

河南省地热资源综合评价

黄光寿^{1,2}, 郭丽丽³, 黄凯³

(1. 河南省地质调查院, 郑州 450001;

2. 河南省城市地质工程技术研究中心, 郑州 450001;

3. 河南省地矿局第五地质勘查院, 郑州 450001)

摘要: 河南省地热资源类型按照所处的大地构造环境分为沉积盆地型和隆起山地型。计算结果表明, 沉积盆地地区 4 000 m 以浅储存的地热水总量为 $82\,063.23 \times 10^8 \text{ m}^3$, 储存热能总量为 $7\,734\,086.01 \times 10^{12} \text{ kJ}$ 。不考虑回灌时, 全省沉积盆地型地热可采流量为 $92\,223.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 可利用热能量 $196.6 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$; 考虑回灌时, 全省沉积盆地型地热流体可开采量 $5\,931\,841.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 可利用热能量为 $13\,003.47 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$ 。统计分析显示, 按地热流体可采量为 $92\,223.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 地热流体可开采热量 $196.46 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$ 计算, 即使按 50% 利用, 其经济效益也是十分可观的。另外, 地热开发可带动第三产业经济的发展, 产生的间接经济效益更加巨大。

关键词: 地热; 沉积盆地型地热; 隆起山地型地热资源; 地热水总量; 储存热能总量; 河南省

中图分类号: P314.3; TK521.2 **文献标识码:** A

1 地热资源类型

河南省地热资源类型按照所处的大地构造环境分为沉积盆地型和隆起山地型; 根据介质性质和地热水运移通道, 可分为孔隙型、溶隙型和裂隙型^[1]。

(1) 沉积盆地型地热资源

主要分布在黄淮海平原及山间盆地, 为我省主要地热资源类型, 可进一步划分为断陷盆地型和坳陷盆地型。其热储介质为松散砂、砂岩和碳酸盐岩, 呈层状, 地热水为孔隙水或隐伏岩溶水。此类地热资源, 因盖层中断裂不发育, 深大断裂往往构成地热田的边界。

沉积盆地型地热资源, 地表一般无地热显示, 无特殊热源, 地球内的热能通过传导方式传递到地表, 自恒温带以下温度随深度的增加而升高, 地温梯度一般为 $3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 左右, 凸起区一般大于凹陷区, 局部地区由于受靠近热源或受大量冷水活动影响, 地温

梯度存在异常。地温高异常主要受其底部的热源深浅、传导热水断裂位置及基底地形起伏状况的控制, 多分布于深大断裂交汇或发育部位。沉积盆地型地热资源千米深处地温一般 $42^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$, 局部地段(如: 许昌东部)千米深度达 60°C 左右。据石油勘探资料, 沉积盆地一般勘探深度超过 2 500 m 时, 地下热水的温度能达到 100°C 以上; 例如: 开 27 孔在 3 603 m 时获 105°C 的热水, 豫深 1 井在 3 500 m 时获 113.3°C 的热水等^[2]。

(2) 隆起山地型地热资源

主要分布在河南省西部隆起的基岩山区, 地表一般以温泉的形式显示。其热储介质由岩浆岩、变质岩和古生代沉积岩组成, 属基岩裂隙和溶洞溶隙型地热水, 隔水盖层不发育。热水通道主要是断裂及裂隙, 热源主要靠地下水深循环后沿断裂通道或溶隙裂隙对流传导, 有些断裂和裂隙将地壳深部的热水直接导出地表, 并与地表冷水混合形成温泉。

区域活动深大断裂常常是控热构造, 而深大断裂的次级断层和裂隙带往往形成导热构造。例如:

收稿日期: 2019-05-06; **改回日期:** 2019-07-11; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 中国地质调查局项目“河南省地热资源现状调查评价与区划”(编号: 水[2013]-01-029-006)资助。

作者简介: 黄光寿(1963—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水文地质环境地质研究工作。通信地址: 河南省郑州市高新技术开发区科学大道 81 号, 河南省地质调查院; 邮政编码: 450001; E-mail: 469650616@qq.com

