

# 西南岩溶地下水资源开发利用效应与潜力分析

蒋忠诚 夏日元 时坚 裴建国 何师意 梁彬

中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林, 541004

**摘要** 西南岩溶地区面积 78 万 km<sup>2</sup>, 地下水系统包括裸露岩溶水系统和覆盖-埋藏型岩溶水系统两大类。由于降水丰富、地下岩溶发育, 西南岩溶地下水资源丰富, 在 43 万 km<sup>2</sup> 调查区内, 具有地下水天然资源量 1762.82 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a, 岩溶地下水允许开采资源量 615.70 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a。近年来, 通过开展水文地质调查, 在地下河、表层岩溶水和蓄水构造岩溶水打井开采方面均取得重要进展, 产生了显著的经济和生态环境效应。但由于西南地区岩溶水开发难度大, 区域经济落后, 西南岩溶地下水的开发利用程度普遍较低, 已开采量为 98.32 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a, 仅占允许开采量的 15.97%, 剩余地下水潜力资源量 517.38 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a。

**关键词** 岩溶地下水资源 环境效应 开发潜力 中国西南

## The Application Effects and Exploitation Capacity of Karst Underground Water Resources in Southwest China

JIANG Zhongcheng XIA Riyuan SHI Jian PEI Jianguo HE Shiyi LIANG Bin

*Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi, 541004*

**Abstract** There are about 780,000 km<sup>2</sup> karst areas in southwest China, which are composed of two types of underground water systems, i. e., the bare karst water system and the covered-buried karst water system. With a lot of rainfall and the well developed underground karst forms, there exist abundant karst underground water resources in southwest China. In the geological survey area of 430,000 km<sup>2</sup>, the natural resources of underground water amount to some 1762.82 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a, and the allowed exploiting quantity of underground water reaches 615.70 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a. In recent years, with the performance of the hydrogeological survey, the exploitation of the underground river, epi-karst water and karst water in storing water tectonics has made an important advance and created evident economic and ecological effects. However, due to the difficult exploitation conditions of karst water and the relatively backward regional economy, the exploiting degree of the karst underground water in Southwest China is on the whole rather low. So far, the total exploiting quantity is 98.32 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a, only occupying 15.97% of the allowed exploiting quantity. There remains an exploiting capacity of the karst underground water resources for about 517.38 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a.

**Key words** karst underground resources environmental effects exploiting capacity; Southwest China

## 1 西南岩溶地下水资源状况

### 1.1 西南岩溶地下水赋存规律与分布特征

西南岩溶地区以贵州高原为中心, 范围为东经 100°40′~114°20′, 北纬 21°09′~31°01′, 包括贵州、广西、云南、湖南、广东、湖北、四川、重庆八个省(区、

市), 岩溶面积 78 万 km<sup>2</sup> (袁道先, 1997), 人口 1 亿多, 为少数民族聚居区, 共有 46 个少数民族。岩溶地层以碳酸盐岩为主, 总厚可达 3000~10000 m, 以泥盆系、二叠系及中、下三叠系为主 (李大通等, 1985)。由于气候湿热、降水丰沛, 岩溶作用强烈, 溶孔、溶隙、溶洞及暗河水系十分发育, 岩溶地区地表水常漏失为岩溶地下水, 因此岩溶地下水成为该地

本文由地质调查项目(编号:1212010340104)和国家自然科学基金项目(编号:40572151)联合资助。

改回日期:2006-08-05;责任编辑:刘志强。

第一作者简介:蒋忠诚,男,1962年生,博士,研究员。长期从事岩溶学研究;电话:0773-5837342;E-mail:zhjiang@mail.karst.ac.cn。

