

# 克拉玛依油区高矿化度 重碳酸钠型水的发现与特征

王仲侯 张淑君

(新疆石油管理局勘探开发研究院, 克拉玛依 834000)

在准噶尔盆地西北缘克拉玛依油区的凤城油田、玛北油田的石炭系、二叠系及三叠系下部发现了矿化度高达 150g/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 型水(按苏林分类), 是迄今为止准噶尔盆地地层水矿化度最高者, 水化学特征首先是硼(B)含量高达 1700~2300mg/L, 是国内外文献中尚未见到的。其次是 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量非常高, 占水中阴离子总量的 56%~88%, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 高达 31~39g/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 高达 14~36g/L, 相应的 Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 含量皆小于 0.1g/L, 与高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水同时产出的原油密度变化较大, 为 0.789~0.895g/cm<sup>3</sup>。此水压力高, 沿断裂从内部上升与早期形成的 CaCl<sub>2</sub> 型水混合形成中高矿化度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水, 见于八区二叠系、三叠系油藏的古边水区。高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水的成因, 推测是在地壳深部, 由成因不明的高压力、高浓度的 CO<sub>2</sub> 气体进入水中形成的。根据发现点的分布, 可能与深层潜伏的深断裂有关, 并和轻质原油(密度<0.84g/cm<sup>3</sup>)的分布带基本一致。

关键词 克拉玛依油田 油田水 重碳酸钠型

第一作者简介 王仲侯 男 56 岁 高级工程师 油田水文地质

克拉玛依油田是新中国成立以来第一个发现的大油田。1954 年进行了 1:100000 比例尺的地面地质调查, 1955 年 7 月 6 日部署在南黑油山背斜轴部的克 1 井开钻, 当年 10 月 29 日在该井 487.5~507.5m 三叠系井段试油喷出了工业油流, 发现速度是非常快的。接着在 1956 年 4 月, 从红山嘴—黑油田—白碱滩—百口泉—乌尔禾地区长 130km、宽约 30km 的 4000km<sup>2</sup> 范围内部署了 10 条区域钻探大剖面(申力生等, 1988), 短短一、二年内, 在各探区均钻出工业油流, 1958 年所获地质储量及可采储量均达到亿吨以上, 含油面积数百平方公里, 克拉玛依不仅是新中国的第一个大油田, 而且在勘探开发早期, 即已反映出油田水化学类型是多样的, 变化十分复杂, 并出现一些与国内外油田水有所不同的一些

特征。

## 1 高矿化度重碳酸钠型水的发现

### 1.1 首先发现特殊的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水

1958 年 11 月在白碱滩区(后来名为八区)的 56 井三叠系中出现了矿化度高达 26~27g/L 的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水(见表 1), 说它特殊, 因为它不同于苏林分类中所指大陆成因的低矿化度 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水, 这种水在八区三叠系油藏与二叠系油藏边区内连片分布, 剖面上与 CaCl<sub>2</sub> 型水或 NaHCO<sub>3</sub> 型水交错出现, 平面上在 CaCl<sub>2</sub> 型水分布区与 NaHCO<sub>3</sub> 型水分布区之间(图 1)。

当时有关水文地质人员对这种 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水成

表 1 克拉玛依油区水化学分析资料表

序号	井号	井段 (m)	层位	取样 日期	离子含量(mg/L)							矿化度 (g/L)	水型
					Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>		
1	56	2495~2503	T <sub>1</sub> s <sub>7</sub>	1958.11.18	13596	2327	1272	54	436	46	9868	26.964	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
2	238	2445~2483	T <sub>1</sub> s <sub>7</sub>	1959.9.22	10807	3309	702	30	545	31	8179	23.251	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
3	204	2981~2984	P <sub>2</sub> w	1960.8.2	7357	567	397	6	977	47	3987	13.140	CaCl <sub>2</sub>
4	检乌 26	4330~4338	P <sub>2</sub> w	1978.8.11	40594	6214	330	636	82	5	29819	77.514	NaHCO <sub>3</sub>
5	风 15	3323~3350	C-P <sub>1</sub>	1984.7.22	39746	948	14287	39702	140	85	61741	149.506	NaHCO <sub>4</sub>
6	乌 40	3203~3224	C-P <sub>1</sub>	1982.10.23	31730	1609	970	1248	36	2	22632	57.743	NaHCO <sub>4</sub>
7	乌 40	3203~3224	C-P <sub>1</sub>	1982.10.31	34278	2039	2947	2622	12	5	26297	66.692	NaHCO <sub>4</sub>
8	乌 40	3203~3224	C-P <sub>1</sub>	1982.12.5	36517	2557	6590	6060	45	16	31962	80.452	NaHCO <sub>4</sub>

