

Application of CT Scanning Technology in Petroleum Geology Experiments

Puli Chen^{1,2} Xia Wang^{1,2} Xiaoyu Zhang^{1,2} Dongchen Ma^{1,2} Ruiming Zhao^{1,2} Guohui Chen³

1. Experimental Center of Northwest Oilfield Branch, China Petroleum & Chemical Corporation, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

2. Experimental Center for Enhanced Oil Recovery of Fracture-Cavity Reservoirs, China Petroleum & Chemical Corporation, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

3. Beijing Runze Innovation Technology Co., Ltd, Beijing, 100000, China

Abstract

CT scanning analysis technology has the advantages of nondestructive testing for rock samples. by reconstructing the scanned projection image, the digital core close to the actual core sample can be obtained, the structure information of rock sample can be obtained by analyzing the digital core with data image processing software. This paper introduces the application of CT scanning analysis technology in petroleum geology experiments field in the aspects of rock pore feature analysis, fracture evaluation, fossil identification and residual oil evaluation.

Keywords

CT scanning analysis technology; petroleum geology; rock pore feature; residual oil evaluation

CT 扫描技术在石油地质实验中的应用

陈蒲礼^{1,2} 汪霞^{1,2} 张晓宇^{1,2} 马冬晨^{1,2} 赵瑞明^{1,2} 陈国辉³

1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司实验中心, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

2. 中国石化缝洞型油藏提高采收率重点实验室, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

3. 北京润泽创新科技有限公司, 中国·北京 100000

摘要

CT 扫描分析技术对岩石样品具有无损检测的优点, 对扫描后的投影图像进行重构, 可以获得几乎接近于实际岩心样品的数字岩心, 用数据图像处理软件对数字岩心进行分析就可以得到岩石样品内部的结构信息。论文从岩石孔隙特征分析、裂缝评价、化石鉴定及剩余油评价方面介绍 CT 扫描分析技术在石油地质实验领域中的应用。

关键词

CT 扫描分析技术; 石油地质; 岩石孔隙特征; 剩余油评价

1 引言

CT 扫描技术被广泛应用在医学、材料学、制造业和地质学等研究领域^[1]。各国学者用 CT 扫描技术对多孔介质的研究已超过了 30 年。随着技术的进步, CT 图像的质量逐渐提高, 目前 CT 扫描仪的空间分辨率可达到纳米级, 可以清晰地探测实体内部的结构信息^[2]。

2 CT 扫描仪的组成和工作原理

2.1 CT 扫描仪基本组成

CT 扫描仪共有三大部分组成: 产生 X 射线的球管、承

载样品的样品台、探测 X 射线并产生投影的监测器(如图 1 所示)。X 射线球管提供扫描所需的锥形光束 X 射线, 样品台可以 360° 旋转, 探测器可以检测经样品衰减后的 X 射线。

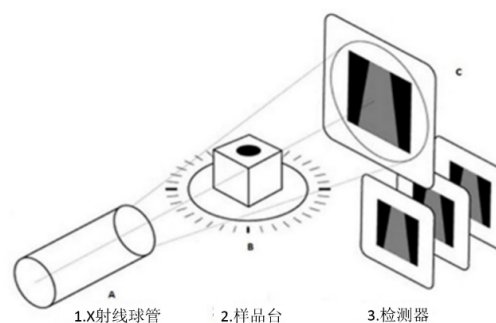


图 1 CT 扫描仪基本结构示意图

【作者简介】陈蒲礼(1982-), 男, 硕士研究生, 工程师, 现任职于中国石化西北油田分公司, 从事油气藏开发研究。

2.2 CT 扫描仪的实验方法和工作原理

2.2.1 实验方法

第一步，打开主控计算机的界面操作平台，将样品放在样品台上固定好，开启射线源，设置分辨率的大小，调节电压强度及样品台的高度，这些步骤操作完毕后进行样品扫描。

第二步，用主控计算机对得到的投影数据进行数据重构及各类分析工作。

2.2.2 工作原理

当 X 射线穿过样品时，它与物质中的原子相互作用而引起能量的衰减，不同的原子对 X 射线具有不同的吸收强度(衰减系数)^[3]，基于这些物质的原子对 X 射线的吸收强度可以展现物质的组成成分及物体结构。当 X 射线穿过样品时，对 X 射线吸收程度的测试结果为此束射线路径上所有物质对其衰减系数的总和^[3]。如公式(1)所示：

