

地热资源综合评价方法

曹 阳

施尚明 李雪英

王玉华 王桂萍

(大庆石油管理局测井公司)

(大庆石油学院石油勘探系)

(大庆石油管理局测井公司)

摘 要

曹阳, 施尚明, 王玉华等. 地热资源综合评价方法. 测井技术, 2000, 24(增): 511~ 514

在对松辽盆地北部某地区地热资源储层特征进行全面分析的基础上, 确定出井口温度和单井自然产能的计算模型, 并分别计算了有钻井污染、无钻井污染、压裂以及电泵抽汲状态下的单井日产能。根据砂体的发育情况、物性特点、地温条件、水性条件、自然产能预测量对各资源层进行综合评价。

关键词: 地热储集层 资源评价 产能预测 地热井

ABSTRACT

Cao Yang, Shi Shangming, Wang Yuhua, et al. Comprehensive Evaluation Method of the Geothermal Resources. WLT, 2000, 24(Suppl): 511- 514

Based on the analysis of the reservoir characteristics of the geothermal resources in a north area of Songliao Basin, the mathematical model is determined for calculating the wellhead temperature of the geothermal water and its single well water-producing capacity under various conditions, such as drilling pollution, no drilling pollution, fracturing and electric pump swabbing, etc. At last, the sand body thickness, salinity of formation water, porosity, permeability, the geothermal temperature and the daily natural geothermal water-producing capacity are considered in detail so as to evaluate the geothermal reservoirs comprehensively.

Subject Terms: geothermal reservoir resources assessment productivity forecast
geothermal well

引 言

地热, 通常指那些能够经济地为人类所开发和利用的地球内部的热资源。松辽盆地作为中国5大地热资源分布区, 从面积上看是中国最大的地热区; 从地热背景上看, 大地热流背景值相对较高, 地温梯度也比较高; 从沉积类型上看, 盆地内发育了河流和三角洲成因的巨大砂体。该盆地已有多口探井在试水时自溢40以上的地热水, 并且长期具有稳定产能, 预示着良好的地热勘探前景。本文提出了一种在未测试的情况下预测单井产能和井口温度, 并进行地热资源综合评价的方法。

地热资源储层特征

1 地热资源储层电性特征

松辽盆地北部地热资源储层的岩性以泥质粉砂岩、粉砂岩、中细砂岩为主, 好的地热资源储层的电性特征是高时差、低密度、高中子孔隙度、中高电阻率、自然电位异常幅度大的地层。

2 地热资源储层物性特征

(1) 孔隙度、渗透率平面分布特征

依据岩心分析及测井解释的孔隙度值, 取各井资源层的平均值, 描绘了资源层的孔隙度和渗透率等值线图(见图1、图2)。由于孔隙度、渗透率受原始沉积条件以及后期成岩作用的控制, 平面分布各层差异很大。从平面上看该区北部物性较好, 西南边缘物性较差。

(2) 孔隙度、渗透率垂向分布特征

该地区 3 个主力资源层物性差异很大, 姚家组平均孔隙度在 20% ~ 29% 之间, 平均渗透率在 $(50 \sim 400) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 物性相对较好; 青二、三段平均孔隙度在 22% ~ 30% 之间, 平均渗透率在 $(50 \sim 450) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 是物性最好的资源层; 泉三、四段平面非均质性较强, 平均孔隙度在 12% ~ 26% 之间, 平均渗透率在 $(1 \sim 400) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 物性相对较差。

地热水单井产能预测

1 地热水单井自然产能预测模型

地热水单井自然产能是各热水层产能的总和, 即

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

式中 Q ——单井日产热量, m^3/d ;

q_i ——单层日产热量, m^3/d ;

n ——热水层个数。

在研究中, 计算单层热水产能时, 采用常用的产量计算公式——裘皮公式

$$q = \frac{542.871 \cdot K \cdot h (P_i - P_{wf})}{B \cdot \mu (\ln \frac{r_i}{r_w} + S)} \quad (2)$$

式中 q ——热水层日产量, m^3/d ;

K ——渗透率, μm^2 ;

h ——热水层厚度, m ;

P_i ——原始地层压力, MPa ;

P_{wf} ——井底流动压力, MPa ;

B ——体积系数, m^3/m^3 ;

μ ——地下热水粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

r_i ——影响半径, m ;

r_w ——井筒半径, m ;