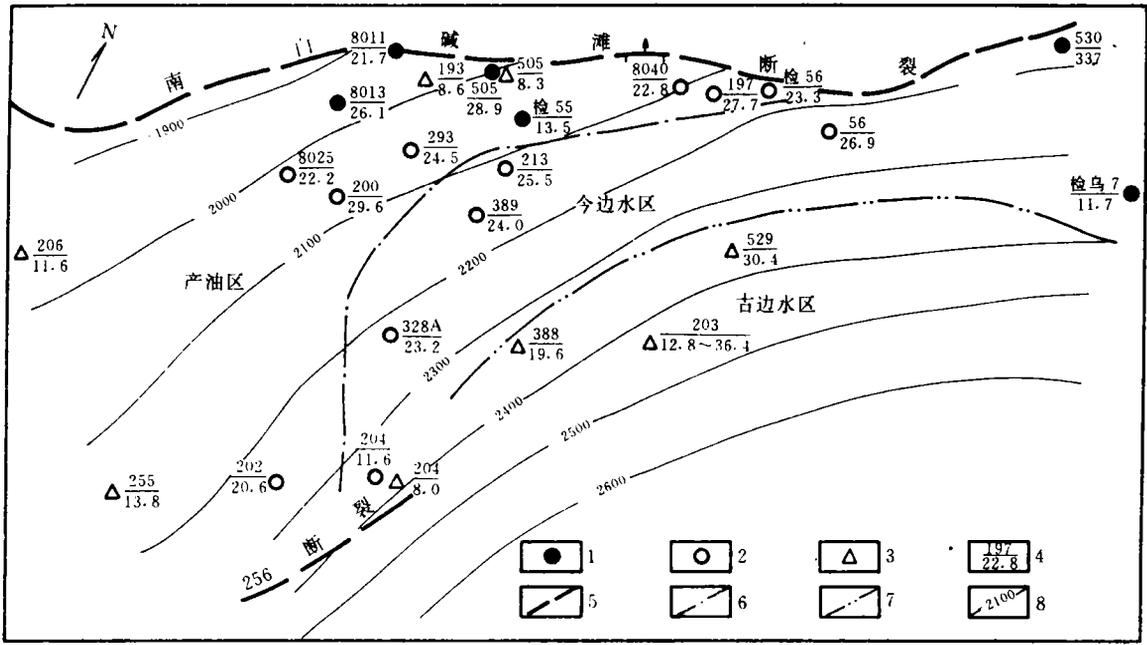


图 1 克拉玛依油田八区三叠系克下组(T<sub>2</sub>k<sup>1</sup>)S<sub>7</sub>油层水化学图

1. NaHCO<sub>3</sub> 型; 2. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型; 3. CaCl<sub>2</sub> 型; 4.  $\frac{\text{井号}}{\text{矿化度(g/L)}}$ ;  
 5. 断裂 6. 今油水界面线; 7. 古油水界面线(三叠纪末); 8. 三叠系底部构造线(m)

因无法解释,认为是化验质量问题(?),并主观地将 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水分布区改为 CaCl<sub>2</sub> 型水分布区(但水中各离子含量及矿化度未改)。直到 1961 年杨继章、章易坤、朱义楨和笔者到克拉玛依油田研究大队油气水组工作,调查了原始资料后才恢复 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水的本来面目。

### 1.2 对 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水成因的探讨

1959 年 3 月,苏联专家 E. A. 巴尔斯到北京石油部讲课,介绍了“马林格娃-阿格里娃图表”(E. A 阿尔斯,1959),说明高(低)矿化度 CaCl<sub>2</sub> 型水与低(高)矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水混合可生成中矿化度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型或 MgCl<sub>2</sub> 型水。

由于八区 CaCl<sub>2</sub> 型水矿化度多为 15g/L 左右(见表 1)(局部、个别的可达 36g/L),Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水矿化度较一般 CaCl<sub>2</sub> 型水高出 10g/L 左右,如 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水是混合成因的,则必定有一种矿化度大于 40g/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 型水存在,后来在检乌 26 井二叠系发现了矿化度 77.5g/L(见表 1)和 62.4g/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 型水。我们以实际资料作了“马林格娃-阿格里娃图表”(图 2),证实 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水是混合成因的(王仲侯,1981)。