$$I = I_0 e^{-\sum \mu_i x_i} \quad (1)$$

式中，I 表示 X 射线穿过物体后的强度，I₀ 表示入射线强度，i 表示射线路径上物质中的某一组分，μ_i 表示第 i 组分对 X 射线的衰减系数，X_i 表示 X 射线路径长度。

CT 扫描成像正是基于这一原理，对穿过物体的 X 射线进行测量，然后通过 FDK 算法对扫描后的投影图像进行重构，最终得到物体的内部结构^[4-7]。

3 CT 扫描技术在石油地质实验中的应用

CT 扫描仪能对岩心样品进行无损扫描，重构的数字岩心几乎反映了真实岩心的结构形态特征，可以用来观察储层岩石的微观特性。

3.1 岩石孔隙特征分析

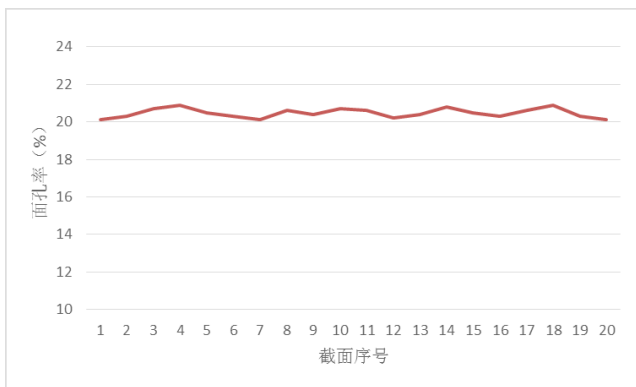


图2 截面面孔率变化图

CT 投影图像重构后得到的灰度图像，利用图像分析软件对重构图像每个截面进行二值化处理，可以计算出每个截

面的面孔率(如图2所示)和整个图像的孔隙度及孔隙大小等物性参数(如图3所示)。

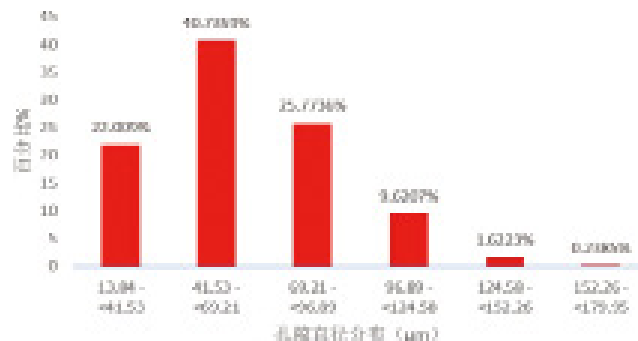


图3 孔隙直径的分布图

除此之外，还能通过建模软件模拟各种不同直径的空隙在岩心内部的展布。图4表示一块岩心样品不同直径的空隙在该岩心内部的分布情况。红色区域代表直径为13.13~39.38μm的孔隙，绿色区域代表直径为39.38~118.14μm的孔隙，蓝色区域代表直径为118.14~196.9μm的孔隙，黄色区域代表直径为196.9~511.94μm的孔隙，紫色区域代表直径为511.94~1220.8μm的孔隙。