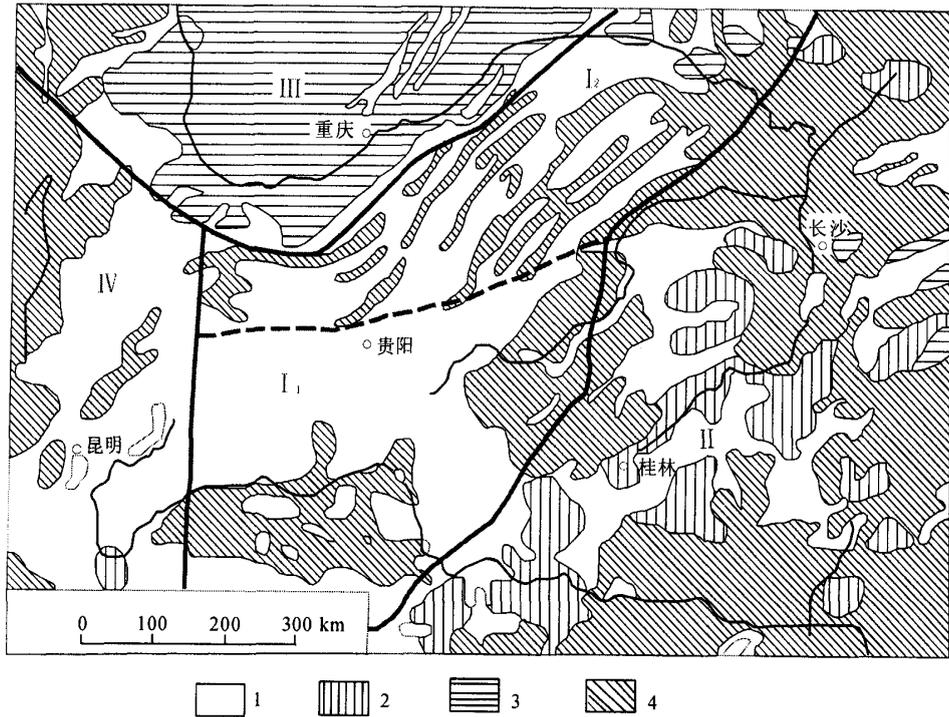


图1 中国南方岩溶及主要类型分布图(据袁道先,2003)

Fig. 1 Distribution of karst and types in south China(after Yuan Daoxian,2003)

1—裸露型岩溶; 2—覆盖型岩溶; 3—埋藏型岩溶; 4—非可溶岩  
 1—bare karst; 2—covered karst; 3—buried karst; 4—insoluble rocks

区主要的水资源。区域分布上,西南岩溶可分为四类五大岩溶区(袁道先,2003)(图1):①滇、黔、桂新华夏系一级隆起带纯碳酸盐岩裸露型岩溶区;②黔、渝、鄂、湘新华夏系一级隆起带碳酸盐岩与非碳酸盐岩互层裸露型岩溶区;③湘桂沉降带—覆盖型岩溶区;④川南重庆沉降带—埋藏型岩溶区,⑤滇东断陷盆地及山地岩溶区。

因此,西南岩溶水系统可划分为两大类型和四个亚类。第一大类为裸露型岩溶水系统,岩溶水基本分布在侵蚀基准面以上,并以泉和暗河的形式向外排泄。第一大类又可划分为两个亚类:①表层岩溶水系统,一般表现为局部的、分散的表层泉,汇水面积小,但数量多,不少是季节性泉。对严重缺水的广大石山地区,开发利用表层泉,对解决广大农村的人畜用水和改善人民生活水平,具有重要意义。表层岩溶泉大部分属风化裂隙带下降泉,风化带的厚度一般为2~30 m,其中2~10 m最为发育(蒋忠诚,1998,1999);②浅层岩溶水系统,主要由溶隙、溶

洞及管道等多介质所构成的暗河系统,在石山地区一般埋藏深度50~300m不等,汇水面积圈套流量也比较大,大部分在河谷排出,是西南岩溶地区生产和生活用水的主要水源。第二大类为覆盖—埋藏型岩溶水系统,主要在岩溶蓄水构造储水,分为两个亚类:①覆盖型浅层岩溶水系统,一般在岩溶含水层之上,覆盖10~30 m厚和第四系潜水含水层,两者存在密切的水力系统,岩溶含水层一般岩溶化程度高,常构成网状溶隙系统,补给条件好,富水性强,具有较高的开发价值,是城镇供水的重要供水水源;②埋藏型深层岩溶水系统,常分布在中新生界断陷盆地内,岩溶含水层埋藏在相对隔水的第三系或白垩系之下,其厚度一般为100~500 m,地区差异很大,如果大于500 m则不利于开采,而且水质可能变坏,或温度升高为热水。例如四川盆地中白垩侏罗系之下的三叠系水深部岩溶水,基本上以盐卤水为主(刘俊贤等,2003)。深埋型岩溶水由于补给条件和开采条件受到一定的限制,因此开发利用的地点相对较

少。

## 1.2 地下水天然资源与可开采资源

流域上,西南岩溶地区包括长江流域、珠江流域和流向东南亚的红河等国际性河流流域,根据新一轮国土资源大调查资料,三大流域内西南岩溶调查面积 43 万  $\text{km}^2$ ,地下水天然资源量  $1762.82 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,岩溶水允许开采量  $615.70 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。其中云南、贵州、广西三省(区)占 70%(表 1、表 2)。

表 1 西南岩溶地下水资源按流域统计表

Table 1 Statistics on the karst underground water resources in the river basins of southwest China

流域	面积/ $\text{km}^2$		天然资源量 $\times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	岩溶水 允许开采量 $\times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$
	总面积	岩溶区面积		
长江流域	413883.87	234692.57	845.81	304.65
珠江流域	364037.75	184441.13	853.20	271.82
国际诸河	30657.56	15185.20	63.81	39.23
总计	808579.18	434318.90	1762.82	615.70

