

# 地震岩石物理分析软件系统设计和实现

马中高<sup>1,2</sup>, 周巍<sup>2</sup>, 孙成龙<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学 四川 成都 610059; 2. 中石化石油勘探开发研究院 南京石油物探研究所 江苏 南京 210014)

**摘要:**介绍了岩石物理分析软件系统的总体设计思想和软件实现思路,给出了系统的功能层次结构,做了具体的功能描述。系统采用面向对象设计方法和跨平台 Qt 开发工具开发,可移植性和扩充性强,具有灵活方便的图形界面和交互功能,是集岩芯实验测试、测井和地震为一体,是理论和实验相结合、方便实用的分析工具。

**关键词:** 岩石物理 流体替换 软件设计 数据管理 岩芯测试 正演模拟

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2006)03-0260-06

地震岩石物理学(简称岩石物理学)是研究与地震特性有关的岩石物理性质以及这些物理性质与地震响应之间关系的一门科学。岩石物理对地下流体在多孔岩石中的运输特性研究,已经成为研究环境、油气开采等问题的重要基础<sup>[1]</sup>,即油藏综合地球物理技术的基础。

地壳岩石是由岩石骨架和孔隙所组成的多孔介质,孔隙通常被水、气、油等流体所充填而构成多相介质。微观尺度上岩石固体骨架与孔隙流体的相互作用、相互干扰使得弹性波在这种流体饱和多孔介质中传播时,其传播规律与理想的弹性介质明显不同。20世纪初,土耳其土力学专家 Terzaghi<sup>[2]</sup>研究了地应力、土壤中流体和边坡稳定性等问题,并在其经典著作《Introduction to Soil Mechanics》中首次阐述了孔隙流体和孔隙压力等基本概念。1951年,Gassmann<sup>[3]</sup>在流体和固体之间的任何相对运动和岩层自身的运动相比可以忽略不计的假设条件下,推导出了孔隙岩层充满流体的弹性模量公式,奠定了近代沉积岩的弹性理论与岩石物性之间研究的基础。

按照弹性介质理论,岩石的  $v_p$  和  $v_s$  波的传播速度由下面的岩石弹性参数计算

$$v_p^2 = [K_r + (4/3)G] / \rho_r$$

$$v_s^2 = G / \rho_r$$

式中  $K_r$ 、 $G$  和  $\rho_r$  分别为岩石体积模量、剪切模量和密度。由于流体不传播剪切应力,故从纯力学上考虑,剪切模量与岩石的饱和状态无关。岩石体积模量  $K_r$  和剪切模量  $G$  是岩石材料参数,由岩石的组成和结构决定。

按照 Gassmann 理论,岩石体积模量  $K_r$  由干岩石(或岩石骨架)体积模量  $K_{dry}$ 、组成岩石的矿物体积模量  $K_0$ 、孔隙流体体积模量  $K_f$  和岩石孔隙度  $\phi$  决定。剪切模量不受岩石孔隙流体饱和状态影响。基本的数学关系形式为

$$K_r = K_{dry} + \frac{[1 - (K_{dry}/K_0)]^2}{[\phi/K_f + (1 - \phi)/K_0 - K_{dry}/K_0]} G_{dry} = G_{wet}$$

式中  $G_{dry}$  和  $G_{wet}$  分别是干岩石与水饱和岩石的剪切模量。在低频条件下,Gassmann 公式是正确的。1965年 White 将 Gassmann 公式作了适当的变换,得到了具有液体、气体影响的纵波速度表达式<sup>[4]</sup>。1956年 Biot 根据潮湿土壤的电位特性和声学中声波的吸收特性,发展了 Gassmann 的流体饱和和多孔隙介质理论,奠定了双相介质波动理论的基础<sup>[5-6]</sup>。

目前为止,可以用来描述孔隙对岩石弹性特征影响的理论和模型已有很多<sup>[7-10]</sup>,Wyllie 的时间平均公式<sup>[11]</sup>、White 气体包裹体模型<sup>[12]</sup>、O'Connell 等的“喷射”流模型<sup>[13]</sup>、Dvorkin 等的 BISQ 模型<sup>[14-15]</sup>,从理论上极大地丰富和完善了饱和岩石介质的弹性波传播理论。现有的岩石物理理论,基本是以 Gassmann 方程和 Biot 的双相介质波动理论为基础。

