

文章编号: 1001-6112(2001)03-0344-04

一种研究油气储层裂缝的新方法

——计算机层析(CT)法

施伟军, 陈荣林

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 计算机层析技术具有快速、精确、自动化与无损伤等优点, 在石油地质中正在得到广泛应用, 可以作为一种新的测试技术方法予以推广, 有益于提高油气储层描述和研究水平。

关键词: 裂缝; 测试方法; 油气储层; 计算机层析技术

中图分类号: TE135

文献标识码: A

计算机层析技术(CT)最早产生和应用于医学界, 1969 年第一台 CT 机成功地应用于临床诊断。正由于这种 CT 扫描技术具有快速、精确、自动化、无损伤等优点, 也使其成为一种日益广泛应用的无损伤探测新技术。近年来它在油气储层的微观特征研究方面也应用越来越广^[1]。作者等近期接触这方面的工作, 认为计算机层析技术(CT)在油气储集层的裂缝描述和研究方面有特殊的功效, 具有其它方法无法相比的优点, 可作为一种新的研究方法。

层析技术的全称是 X 射线计算机层析成像技术(computer assisted tomography), 它是借助于电子计算机将 X 射线断层扫描装置扫描的断面再现出来的一种全新的 X 射线成像技术。

层析技术的基本原理是: CT 机内 X 射线管产生的 X 射线束从多个方向沿着物体某个选定的断层面进行照射, 通过测定透过的 X 射线量, 数字化后经过计算得出该层面组织各单位体积的吸收系数, 这些吸收系数可构成不同的数字矩阵; 通过机内高速计算机进行数模转换, 可以在电视屏幕上显示出来或拍成 CT 照片, 重建的图像还能够给出每一个像素 X 射线衰减系数^[1]。

1 技术方法

作者在研究中使用的 CT 装置是 PICKER I. Q. T/C 第四代全身医用 CT 机。它是一种在高效率检测器固定环中使用与射线源一起旋转的扇形束几何装置, 有 7 个图像处理部件与微型计算机 MULTIBUS ①的接口相连, 其中包括 8M 存储器、50MFLOP 配置处理器(单板, PICKER 专利设计)以及带有 kegelus 操作系统的 CPU 主板等。

PICKER I. Q. T/C 机的主要技术指标如下。

扫描时间 2 秒或 4 秒; 扫描厚度 2, 5, 10mm; 循环时间 20 秒; 恒定电压 130kV; 电流选择为 20, 45, 65, 85, 105, 125mA; 图像存储矩阵 512 × 512; CT 值范围 - 2048 ~ + 6143(H)。

测试的步骤如下:

(1) 将储集岩岩心平稳置放于一密封容器中, 容器为有机玻璃材料制成, 不影响 X 射线能量的衰减, 其大小依据岩心的体积而定;

(2) 在该容器中注满清水, 使液面盖过岩心。这种液体介质能在低密度的空气和高密度的岩心之间

收稿日期: 2001-04-09.

基金项目: 中国新星石油公司科研项目(XYK-99-48).

作者简介: 施伟军(1964-), 女(汉族), 江苏无锡人, 工程师, 主要从事岩矿鉴定工作.

形成一个中等密度带, 可以使 X 射线光束硬化和程序产生的边缘产物减少, 从而减小围影的影响;

(3) 把容器固定于扫描床上, 以 130kV 的峰值电压首先进行岩心横截面的扫描。并等距离移动扫描床, 获得数个不同位置的横截面图;

(4) 改变岩心放置方向, 进行岩心轴切面的扫描, 同样可获得数个不同位置的轴向切面图;

(5) 岩心扫描全部完成后, 在主控台进行 CT 图像计算机处理, 选择合适的窗宽窗位, 获取理想的图像效果;

(6) 拍摄成 CT 图像照片。

2 裂缝描述

储集层中的裂缝描述是一个比较头痛的事情, 常用的方法是用肉眼观察岩心表面或通过岩心切面统计裂缝, 或用岩心揭片显微镜观察方法求裂缝率^[2]。由于这些方法只能见到一个表面上的裂缝, 是一个“面”的概念, 不仅观察不全而且不能深入岩心内部观察裂缝的三维方向的变化, 因而其研究有局限性。同样用这种方法统计裂缝和有效缝的量只能依据裂缝和有效缝的面积在岩心与薄片中所占的面积百分数来确定, 显然这种统计是不全面的。而应用 CT 法正好弥补了这种方法的不足, 它可以在无损的情况下了解岩心中裂缝发育的情况, 同时它还与一般研究储集层方法不同的是它不需要洗油等过程, 可以在保持岩心的原始状态下进行^[3]。

含有裂缝的岩心经 X-CT 扫描后得到的岩心 CT 扫描图像, 一般均可以清楚地看到在基质较浅的区域内发育条状或线状的深色区域, 连续的低密度区, 即是裂缝的所在, 非常直观, 可以测得它有 CT 值, 一般均较低。还可根据裂缝中充填的物质确定裂缝的有效性, 因为充填物质不同, 其 CT 值是不同的。有时也可见到一些孤立的黑色斑点, 低密度区, 可以解释为较大的孔隙或气孔; 浅色(或白色)区域为高密度区, 为高以 CT 值, 是岩石的骨架和基质(图 1)。

