

# 西南岩溶石山地区地下水资源评价与开发

袁丙华<sup>1</sup> 毛郁<sup>1</sup> 刘俊贤<sup>2</sup> 曾荣庆<sup>2</sup>

(1. 四川省地质调查院, 成都 610081;

2. 四川省地质工程勘察院, 成都 610072)

**摘要:** 中国西南岩溶石山地区地下水资源总量丰富, 但时空分布极不均一, 开发利用程度差异很大, 至今仍有 1700 万人、2500 万亩耕地缺水。本文在论述区域水文地质特征和控制岩溶水赋存的主要因素后, 还介绍了地下水资源评价中, 充分利用潜水位上下岩溶空间的调蓄能力, 扩大浅层岩溶水的有效开发潜力; 同时, 对受古溶蚀控制的岩溶水深循环进行了研究, 以开发利用受古溶蚀控制的深部热矿水, 改变贫困岩溶石山地区产业结构。

**关键词:** 西南岩溶石山地区; 浅层岩溶水; 岩溶水深循环; 古溶蚀

## 1. 概况

中国西南两湖两广云贵川渝地区碳酸盐岩连片分布, 以滇东、贵州、桂西为中心的约  $76 \times 10^4 \text{ km}^2$  的范围内, 碳酸盐岩分布面积达  $44 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。据初步统计, 该区岩溶水允许开采资源量达  $607.73 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 除去已开采量外, 可有效开发利用资源量为  $516.52 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。但受南方岩溶水文地质条件的控制, 地下水资源在时间和空间上分布极不均一, 存在大片干旱缺水区和石漠化地带, 八省市区岩溶石山地区迄今仍有 1700 万人饮水困难, 云南、贵州、广西有 2500 万亩耕地农灌用水不足, 石漠化面积达  $10.51 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占碳酸盐岩分布区的 25.03%。工作区经济发展水平差别很大, 各地区的需水要求不同。傍河城市需水量大, 常常因为河水污染而出现缺水, 急需开辟地下水水源地。岩溶平原和较大的岩溶洼地平坝, 因地表水缺乏或分布位置低, 降水时间匹配不当, 农业缺水严重, 地下水开发要求强烈。岩溶地下水补给迳流区, 地下水埋藏深, 生活和农灌用水开发成本高, 缺水贫困问题严重制约地区发展, 调整产业结构实现脱贫致富已势在必行。针对这些问题, 1999 年以来中国地质调查局组织八个省市区地调院和桂林岩溶研究所、国家航遥中心在这一地区开展了可有效开发利用地下水资源的勘查工作。项目用地下水流域系统的概念, 调整修定水文地质参数, 重新计算和统计地下水资源。在浅层岩溶水允许开采资源计算中, 考虑枯水期潜水位上下地下岩溶空间的调蓄功能, 结合工程措施扩大了地下水有效开采资源量; 在中深部岩溶地下水的调查研究中, 进行了地下水的深循环研究, 提出了开发医疗热矿水, 以调整贫困岩溶石山地区产业结构。本文将主要介绍西南岩溶石山地区在上述两方面的工作。

## 2. 水文地质特征<sup>[1]</sup>

---

第一作者简介: 袁丙华男, 1945 出生, 教授级高工, 长期从事水工环地质的工程实践和基础资料调查研究。

丰沛的降雨和炎热的气候造就了强烈发育的岩溶,良好的岩溶水文地质条件使西南岩溶石山地区的地下水资源总量比较丰富。但是,受地质构造及可溶性岩层化学成分、岩性结构的影响,构成具有一定规律但又十分复杂的地下岩溶含水系统,资源分布不均。

西南岩溶石山地区范围广大,地质构造、水文地质条件复杂。工作区内岩溶发育受大的地质构造控制的规律明显,可划分为一级隆起带裸露岩溶分布区、一级沉降带边缘褶皱构造控制岩溶分布区和断陷盆地岩溶分布区。

### 2.1 隆起带裸露岩溶分布区

以桂西地区为例,纯碳酸盐岩广布,以巨厚状质纯灰岩为主,基本无弱溶性或难溶性岩石夹层,岩溶水文地质结构多属均匀状灰岩平缓褶皱型;地表和地下各种岩溶形态均得到较好发育,地下径流强于地表径流,各种形态和规模的暗河系统发育。本区内地表径流不发育,主要城市大多依河而建,以取用地表水为主,地表水一旦污染就出现缺水,急需开辟地下水水源地;区内岩溶平原和较大型的岩溶平坝或洼地,地表水稀缺,供水多以地下水为主,农业和乡镇发展需扩大开采地下水。