在岩石物理应用方面,Dvorkin 等根据对各种未固结砂样的测试分析结果、野外实际资料的分析及理论模型的计算对比,建立储层弹性特性和岩石结构参数的关系,提出了一个新的双矿物混合模型及该模型与速度、孔隙度、分选性、压力、流体和压实之间的理论关系<sup>[16]</sup>;用该模型对哥伦比亚 La Cira-In-

fantas 油田的 LC-1879 井的测井数据进行模拟分析,得到了比较好的结果。该方法已经发展为一套河流相砂、页岩分析系统。在假定井周围沉积环境相同的情况下,利用双矿物混合模型可进行岩石物理正反演来识别含油砂岩。马中高等利用岩芯测试分析规律,提出了利用岩石物理模型正演优选地震属性进行储层预测(岩性识别)新技术<sup>[17]</sup>。地震岩石物理研究可以帮助评估新区价值,确定勘探采取什么样的策略,使投资风险降到最小。

岩石地球物理技术还没有相应的分析软件,各种理论、基本岩石物理规律以及岩芯实验数据,测井、钻井等资料分散在各部门,缺乏统一有效的管理。需要作岩石物理分析的时候,获取相关的数据与资料十分费劲和麻烦,而且往往难以收集。

从岩芯实验测试数据及其规律分析出发,结合测井资料及地质钻井信息,综合分析研究岩石物理特征以及储层地震影响特征变化,将各种理论与岩石物理基本规律研发成一套实用方便的工具系统是我们努力的目标。笔者主要介绍该软件系统的设计思想、实现思路和功能。

## 1 系统性能设计要求

地震岩石物理分析软件系统(rock physics analysis system,简称 RPAS)能够充分利用岩芯资料、物性数据、岩电数据及岩石物理学研究成果,把测井数据和实验测定的岩芯数据有机地集成在一起,建立储层的岩性、物性及流体特性模型,利用测井数据和岩石物理分析成果正演模拟物性参数,并快速计算合成地震记录和 AVQ(amplitude versus offset)模拟;分析岩性、岩石物理特性和流体含量变化的地震响应,结合地震资料进行岩性分析和储层预测。在全面考虑岩石物理分析软件系统的目标基础上,从功能角度,要求软件设计具备如下性能:①对岩芯实验数据和测井资料进行有效的管理;②根据需要,能够从数据库中提取所需数据并显示;③提供对岩芯测试数据进行岩石物理分析的工具,并能与相关的经验模型进行对比,即对岩石物性测试数据进行统计分析,建立基本的岩石物理规律或模型;④岩芯实验数据和测井数据的一体化处理;⑤模拟计算地层条件或环境参数,主要指储层岩石的温度、压力条件等;⑥模拟多相介质的多孔隙岩石特征;⑦如果缺少纵、横波速度和密度资料的某一种,或者某种资料质量不好,利用其他资料,在岩石物理模型指导下,用岩芯实验数据得到的有关规律进行预测,如缺少横波测井资料,可以预测横波速度;⑧制作地震合成记

录,分析对比地震响应变化特征;⑨图形显示与保存;⑩能提供系统故障处理或帮助信息。

## 2 软件系统开发原则

为保证设计目标的实现,软件系统设计基于以下原则:

(1)可用性。充分考虑岩石物理分析软件的潜在用户的需求和建议。一方面使软件系统的人机交互界面友好、操作简便,另一方面尽可能将用户所要进行的操作包含在同一界面内。

(2)通用性和可移植性。岩石物理分析软件系统要管理多种来源的数据和适应不同人员使用,软件与外界接口应该具有良好的通用性和可移植性,动态数据库和静态数据库的结构、表结构、视图结构都应该遵守某种规则,软件编写中采用信息屏蔽准则,以数据操作为模块界面。本软件设计成既是一个独立的系统,也可以作为组件插入到别的系统中。

