

重庆市主城岩溶区地热资源可再生性评价

杨华林,李明伦,周神波,杨 森

(重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队,重庆 401121)

摘 要:重庆主城岩溶区的地热资源主要分布在 5 大背斜的层状热储构造中,地热田主要分布在背斜两翼和背斜南(或北)倾没端。热储层为三叠系嘉陵江组灰岩,盖层为须家河和侏罗系地层,下部隔热层为三叠系飞仙关组泥灰岩地层。随着地热经济的发展和工程建设的加大,重庆市地热水资源可再生性受到影响。本文基于重庆市多年的地热资源勘查、监测资料,将主城岩溶区 5 个背斜的地热资源分为温泉出露和背斜翼部中深埋藏两类,并利用综合指数法对主城岩溶区地热资源的可再生性进行分区评价。结果显示,主城岩溶区地热资源属强可再生性的有 5 个,较强的有 10 个,中等和弱的分别为 8 和 7 个,其分布面积所占比例分别为 12.95%、32.2%、32.15%和 22.7%,可再生性总体呈较强~中等;其中温泉出露型的资源可再生性以较强和中等为主,分布面积分别占温泉出露区总面积的 33.6%和 33.95%;中深埋藏型以较强和强可再生性为主,其分布面积分别占中深埋藏区总面积的 25.9%和 30.8%。较强和强可再生性地热主要位于背斜北段,中等~弱可再生性地热则分布于背斜中段和南段。中深埋藏型地热资源的可再生性总体较温泉出露型的强。由此,建议加强背斜两翼中深埋藏区北段地热水资源的勘查开发力度,同时控制中~弱可再生性地热资源区,包括背斜两翼中深埋藏区中—南段和部分温泉出露区的开采规模,以确保地热资源的可持续利用。

关键词:岩溶区;地热资源;背斜;可再生性;评价;重庆

中图分类号:P314.1

文献标识码:A

0 引 言

重庆市主城区地热资源在不同的地质构造部位、不同的地热地质块段(单元)和地质环境条件下的可再生性存在明显的差异。目前国内外学者对岩溶区地热资源可再生性评价未见有定量或半定量的评价,随着重庆地热资源开采量的逐渐加大、人类工程活动的加剧,对地热资源的水量、水温、水质产生不同程度的影响。工程建设对地热资源的影响以观音峡背斜中段最为典型,目前已建穿山隧道 10 条,在建 3 条,隧道长 5.5~7.2 km,间距约 7 km,疏干地热水约 25 000 m³/d,疏干地热水水温 36~40℃,致使梨树湾地热井的水量由 6 400 m³/d 减少至 3 800 m³/d,

水头由 2.2 MPa 下降到 0.88 MPa,形成以梨树湾隧道为中心,南北长约 30 km,东西宽 4 km 的疏干漏斗。地热水资源的过度开发和工程建设造成的水资源疏干不仅影响重庆市地热经济的可持续发展,也对当地的生产生活造成不利影响。为了确保重庆地热资源的合理开发和有效保护,本文采用综合指数法对重庆市主城区地热资源可再生性进行分区评价,旨在为本地区地热的开发利用和地热水环境保护提供科学依据。

1 地质和地热资源概况

重庆主城区包括渝中、江北、九龙坡、南岸、沙坪坝、渝北、巴南、大渡口、北碚等 9 个区,面积约 5 473

基金项目:重庆市都市经济圈地热水资源可再生性研究(渝国土房管科学(2008 第 14 号))

第一作者简介:杨华林(1965—),男,水文地质工程地质专业,高级工程师,主要从事岩溶水文地质和地热资源勘查的研究工作。E-mail: cqjdzylh@126.com。

收稿日期:2013-06-12

km²。整个区域为背斜和向斜相间分布的平行岭谷区,背斜成山,向斜成谷。自西向东有温塘峡、观音峡、铜锣峡、南温泉、桃子荡 5 个背斜,无区域性大断裂。背斜轴部为岩溶槽谷地貌,两翼近轴部为岭状地貌,两翼为浅丘,总体上呈“一山二槽三岭”或“一山一槽二岭”的景观。背斜区为重庆高隆起山地层状热储构造形成的地热资源分布区。地热田主要分布在背斜两翼和背斜南(或北)倾没端,两翼地热田距背斜轴部 0.5~2 km,埋深 500~2 500 m。热储层为三叠系嘉陵江组灰岩,盖层为须家河和侏罗系地层,盖层厚度大于 1 000 m,下部隔热层为三叠系飞仙关组泥灰岩地层。地热水的同位素分析和¹⁴C 测龄结果以及各背斜开采井的地热水动力特征表明,重庆主城区温塘峡、观音峡、铜锣峡、南温泉 4 大背斜的地热资源主要来自北部华蓥山、大巴山地区灰岩出露区的大气降水补给(南温泉背斜与铜锣峡背斜为斜接关系,其深循环地下水处于同一个水文地质单元,水力联系密切,地下水补给均来自北部灰岩出露区),而桃子荡背斜的地热资源主要源于背斜南部黔北山区灰岩出露区的大气降水补给。降水入渗形成浅层地下水,浅层地下水一部分通过浅层地下径流排入地表河流;另一部分进入深循环的地下水则主要沿平行于区域构造线的方向自北向南纵向径流(桃子荡背斜为自南向北),并不断溶解灰岩中的矿物质。地热水中的热源主要来自于地下的地热增温(主城区地热增温梯度为 2.0~3.3 ℃),在河流横切背斜轴部形成的峡谷中往往以天然温泉形式排泄或向背斜倾没端与背斜两翼的井孔运移排泄,形成地热水(热矿水)。主城区有温泉井 68 个,其中天然温泉 8 个,坑洞温泉 10 个,浅钻井温泉 20 个,深钻井温泉 30 个(图 1),钻井单井涌水量一般 1 000~4 000 m³/d,水温 38~62 ℃,天然温泉流量 200~1 500 m³/d,水温 35~42 ℃。重庆主城区地热水储量丰富,属硫酸钙型水,微量元素及有益矿物质丰富^[1-4]。