### 2.2 沉降带边缘褶皱控制分布区

以四川盆地向云贵高原过渡带的川南地区为代表,区内岩溶水文地质结构多属互层状碳酸盐岩背斜褶皱型、大型单斜、汇水向斜等类型。中、上三叠统和下二叠统灰岩含水岩组在背斜两翼或核部呈带状分布,外围被侏罗系碎屑岩封闭,构成典型的背斜蓄水构造。在大型单斜和向斜构造控制下,出露的中、上三叠统和下二叠统灰岩以及上震旦系白云岩含水岩组下伏形成埋藏型岩溶,常构成向斜蓄水构造和单斜蓄水构造。构成蓄水构造的隔水层顶、底板多为非碳酸盐岩地层,含水层由碳酸盐岩地层组成;岩溶水的深循环主要沿构造裂隙溶蚀带或古溶蚀界面,并构成似层状岩溶含水层,多有医疗热矿水产出。这一地区常为岩溶石山的贫困地区,改变产业结构,开发热矿水发展旅游业应是一个较好的思路。

### 2.3 断陷盆地岩溶分布区

以滇东地区为代表。滇东北断陷盆地碳酸盐岩受构造控制呈环带状分布,岩溶发育不均,以管隙为主,岩溶地下水径流排泄迅速,动态变化大。盆地边缘形成裸露——覆盖型岩溶水系统,地下水赋存量较大,是较富水且调节能力强的富水地段,单井涌水量常大于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ 。滇中滇东台背斜台褶带山原盆地断陷盆地发育。碳酸盐岩层累计厚度达  $3000\text{m}$ ,岩溶作用强烈,岩溶含水层以管隙网为主,相对均匀。岩溶水系统多为断块或褶皱储水构造控制,常形成各自独立的暗河或泉域。覆盖区岩溶深度大,岩溶多期叠加,发育较均匀,形成深部承压含水层。地下水储量丰富,调节能力强,单井涌水量大于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ 。地下水含水结构为均匀状纯碳酸盐岩断块构造型。