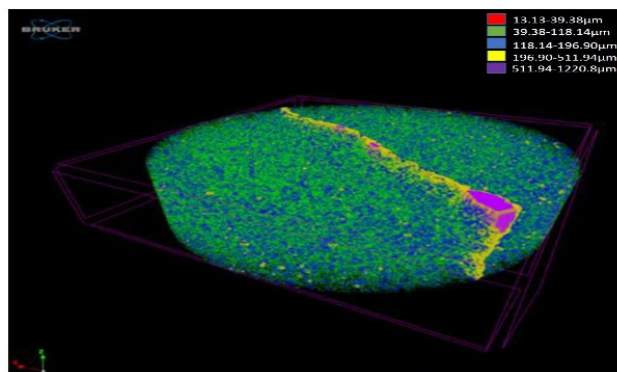


图4 岩心内部不同直径孔隙的分布

对68块岩心样品分别做CT测试孔隙度和气测孔隙度，结果表明这两种测试方式的孔隙度测量值比较吻合(如图5所示)。平均相差2.7%，CT测试孔隙度值略为高一些。



图5 气测孔隙度值与CT测试孔隙度值相比较

3.2 裂缝评价及其空间展布分析

对重构后的岩心 3D 图像,可以通过软件分析裂缝的数量、形态特征及裂缝的平均宽度。如图 6 所示某岩心样品发育 5 条明显裂缝,主裂缝的平均宽度为 14.75 μm 。

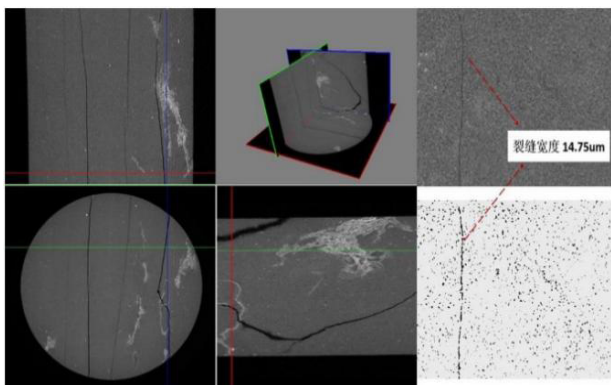


图 6 裂缝评价及空间展布

3.3 化石鉴定

对于埋藏在生屑灰岩中的古生物化石,古生物研究者以前只能通过制作薄片的方式进行鉴定。CT 扫描技术出现后,可以对生屑灰岩进行无损扫描,这样保持了岩石及化石的完整性。由于获取的是立体的古生物图像(如图 7 所示),能增加古生物鉴定的准确性。

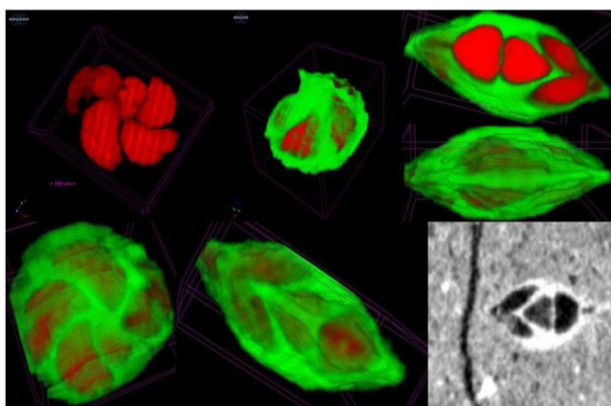


图 7 岩石内部古生物的 CT 图像

3.4 剩余油评价分析

油、水在密度上的差异,用灰度值将二者分割,可对岩石中孔隙内部的流体分布情况进行宏观显现。如图 8 所示,灰色表示岩石骨架,青色表示水,红色表示油,左图是水驱前原始的油水分布图,右图是水驱 20PV 后的油水分布图。运用 CT 分析软件对水驱后的剩余油情况进行计算,可以定量的获得剩余油的含量(如表 1 所示)。利用灰度差异将油水进行分割,并利用专业 3D 建模软件对油水进行模型建立,