表 2 西南岩溶地区地下水资源统计表(据各省地调院统计)

Table 2 Statistics on the karst underground water resources in different provinces of southwest China

(after the institutes of geological survey of the provinces)

省市区	总面积 $\text{km}^2$	岩溶区面积 $\text{km}^2$	岩溶水	
			多年平均 天然资源量 $\times 10^8 / \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	允许开采量 $\times 10^8 / \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$
川西南	98416.83	33150.52	131.07	63.6221
滇东	139048.37	66850.00	231.84	129.9636
重庆	25227.60	17280.10	61.91	4.9808
贵州	166936.00	129600.00	380.20	138.8650
鄂西南	30039.38	19850.00	73.64	25.1256
湖南	88073.70	59597.87	250.92	69.0949
广西	236274.00	98236.41	555.64	166.1478
广东	24563.30	9754.00	77.58	17.9006
合计	808579.18	434318.90	1762.82	615.7006

## 2 西南岩溶地下水资源开发利用状况及效应

### 2.1 西南岩溶地下水资源开发利用历史

岩溶地下水历来是岩溶地区重要的供水水源,岩溶水在石山地区的开发利用,日益重要。“五五”、“六五”期间,由国家科委、地矿部组织的“四片五点”(广西都安,贵州普定、独山,湖南洛塔,山西娘子关)

岩溶水开发会战,重点治理旱涝,取得了成效(陈梦熊,2003),其中普定和洛塔的岩溶水开发工作延续至今。几十年来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,修建各种地表、地下水利工程。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。有大量各种形式的引水、提水工程;利用地表河(尤其是高原区地表水河流)、地下河、大泉出口的落差,建立水电站;热、矿水资源已部分用于农田水利灌溉、育秧、水沐浴及建疗养院等。

### 2.2 西南岩溶地下水资源开发利用现状

自 1999 年中国地质调查局在西南岩溶地区开展 1:25 万及 1:5 万地质水文地质大调查项目以来,查明了重点岩溶地区的岩溶地下水资源状况,特别是后期开展的 1:5 万水文地质大调查工作。以 1:5 万水文地质调查成果为基础,按岩溶流域做出岩溶地下水的合理开发利用规划,并实施以岩溶地下水、岩溶泉和蓄水构造岩溶水的开发利用为主的工程。例如,云南省地调院实施的小江流域的岩溶水开发工程、贵州地调院实施的大小井地下河系统的开发工程、广西地调院实施的刁江流域的丁洞打井工程和三只羊表层岩溶泉水开发工程、岩溶研究所在湖南实施的石期河、新田河流域实施的地下河开发工程。使岩溶地下水开发进入到新的阶段。

20 世纪初结合表层岩溶泉修建水柜是岩溶水开发的新特点,解决了岩溶地下水深埋的大量岩溶石山地区居民的饮用水问题。广西岩溶区修建了 60 多万个地头水柜,其中以表生岩溶泉为补给水源的地头水柜为解决当地人民群众的生活生产用水起到了关键的作用。例如,结合地质大调查项目,在广西平果果化修建的水柜,不但解决了龙何屯 1000 余人的生产、生活用水问题,而且在 500 多亩耕地的灌溉方面发挥了积极作用。

但从上个世纪 70 年代至今,由于人类不合理的经济活动和资源开发,开荒种地和过渡放牧,使生态地质环境系统质量变差,植被破坏,水土大量流失,地质灾害频发。使得岩溶地下水的补给、径流、排泄途径发生变化。表现为大气降水入渗量减少,据不完全统计,西南岩溶区约 20%~30% 的地下河、岩溶泉流量明显减少。据广西、云南、贵州、湖南等实测资料显示,从上世纪 80 年代至今 20 年以来大气

降水量无明显变化,而地下水资源量减少约10%。这使得岩溶地下水开发的难度加大。

### 2.3 西南岩溶地下水开发利用环境效应

水土资源对生活在这里的人们来说是最基本的条件。自90年代以来,尽管投入有限,但把解决水资源的问题作为重要问题,实施了一些地下水开发工程,取得了一定效果,同时也引起了一些环境效应,有好的,也不好的。归纳为如下方面:

本世纪初在桂西北地区大规模兴建地头水柜,不但解决部分旱地灌溉用水促进了生态恢复和粮食增收。而且促进了生态环境建设,使发展庭院沼气有了水源,发展果树有了灌溉条件,甚至使旱地变成了水田。如广西的马山的弄拉、凤山的顶沙坪都是在开发表层岩溶泉水后,带动生态与经济协调发展的典型代表(蒋忠诚,2001)。