鲁山县五大温泉均位于栾川—固始深断裂的次级断层——车村—下汤断裂的影响带,距车村断裂820~3 000 m不等,上、中、下汤及碱场温泉以10.5~11.5 km呈等间距出露。五大温泉既受控于车村断裂,也受控于北东向和北西向断裂;车村—下汤断裂是深部热源向上对流的主要通道,北东向和北西向断裂为导热构造,控制五大温泉的出露。

控热断裂带的断裂面比较陡或近于直立,特别是在两个断裂交叉的部位,常有热异常显示。如果远离传导热水的断裂带,或者断裂带的导水性能不好,往往没有热异常显示。如果在热异常断裂带的浅部,有大量冷水参与活动,则可降低热异常带的温度。例如:洛阳龙门温泉,实测断裂带中热水温度在43℃以上,断裂带上部因受伊河水的混合后,在伊河两岸涌出的温泉温度均在25℃左右,大大降低了原有的温度^[3]。

在受断裂控制的碳酸盐岩地区,区域地热梯度值变化较大,常介于0.4~6.0℃/100m。即便是同一地区也有悬殊的地热梯度值。例如:平顶山煤矿区,最高为5.5℃/100m,最低为0.84℃/100m。

隆起山地型地热资源热储生产热水能力(富水性)视具体的水文地质条件而定。灰岩溶洞裂隙热储,一般较大;以结晶岩为主的裂隙水区,生产能力较小。如果在热异常区断裂发育,裂隙开启性好,降水补给区面积大,或有较大的地表径流补给,基岩裂隙中往往也能获得较大的地热资源,鲁山县五大温泉就是很好的例证。

2 地热储存资源

由于隆起山地区地热资源主要受断裂控制,成因复杂,热储厚度难以界定,计算其储存资源量时均按1 km³体积,故在储存资源综合评价中,只对沉积盆地中新生界新近系和古近系及下古生界寒武—奥陶系进行评述。

计算结果表明,河南省沉积盆地区4 000 m以浅储存的地热水总量为82 063.23×10⁸ m³,储存热能总量为7 734 086.01×10¹² kJ。其中,新近系孔隙热储层储存地下热水量为46 914.92×10⁸ m³,所储存的热能为830 672.96×10¹² kJ;古近系孔隙热储层储存地下热水量为26 099.09×10⁸ m³,所储存的热能为1 514 143.99×10¹² kJ;下古生界溶蚀裂

隙热储层储存地下热水量为9 035.94×10⁸ m³,储存热能总量为5 387 486.45×10¹² kJ。

显然,河南省沉积盆地型地热资源由新近系热储层→古近系热储层→寒武—奥陶系热储层(由浅部至深部)的储存地下热水量减少,但热能量增多。因此,浅埋(4 000 m以浅)的碳酸盐岩热储是今后地热勘查开发的重点方向。

3 地热可采资源

3.1 全省地热可采资源

河南省地热水可采资源主要分布于沉积盆地,隆起山地成带(点)状分布。沉积盆地区,新生界在东明断陷、开封凹陷的郑州以东地段、菏泽凸起的范县—台前一带,可采资源模数>20×10⁸ kJ/km²·a,热水资源丰富;其次,在济源—开封凹陷的西段及灵三断陷一带,可采资源模数10~20×10⁸ kJ/km²·a,热水资源较丰富^[4-5];其它地区可采资源模数一般1~10×10⁸ kJ/km²·a。在永城一带,新生界可采地热资源模数<1×10⁸ kJ/km²·a,热水资源贫乏;下古生界热水资源在区内各地段变化不大,一般资源模数>10×10⁸ kJ/km²·a,仅在平舆凸起和驻马店凹陷内,资源模数<10×10⁸ kJ/km²·a,但资源分布深度深浅不一,其中在通许凸起和内黄凸起内埋藏相对较浅,开采条件相对较好。