2 评价方法

综合指数法是一种较为简便的定量—半定量评价方法,主要由模糊数学评判演变而来,适用于影响因子多且层次性强的区域地质环境质量分区评价、区域地质灾害易发程度分区评价以及水环境和生态环境质量分区评价等领域。该方法具有数学过程简捷、运算方便、物理概念清晰的特点。综合指数法有多种计算模式,本文采用加权综合模式,即根据评价因子的作用程度赋予其不同权重,然后计算其加权值。

具体评价过程如下:(1)划分评价区;(2)选定评价因子并确定其权重;(3)根据评价因子实测值及其

量化分级对评价因子进行赋值;(4)根据公式 1 分别计算各评价区的综合评价值;(5)依据可再生分级标准划分可再生等级。

$$P = \sum_{i=1}^n W_i R_i \quad (1)$$

式中, P 为综合评价值, P 值越大说明评价区的可再生性越强; W_i 为第 i 个评价因子的权重; R_i 为第 i 个评价因子的赋值; n 为二级评价因子数。

2.1 划分评价单元

重庆市主城岩溶区地热资源有天然温泉、浅钻井温泉(井深一般 < 500 m)、深钻井温泉(井深一般 1 200~2 500 m)、硐中温泉(煤硐、隧洞等)4 种类型。天然温泉与浅钻井温泉分布于各山地型高隆起背斜热储构造中段或近北、近南倾没端轴部,地形上主要为被河流横切背斜后形成的峡谷,峡谷分布面积 0.5~1.5 km²;深钻井温泉与硐中温泉分布于各山地型高隆起背斜热储构造两翼,地形上为山麓陡缓交替地带。不同类型的地热资源的可再生性差异较大,因此首先将评价区划分为温泉出露型和背斜两翼中深埋藏型两种类型。综合考虑区域含水系统的补径排特征、开采井分布及其对地下水流动系统的影响、河流切割背斜的地貌特征、背斜构造部位等,又将背斜两翼中深埋区划分为两翼中段、北段、南段等水文地质块段。据此,重庆市主城岩溶区 5 个山地型高隆起背斜热储一共划分为 30 个评价单元(图 2)。

2.2 评价因子及权重

地热资源的可再生性受多方面的因素影响,为克服以往一级评价中评价因子单一、主次不分的缺点,使评价结果更合理^[5-7],本文对影响因子进行分层选取,且评价因子分为两层,以避免分层过多导致的权重分配过小,主要因子作用不突出问题。评价因子的选取及其权重的确定对评价结果起到至关重要的作用。本文采用“德尔菲法”确定可再生性评价因子体系及权重^[8-10](表 1),特邀请水文地质、地热地质、岩溶学等专业的 15 名资深专家经过 2 轮独立的意见调查,然后进行汇总与统计分析,通过对可再生性影响因素的识别、类比、权衡及筛选,最后确定一级评价因子为地热水资源补给条件、循环条件、储存能力、动态变化特征、人类活动影响程度等 5 个。地热水补给条件决定了地热水资源的基本来源,充足的地下水补给量是地热水资源可再生性的根本保障;重庆地热水通过深循环获取热量,因此循环条件影响地热水资源的水量和热量补充;储存能力即赋存条件,反映了地热水资源的储存空间,储存空间越大,在一定时间内地热水资源的可开采量越大;动态变化特征反映了地热水资源量的稳定程度,动态变化越大,可再生程度越低;人类对地热水资源的开发利用和工程建设对地热

