

裂缝油气藏综合分析系统^①

梅廉夫* 徐思煌

(中国地质大学 武汉)

提 要

裂缝油气藏综合分析系统是建立在裂缝油气藏特有的石油地质基础上,综合选用地质、地球物理、油藏工程等要素,使用地球化学、岩石力学、有限单元法、有限差分法、有机包裹体、多元统计以及计算机技术等一系列方法,最后达到综合分析和评价裂缝油气藏的一个复合系统。系统包括岩心裂缝检测、裂缝分布分析、地球物理分析、油气分析及油气藏管理五个子系统。

主题词 裂缝 油气藏 分析 系统

1 前 言

裂缝油气藏与常规油气藏相比具特有的成藏规律,研究中涉及到的资料繁多,分析方法复杂,评价困难。所以尽早地认识裂缝系统的作用并掌握收集和分析有关资料的系统方法,对裂缝油气藏的有效评价和预测是至关重要的^[1]。这种系统(指针对裂缝油气藏包括数据库及各种处理方法的计算机系统)是国内外重大研究课题,需尽快研究发展^[2],裂缝油气藏综合分析系统建立的目的是要优选各种有利于裂缝油气藏分析的资料和方法。特别是要将勘探与开发、地质方法与地球物理、地球化学方法等结合起来,并将宏观与微观、区域与局部、常规方法与非常规方法等作为一个有机整体组织起来,利用计算机的学科优势,将其作为一项系统工程,发挥各自特定的功能和整体的优势。建立起数据采集、综合分析、评价预测以及油气藏管理的综合系统。

2 裂缝油气藏综合分析总系统(S)

总系统为裂缝油气藏综合分析系统,由岩心裂缝检测(A)、裂缝分布分析(B)、地球物理分析(C)、油气分析(D)和油气藏管理(E)五个子系统组成即:

$$S = A + B + C + D + E$$

总系统的目的按权限分担,由各子系统负责,因而其成为五个子系统相互联系的整体,它融合了各子系统,其功能大于各子系统功能之和。

2.1 岩心裂缝检测系统(A)

岩心裂缝检测是裂缝油气藏分析中最直观、最基本的方法。它的核心是如何正确地检测和

① 国家自然科学基金资助课题。

* 梅廉夫,1983年毕业于中南工业大学地质系。现任武汉中国地质大学讲师。通讯处:湖北省武昌喻家山。邮政编码:430074。

合理、方便地表达。子系统包括十二个要素(图 1)。用 dBASE III PLUS 建立数据库,可进行数据处理,要素间的相互关系分析等,并可直接进行图表显示和表达。

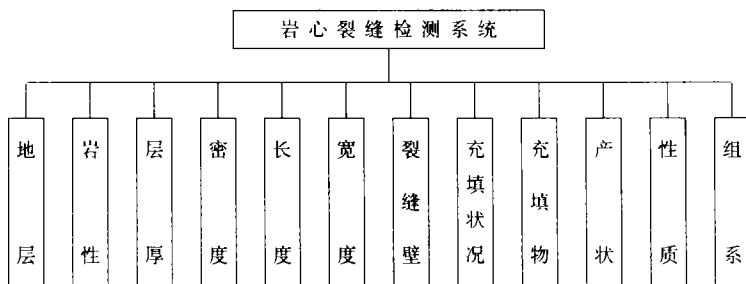


图 1 子系统(A)与要素关系图

Fig.1 The relation between subsystem (A) and elements

系统中产状要素的准确确定,依赖于岩心的定位。除定向取心和地层倾角测井直接定位外,利用区域构造进行间接定位更为适用,因为有直接定位资料的井在油田只占少数。实践中选用下列参数:①岩心直立,岩层倾向 180°时所测岩层倾角(α)、裂缝倾向(A)、倾角(θ),②地层真倾向(B)、真倾角(β),③井斜倾向(C)、井斜角(γ)。将赤平投影方法利用矢量代数及三角函数关系公式化,求取裂缝真倾向(D)及真倾角(ω)。非规则型裂缝(如成岩缝、收缩缝等)可不进行产状校正。

2.2. 裂缝分布分析系统(B)

大量研究证明,构造作用是形成裂缝的主要因素^[1],所以构造裂缝古构造应力场作用下的产物而受其控制。定性分析和主曲率数学—力学模型^[3]能部分解决应力场和裂缝分布问题,但这些方法明显受地质体几何形状的复杂性与岩性的非均质性的限制,因而具很大的局限性。有限单元法能较好地突破上述方法的局限性而解决裂缝分布问题^[4]。