河南省各地市区可采的地热资源量,如表1所述。

河南省不同温度可采地热资源量,如表2所述。

3.2 不同类型地热可采资源

统计分析显示,不考虑回灌时,河南全省地热可采流体量为92 223.93×10⁴ m³/a,可利用热能量196.46×10¹² kJ/a,折合标准煤670.35×10⁴ t/a。其中,沉积盆地型地热可开采流体量91 654.68×10⁴ m³/a,可利用热能量为195.51×10¹² kJ/a,折合标准煤667.11×10⁴ t/a;隆起山地型地热可开采流体量569.25×10⁴ m³/a,可利用热能量为0.95×10¹² kJ/a,折合标准煤3.24×10⁴ t/a。考虑回灌时,河南全省沉积盆地型地热流体可开采量5 931 841.92×10⁴ m³/a,可利用热能量为13 003.47×10¹² kJ/a,折合标准煤44 369.86×10⁴ t/a。其中,新生界地热流体可开采量2 467 988.61×10⁴ m³/a,可利用热能量为3 783.80×10¹² kJ/a,

表 1 河南省各地市区可采地热资源总汇

Table 1 Accumulation of minable geothermal resources in urban areas of Henan province

行政区	热储	沉积盆地			隆起山地			合计		
		热水量 ($10^4\text{m}^3/\text{a}$)	热能量 ($10^8\text{kJ}/\text{a}$)	折合标煤 ($10^4\text{t}/\text{a}$)	热水量 ($10^4\text{m}^3/\text{a}$)	热能量 ($10^8\text{kJ}/\text{a}$)	折合标煤 ($10^4\text{t}/\text{a}$)	热水量 ($10^4\text{m}^3/\text{a}$)	热能量 ($10^8\text{kJ}/\text{a}$)	折合标煤 ($10^4\text{t}/\text{a}$)
郑州	N	785.49	12105.96	4.13				785.49	12105.96	4.13
	新生界 E	482.30	17200.49	5.87				482.3	17200.49	5.87
	小计	1267.79	29306.45	10.00				1267.79	29306.45	10.00
	下古生界	1690.99	44722.89	15.26	21.9	281	0.1	1712.89	45003.89	15.36
	合计	2958.78	74029.34	25.26	21.9	281	0.1	2980.68	74310.34	25.36
安阳	N	1087.76	8630.48	2.94				1087.76	8630.48	2.94
	新生界 E	534.56	11193.52	3.82				534.56	11193.52	3.82
	小计	1622.32	19824.00	6.76				1622.32	19824	6.76
	下古生界	3082.57	70820.55	24.17				3082.57	70820.55	24.17
	合计	4704.89	90644.55	30.93				4704.89	90644.55	30.93
鹤壁	N	163.67	1373.52	0.47				163.67	1373.52	0.47
	新生界 E	144.68	1955.31	0.67				144.68	1955.31	0.67
	小计	308.35	3328.83	1.14				308.35	3328.83	1.14
	下古生界	809.60	22457.95	7.66				809.6	22457.95	7.66
	合计	1117.95	25786.78	8.80				1117.95	25786.78	8.80
新乡	N	3388.02	38629.71	13.18				3388.02	38629.71	13.18
	新生界 E	4103.72	132466.54	45.20				4103.72	132466.54	45.20
	小计	7491.74	171096.25	58.38				7491.74	171096.25	58.38
	下古生界	2062.41	65441.53	22.33				2062.41	65441.53	22.33
	合计	9554.15	236537.78	80.71				9554.15	236537.78	80.71
濮阳	N	4815.28	46266.25	15.79				4815.28	46266.25	15.79
	新生界 E	2726.90	73704.74	25.15				2726.9	73704.74	25.15
	小计	7542.18	119970.99	40.94				7542.18	119970.99	40.94
	下古生界	2577.81	62104.79	21.19				2577.81	62104.79	21.19
	合计	10119.99	182075.78	62.13				10119.99	182075.78	62.13
焦作	N	41.40	658.37	0.22				41.4	658.37	0.22
	新生界 E	2972.70	71597.54	24.43				2972.7	71597.54	24.43
	小计	3014.10	72255.91	24.65				3014.1	72255.91	24.65
	下古生界									
	合计	3014.10	72255.91	24.65				3014.1	72255.91	24.65
济源	N									
	新生界 E	240.15	5772.09	1.97				240.15	5772.09	1.97
	小计	240.15	5772.09	1.97				240.15	5772.09	1.97
	下古生界				30	542.44	0.19	30	542.44	0.19
	合计	240.15	5772.09	1.97	30	542.44	0.19	270.15	6314.53	2.16
开封	N	3153.33	30045.94	10.25				3153.33	30045.94	10.25
	新生界 E	792.85	25187.51	8.59				792.85	25187.51	8.59
	小计	3946.18	55233.45	18.85				3946.18	55233.45	18.85
	下古生界	6034.43	186743.43	63.72				6034.43	186743.43	63.72
	合计	9980.61	241976.88	82.57				9980.61	241976.88	82.57
商丘	N	4355.61	40696.15	13.89				4355.61	40696.15	13.89
	新生界 E	232.79	7688.34	2.62				232.79	7688.34	2.62
	小计	4588.40	48384.49	16.51				4588.4	48384.49	16.51
	下古生界	11181.62	242100.84	82.61				11181.62	242100.84	82.61
	合计	15770.02	290485.33	99.12				15770.02	290485.33	99.12
许昌	N	1915.80	18072.75	6.17				1915.8	18072.75	6.17
	新生界 E	193.43	2839.13	0.97				193.43	2839.13	0.97
	小计	2109.23	20911.88	7.14				2109.23	20911.88	7.14
	下古生界	3300.90	105079.51	35.85				3300.9	105079.51	35.85
	合计	5410.13	125991.39	42.99				5410.13	125991.39	42.99

