

四川岩溶地下水深循环研究

刘俊贤 李廷强 袁丙华 刘民生 解征凡 杜柏林 徐毅峰
(四川省地质调查院)

葛文彬
(四川省国土资源厅)

1. 引言

四川省 15 市 3 州范围内不同程度分布着碳酸盐类岩石, 总面积 87831km^2 , 而埋藏型碳酸盐类岩石分布面积则达 $20 \times 10^4\text{km}^2$ 。

由于受自然条件和多种历史原因的影响, 这些地区的社会经济条件, 除四川盆地内的市(县)相对发达外, 其余都很落后, 属我省的老、少、边、山、贫集中分布带, 主要特征:

1.1 山地面积占幅员面积的绝大部分, 而且大都是地形复杂, 山高谷深, 交通闭塞的地域, 而这些地区非碳酸盐类岩石分布区, 地势相对较好, 人口相对集中, 缺水严重, 但有埋藏型岩溶水。

1.2 除四川盆地外, 均属经济不发达, 科技文化较落后的边远山区。

1.3 是四川省少数民族集中居住区。

1.4 资源丰富, 但人民生活贫困。

本研究是与碳酸盐类岩石裸露区紧邻的埋藏型岩溶地下水, 以充分利用这份水资源, 解决人畜饮用和走农业结构调整, 旅游开发等道路, 尽早使这些地区能脱贫致富。

2. 埋藏型岩溶水分布范围及埋藏深度

根据四川的碳酸盐岩类地层分布已有资料和近年工作成果我们初步归纳; 把 200m 以内作为浅部岩溶发育带, 暂不属于我们研究的对象。而把埋深大于 200m 作为研究范围, 据此又分为三类: 埋深 200—1000m 作为中浅埋藏区; 1000—2000m 作为中深埋藏区; 2000—3500m 作为深埋藏区; 3500m 以上暂不考虑。

四川岩溶的发育以及埋藏岩溶水自溢露出或经人工探孔的揭示, 主要产于震旦系灯影组 (Z_{bdn})、二叠系栖霞组 ($P_{1\text{q}}$) - 茅口组 ($P_{1\text{m}}$)、三叠系嘉陵江组 ($T_{2\text{j}}$) - 雷口坡组 ($T_{2\text{l}}$) 这三套地层之内。

2.1 晚震旦系灯影组 (Z_{bdn}), 白云岩 - 石灰岩地层

零星分布在盆周、川西南山地, 老、少、边、贫是其地域特点, 汉源、雷坡、

喜德、西昌、金阳、宁南等地以及大巴山、峨眉山均有出露，因出露面积小且不连续，图上不予表示。

2.2 早二叠系栖霞组 (P_{1q}) - 茅口组 (P_{1m})，厚层质纯石灰岩 - 白云质灰岩地层

2.2.1 埋深 2000 - 3500 m，分布范围，雅安、乐山、内江、资阳一线以南，峨眉山、屏山、叙永一线之北，以及广安、达川一线，面积约 32260 km²，均以窄条带状形式分布在盆地边沿。

2.2.2 埋深 1000 - 2000m，分布范围，筠连、高县、叙永、古蔺一线、万源 - 樊哙一线、广元—南江以北，面积约 98620km²，呈窄条带状分布于盆地边沿，以川南较宽。

2.2.3 埋深小于 1000 m，分布范围，筠连、珙县、兴文、古蔺以南，峨眉山以及美姑、雷波、金阳等地，零星分布，都属少数民族聚居山区，经济不发达。

2.3 中三叠系嘉陵江组 (T_{2j}) - 雷口坡组 (T_{2L})，石灰岩、白云岩、夹石膏层地层

2.3.1 埋深 2000 - 3500m，分布范围龙门山、大巴山一线、乐山 - 内江以北，南充 - 射洪之南以及华莹山一带，面积约 27600km²。

2.3.2 埋深 1000—2000m，分布范围龙门山 - 大巴山一线，沐川 - 屏山一线以及泸州、内江、井研圈闭范围，面积约 33750km²。

2.2.3 埋深小于 1000m，分布范围，龙门山 - 大巴山一线，叙永、古蔺、筠连一线以及马边 - 沐川一线和荣经一带，面积约 6300 km²。

盆地内若干个背斜山地区被剥蚀开启的核部一般都有三叠系地层裸露。(图 1、图 2)

