

# ② 储层温度对阿尔奇公式参数的影响

88-91  
邓少贵 边瑞雪 范宜仁 刘兵开<sup>✓</sup> 张立鹏  
(石油大学·山东) (胜利油田测井公司)

## 摘 要

邓少贵,边瑞雪,刘兵开等.储层温度对阿尔奇公式参数的影响.测井技术,2000,24(2):88~91

泥质砂岩电阻率、视地层因素、视胶结指数、电阻率增大系数、视饱和度指数均与温度有关。岩石电阻率随温度的升高而减小;泥质砂岩的视地层因素、视胶结指数 $m_a$ 随温度的升高而增大;泥质砂岩的视电阻率增大系数 $I_a$ 、饱和度指数 $n_a$ 随温度的升高而减小;泥质砂岩视地层因素与地层水电阻率有关,随地层水矿化度升高而增大。

关键词: 地层温度 阿尔奇公式 参数 地层因素 胶结系数 电阻率 泥质含量  
实验室试验

## ABSTRACT

Deng Shaogui, Bian Ruixue, Liu Bingkai, et al. The Effect of Reservoir Temperature on the Parameters of Archie Formula. WLT, 2000, 24(2): 88-91

Resistivity apparent formation factor, apparent cement exponent, resistivity index and apparent saturation exponent of shaly sands are related to temperature. The rock resistivity decreases with the increase of temperature. The apparent formation factor and the apparent cement index  $m_a$  increase with the increase of temperature. The apparent resistivity index  $I_a$  and the apparent saturation exponent  $n_a$  decrease with the increase of temperature. The apparent formation factor increases with the increase of the salinity of formation water.

Subject Terms: formation temperature Archie formula parameter formation factor  
cementation factor resistivity shale content laboratory testing

## 引 言

阿尔奇公式一直是依据测井资料评价地层含油性的重要关系式之一,其中的各个参数(以下简称阿尔奇参数)一般由实验室岩电实验获得,常规实验一般采取室温 25℃。对于含高矿化度地层水、泥质含量低的地层,根据阿尔奇实验结果,地层因素 $F$ 与地层水电阻率无关,只取决于地层的岩性和孔隙度;电阻率增大系数 $I$ 只与岩石的含油饱和度 $S_o$ 有关<sup>[1]</sup>。有研究结果表明,对于泥质含量较高的地层, $m$ 指数虽然称为胶结指数,但它并不仅仅是地层胶结程度的反映,还与地层温度、压力等多种因素有关;在压力不变的情况下,温度

升高,胶结指数增大,而且低孔隙度岩心样品的胶结指数的增量高于高孔隙度样品<sup>[2]</sup>。对于含泥质岩石,胶结指数、饱和度指数还受到岩石阳离子交换容量、地层水电阻率等因素的影响<sup>[3]</sup>。因此测井精细解释应注意各方面的影响。本文主要讨论阿尔奇参数与地层温度的关系。

## 实验内容

### 1. 岩样采集及岩样选取

采用某油田泥质含量不等的岩样若干,岩性特征为:岩心胶结良好,孔隙度分布范围为 13%~24%,其有效粘土浓度( $Q_v$ )的变化范围为 0.065 96~0.777

$\text{g} \cdot \text{eq/L}^*$ 。

## 2. 实验过程

(1) 岩心采集, 岩样预处理(洗油、洗盐、烘干)。

(2) 饱和盐水: 采用抽真空、高压饱和装置使岩样饱和浓度为  $3\,000 \sim 150\,000 \text{ mg/L}$  的  $\text{NaCl}$  溶液。首先对岩样抽真空 5 h 以上, 然后加压饱和 10 h 以上, 取出存放于盛有饱和溶液的容器中备用。

(3) 测量过程: 实验温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 测量围压为 10 MPa, 在给定温度条件平衡 20~30 min 后测量电阻率。