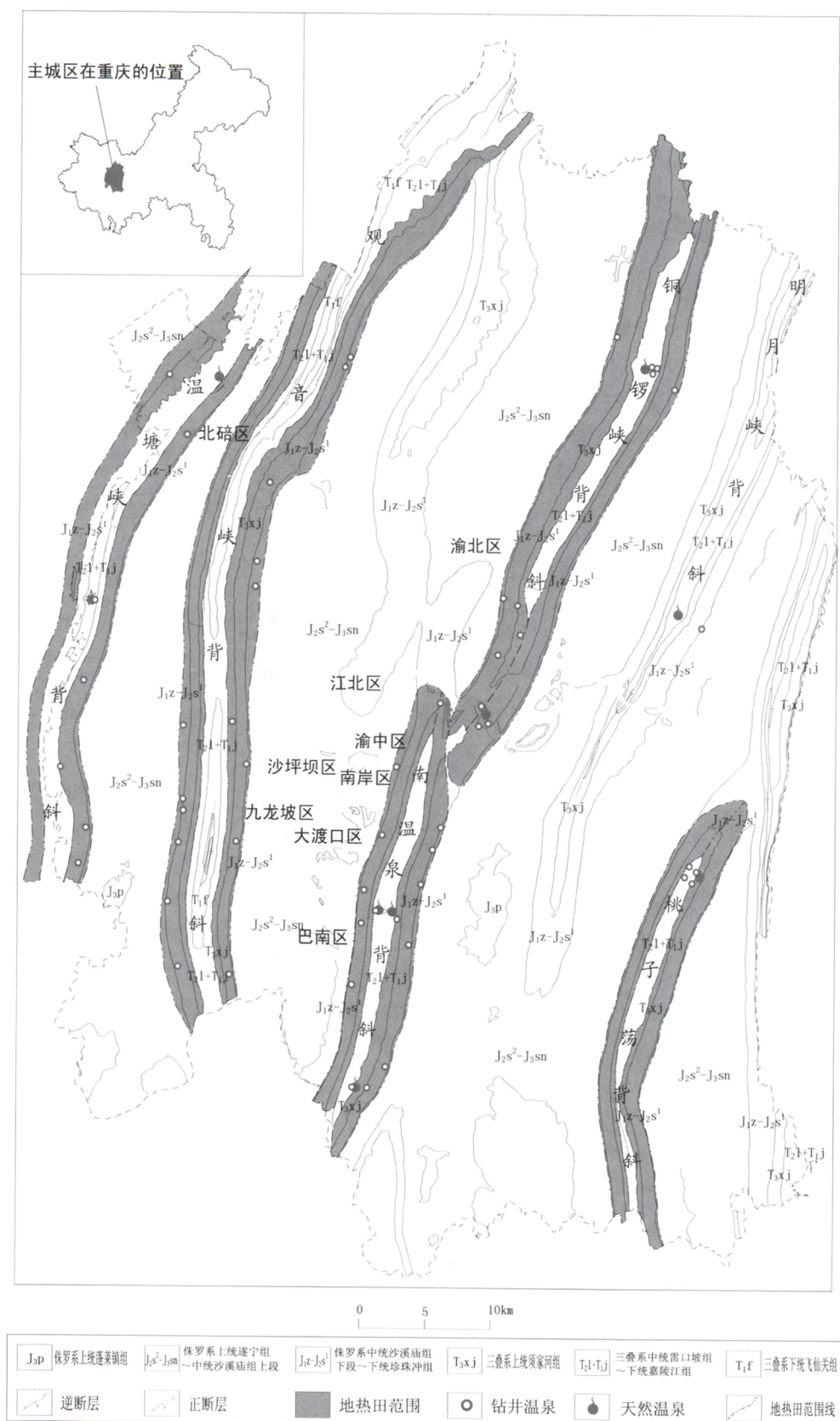


图 1 重庆主城岩溶区地热分布图

Fig. 1 Location of geothermal resources in the urban karst area of Chongqing

水的疏干是影响地热水资源可再生性的关键因素。考虑一级评价因子的主要影响因素及其可量化性,补给条件用入渗系数和汇水面积两个二级因子表征;循环条件用水力梯度和水位差两个二级因子来表征;储存能力用岩溶率、热储岩层倾角和热储厚度 3 个二级因子表征;动态变化特征用水温变幅、水质变幅和水量变幅 3 个二级因子表征;人类活动影响程度用疏干地热水量和疏干地热水温两个二级因子表征(表 1)。

2.3 二级评价因子分级

二级评价因子的指标量化分级采用四级逻辑分类法。通过对地热资源可再生性影响因子数据的统计分析,分别将二级评价因子划分为 4 个等级并赋值为 100、75、50、25 分。二级评价因子的各等级的取值是根据重庆市主城岩溶区地热水资源勘查资料、评价报告和研究成果以及多年的监测资料综合分析确定的,具体的分级与取值如表 2 所示。

