675 万元的间接经济效益。2005 年,云南遭遇 25 年来最严重的春旱,但各项示范工程

运转正常,抗旱效果非常显著。

参考文献

- [1] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988. 23—58.
- [2] 国家技术监督局. 水文地质术语(GB/T14157—93)[S]. 北京:中国标准出版社,1993. 5.
- [3] 王宇,李燕,谭继中,等. 断陷盆地岩溶水赋存规律研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2003. 1—4.
- [4] 袁道先. 对南方岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质调查的一些意见[J]. 中国岩溶,2000,19(2):103—107.
- [5] 耿弘,王宇,汪才芳等. 云南岩溶地区水资源开发利用[M]. 昆明:云南科技出版社,2002. 77—78.
- [6] 殷昌平,孙庭芳,金良玉等. 地下水水源地勘查与评价[M]. 北京:地质出版社,1993. 19—23.
- [7] 王宇. 西南岩溶区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点[J]. 中国岩溶,2002,21(2):114—119.
- [8] 王宇,张贵,李丽辉等. 泸西小江流域岩溶水开发与石漠化综合治理示范[M]. 昆明:云南大学出版社,2005:298—302.

EFFECTIVE EXPLOITATION MODEL OF KARST WATER IN XIAOJIANG BASIN, LUXI COUNTY, YUNNAN

WANG Yu^{1,2}, YUAN Dao-xian³, YANG Shi-yu¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China ;

2. Yunnan Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051, China ;3. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: In order to provide technology support for exploiting karst water and harnessing rocky desertification, the Xiaojiang river basin in Luxi county is selected as a modal for an example study. It will make karst water exploitation more effective and suitable to different karst environmental conditions. The main opinion is that the type of karst water source field and technical conditions of exploiting karst water are different in different environmental conditions. According to characteristics of bio-geo-environment subareas, typical karst water source fields are selected and exploring tests of karst water have been done by means of new measures such as nuclear magnetic resonance, geo-radar. Nine different technical schemes are designed for the establishment of karst water exploitation example projects. The technical schemes for karst water exploitation and exploitation that fit for different karst environmental conditions and different water source types are summed up. Moreover, effective model for developing the karst water in karst basin is summed up.

Key words: Xiaojiang river basin of Luxi county; Types of karst water source field; Technical condition of exploiting karst water; Exploration techniques; Exploitation engineering projects