高位岩溶洼地蓄水,促进下游生态环境可持续发展。如在湖南龙山洛塔乡,70年度来,开展了岩溶山区综合治理示范工作,社会效益显著:1985年,全乡工农业总产值24万元,人均85元,到1999年,人均810元(梁彬等,2006)。不但粮食连年丰收,恢复了青山绿水。生态环境明显改善,水资源量保证率明显增加,水土流失明显减少,使水土资源、生态环境得到可持续利用。

但很多岩溶平原和盆地地区,由于过度抽取地下水形成降落漏斗,地下水位频繁波动,引起岩溶塌陷,造成地面建筑物、铁路、农田等经济和生命财产损失;一些地区以深井、民井和其它方式开发利用岩溶地下水,忽视了废水处理工程建设,使废水直接排放到地下河,或以漫渗形式进入土层和岩溶含水层,造成含水层水质变差。如贵州某市因采矿业发达,整个岩溶盆地地下水都不同程度受到污染,也是岩溶塌陷高发区(王明章,2006);又如广西某县县城北部家庭养殖业发达,但因地面生活废水排放系统不健全,大部分渗入土层,造成该地区第四系地下水中 $Cl^-$ 含量在过去10年来升高数倍到几十倍。

修建水库、电站等改变了河流水动力场,抬高排泄基准面,由此产生水土流失,泥沙淤积河床或者地下河管道,排水不畅,造成岩溶区内涝,耕地绝收等方面的环境效应(钱小鄂等,2003),也是西南岩溶地下水开发利用中值得注意的问题。

### 2.4 岩溶地下水开发利用经济效益分析

干旱缺水是西南岩溶区发展经济和改善生存环

境的关键性制约因素,因此,岩溶水开发能够带来显著的经济效益。自1999年在实施西南岩溶区国土资源大调查项目以来,在滇、黔、桂、湘等省开展了地下水示范工程,项目投入总经费约3000万元,在地方政府的支持下,解决了30多万人饮水和8万亩耕地的灌溉问题。其中岩溶水灌溉的经济效益十分显著,如2004年岩溶所在黎塘谢村桥美示范片,采取地下、地表水联合开发技术手段,通过修建地表提水站(2处)、开挖岩溶水机井和浅井(4)个,新建调蓄水池(2)个,兴修节水主灌渠2500m,节水有效灌溉面积3500亩(其中水田1500亩),大大改善农业生产条件,增强防旱抗旱能力,促进农民增产增收。仅萝卜1项,产量从过去的2000公斤提高到现在的3500~5000kg,年产值达235万元,增收125万元,人均增收350元。又如,2003~2005年,在广西平果果化生态重建示范区,利用高位表层岩溶带泉采取蓄一引的技术方法进行岩溶水开发示范,兴建地头水柜6个,装水容量3000 $m^3$ ,在村庄附近建设自来水工程,结束了龙河、妙冠两个自然屯278户共1335人的祖祖辈辈缺水 and 挑水的历史。并铺设各类大小水管1858m,安装 $\Phi 80$  阀门4个和 $\Phi 65$  阀门6个,根据灌地分片、水柜互通来达到按需调水(源)之能力,并安装有喷灌、滴灌、绕灌三位为一体的灌溉系统,灌溉面积达200余亩,使龙何屯岩溶石山区种植人均收入增加250元。

2003年以来,在云南小江流域,根据不同地区的岩溶环境条件因地制宜地实施地下水开发示范工程,均取得了明显的社会效益和经济效益(表3)。

## 3 西南岩溶地下水资源开发利用潜力分析

根据调查统计,西南岩溶地下水资源的允许开采量为 $615.70 \times 108 m^3/a$ ,已开采量为 $98.32 \times 108 m^3/a$ ,仅占允许开采量的15.97%,岩溶地下水资源开发潜力巨大。由于西南岩溶区特殊的地质水文地质条件,地下水空间分布不均匀,埋藏深度大,因而地下水开发的难度较大。岩溶地区的成井率偏低,以往成井率在30~50%之间。近年来,随着对岩溶地下水研究的不断深入和新技术、新测试装备的投入,岩溶地区的成井率大幅度提高。

如表4和图2所示,按行政区划,广西、贵州和云南东部岩溶地下水资源允许开采量为最大,分别

表 3 云南小江流域岩溶地下水开发示范工程效益统计(据王宇,2006 资料修改)

Table 3 Statistics on the engineering effects of exploitation of karst underground water in Xiaojiang Basin, Yunnan (after Wangyu, 2006)