表 1 评价因子及权值				
Table 1 Evaluation factors and weight value				
一级因子	权重	二级因子	权重	相对一级因子的权重
补给条件	0.3	入渗系数	0.6	0.18
		汇水面积	0.4	0.12
循环条件	0.2	水力梯度	0.5	0.10
		水位差	0.5	0.10
储存能力	0.2	岩溶率	0.5	0.10
		热储岩层倾角	0.3	0.06
		热储温度	0.2	0.04
动态变化特征	0.15	水温变幅	0.4	0.06
		水质变幅	0.2	0.03
		水量变幅	0.4	0.06
人类活动影响	0.15	疏干地热水量	0.4	0.06
		疏干地热水温	0.6	0.09

表 2 二级评价因子分级与赋值

Table 2 Grades and weight value of the second evaluation factors					一级因子	二级因子	取值范围	分级	赋值
一级因子	二级因子	取值范围	分级	赋值	一级因子	二级因子	取值范围	分级	赋值
补给条件	入渗系数 a	$a \geq 0.5$	好	100	储存能力	岩溶率 e /%	$e \geq 5$	好	100
		$0.3 \leq a < 0.5$	较好	75			$3 \leq e < 5$	较好	75
		$0.1 \leq a < 0.3$	中等	50			$1 \leq e < 3$	中等	50
		$a < 0.1$	差	25			$e < 1$	差	25
循环条件	汇水面积 b/km^2	$b \geq 100$	好	100	动态变化特征	热储岩层倾角 $f/^\circ$	$30 \leq f < 40$	好	100
		$50 \leq b < 100$	较好	75			$20 \leq f < 30$	较好	75
		$10 \leq b < 50$	中等	50			$10 \leq f < 20$	中等	50
		$b < 10$	差	25			$f < 10$ 或 $f \geq 40$	差	25
人类活动影响程度	水力梯度 c	$c \geq 0.5$	强	100	储存能力	热储厚度 g/m	$g \geq 400$	好	100
		$0.3 \leq c < 0.5$	较强	75			$300 \leq g < 400$	较好	75
		$0.1 \leq c < 0.3$	中等	50			$200 \leq g < 300$	中等	50
		$c < 0.1$	差	25			$g < 200$	差	25
人类活动影响程度	水位差 d/m	$d \geq 150$	强	100	动态变化特征	水温变幅 $h/^\circ\text{C}$	$h < 1$	稳定	100
		$100 \leq d < 150$	较强	75			$1 \leq h < 2$	较稳定	75
		$50 \leq d < 100$	中等	50			$2 \leq h < 5$	较大	50
		$d < 50$	差	25			$h \geq 5$	大	25
人类活动影响程度	疏干地热水量 $k/\text{万 m}^3/\text{d}$	$k < 0.1$	小	100	动态变化特征	水质变幅 $i/\%$	$i < 5$	稳定	100
		$0.1 \leq k < 0.5$	较小	75			$5 \leq i < 10$	较稳定	75
		$0.5 \leq k < 1.0$	中等	50			$10 \leq i < 20$	较大	50
		$k \geq 1.0$	大	25			$i \geq 20$	大	25
人类活动影响程度	疏干地热水温 $L/^\circ\text{C}$	$L < 25$	小	100	动态变化特征	水量变幅 $j/\%$	$j < 5$	稳定	100
		$25 \leq L < 30$	较小	75			$5 \leq j < 10$	较稳定	75
		$30 \leq L < 35$	中等	50			$10 \leq j < 15$	较大	50
		$L \geq 35$	大	25			$j \geq 15$	大	25

2.4 地热资源可再生性分级

将重庆市主城区地热资源可再生性按 100 分制划分为四级,即强可再生性、较强可再生性、中等可再生性、弱可再生性(见表 3)。

表 3 可再生性分级标准表
Table 3 Classification criteria for renewable geothermal resources

可再生性分级	强	较强	中等	弱
综合评价值	$m \geq 90$	$90 > m \geq 75$	$75 > m \geq 60$	$60 > m$

3 评价结果与分析

根据各区二级因子实际值(表 4),参照表 2 的分级和赋值,利用公式(1)计算得出各评价区的综合评价值,最后对照可再生性分级标准(表 3)即可得出各评价区的可再生级别。如北温泉出露区地热资源可再生性评价中(表 5),单因子评价价值最高的为入渗系数(13.5),最低为水质变幅(2.25),将 12 个单因子评价价值加和得出综合评价值为 69.50。对照可再生等级表,该区属中等可再生区。其余 29 个评价单元的评价结果如表 6、图 2 所示。