3. 深埋藏岩溶发育及水循环模式

不同时代的海相沉积碳酸盐岩类地层和少部份陆相沉积由石灰岩砾石被钙质胶结成可溶性砾岩，它们裸露或者埋在地下不同的深处，历经各自的古岩溶化作用时期，形成造就了冷—温—热型深循环岩溶水水资源。

3.1 海相沉积

据已有资料综合四川的古岩溶化作用，大致有三个时期；

3.1.1 加里东运动四川陆台抬升灯影组 (Z_{bdn}) 地层遭受冲刷、剥蚀、岩溶发育，形成了最古老的第一次岩溶化时期，为古水文地质作用和地下水运移、贮聚，提供了适宜的条件，川西南峨边黑竹沟一段数公里长沟边，可见从震旦系 (Z) 地层内

自溢热泉点十余个，1号泉流量 $507.27\text{m}^3/\text{d}$ ，水温 57°C ，经研究该含水层埋深在 2000m 以下。乐山市沙湾区福祿镇老龙一井，井深 2827.5m ，揭露灯影组 (Z_{bdn}) 地层，井孔记录有五次泥浆漏失，井深 $3301\text{—}3306\text{m}$ 处，热水自溢孔口，未洗井情况下流量 $60\text{—}92\text{m}^3/\text{d}$ ，水温 $36\text{—}40^\circ\text{C}$ 。它告诉我们，震旦纪末期古岩溶化发育，埋深 3000m 以下仍有深循环岩溶水含水层，是寻找深循环岩溶水的一个重要标志（图 1）。

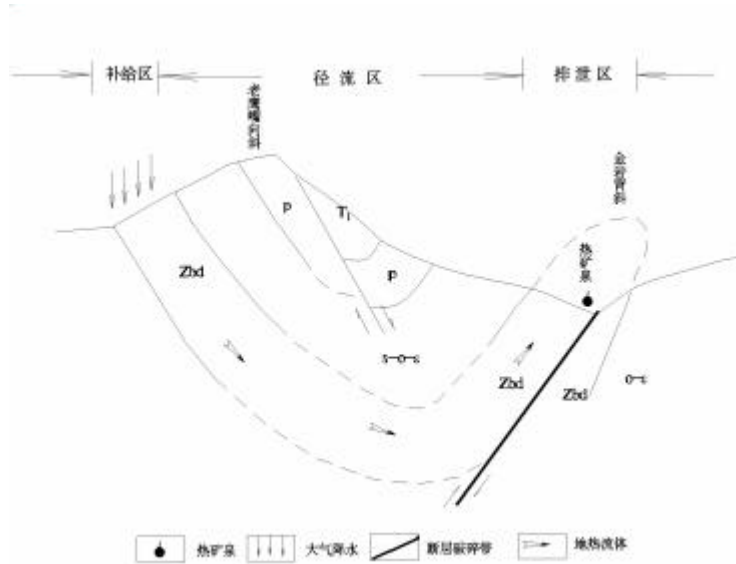


图 1 黑竹沟热矿水形成模式图

3.1.2 华力西运动期间，栖霞组 (P_{1g})—茅口组 (P_{1m}) 地层，表现出多震荡韵律伴随沉积间断，受冲刷、剥蚀，岩溶发育，古岩溶化剧烈，形成了第二次古岩溶作用化时期。古水文地质交替作用亦同时进行，所以一般没有形成“盐分过高”的高矿化水，正因如此，对于地下水的贮聚，恰好提供了比较好的场所，这从现今二叠系岩溶含水层水质矿化度较低，得到佐证。

3.1.2.1 犍为县孝姑镇温热水(井)附近，埋深 $2338.5\text{—}3269.0\text{m}$ ，栖霞组 (P_{1g})—茅口组 (P_{1m}) 层段，遇产水段厚 21.8m (主要在茅口组内)，自溢流量 $1152\text{—}1488\text{m}^3/\text{d}$ ，水温 92°C 。

3.1.2.2 雅安市南郊周公山温热水(井)，孔深 $3465\text{—}3475\text{m}$ ，穿入茅口组地层仅 10m ，古岩溶发育，自溢流量达到 $5000\text{m}^3/\text{d}$ ，水温 81°C 。

