

文章编号:1001-4810(2001)01-0021-06

岩溶单元流域结构与水资源开发利用模式研究^①

——以贵州省普定后寨岩溶流域为例

陈洪元,胡兴华,杨 勇,陈邦宇

(贵州省普定岩溶研究综合试验站,贵州普定 562100)

摘 要:在论述后寨岩溶单元流域二元流场结构的基础上,对地表、地下水资源进行了估算,根据水资源量和上、中、下游不同地貌组合类型,采取上游蓄、排,中游蓄、引、提,下游引、提的综合开发利用模式,解决了流域 81km² 的工、农业用水和普定县城 3 万余人的饮用水问题。

关键词:岩溶单元流域;水资源;开发利用模式;后寨

中图分类号:P645.253

文献标识码:A

0 引 言

西南岩溶山区,由于岩溶发育,地表破碎,山高坡陡,导致水土流失严重,地表水资源匮乏的“山多土少,雨多地漏”的恶劣环境,严重制约着农业生产的发展,甚至有的地区人畜饮水都未能解决。缺水成了岩溶山区长期处于贫穷和落后的主要原因之一。如何开发利用岩溶水资源,是岩溶山区人民渴求解决的问题。贵州省普定后寨岩溶流域水资源的开发利用,根据不同地貌组合类型,采取上游蓄、排,中游蓄、提、引,下游引、提的开发利用模式,有效利用了水资源,解决了缺水问题。

1 流域概况

后寨岩溶流域位于贵州普定县城以南,面积 81km²,地势东南高西北低,平缓开阔,海拔一般在 1230~1400m,最高 1585m,最低 1218m,相对高差最大达 367m,岩溶发育强烈,属黔中峰林峰原区。其中平地占 22.8%,丘陵占 26.7%,山地占 29.5%,裸岩占 21%。区内总耕地面积 1651.9hm²,占总面积的 20.4%,其中水稻田 1112.1hm²,占耕地面积的

67.3%,旱耕地 539.9hm²,占耕地面积的 32.7%,总人口 35521 人,人均耕地面积仅 0.047hm²。

流域在大地构造上位于扬子准地台中的上扬子台褶皱带内,普定复式向斜西翼南扬起端,地层褶皱宽缓,岩层倾角 7°~25°,中三叠统关岭组(T_{2g})碳酸盐岩广泛出露,其分布面积占流域总面积的 90%以上,垂直厚度达 500 余米。按其岩性组合特征可划分为三段,即:

第一段(T_{2g}¹),岩性为杂色页岩、泥岩与薄层泥灰岩和泥质灰岩,中间夹薄层硬石膏多层,分布于流域外围,构成区域性隔水层,厚度 180~200m,地下水类型为基岩裂隙水。

第二段(T_{2g}²),该段又可分为三层:第一层(T_{2g}²⁻¹)岩性为薄层至中厚层灰岩、泥灰岩,后寨地下河中上游发育在该地层中;第二层(T_{2g}²⁻²)为一套上、下部为薄层泥质白云岩、页岩、泥灰岩互层,中部为薄层至中厚层灰岩,分布于流域中部的大部分地区,地下水为溶隙管道水;第三层(T_{2g}²⁻³)岩性为深灰色中厚层灰岩、泥质灰岩,夹少量页岩,分布于流域中下部,后寨地下河下游发育在该层中。

第三段(T_{2g}³),岩性为浅灰色薄至中厚层白云岩,分布于流域下游区,岩溶水类型为溶隙水。

① 基金项目:贵州省“八五”攻关项目“典型喀斯特地区水文过程和水土资源合理利用研究”[黔科鉴字(1996)133 号]资助

作者简介:陈洪元(1970—),男,大学本科,助理。

收稿日期:2000-09-07

2 流域地貌结构特征

后寨岩溶流域在宏观流场上表现为一个二元结构,即流域具有调控水文过程的地表、地下两套形态组合,并形成地表、地下两个水系(后寨河水系、母猪洞—后寨地下河水系),地表、地下两个分水岭及地