工程名称	地下水开采量 /m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	总投资 /万元	吨水投资 /元·m <sup>-3</sup>	效益分析			
				解决农村人畜用水困难人/大牲畜	解决抗旱保苗用水亩	增加经济收入 万元/年	人均增收 元/年
大衣村饱水带富水块段深井	100	44.25	2.49	432/180	200	6	139
万亩果园饱水带富水块段深井	260	37.22	3.31		3200	13	
三家村饱水带富水块段深井	260	37.85	2.55	1200/160	100	0.6	5
大兴堡深井	200	62.77	2.2	2907/794	600	3.6	12
湾半孔表层泉蓄引	200	55.06	6.49	7059/1415	5000	30	43
李子箐表层泉调蓄	10	7.19	19.97	650/600			
纳保村表层带富水块段浅井	100	13.51	0.69	862/40	45		
皮家寨岩溶大泉束流调压壅水开发	60000	284.37	0.07	15000/5000	25000	238	159
丁合村饱水带富水块段深井	200	30.23	0.98	2478/521	300	1.5	6
四方石天窗截流	1300	10.5	0.29	1200/500	1000	6	50
合计	62630	582.95	0.26	31788/9210	35445	298.7	94

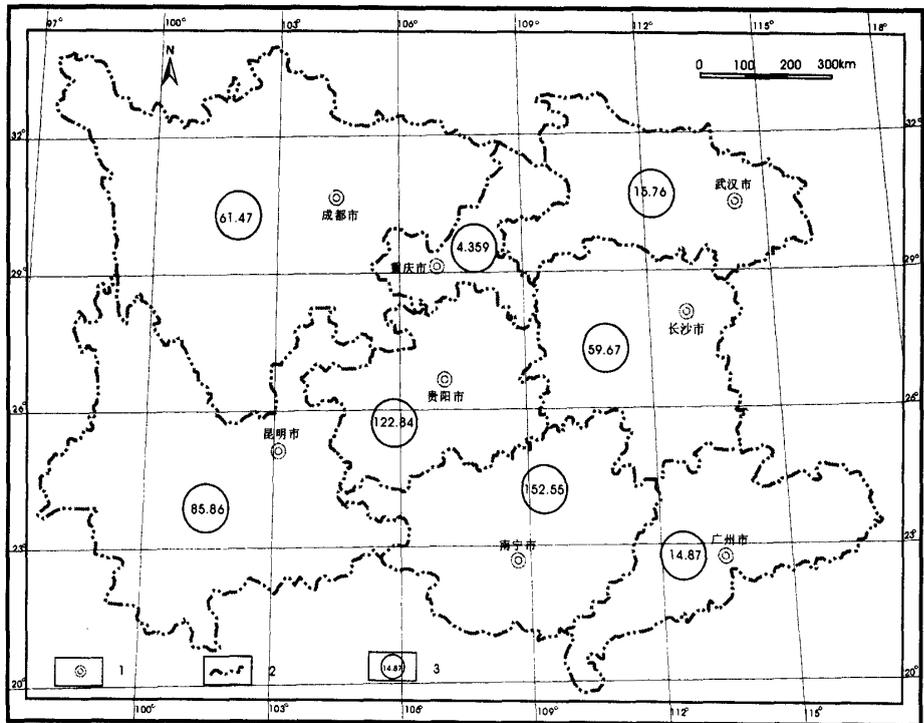


图 2 西南岩溶地区各省岩溶地下水资源潜力分布图

Fig. 2 Distribution of exploiting capacity of the karst underground water resources in different provinces of southwest China

1—省政府驻地;2—省级行政区边界;3—岩溶地下水潜力资源量(10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a)

1—capital of provinces; 2—boundary of provinces; 3—exploiting capacity of the karst underground water resources(×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a)

达到 166.15 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a、138.87 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a 和 129.96 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a; 湖南、四川、鄂西南和广东地区稍小,分别为 69.09 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a、63.62 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a、

25.13 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a 和 17.90 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a; 重庆市岩溶地下水资源允许开采量最少,为 4.98 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a。四川、广西、贵州、重庆、湖南、广东、云南和湖北分别

表4 西南岩溶地下水资源开发利用潜力按省区统计表  
Table 4 Statistics on exploiting capacity of the karst underground water resources in different provinces of southwest China

省(市)	已开采量 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	潜力资源量 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	可开发利用程度/%	潜力指数	潜力模数 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$
四川	21525.73	614695.66	96.62	28.56	18.54
滇东	441040.22	858596.40	66.00	1.95	12.84
重庆	6219.44	43588.81	87.51	7.01	2.52
贵州	160300.00	1228350.00	88.50	7.66	9.48
鄂西南	93625.96	157630.20	62.74	1.68	7.94
湖南	94205.51	596744.09	86.53	6.33	10.01
广西	135943.00	1525535.00	91.92	11.22	15.53
广东	30314.20	148692.20	83.07	4.91	15.24
总计	983174.06	5173832.36	84.03	5.26	12.41