表 4 各评价单元二级因子取值
Table 4 Value of the second factors of each assessment unit

背斜	评价单元	补给条件		循环条件		储存能力			动态变化			人类活动	
		入渗系数 <i>a</i>	汇水面积 <i>b</i> /km ²	水力梯度 <i>c</i>	水位差 <i>d</i> /m	岩溶率 <i>e</i> /%	热储岩层倾角 <i>f</i> /°	热储厚度 <i>g</i> /m	水温变幅 <i>h</i> /℃	水质变幅 <i>i</i> /%	水量动态 <i>j</i> /%	疏干地热量 <i>k</i> /万 m ³ /d	疏干地热水温 <i>L</i> /℃
温塘峡	北段西翼	0.25	40	0.35	110	4.0	38	320	0.5	2.5	2.0	0.08	18
	北段东翼	0.4	80	0.30	130	3.5	25	350	0.5	2.0	3.5	0.08	20
	北温泉出露区	0.3	35	0.35	60	4.5	28	380	0.5	6.0	12	0.15	26
	中段西翼	0.2	30	0.40	120	3.0	24	355	0.5	3.0	3.0	0.30	25
	中段东翼	0.25	45	0.30	110	2.5	16	230	0.5	2.5	3.5	0.20	28
	青木关出露区	0.35	70	0.25	80	3.5	28	350	5.5	23	16	0.70	31
	南段西翼	0.05	40	0.20	60	4.0	25	375	1.0	5.5	5.5	0.25	26
	南段东翼	0.05	8	0.20	75	2.0	18	260	1.5	6.0	7.0	0.30	25
观音峡	北段西翼	0.80	120	0.60	60	7.5	35	420	0.5	4.0	3.0	0.20	25
	北段东翼	0.65	105	0.20	160	6.0	38	415	0.5	3.5	4.0	0.06	27
	中段西翼	0.70	150	0.35	120	4.0	25	380	2.0	10	12	1.00	40
	中段东翼	0.60	120	0.25	90	2.5	18	285	2.0	21	16	2.00	40
	猫儿峡出露区	0.45	70	0.20	75	2.0	16	260	1.0	13	11	0.60	32
铜锣峡	北段西翼	0.60	110	0.40	110	6.6	36	448	0.5	4.0	4.0	0.07	20
	北段东翼	0.55	120	0.35	130	6.0	38	485	0.5	4.0	3.5	0.30	19
	统景出露区	0.45	80	0.70	125	4.0	25	320	0.5	6.5	8.0	0.35	26
	中段西翼	0.70	140	0.25	70	5.5	36	415	1.5	5.0	6.5	0.60	27
	中段东翼	0.65	160	0.40	110	3.0	28	366	0.5	3.5	3.5	0.70	22
	铜锣峡出露区	0.40	45	0.30	130	3.5	28	410	0.5	3.0	3.0	0.08	20
南温泉	北段西翼	0.45	70	0.40	65	6.0	25	350	0.5	7.5	3.5	0.60	32
	北段东翼	0.45	80	0.15	75	4.0	25	380	0.5	7.0	3.0	0.80	20
	南温泉出露区	0.35	60	0.20	125	4.5	27	365	1.0	7.0	5.5	0.30	25
	中段西翼	0.70	180	0.35	120	4.0	25	450	0.5	3.5	3.5	0.60	26
	中段东翼	0.65	150	0.20	80	4.0	26	360	0.5	4.0	2.0	0.20	25
	桥口坝出露区	0.40	80	0.30	120	4.5	25	380	1.5	6.5	5.5	0.70	32
	南段西翼	0.05	8	0.15	75	2.0	28	270	1.0	6.0	5.5	0.15	21
	南段东翼	0.05	8	0.20	70	2.5	17	288	1.5	7.0	7.0	0.08	26
	东泉出露区	0.45	70	0.65	70	7.5	35	430	1.0	3.0	6.5	0.06	20
桃子荡	北一中段西翼	0.60	120	0.40	110	7.0	38	380	1.5	4.0	4.0	0.18	28
	北一中段东翼	0.80	105	0.40	130	7.5	36	430	0.5	3.5	3.0	0.06	19

表 5 北温泉温泉出露区地热资源可再生性评价

Table 5 The renewable evaluation on geothermal resources of North Springs outcrop area

一级评价因子 及权重	二级评价因子 及权重	二级评价因子值	评价赋值	单因子评价值
补给条件 (0.3)	入渗系数(0.18)	0.45	75	13.5
	汇水面积(0.12)	40	50	6.00
循环条件 (0.2)	水力梯度(0.10)	0.35	75	7.50
	水位差(0.10)	76	50	5.00
储存能力 (0.2)	岩溶率(0.10)	4	75	7.50
	热储岩层倾角(0.06)	28	75	4.50
	热储厚度(0.04)	360	75	3.00
动态变化特征 (0.15)	水温变幅(0.06)	0.8	100	6.00
	水质变幅(0.03)	6	75	2.25
	水量变幅(0.06)	12	50	3.00
人类活动影响 程度(0.15)	疏干地热水量(0.06)	0.15	75	4.50
	疏干地热水温(0.09)	26	75	6.75
综合评价值				69.50

表 6 地热资源可再生能力指数法评价结果统计表

Table 6 The statistical list of evaluation results to geothermal resources with renewability index