表、地下两个流域,而且在流场上这两个流域常具有边界不等的垂直重合关系,并通过水力联系构成一个密不可分的统一整体,完成流域物质、能量的传输和交换。按照河段、地貌类型及高程,流域可分为四个片区,即上游母猪洞区、中游马官—六谷南亚区、中游青山—茅坑北亚区及下游后寨区(图 1)。

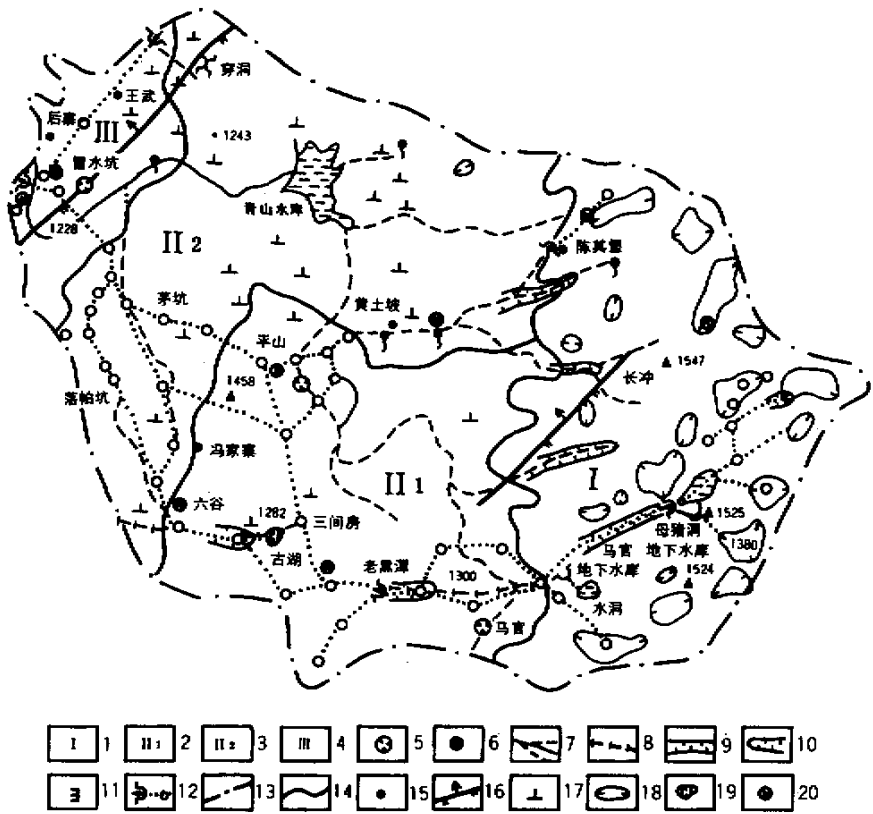


图 1 贵州省普定后寨岩溶流域水文地貌结构分区图

Fig. 1 The distribution of hydro-geomorphology in the Houzhai basin

1. 上游母猪洞区;2. 中游马官—六谷南亚区;3. 中游青山—茅坑北亚区;4. 下游后寨区;5. 地下河天窗;6. 落水洞、竖井;7. 河流及干谷(季节性河);8. 古河道;9. 峡谷;10. 袋状宽谷;11. 河流裂点;12. 地下河及出口;13. 后寨地下河流域边界;14. 地貌区界线;15. 村寨;16. 断层;17. 红土台地;18. 溶洼;19. 残留古湖相沉积;20. 提灌站

上游母猪洞区为峰丛洼地地貌组合类型,面积 25.4km²,地表为封闭的洼地(其中多数发育有漏斗、落水洞或竖井)或洼地成串并具有一定结构的干谷系,地下有独立的管道系统。发育程度不等的大小溶隙和管道构成本区不均一的双重含水介质体。洼地高程在 1300~1400m,无地表河,而地下河发育有 4 支,分别是水洞地下河、母猪洞地下河、长冲地下河和陈其地下河,地下河水力坡度为 11.1‰。地下河的补给方式主要为溶隙垂直渗透式补给和漏斗、落水洞或竖