注:1—可开发利用程度:系指一定的区域或流域内,潜力资源量占允许开采量的比例,即潜力资源量与允许开采量的比值;

2—潜力指数:系指一定的区域或流域内,潜力资源量满足目前开采的程度,即地下水潜力资源量与已开采量的比值;

3—潜力模数:系指一定的区域或流域内单位面积的地下水潜力资源量,即地下水潜力资源量与岩溶区面积的比值。

剩余 96.62%、91.92%、88.50%、87.51%、86.53%、83.07%、66.00% 和 62.74% 的岩溶地下水资源量可供开采。

如表5和图3所示,西南岩溶区有长江、珠江和

国际诸河3个I级流域,14个II级流域。长江流域包括四川省、云南东部、重庆市、贵州省、湖北省西南部、湖南及广西部分地区,流域内岩溶地下水资源允许开采量  $304.65 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,已开采量  $47.79 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力资源量为  $256.86 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力指数为 5.38,尚有 84.31% 岩溶地下水资源量可供开采;珠江流经贵州省、湖南省、广西、广东及云南省东部,流域内岩溶地下水资源允许开采量  $271.82 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,已开采量为  $41.98 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力资源量为  $229.84 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力指数为 5.48,尚有 84.56% 岩溶地下水资源量可供开采;国际诸河包括流经云南省东部和广西区的过境河流和外流河,地下水资源允许开采量  $39.22 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,已开采量  $8.55 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力资源量为  $30.67 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,潜力指数为 3.59,尚有 78.20% 岩溶地下水资源量可供开采。

#### 4 结语

西南地区岩溶发育,地下含水介质储水空间大,雨季降水补给量大,在 43 万  $\text{km}^2$  调查区内,具有地下水天然资源量  $1762.82 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,岩溶地下水允许开采资源量  $615.70 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。但由于水文地质结构的差异,岩溶地下水资源分布不均,以桂、黔、滇、湘四省相对比较丰富。

表5 西南岩溶地下水资源开发利用潜力按流域统计表

Table 5 Statistics on exploiting capacity of the karst underground water resources in the river basins of southwest China

一级流域	二级流域	所在地区	面积/ $\text{km}^2$		许可开采量 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	已开采量 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	潜力资源量 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	可开发利用程度/%	潜力指数	潜力模数 $\times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$
			总面积	岩溶区面积						
长江流域	I-1	滇东	51347.36	22234.00	498894.08	139129.43	359764.65	72.11	2.59	16.18
	I-2	贵州	115747.00	82057.00	890720.00	124290.00	766430.00	86.05	6.17	9.34
	I-3	四川	98416.83	33150.52	636221.39	21525.73	614695.66	96.62	28.56	18.54
	I-4	重庆	25227.60	17280.10	49808.25	6219.44	43588.81	87.51	7.01	2.52
	I-5	鄂西南	30039.38	19850.00	251256.16	93625.96	157630.20	62.74	1.68	7.94
	I-6	湖南	84822.70	57017.94	665232.56	91467.61	573764.95	86.25	6.27	10.06
	I-7	广西	8283.00	3103.01	54397.00	1625.00	52772.00	97.01	32.48	17.01
	合计		413883.87	234692.57	3046529.44	477883.17	2568646.27	84.31	5.38	10.94
珠江流域	II-1	滇东	58497.45	29864.00	417885.71	216518.51	201367.20	48.19	0.93	6.74
	II-2	贵州	51189.00	47543.00	497930.00	36010.00	461920.00	92.77	12.83	9.72
	II-3	湖南	3251.00	2579.93	25717.04	2737.90	22979.14	89.35	8.39	8.91
	II-4	广西	226537.00	94700.20	1597696.00	134218.00	1463478.00	91.60	10.90	15.45
	II-5	广东	24563.30	9754.00	179006.40	30314.20	148692.20	83.07	4.91	15.24
	合计		364037.75	184441.13	2718235.15	419798.61	2298436.54	84.56	5.48	12.46
国际诸河	III-1	滇东	29203.56	14752.00	382856.83	85392.28	297464.55	77.70	3.48	20.16
	III-2	广西	1454.00	433.20	9385.00	100.00	9285.00	98.93	92.85	21.43
	合计		30657.56	15185.20	392241.83	85492.28	306749.55	78.20	3.59	20.20