类型	可再生 性等级	评价单元 数/个	分布面积 /km ²	占各区评价 单元总数百 分比/%	占各区评价 总面积百分 比/%	评价区及其综合评价值
温泉出露型	强	0	0	0	0	
	较强	3	16.6	37.5	33.6	东温泉(85)、统景(79)、铜锣峡出露区(80)
	中等	3	19.7	37.5	39.9	北温泉(69)、南温泉(74)、桥口坝出露区(71)
	弱	2	13.1	25.0	26.5	青木关(59)、猫儿峡出露区(58)
	合计	8	49.4	100	100	
两翼 中深 埋藏型	强	5	280.0	22.7	25.9	观音峡背斜北段西、东翼(91、93)、铜锣峡背斜北段西、东翼(95、93)、桃子荡背斜东翼(91)
	较强	7	333.2	31.9	30.8	温塘峡背斜北段西、东翼(77、83)、铜锣峡背斜中段西、东翼(81、83)、南温泉背斜中段西、东翼(86、79)、桃子荡背斜西翼(88)
	中等	5	263.8	22.7	24.4	温塘峡背中段西、东翼(71、66)、观音峡背斜西翼中段(71)、南温泉背斜北段西、东翼(73、74)
	弱	5	204.5	22.7	18.9	温塘峡背斜南段西、东翼(59、50)、观音峡背斜东翼中段(59)、南温泉背斜南段西、东翼(54、52)
	合计	22	1081.5	100	100	

重庆主城区 30 个评价单元中有 5 个为强可再生区,分布面积及其所占评价区面积比例为 280 km²和 12.95 %;较强可再生区 10 个,其分布面积和占比为 349.8 km²和 32.2 %;中等可再生区 8 个,分布面积及其比重分别为 283.5 km²和 32.15 %;弱可再生区 7 个,其分布面积和面积占比为 217.6 km²、22.7 %。