井垂直灌入式补给。该区以旱耕地为主,水田次之。

中游马官—六谷南亚区,面积 22.8km²,地貌组合为峰林盆地、谷地,残坡积红粘土厚度达 7~8m(分布面积占该区总面积的 20%以上),盆地、谷地标高 1250~1300m,地表河与地下河明暗交替,垂直渗流带厚度小,地下水埋深一般为 3~10m,地下河管道与溶隙交织成网状,水力坡度平均为 7‰,地势较为开阔,马官田坝分布在该区,是普定的水稻主产区之一。

中游青山—茅坑北亚区,面积 27.6km²,峰林溶

原地貌,高仅数十米,残余性质的峰林呈孤立状或岛状散布在一定厚度(7~20m)的呈波状起伏的红粘土型风化壳上。本区地表河有灯盏河和号云河,两条河均为季节河,仅起过洪作用,水力坡度为4.2%~7.8%。本区地下管道发育相对较弱,地下水流相对较为分散,茅坑地下管道发育多呈网状,水位变幅一般2~5m,水力坡度为2‰~3.5‰。该区主要为较贫瘠的旱耕地,水田较少。

下游后寨区,面积 5.2km²,地貌结构表现为峰林溶原向峰丛洼地的逆向演变过渡带,地表河为后寨河,是青山水库的排洪干谷,地下水水力坡度为 2‰,汇水能力强,并在后寨酒厂龙潭集中排出地表,注入波玉河。该区耕地以水田为主,旱地次之。

3 岩溶水资源估算

3.1 大气降水的时空分配及雨水资源的组成特征

流域内打油雨量站、母猪洞站和陈其站反映了上游的降水量,老黑潭站、平山站和六谷站反映了中游的降水量,地下河总出口的后寨站(图 2)反映了下游的降水量^[1]。根据多年资料统计,后寨流域年平均降水量为 1195.4mm,每年的 5~10 月为雨季,占降水总量的 83.0%~88.2%,11 月至翌年的 4 月为枯季,占降水总量的 11.8%~17.0%(表 1)。降雨量在时空分配上有明显的差异,汛期 6 个月的雨量是枯季 6 个月雨量的 5~7 倍。因此,雨季大气降水中的暴雨大暴雨的利用,比较困难,甚至还会成灾。若将多年平均年

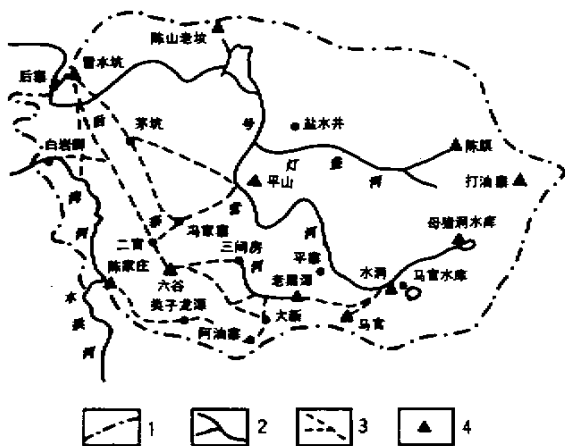


图 2 后寨流域水文观测站网分布图

Fig. 2 The observation stations in the Houzhai basin

表 1 年降水量时空分配

Tab. 1 The annual precipitation
in the Houzhai basin

河段	站名	多年 平均 降水量 (mm)	汛期 5~10月 降水量 (mm)	占 总 量 (%)	枯季11~ 次年4月 降水量 (mm)	占 总 量 (%)
上游	打 油	1251.5	1037.6	83.0	213.9	17.0
	母猪洞	1267.6	1072.0	84.6	195.6	15.4
	陈 其	1157.1	1020.1	88.2	137.0	11.8
中 游	平 山	1161.6	994.5	85.6	167.1	14.1
	老黑潭	1023.6	895.5	87.5	128.1	12.5
	六 谷	1285.0	1096.4	85.3	188.6	14.7
下游	后 寨	1221.7	1033.7	85.0	183.0	15.0