(接上表):

漯河		N	385.75	4163.68	1.42				385.75	4163.68	1.42
	新生界	E	633.62	9333.55	3.18				633.62	9333.55	3.18
		小计	1019.37	13497.23	4.61				1019.37	13497.23	4.61
		下古生界	1535.57	52079.98	17.77				1535.57	52079.98	17.77
		合计	2554.94	65577.21	22.38				2554.94	65577.21	22.38
平顶山		N	173.80	1640.83	0.56				173.8	1640.83	0.56
	新生界	E	710.63	7213.67	2.46				710.63	7213.67	2.46
		小计	884.43	8854.50	3.02				884.43	8854.5	3.02
		下古生界	1422.03	48287.87	16.48	276.68	3890.76	1.33	1698.71	52178.63	17.81
		合计	2306.46	57142.37	19.50	276.68	3890.76	1.33	2583.14	61033.13	20.83
周口		N	2563.04	27614.71	9.42				2563.04	27614.71	9.42
	新生界	E	2671.05	39180.20	13.37				2671.05	39180.2	13.37
		小计	5234.09	66794.91	22.79				5234.09	66794.91	22.79
		下古生界	8934.24	283403.65	96.70				8934.24	283403.65	96.70
		合计	14168.33	350198.56	119.49				14168.33	350198.56	119.49
驻马店		N	1500.30	13833.45	4.72				1500.3	13833.45	4.72
	新生界	E	1628.59	17022.83	5.81				1628.59	17022.83	5.81
		小计	3128.89	30856.28	10.53				3128.89	30856.28	10.53
		下古生界	2346.11	51023.73	17.41				2346.11	51023.73	17.41
		合计	5475.00	81880.01	27.94				5475	81880.01	27.94
信阳		N	37.04	297.78	0.10				37.04	297.78	0.10
	新生界	E									
		小计	37.04	297.78	0.10				37.04	297.78	0.10
		下古生界	201.50	1631.33	0.56	19.33	294.68	0.1	220.83	1926.01	0.66
		合计	238.54	1929.11	0.66	19.33	294.68	0.1	257.87	2223.79	0.76
三门峡		N	1185.09	9233.31	3.15				1185.09	9233.31	3.15
	新生界	E	693.13	11280.62	3.85				693.13	11280.62	3.85
		小计	1878.22	20513.93	7.00				1878.22	20513.93	7.00
		下古生界				12.47	195.02	0.07	12.47	195.02	0.07
		合计	1878.22	20513.93	7.00	12.47	195.02	0.07	1890.69	20708.95	7.07
洛阳		N									
	新生界	E	933.91	11871.53	4.05				933.91	11871.53	4.05
		小计	933.91	11871.53	4.05				933.91	11871.53	4.05
		下古生界				175.07	4065.14	1.39	175.07	4065.14	1.39
		合计	933.91	11871.53	4.05	175.07	4065.14	1.39	1108.98	15936.67	5.44
南阳		N									
	新生界	E	1228.52	20427.39	6.97				1228.52	20427.39	6.97
		小计	1228.52	20427.39	6.97				1228.52	20427.39	6.97
		下古生界				33.8	218.28	0.07	33.8	218.28	0.07
		合计	1228.52	20427.39	6.97	33.8	218.28	0.07	1262.32	20645.67	7.04
累计		N	25551.38	253262.89	86.42				25551.38	253262.89	86.42
	新生界	E	20923.53	465935.00	158.98				20923.53	465935	158.98
		小计	46474.91	719197.89	245.40				46474.91	719197.89	245.40
		下古生界	45179.78	1235898.05	421.71	569.25	9487.31	3.24	45749.03	1245385.36	424.95
		合计	91654.69	1955095.94	667.11	569.25	9487.31	3.24	92223.94	1964583.25	670.35