S ——表皮系数。

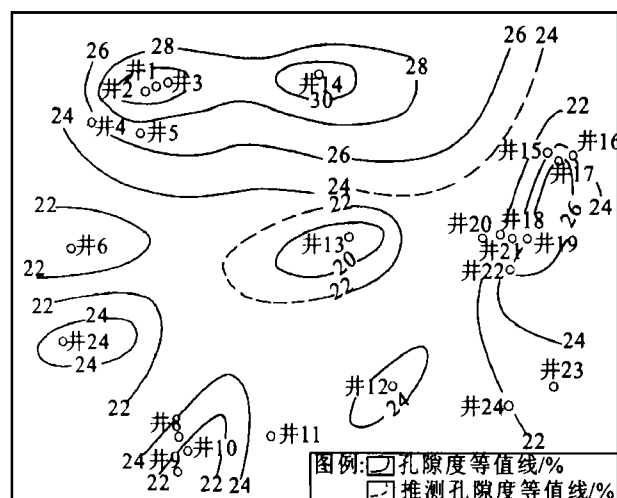


图 1 青二、三段孔隙度等值线图

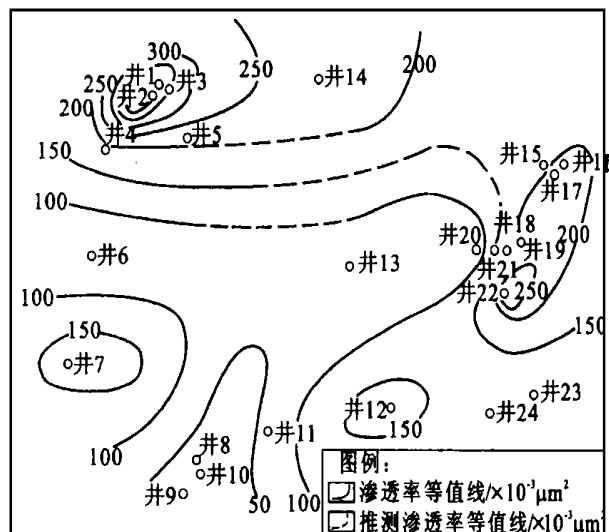


图 2 青二、三段渗透率等值线图

表 1 地热水自然产能/ $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$

井号	姚二、三段	姚一段	青二、三段	青一段	泉四段	泉三段	泉一、二段	登娄库	合 计
井 13	114 66	120 36	508 95	6 959	2 90	1 59			755 42
井 14	253 08	194 41	973 34	48 72	106 0	38 3	6 877		1620 76
井 19	165 26	77 432	619 67	3 440	51 82	12 9	1 333		931 91
井 22	354 12	34 717	935 45	2 879	98 26	7 31			1432 43
井 15	301 68	94 367	734 23						1130 28
井 17	179 16	10 826	990 60	26 74					1207 33
井 11	892 4	1042 7	504 8		52 0	11 6			2503 5
井 1			590 05	67 39	134 2	27 6	13 98	0 48	834 7
井 12	206 73	110 19	277 53	21 46	5 15	3 36	2 89	0 24	627 5
井 10	109 88	60 608	300 39		0 12	0 66			471 67
井 2		458 55	989 56	21 06	116 7				1595 5

2 计算方法及结果讨论

以上各参数确定之后, 代入公式(2), 便可以求得单井各热水层的产能, 各层再累加便得到单井日产能。计算结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 该地区探井钻遇地层较全, 多数井区有较高的自然产能。若用一定的技术和设备来改善开采条件可以获得更高的产能, 使多数井区具有较高的商业价值。

由于各参数选取时的误差可能造成单井产能预测值与实际产量的误差摆动。造成参数误差的原因是多样的, 如预计开井时间的误差, 测井解释时确定水层厚度的误差以及其它参数取值时造成的误差等。但从总体上看, 计算结果与实际情况是基本吻合的, 如井 10 萨尔图、葡萄花油层 1 334.4~ 1 419.4 m 井段, 经溢流求产, 日产水 177.6 m³, 而计算结果是两个油层组的产能合计为 170.488 m³, 表明产能预测的精度较高。

3 重点井的单井产能计算

研究中把该区井 1、井 10、井 11、井 13 共 4 口井作为重点井, 分别计算了有钻井污染、无钻井污染、压裂以及电泵抽汲状态下的单井日产能。

地热水井井口温度计算

1 理论依据

依据管道工程中的舒霍夫公式^[1]

$$T_x = T_0 + (T_H - T_0) \cdot \exp(a \cdot L) \quad (3)$$

式中 T_x ——水的终点温度, ;

T_H ——水的起点温度, ;

T_0 ——管道周围的介质温度, ;