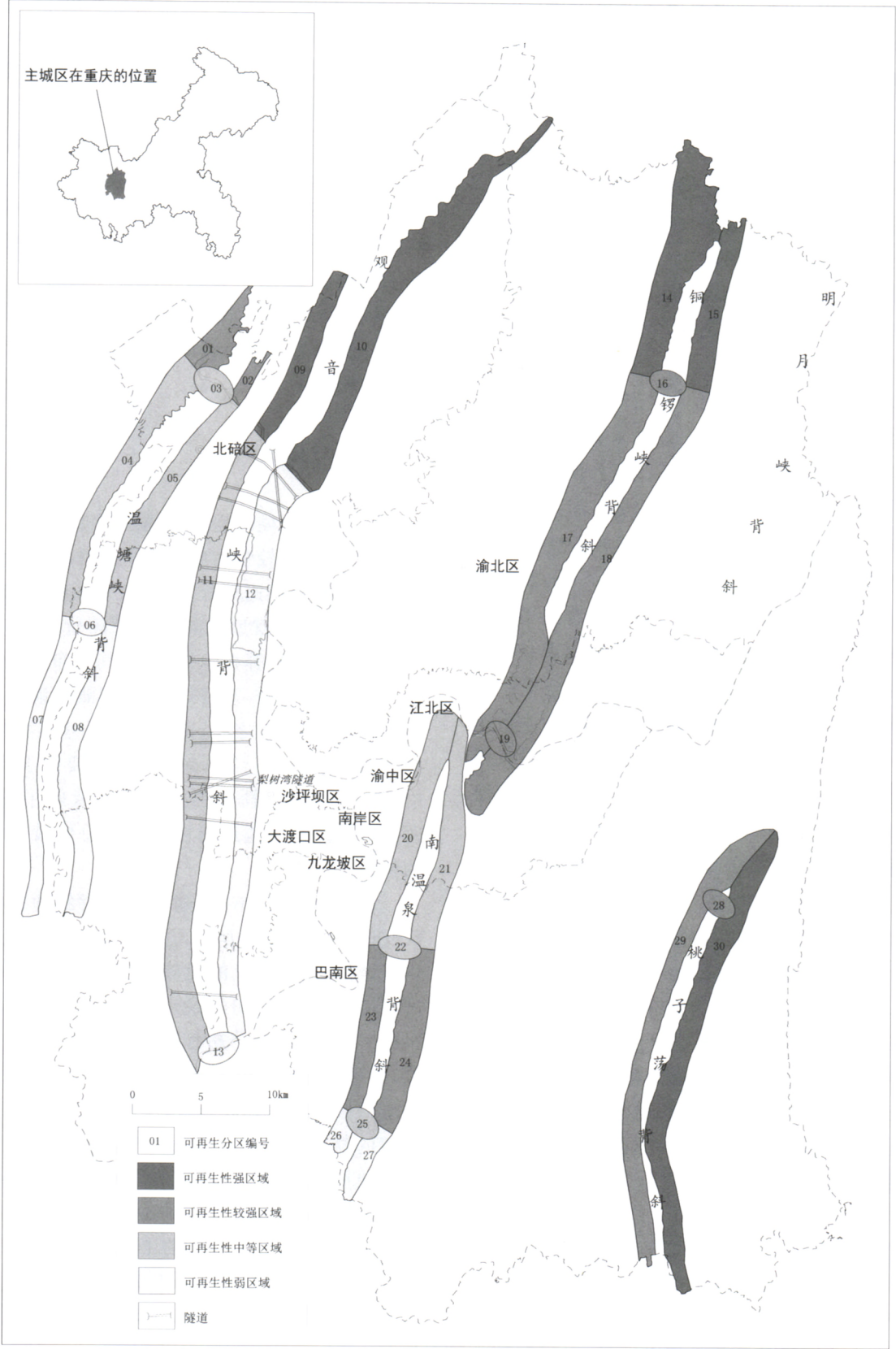


图 2 重庆主城区地热资源可再生性分区图

Fig. 2 Renewable zoning map of geothermal resources in the urban karst area of Chongqing City

可见,重庆主城区岩溶地热水资源可再生性总体上为较强~中等。温泉出露型地热资源的可再生性总体为中等~较强,综合评价价值介于 58~85 之间,其中,较强、中等和弱可再生区分别为 3、3 和 2 个,分布面积占比分别为 33.6%、33.95% 和 26.5%,没有强可再生区,较强可再生区均位于铜锣峡背斜和桃子荡背斜。两翼中一深埋藏型地热的综合评价价值介于 50~95 之间,强、较强、中等、弱可再生区分别为 5、7、5 和 5 个,分布面积占比分别为 25.9%、30.8%、24.4% 和 18.9%,强~较强可再生区主要位于背斜北段——如温塘峡背斜北段、观音峡背斜北段、铜锣峡背斜北段、桃子荡背斜北段,中等~弱可再生区主要位于背斜中段和南段——如温塘峡背斜中段和南段、观音峡背斜中段、南温泉背斜南段。两翼中深埋藏型地热的可再生性总体为较强~强。可见,两翼中深埋藏型地热资源可再生性总体上较温泉出露型强。从评价结果还可看出,不同背斜地热可再生性差别较大,如铜锣峡背斜的可再生性都为较强~强,而南温泉背斜的可再生性主要为中等~弱;同一背斜不同区段的地热可再生性差别也较大,相差等级都在一级以上,如温塘峡背斜北、中、南段的可再生性分属于较强、中等和弱,观音峡背斜北段为强可再生,但中段则为中等~弱可再生;同一背斜、同一区段的不同翼部的地热可再生性差异较小,通常为同一级别,如南温泉背斜北段、中段和南段的两翼,也有不属于一个级别的,如温塘峡背斜中段的东翼和西翼可再生性分别为弱和中等,桃子荡背斜北一中段的东、西翼分别为强和较强,但两翼间通常只相差一个级别。

重庆主城区温塘峡、观音峡、铜锣峡 4 大背斜北段地热田接近地热地下水系统的补给区,地势高,补给与循环条件较好(表 4),且处于主城区北部边缘,人类活动影响和水质、水量动态变化较小;而中段和南段相对处于区域地热地下水系统的径流、排泄区,地势较低,补给与循环条件较差,且靠近主城区核心区,地热水资源开发力度大、水质水量等动态变化也较大,因此可再生性较北段弱。南温泉背斜北段例外,其可再生性仅为中等,原因是南温泉背斜与铜锣峡背斜的地热田同处于一个地热水文地质单元,补给均来自铜锣峡背斜以北的华蓥山灰岩出露区,因此南温泉背斜两翼中深区地热田远离补给区,可再生性受上游地区开采情况影响,相对较弱,而其北段地热田又处于人类活动影响频繁地区,地热水开采量大,因此可再生性不强。桃子荡背斜的北一中段分布于重庆境内,位于区域地热地下水系统的径流、排泄区,地

势较低,补给与循环条件较好,且处于主城区东部边缘,人类活动影响和水质、水量动态变化较小,因此地热可再生性较强。另外,温泉出露区一般位于地形低洼处,为城镇所在地,易于开发,但水温偏低,水量偏小,随着地热水需求的增长,人们往往通过扩泉形式(钻浅井)达到增量的目的,从而使温泉水量逐渐变小甚至干涸断流,因此温泉出露区地热资源可再生性总体上较背斜两翼中深埋区弱。除东温泉、统景、铜锣峡温泉出露区补给与循环条件较好,储存能力较强,开采规模较小,因而资源可再生性较强外,其他温泉出露区或受补给与循环条件、储存能力的制约,或受地热开发和工程建设疏干地热水的影响,资源可再生性相对较弱。

4 结论与建议

(1)重庆主城区岩溶地热水资源可再生性总体上为较强~中等,较强和中等可再生性地热区分布面积占总评价区面积比例分别为 32.2% 和 32.15%。

(2)温泉出露型地热的综合评价价值介于 58~85 之间,以较强、中等再生性为主,其分布面积占比分别为 33.6%、33.95%;两翼中深埋藏型地热的综合评价价值介于 50~95 之间,以较强和强可再生性为主,分布面积占比 25.9% 和 30.8%,主要位于背斜北段,中等~弱可再生性地热主要位于背斜中段和南段。两翼中深埋藏型地热的可再生性总体较温泉出露型的强。