(3)可靠性。由于数据类型与模型多,数据来源不同,数据之间会出现不适用或矛盾情况,要求软件系统具备数据自恰能力、较强的容错能力和各种可能的误操作保护、提示能力。

(4)应用面向对象技术。面向对象技术主要包括面向对象语言、面向对象的运行环境及面向对象的设计方法。由于岩石物理分析软件系统面向的是复杂的多孔岩石的波传输特征的模拟分析,需要处理来自不同来源的数据对象,这对模块化设计不利,应用面向对象技术可较好地解决这一问题。

## 3 系统概要设计

在系统概要设计阶段,选定基于 Intel CPU 的 PC 服务器, Linux 系统的运行环境和 Qt 开发工具。系统采用 C/C++ 语言作为程序开发编程语言。

Qt 类库是一个跨平台的面向对象的 C++ 类库,目前主要用于 Linux 下的开发。普通的 X-Window 编程是极其底层和繁琐的,而 Qt 的高度面向对象和模块化的特征将开发人员从这种繁琐中解脱出来。软件能够在不同平台上运行,不需要重新编写软件就可以直接移植到不同操作系统中是软件发展的趋势。Qt 可跨平台,这对于要求移植性很强的本系统是个很好的选择。系统帮助文档采用超文本格式(HTML)文件编写。

系统的目标用户为岩石物理分析专家、测井解释人员、油藏模拟人员、数值化模拟研究人员、地层岩石弹性参数反演和储层预测与描述人员及对岩芯实验测试数据和岩石物理分析感兴趣的人员。

### 4 系统总体设计

软件设计目标在于形成软件的一种层次的可对底层节点交叉引用的模块化结构,软件设计方法考虑的就是如何分解出这样的层次模块结构。面向对象的软件设计基于对数据的抽象,对模块的分解以“信息屏蔽”为准则,而以数据操作为模块界面。

整个系统由岩石物性数据管理子系统、岩石物理正演模拟分析子系统、实验与测井数据一体化处理和实验数据基本规律分析模块组成(图1)。岩石物性数据管理子系统作为数据汇集的中心,它既可以单独安装使用,同时又是对整个系统强有力的支持。岩石物理正演模拟分析子系统既可以从数据管理系统获得数据,也可以直接利用测井数据。它也是可以单独安装使用的子系统。图2为岩石物理分析软件系统的总体框架结构。软件系统主要分为4个功能模块,加1个在线帮助(图3)。