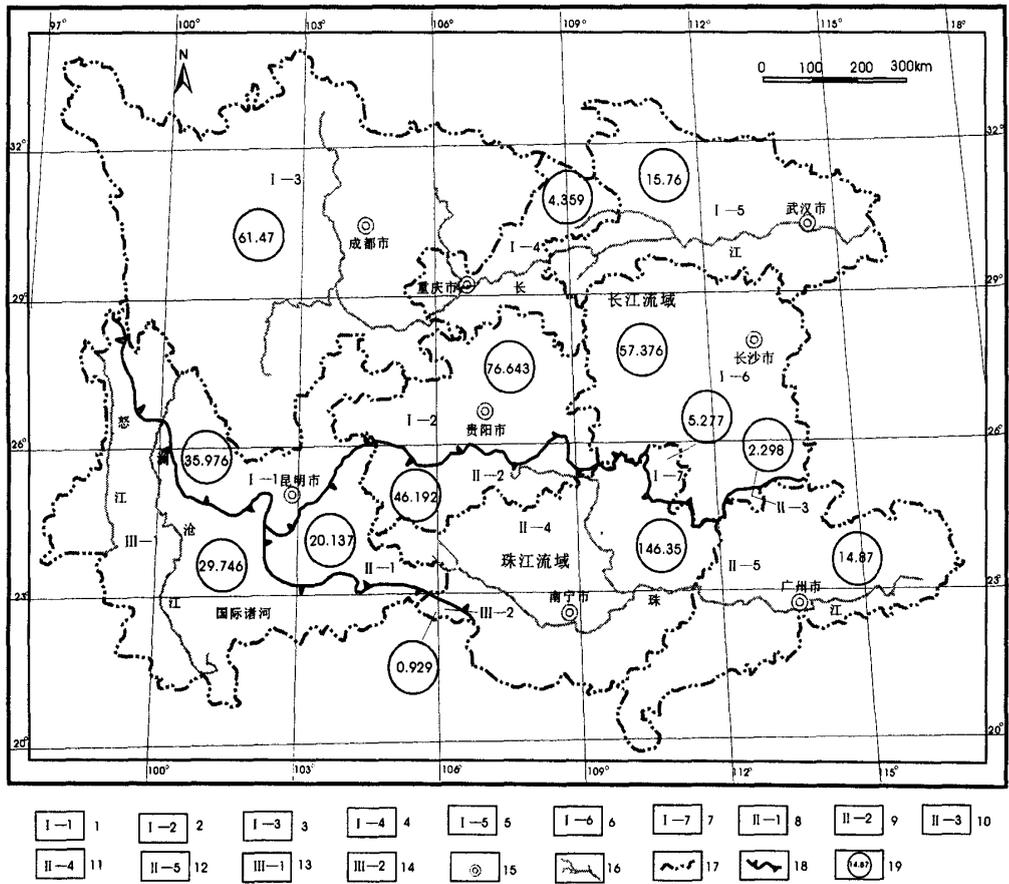


图 3 西南岩溶地区各流域岩溶地下水资源潜力分布图

Fig. 3 Distribution of exploiting capacity of the karst underground water resources in different basins of southwest China  
 1—滇东区长江二级流域;2—贵州省长江二级流域;3—四川区长江二级流域;4—重庆区长江二级流域;5—鄂西南区长江二级流域;6—湖南区长江二级流域;7—广西区长江二级流域;8—滇东区珠江二级流域;9—贵州省珠江二级流域;10—湖南区珠江二级流域;11—广西区珠江二级流域;12—广东区珠江二级流域;13—滇东区国际河流二级流域;14—广西区国际河流二级流域;15—省政府驻地;16—地表河流;17—省级行政区边界;18—流域边界;19—岩溶地下水潜力资源量( $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )

1—second basin of Yangtzi River in East Yunnan; 2—second basin of Yangtzi River in Guizhou; 3—second basin of Yangtzi River in Sichuan; 4—second basin of Yangtzi River in Chongqing; 5—second basin of Yangtzi River in Southwest Hubei; 6—second basin of Yangtzi River in Hunan; 7—second basin of Yangtzi River in Guangxi; 8—second basin of Pear River in East Yunnan; 9—second basin of Pear River in Guizhou; 10—second basin of Pear River in Hunan; 11—second basin of Pear River in Guangxi; 12—second basin of Pear River in Guangdong; 13—second basin of the international rivers in East Yunnan; 14—second basin of the international rivers in Guangxi; 15—capital of provinces; 16—rivers; 17—boundary of provinces; 18—boundary of basins; 19—exploiting capacity of the karst underground water resources( $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )

近年来,随着国土资源大调查工作的开展,岩溶地下水开发工作取得了显著进展,不但提高了成功率,而且出现了大规模开发表层岩溶水的新局面,生态效益和经济效益显著。

由于各地区经济发展的不均衡,不同地区的地下水开发利用程度存在一定差异。总体上,西南地区岩溶地下水的开发利用程度均较低,已开采量为

$98.32 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,仅占允许开采量的 15.97%,还具有地下水潜力资源  $517.38 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。由于地下水的潜力资源受天然资源量、生态环境、区域地质等条件以及开发利用方式等多种因素制约,在西南地区,尤其是生态环境脆弱的岩溶石漠化地区,地下水潜力资源的开发利用宜根据各地区的自然环境条件、经济技术水平和工农业生产结构,充分考虑地下水