3.1.2.3 川南筠连县巡司温泉从茅口组地层内自溢流量 $3460\text{m}^3/\text{d}$ ，水温 57°C ，含水层埋深大于 1400m 。

3.1.3 印支运动期间，四川盆地开始表现为东西相异沉积，仅东部沉积浅海

相碳酸盐岩类地层,继后,海浸遍及全盆地,广阔稳定,沉积嘉陵江组(T_{2j})—雷口坡组(T_{2L})石灰岩、白云岩、石膏及含盐岩系。三叠纪中期古构造活动更为明显并被分解形成了若干个封闭—半封闭的咸化盆地,最显著特征是以川南泸州古隆起为中心持续上升,相邻的川东、川中成为拗陷。隆起地区受长期剥蚀,没有盐类聚集条件,反遭淡化,这些地区地下水矿化度较低,冲刷、剥蚀并伴随古岩溶化作用进行导致岩溶发育,形成了第三次古岩溶化时期。

3.1.3.1 大邑花水湾温热水(井)孔深 1878—2801.3m,为嘉陵江组(T_{2j})—雷口坡组(T_{2L})层段,出水点十三处共厚 123 m,自溢流量 $4312\text{m}^3/\text{d}$,井口水温 68°C 。

3.1.3.2 峨眉山荷 5 井温热水(井),孔深 1795—2380m 为嘉陵江组(T_{2j})—雷口坡组(T_{2L})层段,从主要出水段厚 164m 内,出水量 $281.32\text{m}^3/\text{d}$,水温 48.6°C 。三叠系温热水贮水层富水性好,交替径流通畅,尤其处于水文地质构造半开启状态下,盆地内各地自溢出相当多的温泉点,这些水质类型为硫酸—钙或硫酸—钙镁型水,实际是饱和的石膏水,也可认为是三叠系贮水层的一种特定产物,以川东温泉最负盛名。

总的说,本区域有三个古岩溶化作用时期形成的三个深循环岩溶水贮积层;即晚震旦系灯影组(Z_{bdn})、早二叠系栖霞组(P_{1g})—茅口组(P_{1m})、中三叠系嘉陵江组(T_{2j})—雷口坡组(T_{2L}),与古岩溶之强弱程度密切相关,贮集层埋藏深度不同,显然被构造作用所制约。它们的共同特点,以顶部最富水,它们都具有各自不同的露头区补给,降水渗入裂隙及古岩溶作用造成的储水空间和导水通道形成了纵横各向的径流体系。埋藏深度与沉积间断时间—即岩溶化时期的长短有关,长则深,短则浅,因此出现震旦系>二叠系>三叠系。总之,深循环岩溶地下水具有远补给、缓径流、深循环之特点。

三叠纪末盆地被改变为大陆环境,转变为漫长的陆相沉积过程中造就了厚达数千米的红色地层。

3.2 陆相沉积

盆地西、西北部边缘山前地带,山麓沉积相莲花口组(J_3),厚层砾岩,达 1800 m 左右,受构造作用,裂隙宽大,分布密集且伸展比较深远,砾岩多被溶蚀成几十厘米—几米不等的溶孔(洞)或漏斗。近期在绵竹土门镇山边钻一口深井,孔深 1765 m 砾岩层段,抽出水量 $670\text{m}^3/\text{d}$,水温 38°C 。处于褶皱山地边缘,砾岩呈陡倾斜,倾角一般大于 45° ,呈自流斜地,受降水补给充沛,径流通畅,富水性好,为溶滤型溶孔淡水。这类溶孔水颇具实用价值(见表 1)。

表 1

沉积相	构造部位	典型热水井(温泉)名称	层位	循环深度(米)	水量(米 ³ /日)	水温(°C)
海相沉积	盆周(外)构造隆起带	筠连沐爱井	P	< 1000	800	38
		巡司温泉	P	1000-2000	3460	57
		峨边黑竹沟温泉	Z	2000-3500	507.27	58
	盆缘断褶带(包括川东褶带)	达县葫芦热水井	T	< 1000	4694	37
		安县罗浮山热水井	T	1000-2000	(S=30)295.49	45.5
		犍为新民川14井	T	1500-2000	427	45
		峨眉热水井	T	1880-2200	自流量 281.32	48.6
		雅安周公山热水井	P	3400-3500	5000	81
		喜德温泉	Z	1000-2000	单井出水(S=275)1368.75	40
		雷波西苏角温泉	Z	2000-3500	432	46.5
	盆中沉降带	泸县钻井	P	1000-2000	816	22
泸县钻井		P	2000-3500	180	37	
陆相沉积	盆缘断褶带(包括川东褶带)	绵竹土门	J	< 1500	670	38
	盆中沉降带	江安	J	< 1000	518	28

4. 深埋藏岩溶水的水化学特征

由于四川特定的大地构造,碳酸盐岩类的岩相古地理等环境条件不同,各地埋藏型岩溶地下水的深循环交替作用很有差别,从而亦决定了水化学特征在东、西格局和垂直带上有一定的规律性(图2)。