暴雨总量与多年平均年降水量之比称为多年平均暴雨水资源比率的话,以日雨量等于或大于 50mm 作为暴雨标准,根据各站资料统计,该流域多年平均暴雨水资源的比率为 23.3%~31.1%(表 2)。

表 2 暴雨水资源比率

Tab.2 The ratio of spate to precipitation

站 名	多年平均暴雨总量 (mm)	多年平均降水量 (mm)	暴雨水资源比率 (%)
打 油	291.2	1251.5	23.3
母猪洞	358.8	1267.6	28.3
陈 其	277.1	1157.1	24.0
平 山	323.2	1023.6	31.6
老黑潭	304.3	1285.0	23.7
六 谷	292.4	1161.6	25.2
后 寨	307.9	1221.7	25.2

3.2 岩溶水资源分区估算

按照前述的分区和各雨量站的观测资料,分别算出各区年水资源量为:上游母猪洞区为 $15.57 \times 10^6 \text{ m}^3$,中游马官—六谷南亚区为 $13.19 \times 10^6 \text{ m}^3$,中游青山—茅坑北亚区为 $16.29 \times 10^6 \text{ m}^3$,下游后寨区为 $3.18 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。这些水资源由上游往下游,经后寨两个水文站出口断面流入波玉河。因此,根据这两个水文站的实测资料绘制出水位流量关系曲线,按 $P=75\%$ 的保证率还可分别计算出流域的地表、地下总水资源量如表 3 所示。

表 3 地表河、地下河流量特征值(P=75%)

Tab. 3 The discharge characteristic value of surface rivers and underground rivers in the Houzhai basin (P=75%)

地表河(后寨河)					地下河(母猪洞—后寨地下河)				
月份	月平均流量 (m³/s)	月总水量 (m³)	丰、枯各季总水量 (m³)	占年总量 (%)	月份	月平均流量 (m³/s)	月总水量 (m³)	丰、枯各季总水量 (m³)	占年总量 (%)
5	1.109	2970345.6			5	0.366	980294.4		
6	6.688	17335296.0			6	1.045	2708640.0		
7	1.133	3034627.2			7	1.247	3339964.8		
8	0.108	289267.2	24.54×10 ⁶	99.44	8	1.150	3080160.0	15.88×10 ⁶	68.04
9	0.297	769824.0			9	1.284	3328128.0		
10	0.053	141955.2			10	0.911	2440022.4		
11	0.014	36288.0			11	0.704	1824768.0		
12	0.023	61603.2			12	0.568	1521331.2		
1	0.005	13392.0	0.139×10 ⁶	0.56	1	0.493	1320451.2	7.46×10 ⁶	31.96
2	0.004	9676.8			2	0.449	1086220.8		
3	0.003	8035.2			3	0.377	1009756.8		
4	0.004	10368.0			4	0.268	694656.0		
年平均流量			0.78m³/s				0.740m³/s		
年总水量			24.68×10 ⁶				23.34×10 ⁶		

从表 3 中看出,无论地表、地下水量均是丰沛的,关键是采取工程措施,合理开发,有效利用。

4 开发利用模式

4.1 上游蓄、排模式

上游的蓄水工程均建在支流上,将支流的洪水拦蓄在上游,待中下游需要水量时再重新优化调度。通过拦蓄洪水,达到了排洪目的,使水害转为水利。后寨地下河系两支流已开发修建两处蓄水工程,分别为母猪洞地下河的母猪洞地下水库,水洞地下河的马官地下水库。

4.1.1 母猪洞地下水库

母猪洞地下河的出口为一溶洞,人可进入 700 余米,其间有比较大的洞厅 4 个,高 15m 左右,宽 10 余米。母猪洞地下河河床纵剖面平滑,由于发育在峰丛洼地、漏斗地貌组合区,有众多的垂直通道与地表洼地、漏斗相通。该地下河虽然位于较高的分水岭地带,但从它的发育阶段来看,尚处于幼年后期或壮年早期,河床部位无渗漏可能,洞壁虽存在裂隙性渗漏,但只要通过补漏,完全可以成为一座不占地、无蒸发、用工少、见效快、投资省、群众办得起的水利工程^[2]。1977 年在洞口筑一全封闭的拱坝,并在洞顶开一天