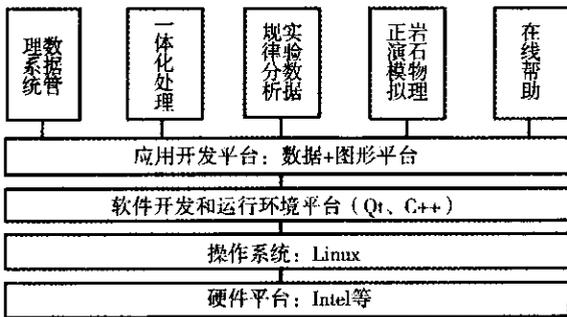


图1 RPAS的系统组成

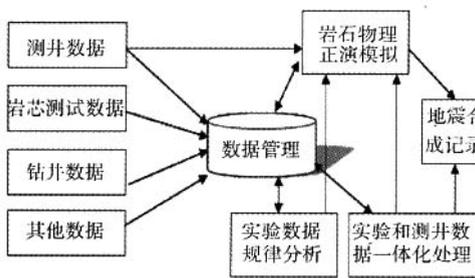


图2 RPAS的框架结构

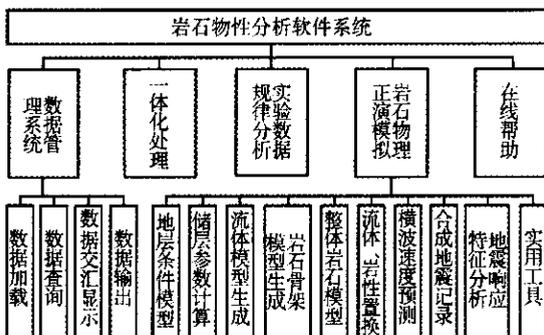


图3 RPAS的功能层次

### 5 软件系统功能模块

图4为RPAS的主界面。

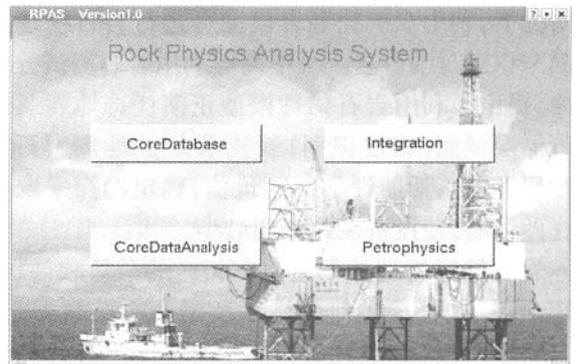


图4 RPAS的主界面

#### 5.1 岩石物性数据管理系统(CoreDataBase)

岩石物性信息的主要来源是岩芯测试和测井资料。通过岩石物性数据管理系统的开发,提供一个平台,收集分散在各部门的相关信息,将岩芯有关的资料,如岩芯所处的温度、压力(深度)等地层环境、沉积环境、地层名称,岩芯测试参数、波形、电镜分析结果资料和测井资料,有效地管理起来,为进一步开展岩石物理研究和应用提供基础资料。

依据数据之间的逻辑关系和面向对象的概念,建立数据管理的层次关系,设计各种数据表单,并通过关键字参数建立数据索引,实现各种数据之间的关联,从而形成数据库模型。

数据管理系统可以实现数据库的创建、用户管理、数据、波形、图片资料加载、浏览、查询和统计、交会、显示、输出和备份等功能。目前,已经对东西部2个大型油田的80多口井的测井数据和1000多块岩芯和几十个石油、地层水样本的实验测试数据进行了有效的管理,服务于生产。

#### 5.2 实验数据规律分析(CoreDataAnalysis)

基于岩石物性数据库中的岩芯测试数据,根据用户的需要,进行统计,回归分析,建立给定岩石的物性基本规律或岩石物理学模型,包括二元和多元因素,为岩石物理正演模拟提供必要的模型。

#### 5.3 实验和测井数据一体化处理(Integration)

实际工作中,岩芯测试和测井资料是储层参数的主要来源,因此两者结合起来结果会更加可靠。“原则上讲,将两者一体化具有较大的难度,因为要将不能直接对比的数据结合使用其复杂性可见一斑<sup>[1]</sup>。在一体化时,要考虑尺度问题、测量环境、测量仪器及测量技术等因素,要检测所有岩芯测试数据的有效性,去除或降低那些由于各种原因造成

的不可靠数据的权重,如有必要,可进行相应的校正。

### 5.4 岩石物理正演模拟系统(Petrophysics)

岩石物理分析正演模拟系统是岩石物理分析软件系统的核心部分,图5为岩石物理正演模拟系统的界面和工具条。

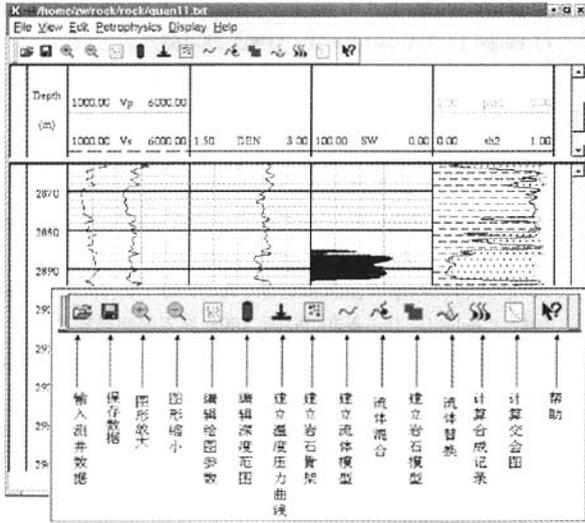


图5 岩石物理正演模拟系统主界面及工具条

地层条件模拟。岩石及其孔隙流体的性质受地层条件——温度、压力的影响比较大,将地层条件的模拟单独列出,是因为在生成孔隙流体模型和岩石骨架模型时都需要,这样可以避免重复计算。