## 实验结果与分析

### 1. 岩石电阻率与温度的关系

饱和溶液浓度为  $3\,000 \sim 150\,000 \text{ mg/L}$ , 饱含水岩样电阻率随温度变化关系如图 1 所示。可以看出随着矿化度的增大, 饱含水岩样的电阻率  $R_0$  将减小, 随着温度的升高  $R_0$  也有规律地减小。根据实验,  $R_0$  与温度  $T$  回归关系式如下

$$R_0 = A_1 + A_2 \times e^{-\frac{T-T_0}{t}} \quad (1)$$

$A_1$ 、 $A_2$  与饱和溶液矿化度有关, 且随饱和溶液矿化度的增加而降低。 $T_0$  取室温  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 而  $t$  约取  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从式(1)可以得到岩石电阻率随温度变化的变化率

$$\text{d}R_0/\text{d}T = -\frac{A_2}{t} e^{-\frac{T-T_0}{t}} \quad (2)$$

从式(2)及图 1 看出, 随岩石所含溶液矿化度的增高, 温度对岩石电阻率的影响减弱。

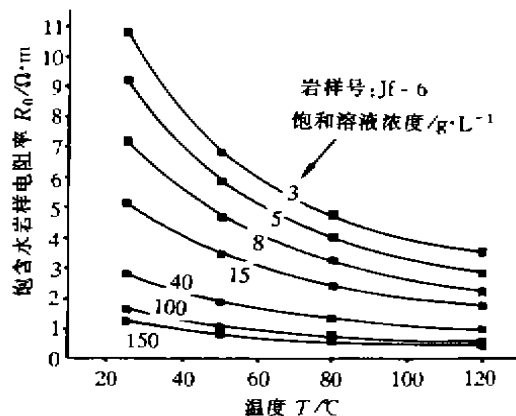


图 1 不同浓度饱含水岩样电阻率与温度的关系图

### 2. 不同温度下岩石电阻率与溶液电阻率的关系

泥质砂岩的导电性主要取决于地层水电阻率和岩石所含泥质的附加导电性<sup>[4]</sup>。地层水电阻率与温度有关, 随温度的升高而降低。在已知矿化度的情况下, 地层水电阻率  $R_w$  的估算可以通过图版法求得, 也可以通过下列公式<sup>[5]</sup>计算得到

$$R_{w_2} = R_{w_1} \cdot [(T_2 + 21.5)/(T_1 + 21.5)] \quad (3)$$

式中,  $R_{w_1}$  为  $T_1$  温度下溶液的电阻率;  $T_1$  一般为实验室温度, 通常取  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。应用公式(3)即可求出不同温度下地层水电阻率  $R_{w_2}$ 。

研究发现, 随溶液电阻率的增大, 饱含水岩样电阻率  $R_0$  增大。岩样电阻率  $R_0$  随溶液电阻率  $R_w$  变化的规律与泥质含量、岩样温度有关。泥质含量较低时, 不同温度下  $R_0$  和  $R_w$  关系曲线差别较小, 为近似直线(见图 2-1), 这说明对于纯岩石来说, 其导电性主要取决于饱和溶液的电阻率,  $R_0/R_w$  基本与温度无关, 因而胶结指数  $m$  与温度、地层水矿化度基本无关。当泥质含量升高时, 不同温度下  $R_0$  和  $R_w$  关系曲线差别较大(见图 2-2), 这是由于泥质的附加导电性随温度的升高而