窗作为排气孔和溢洪道,当年施工,当年受益,水库库容达 1.1×10⁵m³(表 4)。不仅如此,该库由于集雨面积达 4.7km²,复蓄指数较大,是个调蓄水资源的地下水库,自修建以来,运行良好。

表 4 蓄水工程一览表

Tab. 4 Table of the water storage projects in the Houzhai basin

工程名称	所在河段	库容 (万 m³)	灌溉面积 (hm²)	饮用人口 (人)	受益区 (行政村)
母猪洞地下水库	上游	11	80	3000	马官、山脚、中坝
马官地下水库	上游	119	334	5000	马官、马堡、山脚、中坝、号云等

该水库灌溉面积 80hm²,自建库以来,灌区稳产高产,发挥了显著的经济效益。近年来,水库下游中坝、山脚等行政村又利用其水库水头的静水压安装自来水,解决了两个行政村 3000 余人的人畜饮用水,结束了本地无水吃用的历史,社会效益显著。

4.1.2 马官地下水库

马官地下水库为水洞地下河和冲头洼地地表、地下联合蓄水的地下水库。水洞地下河是一条具有单管

状、单层状、唯一出口的悬挂式地下河。该地下河从水洞口向冲头洼地伸延,灭尖于洼地内,并与洼地中的落水洞、竖井相通,长度约 740m(实测长度 210m),实测段洞腔多呈矩形,高 1~5m,平均约 3.7m,宽 2~10m,崩塌石块很少,有少量砂、砾和粘土沉积于河床。洞口最大洪峰流量约 3.5m³/s,最枯流量 0.001m³/s。对一般暴雨,冲头洼地也会积水,雨停 2~3h,由水洞地下河管道排完,流量又变得很小,说明溶隙发育极弱,而且无其它渗漏和排泄点。该地下河出口高程 1323m,比前沿马官田坝高约 15m。冲头洼地为一闭合的洼地,长轴 300 余米,短轴 150 余米,集雨面积 0.47km²。经野外调查和地下河连通试验、地下河及附近泉水水化学分析,证实洼地周边山体岩溶发育较弱,地下河河床隔水底板完整,渗漏可能性极小。该库为选好坝址,避开了出口洞段的风化带,将坝建于岩石坚硬、无断层分布和构造裂隙不发育的洞段处,坝体稳定。水库于 1990 年 3 月 8 日动工,50 天即完成水洞洞口 4m 厚的圆筒拱坝一座。该库也是当年施工,当年受益。但由于水库集雨面积小,地下河又是一条小支流,因此水量不能满足,必须引附近高于冲头洼地的羊皮寨地下河的洪水进库。冲头产水量 2.378×10⁵m³,羊皮寨产水量 8.978×10⁵m³,基本能满足设计库容。水库工程投资 19.3 万元,仅是同时期同等大小地表水库主体工程投资总额的十分之一。

该水库发挥四方面的功能:①自流灌溉面积 334hm²(表 4),使马官、马堡等灌区摆脱历年来的干旱威胁,实现农田水利化。据产量统计对比,单产产量自有水保证后增产 50%左右,即由原来的每公顷 6000kg 增至每公顷 9000kg,全灌区增产 100 万 kg。水库主体工程的投入,只需一年增收部分的 1/5 即可。②防洪排涝,雨季将羊皮寨的洪水引入水库,使马官田坝 33hm² 的良田免遭涝灾。③解决马官镇 5000 人、1200 头大牲畜的饮用水,实现自来水化;④解决了乡镇企业(如马官水泥厂、马官皮革厂等)的用水,推动了乡镇企业的发展。