储层参数计算。此模块包括利用测井基本资料计算储层的孔隙度、含水饱和度、矿物含量以及进行岩相解释。图5的底图就是计算的实际例子。

储层中不同矿物在岩石骨架中的不同分布及其相互关系将直接影响岩石的物理性质。准确定量的矿物组成,是岩石物理分析的最终保证,同样也为研究岩相提供帮助<sup>[18]</sup>。

流体模型生成。不同流体及其组分,不同的流体接触关系,在不同的地层条件下表现出不同的特性。石油、天然气和地层水在不同情况下有不同的模型<sup>[19-22]</sup>,如石油就有死油模型和活油模型之分。

岩石骨架模型生成。针对不同的地质环境、岩石矿物组成和岩石孔隙结构,已经建立了许多岩石模型<sup>[10,23-28]</sup>。根据研究地区的实际情况与实测数据分析结果,建立或选择合适的岩石模型,生成岩石骨架模型及其弹性参数。

流体、岩性置换。岩石孔隙中的流体变化对岩石的纵、横波速度产生一定的影响。定量研究岩石弹性性质随所含流体变化的特征,对于深入了解岩石物理性质,特别是对油气勘探和开发具有重要意

义,它是四维地震勘探、AVO分析及各种岩性反演方法进行流体识别和预测的基础。流体置换原理基于 Biot-Gassmann 方程<sup>[29-30]</sup>。图6是某井流体置换前后对比实例。

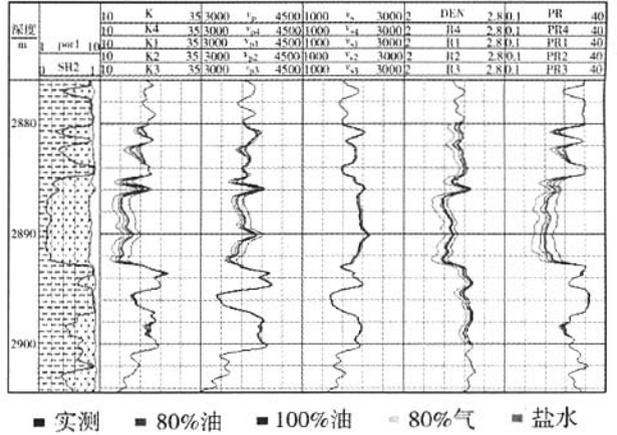
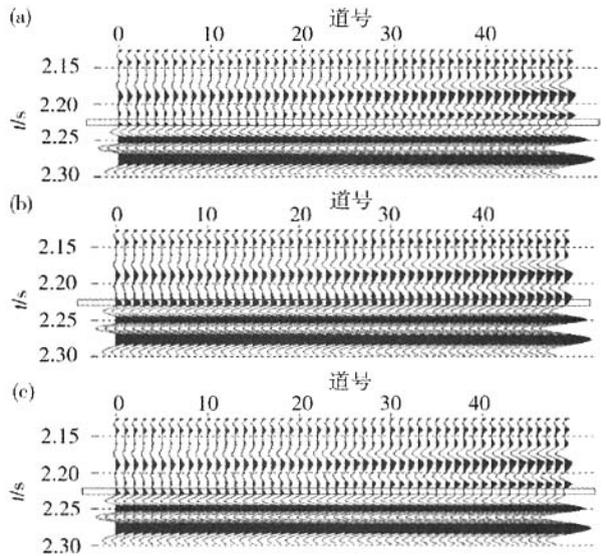