表 2 河南省不同温度可采地热资源总汇

Table 2 Accumulation of geothermal resources minable at different temperatures in Henan province

热储	温度范围(℃)	地热流体可开采量(10 ⁴ m ³ /a)	地热流体可开采热量(10 ⁸ kJ/a)	折合标煤(10 ⁴ t/a)
沉积盆地型	25—40	16926.00	125159.54	42.70
	40—60	31018.45	453074.81	154.60
	60—90	10828.05	279025.18	95.21
	90—150	32882.18	1097836.42	374.60
	合计	91654.68	1955095.95	667.11
隆起山地型	25—40	92.5	360.66	0.12
	40—60	124.86	1650.65	0.56
	60—90	267.79	4714.17	1.61
	90—150	84.1	2761.83	0.94
	合计	569.25	9487.31	3.24
累计		92223.93	1964583.26	670.35

表 3 河南省各热储介质可利用地热资源量总汇

Table 3 Accumulation of geothermal resources available from varios reervoirs in Henan province

热储层			热水量 (10 ⁴ m ³ /a)	热能量 (10 ¹² kJ/a)	折合标准煤 (10 ⁴ t/a)
热储类型	时代	构造单元			
层状孔隙热储	N	沉积盆地	25551.38	25.33	86.42
	E		20923.53	46.59	158.98
	小计		46474.91	71.92	245.40
	占全省可利用资源比例%		50.39	36.61	36.61
溶蚀裂隙热储	下古生界	沉积盆地	45179.77	123.59	421.71
		隆起山地	278.82	0.47	1.58
		小计	45458.59	124.06	423.29
	占全省可利用资源比例%		49.29	63.15	63.15
基岩裂隙热储	其它	隆起山地	290.43	0.48	1.66
	占全省可利用资源比例%		0.31	0.24	0.24

折合标准煤 $12\,910.91\times10^4\text{ t/a}$;下古生界寒武-奥陶系地热流体可开采量 $3\,463\,853.30\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能量为 $9\,219.68\times10^{12}\text{ kJ/a}$,折合标准煤 $31\,458.95\times10^4\text{ t/a}$ 。

3.3 不同热储介质可开采资源(不考虑回灌)

(1)层状孔隙热储可开采资源

包括新生界新近系、古近系。其可开采热量 $46\,474.91\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能量为 $71.92\times10^{12}\text{ kJ/a}$,折合标准煤 $245.40\times10^4\text{ t/a}$ 。该类热储可利用热能量占全省可利用热能总量的35.43%。