一般来说岩石中的裂缝比孔隙的体积要大, 在目前 X-CT 的技术指标下, 其分辨率完全足以达到探测的要求。通过岩心横切面和纵切面的连续 CT 扫描照片, 可以求得岩心在三维状态下显示出裂缝的空间产状和变化情况。

在对裂缝统计时要注意到, 由于 CT 扫描切片都具有一定的厚度, 发育的裂缝与切片之间也有一定的角度, 因此在 CT 图像中所给出的裂缝宽度实际是裂缝在切面上的投影, 它与裂缝的实际宽度、与切片的交角以及切片厚度 3 个因素有关^[4]。因此裂缝的实际宽度是通过计算而求出的。

如图 2 所示, 它是一个 CT 切面中裂缝的模型, 裂缝与切片以 α 角相交, AB 是裂缝在切面上的视宽度, AD 则是裂缝在切面上的投影宽度, 在 CT 图像上量出的是 AD 值。显然, 扫描切片的厚度越小, 裂缝的投影宽度就越接近视宽度。由此计算出 AB 值, 即

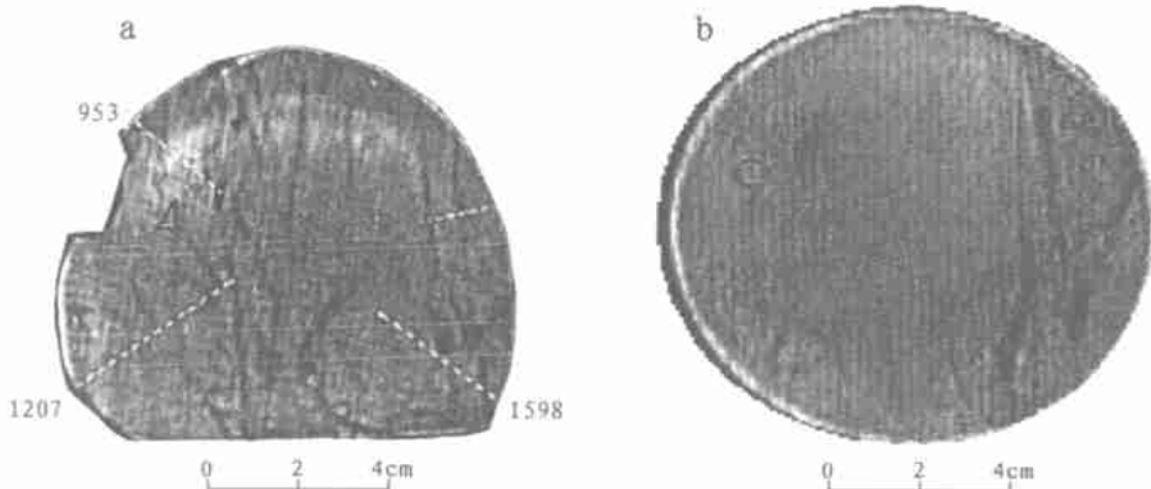


图 1 粗面岩中的裂缝发育情况

a. 其中深色部分为裂缝, 近黑色者为有效裂缝, 稍浅者为沥青质充填裂缝, 图旁的数字为 CT 值;

b. 其中深色部分为裂缝, 已被沥青质所充填

Fig. 1 Development of fissures in trachyte

$$AB = AD - d$$

式中: d 为裂缝在相邻切面间的位移。

通过换算可证明 d 与 AC 相等。当裂缝和切片的交角接近垂直时, 从相邻的切片上很难看出裂缝的偏移, 这时可以从间隔较远的切面上观察裂缝的变化, 由累积位移计算出 AB 值, 即

$$ab = AD - d / (n - 1)$$

式中: n 为位移测量范围内裂缝穿过切面的数量; d 为裂缝在第一个切面与第 n 个切面间的位移。

在实际计算时, 如果裂缝较细并且与切面近于垂直, 可以忽略这种投影误差, 把图象中测量的裂缝宽度作为真实值来计算。裂缝的其它参数和孔隙度也可以用以下公式计算:

$$\alpha = \arctg CC_1 / AC$$

由 $ab = AB \times \sin \alpha$
 $S_1 = ab \times AC_1 = AB \times AC_1 \times \sin \alpha = AB \times AA_1$