4.1 褶皱山地区,深循环岩溶水,大都以温热泉上涌出露地表,或被深钻井所揭露。各岩溶含水层中运移的地下水,在相同的构造部位,由浅至深以淡水逐

渐向微咸水、咸水过渡变化。符合一般的水化学垂直分带规律。

4.2 同一构造部位，在相似的深度范围，三叠系岩溶水的矿化度显著比二叠系或震旦系岩溶水高出一个数量级。说明了各期古岩溶强度直接影响到当今各岩溶层深循环地下水的交替迳流条件及其水化学特征。其中三叠系岩溶水的深循环深度一般限制在 2000—2500 米以内，对岩石中的可溶盐尚处于强烈的溶滤过程。而沿沉降盆地腹地中的该层古盐卤水得以封闭保存。

4.3 深循环岩溶水中含有多种对人体有益的微量元素，如碘、溴、锂、锶、氟、偏硼酸、偏硅酸及硫化氢、镭等。符合复合型高温医疗矿泉水的国家命名标准（表 2）。

表 2 不同构造部位不同深度岩溶水矿化度及化学类型表

岩溶层位	地质构造部位	不同深度的岩溶水矿化度(克 / 升)及化学类型		
		200~1000	1000~2000	2000~3500
J	盆缘断褶带及川东褶带	绵竹 < 0.2 HCO ₃ -Ca 大竹 0.59 HCO ₃ -Ca		
	盆中沉降带	泸县 23.31 Cl-Na 江安 9.30 Cl-Na		
T	盆缘断褶带及川东褶带		安县 15.3 Cl-Na 犍为 13.99 Cl-Na 纳溪 14.40 Cl-Na	峨眉 4.05 SO ₄ · Cl-Na 犍为 14.00 Cl-Na 雅安 17.24 Cl-Na
	盆中沉降带	达县 3.00 SO ₄ -Ca · Mg	泸县 59.00 Cl-Na	普遍为卤水
P	盆周(外)构造隆起带	泸县 15.74 Cl-Na	筠连 4.75 Cl-Na	屏山 3.28 SO ₄ -Na
	盆缘断褶带	筠连 0.5-1 HCO ₃ · Cl-Na		雅安 17.24 Cl-Na 犍为 4.13 Cl-Na
Z	盆中沉降带	峨眉 < 0.5 CO ₃ -Ca · Mg	泸县 59.3 Cl-Na	泸县 9.01-50.00 Cl-Na
	盆周(外)构造隆起带		喜德 0.76 HCO ₃ · SO ₄ -Ca · Mg	雷坡 2.06 SO ₄ · HCO ₃ -Ca · Mg
	盆缘断褶带	会东 < 1 HCO ₃ -Ca	峨眉 0.26 HCO ₃ -Ca · Mg 甘洛 0.162 HCO ₃ -Ca · Mg	峨边 0.8-0.9 SO ₄ · HCO ₃ -Ca

	盆中沉降带	< 1 HCO ₃ -Ca · Mg	
--	-------	-------------------------------	--

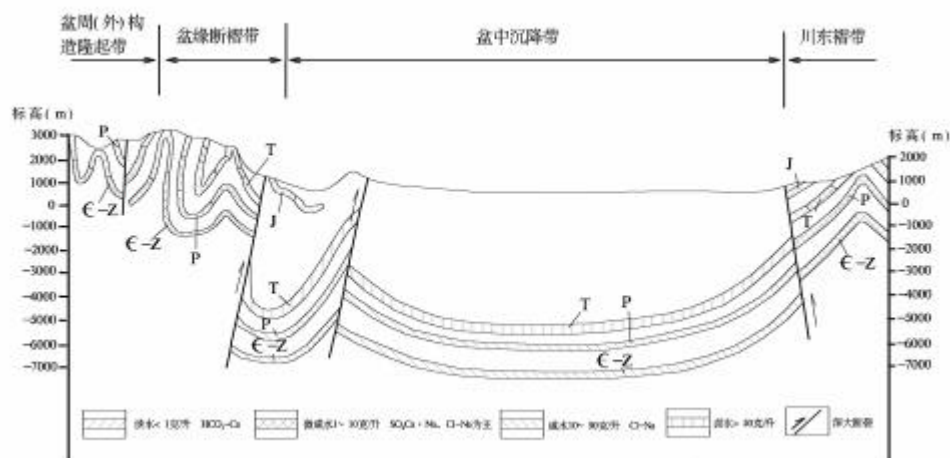


图 2 四川省埋藏型深循环岩溶水文地球化学剖示图

5. 埋藏型岩溶水的开发现状和可利用潜力

埋深 200 - 1000m 范围岩溶地下水，由于流量、温度稳定，矿化度低，一般用于养殖业和农业灌溉、城镇生活用水。

岩溶地下水含水层，水量富，水质好，一般都分布埋藏在盆周山地。岩溶石山地区地表往往干旱缺水，供应人畜饮用水都感到困难，地质工作者找到埋藏岩溶地下水解决或补充水源意义十分重大。