更加直观地显示了水驱前后剩余油的赋存状态(如图 9 所示)。

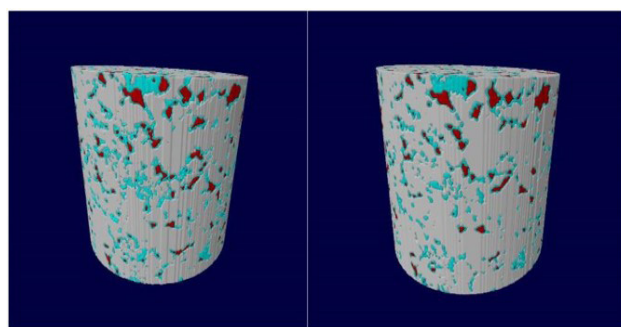


图 8 岩石孔隙中的油水分布

表 1 水驱前后油占岩心的体积百分比

水驱前油占岩心的体积 (%)	经 20PV 水驱后剩余油占岩心的体积 (%)	经 20PV 水驱后剩余油相对减少的比率 (%)
2.43	2.08	14.4

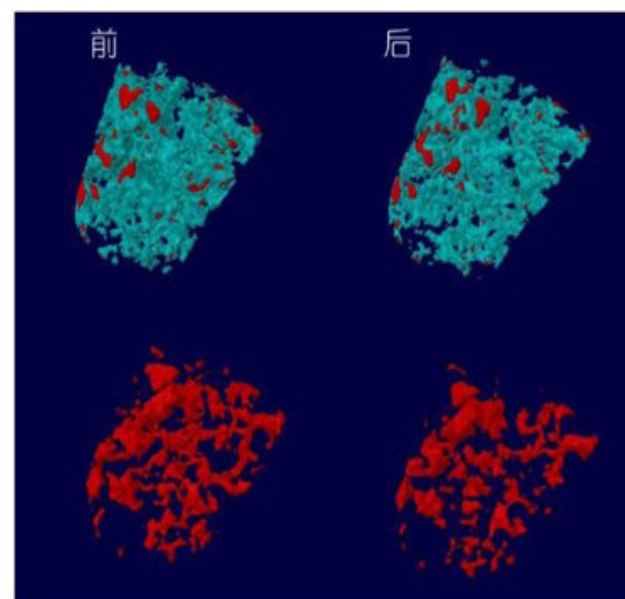


图 9 水驱前后油的赋存状态

4 结语

(1) CT 技术将实际岩心转化为数字岩心以后,可以通过分析软件对重构图像二值化,计算岩心的面孔率、孔隙的直径、孔隙体积等各种物性参数。

(2) CT 技术能无损扫描岩石样品,并且能提供三维立体图像,可以真实反映岩石内部信息。对重构后的数字图像,可分析裂缝的数量、形态特征及裂缝的宽度。传统的岩心分析方法常常会对样品造成破坏。例如,古生物薄片鉴定,需要将岩石样品磨制成 0.03mm 厚粘在载玻片上,然后再把载玻片放在光学显微镜下,对其鉴定。除此之外,薄片上的古生物信息只展现出一个面,而 CT 扫描重构后的数字图像能

展示生物的立体信息,这无疑增加了古生物鉴定的准确性。

(3) CT 技术可以对不同驱替阶段的岩心进行扫描,可以将岩心内部的剩余油分布以图像的形式清晰的呈现出来,加之辅助图像分析处理软件,可以定量的计算出各个阶段的含油饱和度。

参考文献

- [1] 马文国,刘傲雄.CT 扫描技术对岩石孔隙结构的研究[J].中外能源,2011(07):54-56.
- [2] GRAGA, KOVSCEKAR.CT scan and neural network technology for construction of detailed distribution of residual oil saturation during waterflooding[C].SPE 35737, 1996:695-710.
- [3] 张朝宗.工业 CT 技术和原理[M].北京:科学出版社,2009.
- [4] 吴洁,刘成东,张守鹏,等.显微 CT 技术在石油地质中的应用初探[J].江西科学,2012(05):634-637.
- [5] 钱伟,施伟军.CT 在油田地质研究中的应用[J].石油实验地质,1998(01):43.
- [6] 臧少刚,穆国栋,吴梦婕.X 射线计算机断层扫描技术在石油地质中的应用[C].中国地质学会,中国石油学会,2016.
- [7] 查明,尹向烟,姜林,等.CT 扫描技术在石油勘探开发中的应用[J].地质科技情报,2017(04):228-235.