$$S_1 = S_2$$

可得: $V_1 = S_2 \times AE$

裂缝的孔隙度 $\varphi = \varphi(V_1 / V)$

式中: S_1 为 ABD_1C_1 的面积; S_2 为 ABB_1A_1 的面积; V_1 为裂缝的体积; V 为扫描切片的体积。

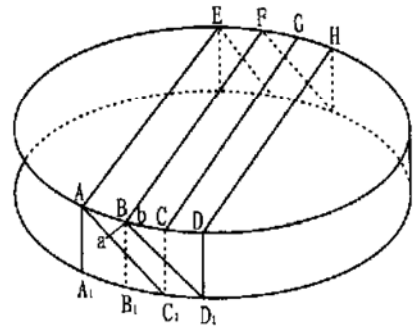


图 2 岩心扫描切片中裂缝的模型

Fig. 2 A model of fissures in the scanning section of cores

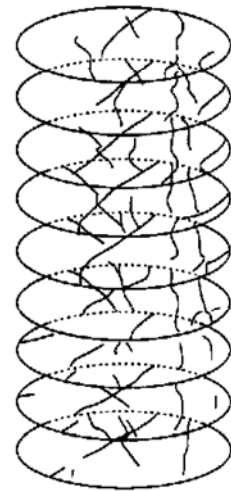


图 3 岩心切片中裂缝三维分布图

Fig. 3 3-D distribution of fissures in core sections

表 1 裂缝测量数据

Table 1 Data of fissure measurement

扫描切面	裂缝长度/cm	裂缝宽度/cm	面积/cm ²		面孔隙度/%	平均孔隙度/%	扫描切面	裂缝长度/cm	裂缝宽度/cm	面积/cm ²		面孔隙度/%	平均孔隙度/%
			统计	累计						统计	累计		
切面 2- A	5.81	0.15	0.90	5.93	7.56	7.16	切面 6	7.86	0.22	1.70	8.37	10.66	7.16
	6.38	0.14	0.89					2.68	0.30	0.80			
	5.43	0.21	1.13					6.05	0.43	2.62			
	切面 3	8.42	0.30				2.49	5.22	6.65	切面 7	16.13	0.16	
1.47		0.35	0.52	6.48	0.224		1.45						
6.96		0.14	0.96	1.57	0.36		0.56						
切面 4		6.89	0.20	1.35	3.32		4.32			切面 8	5.67	0.52	
	6.64	0.26	1.70	3.35				0.21	0.72				
	3.23	0.38	1.21	12.41				0.14	1.75				
	切面 5	11.6	0.07	0.78				6.36	8.09	切面 9	8.70	0.16	
2.87		0.27	0.78	4.62	0.21	0.98							
4.06		0.14	0.55	6.41	0.36	2.30							
切面 6		3.59	0.34	1.21	8.37	10.66	切面 10			5.38	0.20	1.09	6.83
	4.33	0.15	0.63	12.97				0.22	2.79				
	4.95	0.16	0.80	4.55				0.36	1.63				
	10.82	0.23	2.49	3.43			0.16	0.55					
切面 6	6.17	0.39	2.42	8.37	10.66	切面 6	15.47	0.21	3.21	6.83	8.70		
	7.25	0.14	1.04				6.19	0.33	2.04				
	9.74	0.23	2.21				6.01	0.26	1.58				

* 常规分析平均孔隙度 8.90%

3 应用实例

现以辽河油田火山岩中裂缝研究为例。火山岩为粗面岩, 镜下观察该岩石具有粗面结构, 较致密, 以裂隙发育为主, 仅见少量次生孔隙^[5]。在实验中将直径为 10cm 的粗面岩(火山岩)岩心分为 9 个横切面作 CT 连续扫描, 切面均与岩心中轴垂直。将这 9 个 CT 扫描图在图像分析系统中观察, 可以清晰地了解裂缝的产状和测量其长度和宽度, 这些裂缝在切面中主要呈两组相交排列, 且大致与切面近于垂直, 不同的切面中其长度及宽度均有变化(图 3), 测量值见表 1 所列。根据上式分别计算了各个切面上裂缝的体积和孔隙度, 然后求出岩心中裂缝的平均孔隙度(表 1)。由于岩心的孔隙度是由岩心中的裂缝和孔隙共同决定的, 从图像分析中可以判

断此岩心中主要为裂缝发育, 孔隙的含量仅为 1.5%~2.0%。常规分析测量的总孔隙度为 8.86%, 与表 1 中 CT 的测量结果相比, 这两组数据是比较吻合的。因而可以确定这个样品的孔隙度主要是由裂缝所形成的, 其它孔隙类型仅占很小的一部分。

参考文献:

- [1] 张昌明, 李联伍, 等. X-CT 技术在储层研究中的应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [2] 裘亦南, 薛叔浩, 等. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [3] 赵碧华. 用 CT 扫描技术观察油层岩心的孔隙结构[J]. 西南石油学院学报, 1989, 11(2): 57-64.
- [4] 陈毅华, 赵德明. 利用 X-CT 技术计算岩心的裂缝参数[M]. 石油勘探与开发, 1993, 20(3).
- [5] 辽河油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷三)——辽河油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.

A NEW METHOD TO STUDY THE FISSURES IN HYDROCARBON RESERVOIRS: COMPUTER ASSISTED TOMOGRAPHY (CT)

SHI Weir jun, CHEN Rong-lin

(Wuxi Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: The computer assisted tomography (CT) technology, which is rapid, accurate, automatic and harmless, is getting widespread application in petroleum geology. It can be popularized as a new testing method, and will be advantageous to the improvement of hydrocarbon reservoir description and research levels.

Key words: fissures; testing methods; hydrocarbon reservoirs; the computer assisted tomography (CT) technology