L ——管道长度, m;

a ——常数。

2 影响井口温度的主要因素

(1) 地温场的地温梯度

地温梯度实际上控制着井底水的温度和水向上流动散热过程中的周围介质温度。地温梯度的高低决定是否有可能利用地热能。

(2) 水在井筒的流动速度

高速流动的水热量散失少, 可获得较高的井口温度。

(3) 地下岩石的导热系数

导热系数是表明井筒周围介质散热能力的参数。岩石导热系数越低, 热量散失越少, 井口温度越高。

地热资源储层综合评价

1 评价参数

选择了 7 项定量指标参与资源层综合评价。这 7 项参数有:

砂体厚度 用于资源量计算和单井产能计算的重要参数, 厚度越大越有利;

地下温度 衡量地温场特征的重要参数, 越高越好;

孔隙度 计算资源量的重要参数, 越大越好;

渗透率 计算产能的重要参数, 越大越好;

矿化度 是评价温泉洗浴、饮用、保健的指标。在一个特定范围内最有利;

单井产能和井口温度 是反映地热资源实用价值的关键参数, 越高越好。

2 评价标准

表 2 地热资源层综合评价参数分类表

指 标	泉三、四段			青二、三段			姚家组		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
地下温度/	> 90	80~ 90	< 80	> 70	60~ 70	< 60	40~ 50	35~ 40	< 35
砂体厚度/m	> 100	80~ 100	< 80	> 160	120~ 160	< 120	> 60	50~ 60	< 50
孔隙度/%	> 22	22~ 18	< 18	> 24	24~ 18	< 18	> 24	24~ 18	< 18
渗透率/ $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	> 200	100~ 200	< 100	> 200	100~ 200	< 100	> 200	100~ 200	< 100
矿化度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	< 3000	3000~ 4000	> 4000	< 3000	3000~ 4000	> 4000	< 3000	3500~ 3000	> 3500
单井产能/ $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$	> 300	200~ 300	< 200	> 500	300~ 500	< 300	> 500	300~ 500	< 300
井口温度/	> 80	60~ 80	< 60	> 60	50~ 60	< 50	> 50	45~ 50	< 45

针对不同资源层的不同特点,分3类分别给出每个资源层各项参数的标准范围(见表2)。这一标准仅适用于该地区。

3 评价结果

根据表2中所列参数标准,分3个资源层进行分类评价。虽然只选7项参数,但对某一口井某一层,其7项参数都同时属于同一类的却很少见。其好、差所根据归类原则为:

(1) 某口井的7项参数标准中有4项以上归入某一类时,则将这一井段定义为这类资源层。

(2) 当有同等数量参数项分别属2个类别的标准时,则按单井产能的标准分类。若单井产能不在其中,则按井口温度标准分类。

(3) 如果出现某资源层7项参数缺项时,按获得项数最多的类别归类。

根据上述评价标准和评价原则,整个评价过程可由计算机来完成。通过对区内各井逐层进行综合分类评价,得到各资源层各井区的归类。

泉三、四段资源层没有I类的井;归入II类的井有井1~井4、井13、井14等井区;其余井区都是III类资源区。

青二、三段资源层归入I类资源层有10口井,其余井区都是II类资源区。

姚家组资源层归入I类资源层的有北部的2个大

的井区。该区南部及西南部3个井区均属于II类资源区。

结 论

1. 该地区有泉三、四段、青二、三段、姚家组3套主要地热水资源层,广泛分布的曲流河砂体、三角洲分流河道砂体、三角洲前缘砂体十分有利于地热水的储存。砂体分布趋势和物性变化规律表明,砂体发育地区正是物性相对较好的地区。储层有利区位于工区北部和凹陷东北部。

2. 广大的砂岩分布区巨厚的砂层、良好的孔渗性,使得该地区内多数井区具有较高的自然产能。用一定的技术和设备来改善开采条件可以获得更高的产能,使多数井区具有较高的商业价值。从产能上讲,总的来说,工区北部优于南部。

参 考 文 献

- 1 曲慎扬 原油管道工程 北京:石油工业出版社,1991
- 2 方祖康等 松辽盆地北部滨北地区早期评价 大庆石油学院,1994
- 3 罗哲潭等 油层物理 科技出版社,1985
- 4 张洪济 热传导 北京:北京高等教育出版社,1992

(收稿日期:2000-11-21 本文编辑 高宝善)