4.2 中游蓄、引、提模式

4.2.1 中游南亚片区提、引水模式

据统计,提水工程 18 站(表 5),主要提取地下河埋藏较浅的星罗棋布的天窗内的水,其次是地下河明流段和机井的地下水,灌溉面积 169.14hm²,解决村寨人畜饮水 3120 人,大牲畜饮水 1500 头。引水工程分别为人工渠道和地下河管道(表 6)。①人工渠道引水:即引出露明流河水,据统计,引水流量达 0.3m³/

s,灌溉面积 174hm²;②枯水季节利用地下河系中游的网络管道作为输水管道,以满足中游农田的用水。

在岩溶研究中,曾几次在流域上游的母猪洞地下水库和马官地下水库作放水脉冲试验,结果表明中、下游地下管道畅通且管道内有水或充满水。因此利用地下管道作为农田的灌溉渠道,不仅对水库耗水不大,而且还扩大了两个水库的联合灌溉面积达 74hm²。

表 5 提水工程一览表
Tab. 5 Table of the elevation projects
in the Houzhai basin

工程名称	所在河段	抽水量 (m ³ /h)	灌溉面积 (hm ²)	饮用人口 (人)	受益区
长冲提水站	上游	80	20	1560	下坝、新堡
陈其提水站	上游	80	15		陈其、李打拱
青山机井	中游	20		20	供养猪场、养鹿场
盐水井提水站	中游	80	15		李打拱、黄土坡
云盘提水站	中游	110	20		云盘、新堡
云盘机井	中游	50	8	800	云盘
平山提水站	中游	50	8	600	平山
贾官提水站	中游	50	8	400	贾官
小桥边提水站	中游	50	5.3		平山
倒树龙潭提水站	中游	50	2		山脚
马堡提水站	中游	110	16.67	1000	马堡
老黑潭提水站	中游	20		120	马官水泥厂
荷包提水站	中游	80	8	200	荷包、养猪场
陇脚提水站	中游	50	8		陇脚
平寨提水站	中游	50	5.3		平寨、马官皮革厂
号云提水站	中游	80	8	800	号云
三间房提水站	中游	110	13.3		三间房
大新提水站	中游	80	10		大新
阿良提水站	中游	80	8		阿良
类子龙潭提水站	中游	50	5.3		供砖厂用水
六谷提水站	中游	110	16.67		六谷
二官提水站	中游	110	13.3		二官
冯家提水站	中游	110	13.3		冯家
莲花塘提水站	中游	110	20		二官、冯家
冒水坑提水站	下游	208		30000	供普定县城用水
后寨提水站	下游	110		200	供啤酒厂、轧钢厂
合 计			247.14	35700	

表 6 引水工程一览表
Tab.6 Table of the diversion works
in the Houzhai basin

工程名称	所在河段	流量 (m ³ /s)	灌溉面积 (hm ²)	受益区(行政村)
老黑潭左右渠	中游	0.1	54	大新、陇脚
六谷左右渠	中游	0.1	80	冯家、二官、六谷
类子龙潭干渠	中游	0.1	40	陈家庄、太平
盐水井引水渠	中游	0.1	26	平山、黄土坡
地下河管道	中游	0.05	74	大新、陇脚、冯家、二官
后寨干渠	下游	0.3	200	后寨、野鸭塘
合 计		0.65	474	

4.2.2 中游北亚片区蓄、提模式

本区地貌为峰林溶原,岩性主要为白云岩,地下河不甚发育,地表有 7~20m 厚的红粘土,成为大片的红土台地,垂直渗流带厚度较小,降水到达地表不易下渗,外围土壤饱和后超渗部分形成坡面流流入后寨河排走。水资源的开发形式以蓄水为主,根据片区和外围的农田需水量,利用后寨明河低洼地段,修建了青山地表水库,拦蓄其上 30 余平方公里的地表洪水和上游两个地下水库的弃水,设计库容 $2.522 \times 10^6 \text{m}^3$,设计灌溉面积 705hm^2 。但该水库在运行中坝基河床部位曾发生渗漏,后经大坝帷幕灌浆处理,已达到防渗目的。青山水库距县城仅 3.5km,已成为县城的青山公园,集旅游、灌溉、水体养殖为一体,发挥了较大功能和效益。