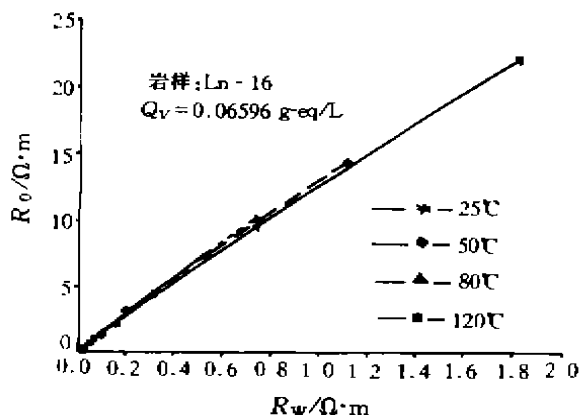


图 2-1 不同温度下岩石电阻率与溶液电阻率的关系

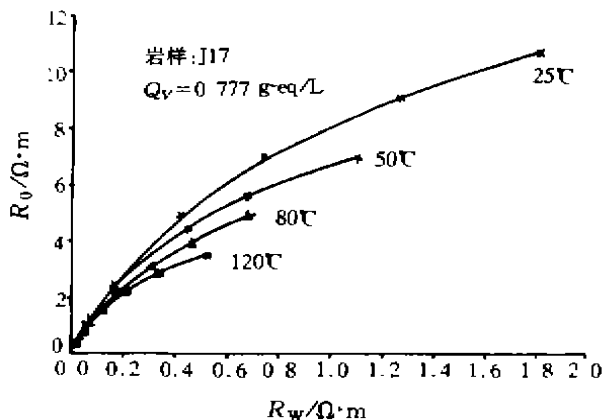


图 2-2 不同温度下岩石电阻率与溶液电阻率的关系

\* 非法定计量单位,  $1 \text{ g} \cdot \text{eq/L} \approx 1 \text{ mol/L}$  个离子价数

明显增强造成的,泥质含量越高,温度影响越明显。这与文献[6]结论相近。

### 3. 岩样在 $T$ 和 $25^{\circ}\text{C}$ 时电阻率比值与温度关系

(1) 浓度不同时,岩样在  $T$  和  $25^{\circ}\text{C}$  时电阻率比值与温度的关系

岩样电阻率的比值  $R_{0,T}/R_{0,25^{\circ}\text{C}}$  随着温度的增加而减小。在同一温度下,泥质含量较低时,这个比值基本与饱和溶液的矿化度无关(见图 3-1);泥质含量较高时,随饱和溶液矿化度的增加岩样电阻率比值增加(见图 3-2),说明在一定的矿化度范围内,地层水矿化度较低时,泥质附加导电性的影响更加明显。

(2) 浓度相同时,电阻率比值与温度的关系

泥质含量不同,岩样电阻率比值与温度的关系有一定差异。 $Q_V$  值相差不多且数值较低时,岩样电阻率比值几乎在同一条曲线上变化(见图 4-1);如果  $Q_V$  值较高且相差较大,关系曲线差异明显(见图 4-2),同一温度下,由于泥质附加导电性的影响,较大的  $Q_V$  值对应较小的电阻率比值。

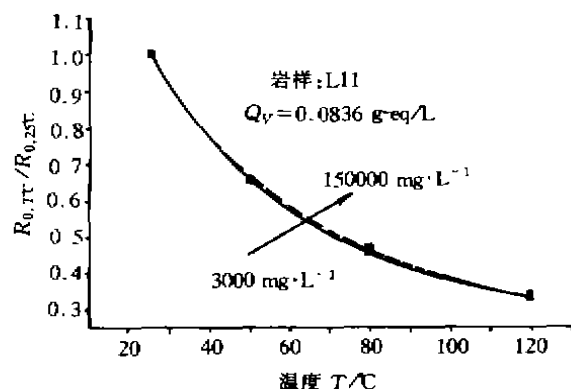


图 3-1 不同浓度岩样电阻率比值与温度的关系

### 4. 泥质砂岩视地层因素与地层水矿化度、温度的关系

如果定义泥质砂岩的视地层因素为

$$F_v = R_0/R_w = \alpha/\phi^m \quad (4)$$

式中  $F_v$ ——视地层因素;

$R_0$ ——饱含水的泥质岩石电阻率;

$R_w$ ——地层水电阻率;

$\alpha$ ——与岩性有关的比例系数;

$m$ ——泥质岩石的视胶结指数。

实验发现(见图 5),泥质砂岩视地层因素与地层水矿化度有关,它随地层水矿化度降低而降低,这是泥质附加导电性造成的<sup>[4]</sup>。当溶液矿化度较低时,不同温度下的关系曲线分开明显,随温度的升高,地层因素增大(实验采用的岩样的泥质含量较低,故变化不大),固定岩性系数  $\alpha$ ,由此得出泥质砂岩视胶结指数  $m$ ,随温度的升高而增大。因此在利用实验室常温测量得到的阿尔奇参数时需考虑地层水矿化度和地层温度的影响。