### 1.3 出现了期待中的更高矿化度的 NaHCO<sub>3</sub> 型水

八区 62.4g/L 和 77.5g/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 型水出

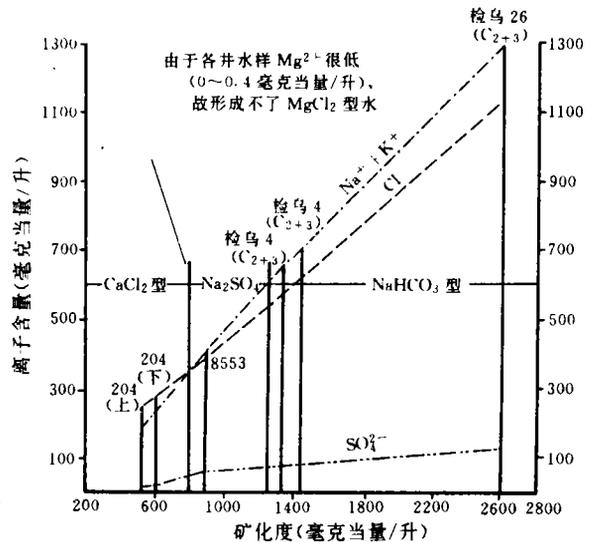


图 2 八区二叠系油田水混合成因曲线 马林格娃-阿格里娃图表

现,有越深矿化度越大的可能,因此推测更深处还有更高矿化度的 NaHCO<sub>3</sub> 型水出现。过了 10 年以后,1981 年勘探克拉玛依市东北 100km 的风城地区,发现了风城油田,这个石炭二叠系油藏的底水与边水几乎全为高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水(见表 1),CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

高达 39702mg/L,  $\gamma_{Na}/\gamma_{Cl}=2.394$ , 这些更高矿化度  $NaHCO_3$  型水的出现, 给我们带来了新的认识。

## 2 高矿化度重碳酸钠型水的特征

### 2.1 水化学特征

(1) 矿化度很高, 占准噶尔盆地已知油田水矿化度之冠, 风 15 井为 149.5g/L (表 1), 但可能还有更高的在深层尚未出现, 并且这种水会随出水时间的延长而矿化度连续升高。风 3 井、风 6 井、风 7 井、风 308 井、乌 40 井均出现这种特征 (张国俊等, 1993), 乌 40 井 3203~3224m 出水。1982 年 10 月 23 日为 57.7g/L, 10 月 31 日为 66.7g/L, 12 月 5 日为 80.5g/L (见表 1), 以后因未取样, 不明矿化度会升高到多少。

(2) 水中  $CO_3^{2-}$  含量极高, 最高达 39702mg/L, 也随出水时间延长而含量升高, 如上述乌 40 井 3202~3224m, 1982 年 10 月 23 日为 1248mg/L, 10 月 31 日为 2622mg/L, 12 月 5 日为 6060mg/L (见表 1), 详细资料请看张国俊 (1993) 所著第 251 页。

(3) 在垂直剖面上, 这种水的矿化度自上而下加大, 同时  $CO_3^{2-}$  含量与  $\gamma_{Na}/\gamma_{Cl}$  值也明显地自上而下加大, 见张国俊 (1993) 所著第 250~251 页。

(4)  $SO_4^{2-}$  含量比一般油田水高, 最高可达 2557mg/L (乌 40 井 3203~3224m, 矿化度 80g/L),  $\gamma_{SO_4}/\gamma_{Cl}$  值大于 0.01, 甚至大于 0.1, 而其他油田水的  $\gamma_{SO_4}/\gamma_{Cl}$  值均表现为  $<0.01$ 。

(5) 阴离子  $Na^+ + K^+$  含量占绝对优势, 常占 98% 甚至 99.5% 以上,  $Ca^{2+}$  与  $Mg^{2+}$  含量很低, 用张金来 (1983) 的 D 函数表达, D 阳值常常小于 1, 最大不超过 2。

(6) 在风城油田和克拉玛依油田九区已知高矿化度  $NaHCO_3$  型水中, 硼 (B) 含量很高, 尤其是风 3 井 3200~3249m 为 1772mg/L, 风 13 井 3350~3378m 为 2330mg/L, 据苏联学者 B. A 苏林介绍 (1956), 硼在  $CaCl_2$  型水中含量低, 而在  $NaHCO_3$  型水中含量可达 1000mg/L, 而克拉玛依油区的硼含量在  $NaHCO_3$  型水中已达 2000mg/L 以上, 可称世界第一。

这种特殊的水, 肯定还有尚未认识到的特性, 有待进一步研究。

### 2.2 水动力特征

高矿化度  $NaHCO_3$  型水多呈油藏底水出现, 经

常出油带水或出水带油即多为油水同出而且能自喷, 压力高, 如八区检乌 26 井 4330~4338m 出水带油, 地层压力 55.042MPa, 压力系数为 1.27, 折算地下水位海拔为 +1439.44m, 是非常突出的, 水分析资料见表 1。