(2)碳酸盐岩溶蚀裂隙热储可开采资源

碳酸盐岩溶蚀裂隙热储主要指下古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩。其可开采热量 $45\,458.59\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能量为 $124.06\times10^{12}\text{ kJ/a}$,折合标准煤 $421.71\times10^4\text{ t/a}$ 。其中,沉积盆地古生界寒武-奥陶系可利用热能量为 $123.59\times10^{12}\text{ kJ/a}$,该类热储占全省可利用热能总量的62.91%。

(3)其它基岩裂隙热储可开采资源

其它基岩裂隙热储主要指岩浆岩、变质岩类。可开采热水总量为 $290.43\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能

量为 $0.48\times10^{12}\text{ kJ/a}$,折合标准煤 $1.66\times10^4\text{ t/a}$ 。该类热储可利用热能量占全省可利用热能总量的0.24%。

河南省不同介质可利用地热资源总汇,如表3所述。

河南省不同介质类型热储地热资源构成比例,如图1所示。

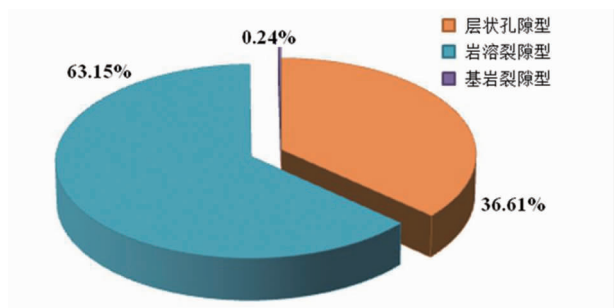


图 1 河南省不同介质热储类型地热资源量构成

Fig. 1 Composition of geothermal resources of different reservoirs types in Henan province

4 地热资源环境效益评估

地热能是节能环保的新型可再生能源,资源储量大、分布广,具有洁净、廉价、易开采、用途广等特点。其开发利用发展前景广阔,市场潜力巨大。积极开发利用地热能,对调整能源结构、保证国家资源安全、促进国家节能减排战略目标的实现有非常重要的意义。

据计算统计分析结果表明,按河南省地热流体可采量为 $92\,223.93\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 、地热流体可开采热量 $196.46\times10^{12}\text{ kJ/a}$ 计算,折合标准煤 $670.35\times10^4\text{ t/a}$,即使按 50%利用地热,其经济效益也是十分可观的。另外,地热开发可带动第三产业经济的发展,产生的间接经济效益更加巨大。

河南省 18 个地市均有不同程度地热资源开发,现主要用于洗浴、生活休闲等。地热水中富含多种对人体有益的微量元素、化学组分,比如:偏硼酸、偏硅酸、溴、碘、锶等;很多地区的地热水中微量元素达到医疗价值的浓度或医疗矿水浓度标准,比如:汝州温泉镇、栾川潭头汤池寺、鲁山五大温泉、陕县温塘温泉等,其温泉水中锂、锶、锌、偏硅酸、偏硼酸、氟等有益组分含量较高,对人体皮肤病、运动系统、消化系统、神经系统等多种疾病具有一定疗效,具有独特的医疗保健作用^[6-8]。此外,地热开发还可以带动房地产、旅游、服务等行业经济的发展和提供大量人员的就业机会,社会效益显著。

开发地热可减少常规能源需求,减少废气、废渣排放,有效改善生态环境。河南省通过地热资源开发利用可产生的预估经济社会环境效益,如表 4 所述。

表 4 河南省地热资源经济社会环境效益评估
Table 4 Evaluation of economic, social and environmental benefits of geothermal resources in Henan province

项目	量单位	数量
地热流体可开采热量	10^8 kJ/a	1964583.26
折合标准煤	10^4 t/a	670.35
CO ₂ 气体减排量	10^4 t/a	1587.39
SO ₂ 气体减排量	10^4 t/a	11.40
烟尘减排量	10^4 t/a	4.02
粉尘减排量	10^4 t/a	5.36
固体废弃物减排量	10^4 t/a	67.04