《测井技术》编辑部声明

1. 随着《测井技术》杂志学术影响的日益扩大,本刊已被国内外多家科技期刊数据库、文摘收录检索。这里,我们对全体作者深表感谢!今后,凡作者不同意其文章被收录、检索者,请赐稿时附以说明,因为本刊所付稿酬中均已含有数据库、文摘的收录检索稿费。

2. 投稿时请注明:

该文章研究内容是否是国家级、省部级或其它基金资助项目;

该文章或研究项目曾获何种奖励及其推广应用等。

《测井技术》编辑部

作 者 简 介

张美玲 高级工程师, 1967 年生。1989 年毕业于西安电子科技大学应用数学系, 在大庆石油管理局测井公司从事测井方法研究及软件开发与应用。发表过多篇专业论文和译文*。(电话: 0459-5693129)

王 鹏 工程师, 1963 年生。1986 年毕业于大庆研究院职工大学石油地质专业, 现在从事地层倾角、成像测井解释与方法研究工作*。(电话: 0459-5693129)

李晓辉 工程师, 1969 年生。1991 年毕业于大庆石油学院测井专业, 现从事测井解释及其方法研究, 具有含钙砂泥岩薄互层及低电阻率油层解释经验*。(电话: 0459-5693129)

于亚娄 工程师, 1966 年生。1990 年毕业于大庆石油学院测井专业, 现从事测井解释方法研究、测井软件开发工作*。(电话: 0459-5693842)

朱有清 工程师, 1967 年生。1990 年毕业于大庆石油学院测井专业, 从事测井解释及研究工作, 在读博士研究生*。(电话: 0459-5693129)

汪爱云 助理工程师, 1974 年生。1996 年毕业于大庆石油学院勘探系矿场地球物理专业, 现从事测井解释及其方法研究*。(电话: 0459-5693842)

杜宗君 工程师, 1963 年生。1982 年毕业于重庆石油学校, 主要从事测井资料处理解释和方法研究工作, 现为石油大学(华东)应用地球物理专业硕士研究生*。

张宏兵 工程师, 1968 年生。1990 年毕业于成都理工学院勘查地球物理专业, 现在大庆测井公司绘解计算站从事测井资料综合解释及应用研究工作*。(电话: 0459-5692405)

曹 阳 高级工程师, 1968 年生。1989 年毕业于大庆石油学院测井专业, 1993 年毕业于哈尔滨工业大学应用数学专业, 获硕士学位。现从事测井资料解释及方法研究工作*。(电话: 0459-5693129)

刘 江 高级工程师, 1961 年生。1984 年毕业于黑龙江大学数学系, 1986 年在华东石油学院勘探系进修。现从事测井资料处理解释及其方法研究工作*。(电话:

5693842)

宫旭东 工程师, 1966 年生。1988 年毕业于中国地质大学地质系。现从事测井解释及地质研究工作*。(电话: 0459-5693847)

马维泉 工程师, 1966 年生。1989 年毕业于西安电子科技大学计算机及应用专业, 现从事计算机网络维护及系统管理工作*。(电话: 0459-5692475(办) 0459-6867161(宅))

敖德逵 工程师, 1971 年生。1992 年毕业于西北大学地质系石油及天然气地质专业。现从事测井解释工作*。(电话: 0459-5686198)

孙利国 工程师, 1971 年生。1993 年毕业于江汉石油学院矿场地球物理专业。现在大庆测井公司从事测井资料的解释和研究工作*。(电话: 0459-5693129)

王宏建 工程师, 1964 年生。1989 年毕业于大庆石油学院测井专业。一直从事测井解释和测井解释方法研究工作。现任大庆测井公司绘解计算站副站长*。(电话: 0459-5696403)

金卫东 1989 年毕业于吉林大学数学系, 一直从事测井引进软件的维护与开发工作*。

刘维林 工程师, 1968 年生。1990 年毕业于吉林大学数学系, 现从事测井方法研究和软件开发工作*。(电话: 0459-5693842)

王秀琴 工程师, 1967 年生。1990 年毕业于西安电子科技大学计算机及应用专业, 现从事计算机系统和网络维护管理工作*。(电话: 0459-5692475(办) 0459-6864010(宅))

韩喜玲 工程师, 1966 年生。1989 年毕业于吉林工学院计算机专业, 一直从事计算机硬件维护和软件开发工作*。(Email: hanxiling@cj dq cnpc com. cn)

方士军 工程师, 1986 年毕业于西北电讯工程学院计算机应用专业, 一直从事计算机系统及网络维护*。(电话: 0459-5692475)

* 黑龙江省大庆市大庆石油管理局测井公司绘解计算站 邮编: 163412