图6 某井流体置换的结果示意

横波速度预测。实际工作中,横波速度的来源少,一般不做全波或横波测井,但是在岩石物理学研究中,Gassmann 理论公式就需要横波速度。设计该模块是一个可选择的模块,按照用户需要,可以通过自然伽马、SP、声波测井、密度测井和孔隙度等资料来预测横波速度<sup>[31-34]</sup>,也可以利用经验模型计算。

合成地震记录。根据岩石物理正演模拟结果,快速便捷地得到地震响应。地震合成记录考虑了褶积模型和射线法 AVO 模拟,图7是一个应用实例。

地震响应特征分析。将所作的地震合成记录和地震剖面显示一起(图8)与物性参数进行对比分析,建立地震响应与地层、物性参数变化关系。



a—完全饱水 b—完全饱气 c—完全饱和

图7 模拟3种不同状况的 AVO 正演模拟记录

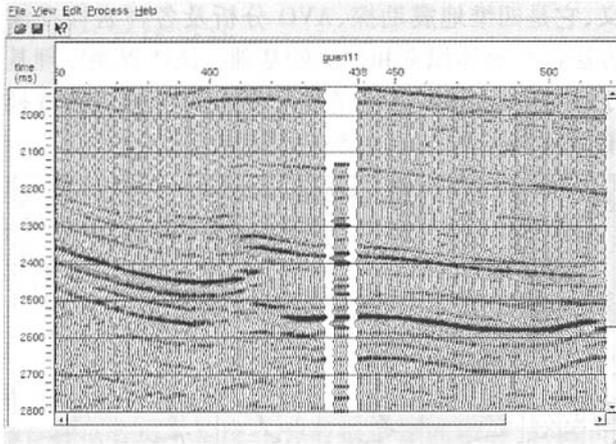


图 8 合成记录与井旁地震道的对比示意

实用工具集成了一些其他有用的工具,如温度、压力校正<sup>[35]</sup>,速度、密度、孔隙度和泥质含量之间的转换<sup>[36-38]</sup>,频散校正,图形显示、保存等等。

### 6 总结

RPAS1.0 软件将有关岩石物性的数据来源——岩芯测试数据、测井资料有效管理起来,从岩芯测试数据及其规律分析出发,结合测井资料及地质钻井信息,岩石物理特征以及储层地震响应特征变化进行综合研究的。

岩石物性数据管理子系统,既对整个 RPAS 系统的数据支持,同时又可以独立安装使用。岩石物理正演模拟分析子系统既可从数据管理系统获得数据,又可直接利用测井数据,同时也可以单独安装使用的子系统。

本软件系统采用具有跨平台的 Qt 开发,软件能够在不同平台上运行,不需要重新编写软件就可以直接移植到不同操作系统中,具强的可移植性;Qt 高度面向对象和模块化设计,系统允许增加子系统或功能模块,具较强的可扩充性。具有灵活方便的图形界面和交互功能。

目前,本系统已经有效地管理着 80 多口井的测井数据和 1 000 多块岩芯和几十个石油、地层水样本的实验测试数据,已为科研生产服务。

本文撰写过程中,得到中国石化南京石油物探研究所应用地球物理实验室和同事段文超、王天伟高级工程师的支持,在此表示感谢!

### 参考文献:

[ 1 ] 陈颢,黄庭芳. 岩石物理学 [ M ]. 北京: 北京大学出版社, 2000.

[ 2 ] Toksaz M N, Cheng C H, Timur A. Velocities of seismic waves in porous rocks [ J ]. Geophysics, 41 : 621.

[ 3 ] Gassmann F. Elastic waves through a packing of spheres [ J ]. Geo-

physics, 1951, 16 : 673.

[ 4 ] White J E. Seismic waves [ M ]. New York : McGraw - hill Book Co Inc, 1965.

[ 5 ] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. II. Higher-frequency range [ J ]. Journal of the Acoustical Society of America, 1956, 28( 1 ) : 168.

[ 6 ] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid : I. Low frequency range and II. Higher-frequency range [ J ]. J Acoust Soc Am, 1965, 28 : 168.

[ 7 ] Berryman J G. Elastic wave propagation in fluid-saturated porous media [ J ]. J Acoust Soc Am, 1981, 69 : 416.