按 200—1000m、1000—2000 m、2000—3500 m 三类，盆周山地和盆地内埋藏有三层深循环岩溶地下水含水层。

据已揭示资料，含水层厚度大、富水性较好，水量十分可观，一旦揭露一般都能自溢，单井出水量最大 5000m³/d(雅安周公山热水井)，最小 281.32m³/d(峨眉山热水井)，它们都各有较稳定的补给区，从川西南—川西北已开发雅安南郊周公山热水井、乐山犍为县孝姑镇热水井、峨眉山热水井、大邑花水湾热水井、安县罗浮山热水井、广元川北温泉热水井等等开发点，得到很好佐证。

雅安周公山热水井的涌水使雅安市在开发发展方面马上身价倍增；乐山市犍为县孝姑镇热水井的涌水将使孝姑一带农民致富；峨眉山早已闻名世界，温热水井的凿成，更为“天下秀”锦上添花；大邑花水湾地热井开发较早，它依托成都

市的地域优势可以说早已是“富甲一方”；安县罗浮山热水井毗邻白水河风景区，临近绵阳，成为绵阳市的一颗掌上明珠；川北温泉井离广元市仅四公里，必然会给广元市的旅游休闲提供新的景点。这类已开发点都属埋深千米以上的深循环岩溶地下水。大都利用 70 - 80 年代钻凿的油气勘探报废井改造再利用，变废为宝，获得了巨大的经济和社会效益，也带动了一方经济，满足了各方面内需，总的说：我们认为四川的埋藏深循环岩溶水具有巨大的开发潜力，应该立项继续深入研究；四川地域广博，随着时间推移必将会出现更多的温热水（井）开发点。

我省裸露的各时代碳酸盐岩类分布总面积 87831km²，天然补给资源 293.63 × 10⁸m³/a，岩溶水总排泄量 107.08 × 10⁸m³/a（数据引自四川省水文地质远景区划 1985 年），由此分析不难说明，有一定数量的浅部岩溶水向深部运移，参与深循环，并成为深循环岩溶水可靠的主要补给来源。初步估算，四川埋藏型深循环岩溶水静态资源总量为 6000 × 10⁸m³。

地下热水是一种重要的地热资源，地下热水在工业、农业、医疗、民用、提取微量元素等方面用途广泛，上述仅举休闲沐浴开发一例，它的效果之好可见一斑。

6. 埋藏型岩溶水资源开发利用规划

规划区一般指埋藏型深循环岩溶水近期开发地段，基本条件是：埋藏深度适宜，便于开发，补、迳、排条件较好；结合各岩溶层段不同的水化学特征划分成三个区。

6.1 中浅埋藏区（深度在 200 - 1000m）。

6.2 中深埋藏区（深度在 1000 - 2000 m）。

6.3 深埋藏区（深度在 2000 - 3500 m）。

列表分述如下，见表 3。

结 语

1.四川埋深在 200 - 3500m³的碳酸盐类岩石地区达 20 多万平方公里，是巨大的地下水库容，静态资源量 6000 × 10⁸m³，有广阔的开发前景。

2.岩溶埋藏深度与沉积间断时间 - 即岩溶化时期的长短有关，长则深，短则浅，因此出现，震旦系>二叠系>三叠系。水化学特征与此相关，同等深度为（以矿化度为例）三叠系>二叠系>震旦系。

3.埋藏型岩溶水有很好的开发前景，埋深在 200 - 1000m 的水资源可作为生

活饮用，农业结构调整用水，养殖业等，埋深 1000m 以上的可作为温泉开发，即可带动旅游业，又能使一方农民脱贫致富，是一举数得之事，应认真规划，逐步开发。

4.建议立专题对深循环岩溶水进行研究，以充分利用这部份水资源。

见表3 四川省不同岩溶地下水埋藏区地下水特征一览表

删除的内容: ↕

↕

↕

↕

删除的内容: ↕

↕