因为这种水压力高, 沿南白碱滩断裂上升到七区、八区三叠系与石炭二叠系地层中, 沿乌南断裂、风 3 井断裂上升到风城区石炭二叠系地层中。

### 2.3 与油藏的关系

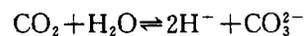
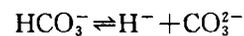
目前已知以高矿化度  $NaHCO_3$  型水为底水与边水的油藏, 原油密度相对不高, 不超过 0.9, 多为 0.86~0.88, 对油藏的氧化破坏程度不如封闭时期较长的  $CaCl_2$  型 (多表现为  $CO_3^{2-}=0$ ,  $\gamma_{Na}/\gamma_{Cl}<0.9$ ), 故其形成比  $CaCl_2$  型水晚, 至少是在三叠纪甚至侏罗纪以后上升形成的。

凡是出现高矿化度  $NaHCO_3$  型水的地方如克拉玛依油田七区、八区、九区、风城油田, 含油情况均很好。后来在玛北油田 (玛 5 井), 五区南油田 (克 80 井) 也发现了这种类型即高矿化度  $NaHCO_3$  型水或混合成因的较高矿化度的  $Na_2SO_4$  型水和  $MgCl_2$  型水, 而这些地区均发现了工业油气藏, 是值得我们深思的。

## 3 高矿化度 $NaHCO_3$ 型水的成因探讨

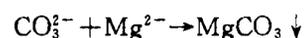
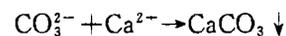
1986 年 3 月, 笔者在《准噶尔盆地西北缘石炭二叠系 (C-P<sub>1</sub>) 油田水化学特征》(内部报告) 中提出, 根据  $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $CO_3^{2-}$  向下加大, 随时间而加大的特性, 提出:

(1)  $CO_3^{2-}$  来源可能和深源  $CO_2$  进入水中有关:



生成的  $H^+$  与地层中有机质的碳原子 (C) 结合成烃类即碳氢化合物, 即发挥了“加氢作用”使上述各反应均向右进行。  $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$  含量不断升高。

(2)  $CO_3^{2-}$  进入水中, 与  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  结合生成次生方解石等沉淀。



这就符合  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  在高  $CO_3^{2-}$ 、高矿化度的

NaHCO<sub>3</sub> 型水中含量非常低的现象,当然也形成不了 CaCl<sub>2</sub> 型水。

(3)深层是有火成岩存在的,可为地下水提供 Na、K、Cl、S 等离子。

(4)克拉玛依贺洪义提出乌尔禾风城地区接近古海岸线,可能有盐丘存在 提供以碱金属为主的盐类矿床或盐层,其中 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、KCl、NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等不断溶于水造成 NaHCO<sub>3</sub> 型水中 Na<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 等的升高。

现在看来,深层的 CO<sub>2</sub> 来源十分重要,准噶尔盆地深层两种类型无机成因的 CO<sub>2</sub> 都是有条件存在的(戴金星等,1995),幔源-岩浆成因 CO<sub>2</sub> 与变质成因 CO<sub>2</sub>(戴春森等,1996)都可以作为高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水中 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的来源。

#### 4 研究高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水的地质意义

(1)高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水作为油藏底水,与油气藏关系十分密切。

(2)1985 年 12 月笔者与李冬妮合作的“准噶尔盆地西北缘轻质原油分布图”(见内部报告:《准噶尔盆地西北缘石炭二叠系(C-P<sub>1</sub>)油田水化学特征》新疆石油管理局勘探开发院 1986 年 3 月)发现原油密度<0.84 的分布带与高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水及混合成因的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水和 MgCl<sub>2</sub> 型水的分布带基本一致,所以轻质原油可能是后期生成从深层上来的。这个隐伏连通带的两侧是多油层地带。C-P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、T、J 都已形成了有工业价值的油藏,特别是七

区、八区、十区的侏罗系八道湾组(J<sub>1</sub>b)油藏,百口泉油田的下三叠系(T<sub>1</sub>b)油藏很可能与这条隐伏连通断裂有关。研究高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水及混合成因的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型水与 MgCl<sub>2</sub> 型水的分布对寻找在侏罗纪以后形成的新油气藏分布有很大的意义。

(3)克拉玛依油田高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水含硼量世界第一,其他贵重金属元素含量尚不清楚,值得进一步探索能否成为有用矿产进行开采。