[ 8 ] 马中高, 邓道静. 岩石物理性质研究技术 [ J ]. 勘探地球物理进展, 2003, 26( 5 - 6 ) : 387.

[ 9 ] Domenico S N. Effect of brine-gas mixture on velocity in an unconsolidated sand reservoir [ J ]. Geophysics, 1976, 41 : 882.

[ 10 ] Mavko G, Mukerji T, Dvorkin J. The Rock Physics Handbook [ M ]. Cambridge University Press, 1998.

[ 11 ] Wyllie M R J, Gardner G H F, Gregory A R. Studies of elastic wave attenuation in porous media [ J ]. Geophysics, 1963, 27 : 569.

[ 12 ] White J E. Computed seismic speeds and attenuation in rocks with partial gas saturation [ J ]. Geophysics, 1975, 40 : 224.

[ 13 ] OConnell R J, Budiansky B. Viscoelastic properties of fluid saturated cracked solids [ J ]. J Geophys Res, 1977, 82 : 5701.

[ 14 ] Dvorkin J, Nur A. Dynamic poroelasticity : a unified model with the Squirt flow and the Biot mechanism [ J ]. Geophysics, 1993, 58 : 524.

[ 15 ] Dvorkin J, Nolen-Hoeksema R, Nur A. The squirt flow mechanism : macroscopic description [ J ]. Geophysics, 1994, 59 : 428.

[ 16 ] Dvorkin J, Gutierrez M A. Textural sorting effect on elastic velocities, Part II : elasticity of a bimodal grain mixture SEG 2001 [ R ]. 1768.

[ 17 ] 马中高, 管路平, 贺振华, 等. 模型正演优选地震属性进行储层预测 [ J ]. 石油学报, 2003, 24( 6 ) : 35.

[ 18 ] 鲁卡·考森蒂诺. 油藏评价一体化研究 [ M ]. 李阳, 王大锐, 等译. 北京: 石油工业出版社, 2003.

[ 19 ] Wang Z. Fundamental of seismic rock physics [ J ]. Geophysics, 2001, 66 : 398.

[ 20 ] Batzle M, Wang Z. Seismic properties of pore fluids [ J ]. Geophysics, 1992, 57 : 1396.

[ 21 ] McCain, W D. The properties of petroleum fluid [ M ]. Tulsa : PennWell Pub Co, 1990.

[ 22 ] 云美厚, 易维启. 孔隙流体地震特征的计算 [ J ]. 石油物探, 2001, 40( 2 ) : 13.

[ 23 ] Voit W. Lehrbuch der Kristallphysik [ M ]. Teubner Leipzig, 1928.

[ 24 ] Reuss A. Berechnung der fließgrenze von mischkristallen auf grund der plastizitätsbedingung für einkristalle [ J ]. Zeitschrift für Angewandte Mathematik and Mechanik, 1929, 9 : 49.

[ 25 ] Hill R. The elastic behavior of crystalline aggregate [ M ]. London : Pro Phys Soc, 1952, A65 : 349.

[ 26 ] Nur A. Critical porosity and seismic velocity in rocks [ J ]. EOS Trans Am Geophys Union, 1992, 73 : 43.

[ 27 ] Hashin Z, Shtrikman S. A variational approach to the elastic behavior of multiphase material [ J ]. J Mech Phys Solid, 1963, 11 : 127.