本片区建有提水工程 4 站,分布在本片区南部灰岩分布地带。该地带发育有串珠状的天窗,地下河管道明显,地下水埋深仅在 5m 以内,且稻田分布在地下河附近,相对集中,因此主要是提取地下河天窗的水,灌溉面积 43hm^2 ,饮用水人口 820 人。

4.3 下游引、提模式

后寨地下河的下游,岩性为薄至中厚层的白云岩,地下河出口标高 1218m,比附近的县城低 32m,最枯流量 $0.219 \text{m}^3/\text{s}$,最大洪峰流量 $3.5 \text{m}^3/\text{s}$,年平均流量 $0.74 \text{m}^3/\text{s}$ 。地下河溢出地表后,经约 500m 流程后注入深切的波玉河。本区水资源的开发形式为引和提。引水工程是引后寨地下河总出口的水,灌溉渠道长 3.5km,设计输水能力为 $0.3 \text{m}^3/\text{s}$,灌溉面积

200hm^2 ,均为区外用水(表 6)。提水工程主要解决普定县城的用水。普定县城位于总出口之东,水资源缺乏,一年有半年缺水,3 万人饮用水成了最大难题,给县城社会经济的发展带来极大的制约。因此,开发利用后寨地下河水,在后寨冒水坑采用提水(表 5)形式,“西水东调”,供给普定县城用水,促进了社会经济的发展。后寨冒水坑供水点水质好、水量足,是目前县城的最佳供水点。

5 结 语

(1)单元流域是地质构造和岩溶发育不均一性控制下的岩溶山区小流域^[3],是岩溶区地表、地下水系的集水单元,单元流域内的地表和地下水是统一的水文系统。

(2)以岩溶小流域为单元的水资源开发方式,是岩溶地区岩溶水资源的开发方向和途径之一,把缺水问题在小流域内,有良好的推广应用前景。

(3)开发的模式,必须因地制宜、因水制宜,根据需要和可能走可持续发展的开发模式。后寨岩溶流域上游以蓄、排模式开发暴雨洪水资源,削减洪峰峰值,缓解中、下游洪灾,而中、下游以引、提模式重点开发常流地下水,是值得推广的模式之一。

(4)水资源开发中的各种工程,管理是重要环节。后寨岩溶流域的地表、地下水库,抽水站以及引水渠道,由于管理较好,多年来运转正常,发挥了应有的功能。

致 谢:在文章形成过程中,得到南京大学城市与资源系史运良教授和王腊春副教授和本站幸访明副研究员的指导和审阅,在本站资料收集计算中,得到张秀林、王莉莉的帮助,在此一并致谢。

参考文献:

[1] 万洪涛,谢传节,杨勇等. 贵州后寨河喀斯特小流域水化学特征[J]. 中国岩溶,1999,18(4):329—336.
[2] 俞锦标等. 中国喀斯特发育规律典型研究[M]. 科学出版社,1990:229.
[3] 韩行瑞等. 岩溶单元流域综合开发与治理[M]. 广西师范大学出版社,1997.

(下转第 39 页)

(上接第 26 页)

STUDY OF STRUCTURES AND WATER RESOURCES DEVELOPMENT PATTERNS IN KARST WATERSHED

—— A case study at the Houzhai basin, Puding, Guizhou

CHEN Hong-yuan, HU Xing-hua, Yang Yong, CHEN Bang-yu

(Puding Karst Comprehensive Experiment Station of Guizhou Province, Puding 562100, China)

Abstract: Based on the analysis of the dual aquifer system in the Houzhai karst watershed, the surface water resources and underground water resources are estimated. According to the water resources and geomorphologic types in the basin, storage and drainage of water in the upper reach, storage, diversion water and pumping of water in the middle, diversion and pumping of water in the lower are suggested in this paper. Then the industrial and agricultural utilization of water in the basin of 81km² and supplying the people with drinking water in the Puding county town with 30,000 population can be attained.

Key words: Karst watershed; Water resource; Development pattern; Houzhai