5 结语

(1)河南省地热资源类型按照所处的大地构造环境分为沉积盆地型和隆起山地型;根据介质性质和地热水运移通道,可分为孔隙型、溶隙型和裂隙型。

(2)河南省沉积盆地区 4 000 m 以浅储存的地热资源热水总量为 $82\,063.23\times10^8\text{ m}^3$,储存热能总量为 $7\,734\,086.01\times10^{12}\text{ kJ}$ 。其中,在新近系孔隙热储层中储存地下热水量为 $46\,914.92\times10^8\text{ m}^3$,储存的热能量为 $830\,672.96\times10^{12}\text{ kJ}$;古近系孔隙热储层储存地下水量为 $26\,099.09\times10^8\text{ m}^3$,储存的热能量为 $1\,514\,143.99\times10^{12}\text{ kJ}$;下古生界溶蚀裂隙热储层储存地下热水量为 $9\,035.94\times10^8\text{ m}^3$,储存热能总量为 $5\,387\,486.45\times10^{12}\text{ kJ}$ 。

(3)不考虑回灌时,河南省地热可采流量为 $92\,223.93\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能量 $196.46\times10^{12}\text{ kJ/a}$;考虑回灌时,沉积盆地型地热流体可开采量 $5\,931\,841.92\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$,可利用热能量为 $13\,003.47\times10^{12}\text{ kJ/a}$ 。

(4)统计分析数据显示,按河南省地热流体可采量为 $92\,223.93\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 、地热流体可开采热量 $196.46\times10^{12}\text{ kJ/a}$ 计算,折合标准煤 $670.35\times10^4\text{ t/a}$,即使按 50%利用地热,其经济效益也是十分可观的。

参考文献:

[1] 河南省地质调查院. 河南省地热资源现状调查评价与区划[R]. 郑州:河南省地质调查院,2014.

[2] 王现国,张慧,张娟娟. 开封凹陷区地热水水化学特征及同位素分析[J]. 安全与环境工程,2012,19(6):88-92.

[3] 汪集旻,马伟斌. 地热利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[4] 张心勇,马传明. 开封凹陷区地温场特征分析[J]. 工程勘察,2009(10):44-49.

[5] 齐玉峰. 河南省开封凹陷区地热田地热资源分析[J]. 西南科技大学学报,2009,24(3):75-78.

[6] 胡静,涂良权,刘会平. 河南省九龙山汤池温泉地热地质特征及成因机制[J]. 地质科技情报,2012,31(4):86-90.

[7] 高晓,景金明,杨书民,等. 济源市省庄地热区地质条件及成因特征[J]. 地质找矿论丛,2007,22(3):228-231.

[8] 田庭山,李明朗. 中国地热资源及开发利用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.

Comprehensive evaluation of geothermal resources in Henan province

HUANG Guangshou^{1,2}, GUO Lili³, HUANG Kai³

(1. Henan Geological Survey Institute, Zhengzhou 450001, China;

2. Henan Urban Geological Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450001, China;

3. The Fifth Geological Exploration Institute of Henan Geological and Mineral Bureau, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: According to the geotectonic environment, the geothermal resources in Henan province can be divided into sedimentary basin type and uplift mountain type. The calculated result is that the total amount of geothermal water stored above 4 000 m in sedimentary basin area is $82\,063.23 \times 10^8 \text{ m}^3$, and the total amount of thermal energy $7\,734\,086.01 \times 10^{12} \text{ kJ}$. Regardless of recharge, the minable geothermal water volume of the basin type in whole Henan province is $92\,223.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ with usable thermal energy of $196.46 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$. In consideration of recharge the total minable geothermal water volume is $5\,931\,841.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ with usable geothermal energy of $13\,003.47 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$. Statistically, if the availability of the energy is 50% economic benefit of the minable geothermal water volume of $92\,223.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ with usable thermal energy of $196.46 \times 10^{12} \text{ kJ/a}$ is rather considerable. In addition, geothermal development can promote the development of the third industrial economy, resulting in greater indirect economic benefits.

Key Words: geothermal resources; sedimentary basin-type geothermal resources; uplift mountain-type geothermal resources; total geothermal water; total thermal energy storage; Henan province