## 3. 岩溶地下水的赋存特征<sup>[2]</sup>

随着工作区经济的发展,人们加强了对地下水赋存特征和深部岩溶发育规律的研究,对本区内岩溶地下水的形成机制、岩溶含水层的特征、古溶蚀对岩溶地下水深循环的控制等获

得了一些新的认识。西南岩溶石山岩溶水赋存特征见图 1。

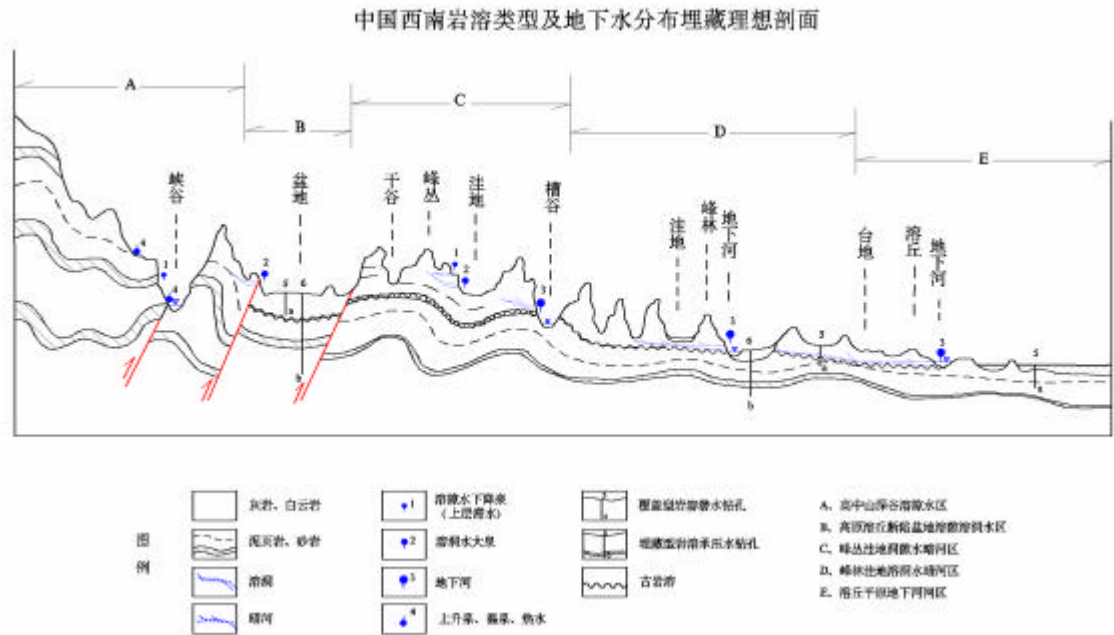


图 1

### 3.1 构造运动对岩溶地下水的控制

构造运动对岩溶地下水的控制表现在新构造运动形成的现代岩溶对浅层地下水的控制、造山褶皱构造运动形成各类蓄水构造,升降运动带来的海陆变迁形成的古溶蚀对地下水深循环的控制。

新构造运动为岩溶发育演化提供动力条件,是岩溶发育的主控因素,对浅部岩溶地下水起着重要的控制作用。云南省昭鲁盆地区受间歇性的新构造上升运动影响和相邻河流侵蚀基准面下降的控制,形成了浅部以盆底为排泄基准面的上层迳流带和深部以洒渔河为排泄基准面的深层迳流带,扩大了地下水资源前景。造山褶皱构造运动在碳酸盐岩和非碳酸盐岩互层或夹层分布区形成的背向斜、单斜和断层,不仅对浅部岩溶地下水起着控制作用,也控制中深部岩溶地下水的循环迳流排泄,并与古溶蚀结合形成对地下水深部循环的控制。

### 3.2 岩性对岩溶地下水的控制

一般来讲,灰岩越纯,岩溶就越发育,形成的岩溶含水层富水程度高,但地下水分布极不均匀;白云岩岩溶发育程度较差,溶隙裂隙发育相对均一,富水程度中等,地下水分布相对均一,含水层具有似层状特征。贵州的地面调查和水文钻探揭示,寒武系、奥陶系具有开发前景和价值的含水层岩性多为白云岩,钻孔单井出水量为  $1000 \sim 2000\text{m}^3/\text{d}$ ;云南省昆明盆地覆盖型岩溶水系统研究中,发现深埋的震旦纪白云岩分布稳定,裂隙密集发育且均匀,富水性较强且均一性较好,昆明地区开采量已超过  $10000\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 3.3 古溶蚀对岩溶地下水深循环的控制

岩溶水的循环迳流受岩溶发育深度的控制。受现代溶蚀控制的浅部岩溶发育深度可达

200-500m,受构造和岩性控制的中部岩溶发育深度 500-2000m 左右,而受古溶蚀控制的岩溶发育深度可达 2000-3500m,不仅大大低于现代区域侵蚀基准面甚至远远低于海平面。

以川南为代表的沉降盆地边缘,在各沉积间断时期,尤其是三叠纪早中期、二叠纪早期、震旦纪晚期,碳酸盐岩层出露地表的时间长,遭受强烈溶蚀作用,在许多地带形成延续性、连通性较好的古溶蚀面,被新的岩层覆盖后,这些岩溶蓄水空间和通道仍然保留在地层中,为后期岩溶地下水的深循环和形成有开发利用价值的地下热矿水创造了条件。在合适的构造部位,二叠系茅口组古溶蚀界面构成的岩溶含水层的迳流深度可超过 3000m,如四川雅安周公山矿泉井,井深 3475m,自喷流量  $5300\text{m}^3/\text{d}$  以上,水温  $81^\circ\text{C}$ ,有 7 项微量元素和化学组分满足医疗热矿水含量标准。

## 4. 西南岩溶石山地下水资源评价与开发

### 4.1 岩溶地下水的垂直分带性

上面的论述说明不同深度发育的岩溶控制着地下水循环迳流排泄的不同特征,地下水资源的评价方法不同,开发重点也不一样。浅部水流量变幅大,易受污染,易开采,局部已采补平衡或超采,宜寻求措施扩大允许开采量。中深部水流量稳定,分布相对均一,成井率较高,在浅部地下水贫乏或地下水资源量不能满足需求的地区是寻找新水源的方向。深部水流量大,温度高,水质优良,多属医疗热矿水,经济价值高。