资源的开发利用对石漠化、旱涝和塌陷等环境地质灾害问题而采取合适的方式。

### 参考文献

- 陈梦熊. 2003. 西南岩溶石山地区的岩溶水资源与石漠化治理. 中国岩溶地下水与石漠化研究. 南宁: 广西科技出版社, 1~12.
- 蒋忠诚. 1998. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理. 热带地理, 18(4): 322~326.
- 蒋忠诚, 袁道先. 1999. 中国南方表层岩溶带的结构、岩溶动力学特征及其意义. 地球学报, 20(3): 302~308.
- 蒋忠诚. 2001. 广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化. 广西科学, 7(4): 308~312.
- 李大通, 等. 1985. 中国 1:4000000 可溶岩分布图. 北京: 地图出版社.
- 梁彬, 裴建国, 李兆林, 等. 2006. 湖南洛塔岩溶水资源开发与利用. 中国西南地区岩溶地下水资源开发与利用. 北京: 地质出版社, 183~194.
- 刘俊贤, 李廷强, 袁丙华, 等. 2003. 四川埋藏岩溶水及其开发利用. 中国岩溶地下水与石漠化研究. 南宁: 广西科技出版社, 365~371.
- 钱小鄂, 孙俊清, 吴少斌. 2003. 广西柳江花水电站建设对柳州城市地质环境影响的初步分析. 中国岩溶地下水与石漠化研究. 南宁: 广西科技出版社, 117~121.
- 袁道先. 1997. 我国西南岩溶石山的环境地质问题. 世界科技研究与发展, 5: 93~97.
- 袁道先. 2003. 岩溶地区的地质环境和水文生态问题. 南方国土资源, (1): 22~25.
- 王明章. 2006. 贵州省岩溶地下水资源及其开发利用. 中国西南地区岩溶地下水资源开发与利用. 北京: 地质出版社, 35~61.
- 王宇. 2006. 泸西小江流域岩溶水资源有效开发模式. 中国西南地区岩溶地下水资源开发与利用. 北京: 地质出版社, 132~141.

### References

- Chen Mengxiang. 2003. Karst Water Resources and the Treatment of Karst Rocky Desertification in Karst areas of Southwest China. In: Researches on Karst Ground Water and Rocky Desertification of China. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing

- House, 1~12 (In Chinese with English abstract).
- Jiang Zhongcheng. 1998. Features of Epikarst Zone in South China and Formation Mechanism. Tropical Geography, 18(4): 322~326 (In Chinese with English abstract).
- Jiang Zhongcheng, Yuan Daoxian. 1999. Dynamic Features of Epikarst Zone and Significance for Environments and Resources. Acta Geoscientia Sinica, 20(3) (In Chinese with English abstract).
- Jiang Zhongcheng. 2001. Experience of Rehabilitation of Ecology and Optimal Eco-agricultural Structure in Fengcong Karst Stone Hill in Nongla, Guangxi. Guangxi Science, 7(4): 308~312 (In Chinese with English abstract).
- Li Datong, et al. 1985. 1:4000000 Distribution Map of Solubal Rocks in China. Beijing: Mapping Publishing House (In Chinese).
- Liang Bin, Pei Jianguo, Li Zhaolin, et al. 2006. Exploitation and Utilization of Karst Water Resources in Luota, Hunan. In: Exploitation and Utilization of Karst Ground Water Resources in Southwest China. Beijing: Geological Publishing House, 183~194 (In Chinese).
- Liu Junxian, Li Tingqiang, Yuan Binghua, et al. Buried Karst Water and Its Exploitation and Utilization in Sichuan. In: Researches on Karst Ground Water and Rocky Desertification of China. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House. 2003: 265~271. (In Chinese with English abstract)
- Wang Mingzhang. 2006. Karst Ground Water Resources and Its Exploitation and Utilization in Guizhou. In: Exploitation and Utilization of Karst Ground Water Resources in Southwest China. Beijing: Geological Publishing House, 35~61 (In Chinese).
- Wang Yu. 2006. Models of effective exploitation of Karst Water Resources in Xiaojiang Basin, Luxi. In: Exploitation and Utilization of Karst Ground Water Resources in Southwest China. Beijing: Geological Publishing House, 132~141 (In Chinese).
- Yuan Daoxian. 1997. Problem of Environmental Geology in Karst Mountainous Region of Southwest China. Research and Development of World Science and Technology, 5: 93~97 (In Chinese with English abstract).
- Yuan Daoxian. 2003. Geological Environments and . Problem of Hydrological Ecology in Karst Region. Land Resources in South China, (1): 22~25 (In Chinese with English abstract).