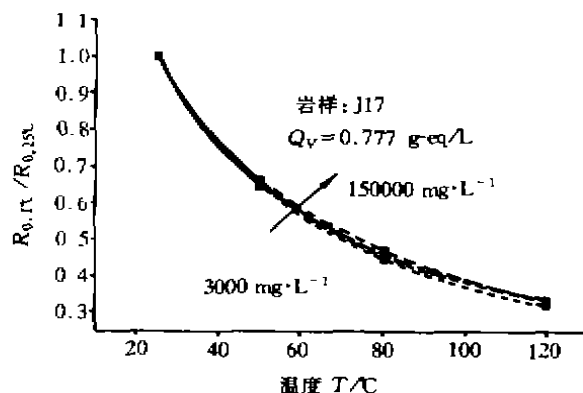


图 3-2 不同浓度岩样电阻率比值与温度的关系

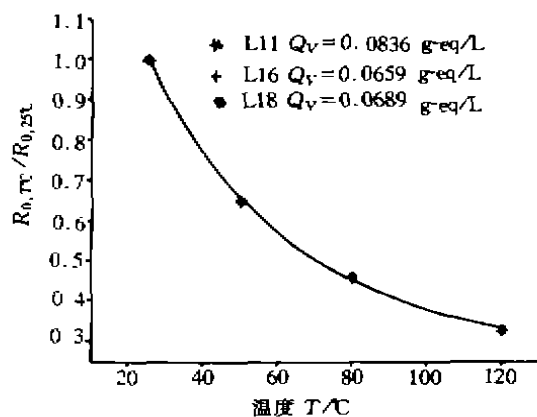


图 4-1 浓度为 3 000 mg/L 时电阻率比值与温度的关系

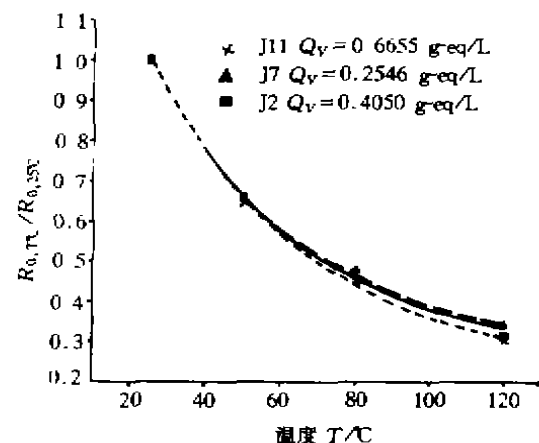


图 4-2 浓度为 3 000 mg/L 时电阻率比值与温度的关系

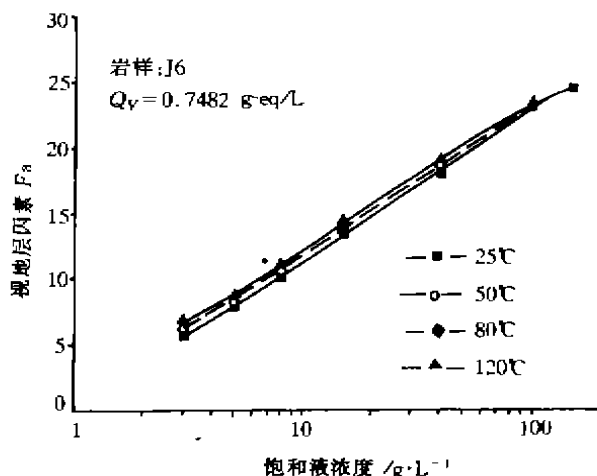


图5 视地层因素与温度、溶液浓度的关系

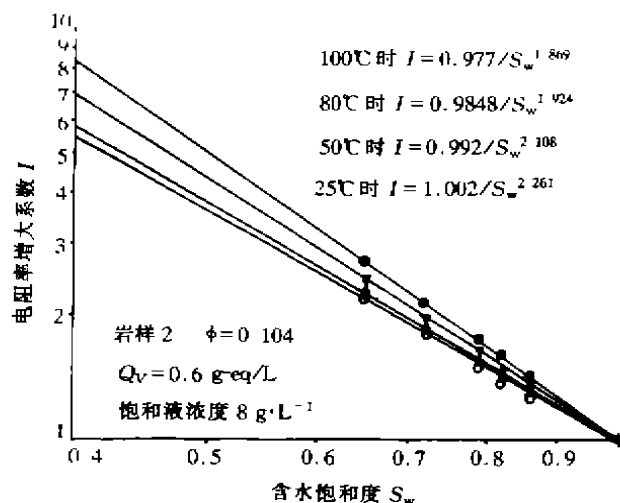


图6 温度对电阻率增大系数与饱和度关系的影响

### 5. 温度对电阻率增大系数与含水饱和度关系的影响

定义泥质砂岩的视电阻率增大指数<sup>[4]</sup>为

$$I_v = R_i / R_0 = S_w^{-n_v} \quad (5)$$

式中,  $I_v$  为视电阻率增大指数,  $R_i$  为岩石电阻率,  $R_0$  为饱含水岩石电阻率, 并根据上式计算岩样的视电阻率增大指数和视饱和度指数  $n_v$ 。根据实验结果(见图6), 当温度由 25℃ 升至 100℃ 时, 岩石视电阻率增大指数  $I_v$  及视饱和度指数  $n_v$ 、岩性指数  $b$  均随温度的升高而减小; 饱和度指数由 25℃ 时的 2.261 降至 100℃ 的 1.869, 岩性系数由 1.002 降至 0.977, 而变化幅度相对较小, 因此, 在利用实验室的室温条件下, 测得泥质砂岩电阻率指数、视饱和度指数  $n_v$  及计算饱和度的关系式计算地下原油储量时, 应考虑地层温度的影响, 用视饱和度指数  $n_v$  而不用  $n$ , 并对其进行适当的校正。

## 结 论

1. 岩石电阻率随温度的升高而减小; 不同温度下  $R_i$  和  $R_w$  关系曲线差别较大, 地层水电阻率增大, 泥质砂岩受温度的影响较明显, 即泥质的附加导电性随温度的升高而明显增强。

2. 岩心的电阻率的比值  $R_{0,T}/R_{0,25℃}$  随着温度的增加将减小; 电阻率比值曲线的分开程度与泥质含量有关, 泥质含量增加该比值减小。