- [ 28 ] 马中高. 计算干岩石的体积模量 :修正的临界孔隙度模型[ A ]. 第 21 届中国地球物理学会年刊[ C ]. 长春 : 吉林大学出版社 , 2005.
- [ 29 ] Mavko G ,Chan C ,Mukerji T. Fluid substitution :Estimating changes in  $v_p$  without knowing  $v_s$ [ J ]. Geophysics ,1995 ,60 :1750.
- [ 30 ] Mavko G ,Jzba D. Estimating grain-scale fluid effects on velocity dispersion in rocks[ J ]. Geophysics ,1991 ,56 :1940.
- [ 31 ] Xu S ,White R E. A new velocity model for clay-sand mixtures[ J ]. J Geophys Prospecting ,1995 ,43 :91.
- [ 32 ] Kreif M ,Garat J ,Stellingwerff J ,Ventre J. A petrophysical interpretation using the velocities of P and S waves( full waveform sonic ) [ J ]. The Log Analyst ,1990 ,31 :355.
- [ 33 ] Castagna J P ,Batzie M L ,Eastwood R L. Relationships between compressional wave and shear wave velocities in elastic silicate rocks[ J ]. Geophysics ,1985 ,50( 5 ) :571.
- [ 34 ] 马中高 ,解吉高. 岩石的纵、横波速度与密度的规律研究[ J ]. 地球物理学进展 ,2005 ,20( 4 ) :905.
- [ 35 ] Eberhart-Phillips D ,Han D-H ,Zoback M D. Empirical relationships among seismic velocity , effective pressure , porosity and Clay content in sandstone[ J ]. Geophysics ,1989 ,54( 1 ) :82.
- [ 36 ] 马中高 ,伍向阳. 有效压力对纵横波速度的影响[ J ]. 勘探地球物理学进展 ,2006 ,29( 3 ).
- [ 37 ] Gardner G H F ,Gardner L W ,Gregory A R. Formation velocity and density :The diagnostic basics for stratigraphic traps[ J ]. Geophysics ,1974 ,39( 6 ) :770.
- [ 38 ] Castagna J P ,Batzie M L ,Kan T K. Rock physics :The link between rock properties and AVO response[ A ]. Castagna J P , Backus M. Offset Dependent Reflectivity :Theory and Practice of AVO Analysis , Investigations in Geophysics[ C ]. Tulsa : Society of Exploration Geophysicists ,1993 ( 8 ) :135.
- [ 39 ] Han D H ,Nur A ,Morgan D. Effects of porosity and clay content on Wave velocities in sandstones[ J ]. Geophysics ,1986 ,51( 11 ) :2093.

## THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE PACKAGE FOR ROCK PHYSICS ANALYSIS

MA Zhong-gao<sup>1,2</sup> ZHOU Wei<sup>2</sup> SUN Cheng-long<sup>2</sup>

( 1. Chengdu University of Technology ,Chengdu 610059 ,China ; 2. Nanjing Institute of Geophysical Prospecting ,SINOPEC Nanjing 210014 ,China )

**Abstract :** Rock physics lies in the study of the physical properties of rocks related to seismic properties , especially the quantitative study of the relationship between elastic properties of rocks and their seismic properties with various fluid distributions. This relationship is important in the prospecting and exploitation of oil and gas , and hence rock physics is highly praised as a tool for " opening the door to quantitative interpretation ". This paper has briefly reviewed the development of the rock physics and described the designing objects of the rock physics analysis system ( RPAS ). By combining core measurements with well logging and seismic information , RPAS provides a convenient tool for theoretical and experimental analysis. The ideas behind the design and implementation of RPAS are given , and the user's needs are analyzed. This paper describes the framework of RPAS and its concrete functions. Developed by object - oriented programming and Qt , RPAS is characterized by friendly graphical interface and flexible interactive manipulations. It is open and easy to transplant.

**Key words :** Rock physics ; fluid substitution ; software design ; data management ; core measurement , forward modeling

作者简介 : 马中高( 1964 - ) ,男 ,教授级高级工程师 ,1985年毕业于原成都地质学院石油物探专业 ,1988年获硕士学位 ,在读博士 ,现从事地震方法和岩石物理研究工作 ,公开发表学术论文数篇。

上接 259 页

**Abstract :** Resistivity tomography has been widely used in metallic ore deposits , petroleum reservoirs , civil engineering and hydrogeology due to its high resolution for the underground structures. With the Active X technology , the resistivity tomography software can realize the automatic plot by using Surfer.

**Key words :** resistivity tomography ; Active X ; Surfer

作者简介 : 陈斌( 1982 - ) ,男 ,现于成都理工大学地球探测与信息技术专业攻读硕士学位。主要研究方向 : 环境与工程地球物理等。 万方数据