(3)根据评价结果,建议加强背斜两翼中深埋藏区北段的勘查开发力度,适当增加开采井数量及开采规模,促进温泉产业的发展;对于可再生性中等~弱可再生性地热区,如温泉出露区、背斜两翼中深埋藏区中一南段,则应严格控制开采规模,加强保护和监测,确保地热资源开发利用的可持续性和地区水资源环境的健康发展。此外,由于本文的评价是基于比较详细的温泉和地热钻井监测资料来进行,能比较真实地反映重庆主城区岩溶地热的可再生性,但在评价指标的选择、权重确定及分级赋值方面仍然存在一定的主观性。因此,在下一步的工作中应继续加强地质调查和开发利用过程的监测工作,不断修正和完善评价指标体系,改进评价方法,使评价的结果更加精细和准确。

致谢:感谢审稿专家和编辑部吴华英编辑与韦复才研究员对本文提出的宝贵建议。

参考文献

- [1] 罗祥康,曾云松.重庆市南温泉地下水热勘察报告[R].重庆市地矿局南江水文地质队,1978.
- [2] 罗祥康,蒲德良.重庆市小泉宾馆地下水热勘察报告[R].重庆市地矿局南江水文地质队,1986.
- [3] 葛文彬,刘俊贤,李廷强,等.四川岩溶地下水深循环研究[R].四川省地质调查院,2002.
- [4] 杨华林,刘邦显.重庆—中国温泉之都地热资源研究报告[R].重庆市地矿局南江水文地质队,2010.
- [5] 徐建国,马震,张涛.环渤海地区地下水资源与环境地质调查评价[R].山东省地质调查院,2001.
- [6] 何满潮,李启民.地热资源可再生利用研究[R].中国矿业大学(北京校区)力建学院,2003.
- [7] 李顺,王红旗,陈家军,等.环境影响二级模糊综合评价法的研究——以宋芳屯油田为例[J].水文地质工程地质,2002,(2):38—40.
- [8] 曾云松,周神波,程群,等.重庆市都市经济圈地热水资源可再生性研究[R].重庆市地矿局南江水文地质队,2010.
- [9] 王东,杨华云.重庆主城区地热水水质调查报告[R].重庆南江水文地质工程地质队,2008.
- [10] 杨华云,蒲德良.重庆市四大温泉组团地热水资源开采潜力调查报告[R].重庆南江水文地质工程地质队,2008.

Renewable assessment for geothermal resources in the karst area of Chongqing City

YANG Hua-lin, LI Ming-lun, ZHOU Shen-bo, YANG Sen

(Nanjiang Hydrogeological and Engineering Geology Team, Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration, Chongqing 401121, China)

Abstract: The geothermal resources of the main city of Chongqing karst area are mainly located in the layered heat storage structure of five anticlines. The geothermal fields are mainly in the limbs and south or north plunging ends of the anticlines. The Triassic Jialingjiang limestone is a heat reservoir, with overlying Xujiahe Formation and Jurassic strata, and with the marl of the Triassic Feixianguan Formation serving as the lower heat insulation layer. With increasing geothermal economic development and engineering construction, Chongqing City geothermal water resources renewability has been affected. In this paper, based on years of geothermal resource exploration and monitoring in Chongqing City, the five anticline reservoir structures in the karst area were divided into spring outcrops and deeply buried anticline, zones and the renewability of the geothermal resources was evaluated using the comprehensive index method. The results show that, the geothermal resources in the karst area can be classified as: 5 strong renewable, 10 moderately-strong, 8 moderate and 7 weak, comprising 12.95 %, 32.2 %, 32.15 % and 22.7 % by area, respectively, and shows a moderately-strong to moderate renewability overall. Moderately-strong and moderate renewable spring-type geothermal resources account for 33.6 % and 33.95 %, respectively, by area. Strong and moderately-strong renewable deeply buried resources account for 25.9 % and 30.8 % by area. Strong to moderately-strong renewable geothermal resources are mainly located in the northern anticline, moderate to weak renewable geothermal resources are found in the middle and southern anticlines. In general, deeply buried geothermal resources are more strongly renewable than spring-type resources. Therefore, this article suggests strengthening the exploration and development of geothermal water resources in the deeply buried area of the northern anticline limbs. At the same time, in order to ensure the sustainable utilization of geothermal resources, the scale of mining should be controlled in the moderate to weak renewable geothermal resources areas, the deeply buried anticline limbs areas in the south and the part - Hot Springs outcrop areas.

Key words: karst area; geothermal resources; anticline; renewable; evaluate; Chongqing

(编辑 吴华英 韦复才)