本项目在进行地下水资源评价时,紧紧抓住资源的“可有效开发利用”内涵,力求评价结果可供国家和地方政府规划使用。因此针对上述特点分别对浅层岩溶水和中深部岩溶水进行了评价和开发研究。

### 4.2 浅层地下水资源的评价与开发

浅层岩溶水是和人们生活与生产需求最紧密相关的,也是以往资源评价和开发研究的主要对象。本项目主要采用了以下几种思路进行资源评价工作:一是打破传统的区域地下水资源按含水岩组进行计算和统计的方法,采用地下水流域系统的概念划分资源计算和统计单元,基本单元为具有完整的、独立的输入、输出系统的水文地质单元,包括岩溶大泉、地下河(系)、蓄水构造、断陷盆地等 4 种基本单元,其一、二、三级地下水流域系统和国家水利部门的地表水流域系统一致,地下水资源评价结果可纳入水资源规划;二是在允许资源量计算和评价时考虑了地下水的开采条件,将目前技术经济条件下尚不能开采的地区划出来,不参加评价,其资源量列入难于开采的资源量;三是在浅层地下水资源评价时,充分利用潜水位上下岩溶空间的调蓄能力,扩大可有效开发利用资源量,如在地下河或大泉出口筑坝抬高水位、在岩溶平原区枯平水期适当超采地下水洪期时实现补充等。

据本次初步计算和统计,碳酸盐岩分布区允许开采资源量:长江一级流域为  $292.57 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 、珠江流域为  $284.15 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 、国际诸河(元江)流域为  $31.01 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ ,合计  $607.73 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ ;可有效开发利用的潜力资源量:长江一级流域为  $248.29 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 、珠江流域为  $243.84 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 、国际诸河(元江)流域为  $24.39 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ ,合计  $516.52 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ 。

广西在项目调查中统计研究发现,选择合适的部位建坝或拦堵岩溶大泉或地下河,抬升地下水位,利用岩溶地下空间的调蓄能力增加地下水利用量,比用地下水枯季径流模数评价的资源量大1~2倍。目前已成功地实施了几处工程。

#### 4.3 深循环地下水资源的评价与开发<sup>[3]</sup>

项目以四川盆地沉降带边缘的覆盖型岩溶分布区为岩溶地下水深循环专题研究的工作区。研究成果系统地总结了岩溶地下水深循环的水文地质模式,揭示了岩溶深循环地下水的形成以及补给径流和埋藏特征、水质变化,发现了古溶蚀在岩溶地下水深循环中的控制意义。该项成果统计四川大型沉降盆地边缘区埋深200~3500m的埋藏型岩溶 $10.89 \times 10^4 \text{km}^2$ ,其中具有开发前景的热水含水层分布面积 $2.89 \times 10^4 \text{km}^2$ ,深循环地下水储存资源量概算超过1000亿立方米。成果提出的深循环水文地质模式能够指导经济价值极高的热矿水资源开发,减少开发风险,为贫困岩溶石山地区的产业结构调整提供新的思路。如四川花水湾地区从前十分偏僻、经济贫困,由于医疗热矿水的开发而变成一个生气蓬勃、热闹非凡的温泉疗养集镇,总资产已达6~7亿元,年税利约1000万元。又如前述四川雅安周公山医疗热矿泉井,将引进开发投资17亿元,拟建成比花水湾温泉镇规模更大,设施更为高档的温泉生态旅游度假区。

### 5. 结语

中国西南岩溶石山地区地下水资源丰富,但分布十分不均,缺水和贫困问题十分严重。浅层地下水研究中,除了研究新构造运动对岩溶发育和地下水迳流规律的控制,可以获得新的地下水资源外,还可充分利用地下岩溶空间的调蓄能力,扩大地下水资源的可利用量;研究贫困岩溶石山地区岩溶地下水深循环的水文地质模式和古溶蚀的控制作用,能够指导经济价值极高的热矿水开发,促进地方产业结构调整。建议开展西南岩溶石山地区深循环地下水勘查与开发示范工程。

### 参考文献

- [1]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.中国岩溶.2000,19(6)
- [2]袁丙华.中国西南岩溶石山地区地下水资源.水文地质工程地质.2000,28(5)
- [3]刘俊贤.四川岩溶地下水深循环研究.严重缺水地区地下水勘查论文集(第一集).北京:地质出版社.2002