3. 泥质岩石的视地层因素的大小不仅与岩样的孔

隙度  $\phi$ 、胶结程度、孔隙形状有关, 而且随温度的升高而增加, 随饱和溶液矿化度升高而增大。

4. 泥质岩石的视胶结指数  $m_v$  与温度有关, 随温度的升高而升高。

5. 泥质岩石的视胶结指数  $m_v$  同时与地层水矿化度、泥质含量有关。

6. 泥质岩石的视电阻率增大系数  $I_v$ 、饱和度指数  $n_v$  与温度有关, 随温度的升高而减小。

特别感谢李树晶同学为本文所做的基础工作。

### 参 考 文 献

- 1 Archie G E. The Electrical Resistivity Log as  $A_v$ ,  $A_m$  indetermning Some Reservoir Characteristics. In: *Trans. AIME*, 1942; Vol. 146; P54-67
- 2 毛志强. 油藏条件下饱和度测井解释基础实验、理论和应用研究. 北京勘探院博士论文, 1995
- 3 范宜仁等. 低矿化度条件下的泥质砂岩阿尔奇参数研究. 测井技术, 1997, 21(3): 200~204
- 4 Waxman M H and Smits L J M. Electrical Conductivities in Oil Bearing Shaly Sands. *SPE Journal*, June 1968
- 5 Schlumberger. Log Interpretation Charts. 1989
- 6 Waxman M H and Thomas F C. Electrical Conductivity in Shaly Sands. 1. The Relation Between Hydrocarbon Saturation and Resistivity Index. I. Temperature Coefficient of Electrical Conductivity. Paper SPE 4049, Presented at 47th Annual Fall Meeting, San Antonio, Tex., Oct. 8-11, 1972(preprint)

(收稿日期: 1999-09-26 本文编辑 缪文芳)