(4)为丰富我国油田水理论宝库,有必要在准噶尔盆地继续勘探开发的过程中,注意新的高矿化度 NaHCO<sub>3</sub> 型水发现井,进行大规模地取样与化验分析,从找油实践与理论上作出应有的贡献。

#### 参 考 文 献

- 1 申力生等. 当代中国的石油工业. 北京:中国社会科学出版社, 1988:24~25
- 2 E. A. 阿尔斯. 石油与天然气勘探工作中岩石与水的地球化学研究. 北京:石油科学研究院,1959
- 3 王仲侯. 克拉玛依油田八区油气水研究与油源重新探讨. 新疆石油地质,1981,2(2):26~58
- 4 张国俊,吴庆福等. 中国石油地质志(卷十五)新疆油气区(上册)准噶尔盆地. 北京:石油工业出版社,1993:242~252
- 5 张金来. 中国油田水的 D 函数规律及其形成. 地质科学,1983, (1)
- 6 B. A. 苏林. 天然水系中的油田水. 北京:石油工业出版社: 1956:86~87
- 7 戴金星,宋岩,戴春森,陈安福,孙明良,廖永胜. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件. 北京:科学出版社,1995:7~11
- 8 戴春森,宋岩,戴金星. 中国两类无机成因 CO<sub>2</sub> 组合、脱气模型及构造专属性. 石油勘探与开发,1996,23(2):1~5

(收稿日期:1997 年 4 月 21 日)

## DISCOVERY AND CHARACTERISTICS OF HIGH-MINERALIZED SODA-DICARBONATE-TYPED WATER IN KARAMAY OIL REGION

Wang Zhonghou Zhang Shujun

(Exploration and Development Institute of Xinjiang Petroleum Administration Bureau, Karamay)

### Abstract

The NaHCO<sub>3</sub>-typed water with the degree of mineralization up to 150g/L which is most highly mineralized formation water in the Junggar Basin so far is discovered in the Carboniferous, the Permian and the Lower Triassic strata of the Fengcheng Oil Field and the North Karamay Oil Field in the Karamay oil region on the northwest edge of the Junggar Basin. The first chemical characteristic of water is high boron (B) content up to 1700-2300 mg/L which has not been reported at home and abroad. The second one is

very high  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  content which makes up 56%~88% of the total anion content in the water. Of which, the  $\text{CO}_3^{2-}$  content is up to 31-39g/L,  $\text{HCO}_3^-$  content to 14~36g/L, and the relevant  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  contents are all less than 0.1g/L. The crude oil produced simultaneously with high-mineralized  $\text{NaHCO}_3$ -typed water has greater change with density of 0.789~0.895g/cm<sup>3</sup>. This high pressure water rises from within along faults and is mixed with early formed  $\text{CaCl}_2$ -typed water to result in middle-high mineralized  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -typed water which is seen in the paleo-edge-water region of the Permian and Triassic oil accumulation in No. 8 area. The high-mineralized  $\text{NaHCO}_3$ -typed water is inferred to generate when high pressure and high concentration  $\text{CO}_2$  gas of unknown genesis comes into water in the deep of the crust. The distribution of discovery points suggests that it may have something to do with the deep buried faults and is consistent with the distribution of light crude oil (with density <0.84g/cm<sup>3</sup>) on the whole.

## 简 讯

### CT 在油田地质研究中的应用

计算机 X 射线层析,简称 CT,是一种新的测量不透明物体内部密度及结构的放射性成像技术。其问世之初,仅应用于医疗辐射学上。八十年代后期,CT 扫描仪经历了很大的发展,CT 技术应用领域也逐渐拓展。石油工程中的 CT 应用在国外已开展多年,但在国内,这个领域的 CT 技术的应用几乎还是空白,而事实上,石油工业中越来越需要象 CT 技术这种非破坏性评价的方法,以达到对储层岩石更为精细的描述。

为了提高石油地质样品测试水平,中国新星石油公司无锡石油地质研究院从 96 年起开展了 CT 应用实验研究工作,实验首先从对岩心材料的 CT 扫描开始,在母样无损的前提下,快速地获得了反映物体内部密度变化的图象,成功地再现了物体内部裂缝及孔喉等结构。CT 的这些信息,给我们描述岩心物质的特征提供了很大的帮助。这项新技术已在东北某油田得到运用,并获得较为理想的效果。

CT 技术在岩石物理研究及油藏工程的应用中有着广阔的前景,必将引起更多石油地质工程技术人员的重视,更好地服务于油气的勘探与开发。

(钱 伟 施伟军 供稿)