裂缝分布的有限单元分析的基本思想可以归结为四个方面:整体进行单元离散化;单元分析;总体分析;单元破裂判别。计算出的主应力、应变、方向通过转换和标定,得出裂缝分布区、产状和密度,其中密度是通过子系统(A),标定应力与应变或应变能值,求出绝对裂缝密度系数(N)后求出^[4]。

曲率分析的基本原理是弹性小挠度薄板弯曲理论,裂缝的分布与最大主曲率值呈正比关系^[3],最后归结为求构造面主曲率。

该子系统的上述两种主要方法用来计算裂缝密度时均需要利用子系统(A)进行标定,或与子系统(C)进行对比。

2.3 地球物理分析系统(C)

地球物理分析系统包括测井和地震两部分。

2.3.1 测井分析系统(C₁)

测井是未取心井单井分析裂缝及裂缝油气藏最重要的手段。不同地区裂缝的特征(如产状、张开状况、充填特征等)不同,因而其测井响应也不一样。通过该系统建立裂缝的基本模型,

该模型中包括在子系统(A)获得的产状、裂缝孔隙度、渗透率、含水饱和度等基本参数,结合裂缝发育段的测井分析寻找出的响应关系。系统 C_1 优选10种测井方法(图2),建立这些方法与裂缝及裂缝油气藏的定量数值关系,然后利用判别分析原理建立识别软件。

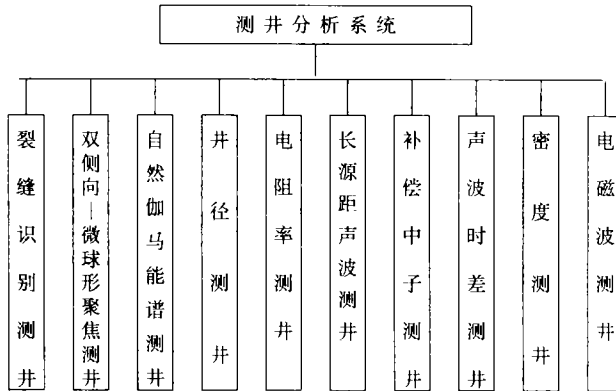


图2 子系统(C_1)与优选测井方法之间的关系图

Fig. 2 The relation between subsystem (C_1) and optimum log methods

2.3.2 地震分析系统(C_2)

裂缝的地震显示主要有由裂缝带引起的速度和振幅异常。由于裂缝带对地震波的吸收衰减,往往使裂缝带显示低速和低振幅异常。该系统通过对速度谱和振幅值的处理后,得出目的层段的层速度和真振幅值,进一步进行深度等校正后,得出层速度和振幅异常值。然后与子系统A和子系统 C_1 进行对比,去伪存真,得出裂缝带与异常值之间的对应关系,最后图件表达出裂缝带在空间上的分布规律。对于具VSP和横波资料的地区,系统单独设立了处理模块。

2.4 油气分析系统(D)

油气分析系统(D),考虑到裂缝油气藏的特点,除运用常规的地球化学、压力、判别等方法外,还使用了近期发展起来的有机包裹体分析等非常规方法(图3)。对于裂缝油气藏最有价值的勘探技术是那些能阐明变形事件和储层成岩历史相对于油气生成与运移先后顺序的技术^[1],有机包裹体就是这些技术中最适用、最有效的一种^[5]。

系统将各种分析方法综合在一起,取长补短,相互验证,以达到对裂缝油气藏中油气的准确分析。

2.5 油气藏管理系统(E)

当确定裂缝油气藏以后,如何进行正确的评价和设计合理的开发方案,达到对油气藏进行有效的管理,以便取得最大的经济效益。过去常用的定性研究方法已很难对油气藏进行有效管理,现在和未来最需要的是对油气藏进行可靠的数学描述,并据此对油气藏特征和动态建立详细的数学模型进行模拟。在此基础上才能作出油气藏管理的合理、有效的决策。子系统(E)是在上述思想上建立起来的(图4)。圈闭和流体是油气藏的两大要素,组成圈闭的要素是储层和封闭条件,其中封闭条件对非均质的裂缝性储层来说是不具裂缝的基质块体。所以油气藏管理

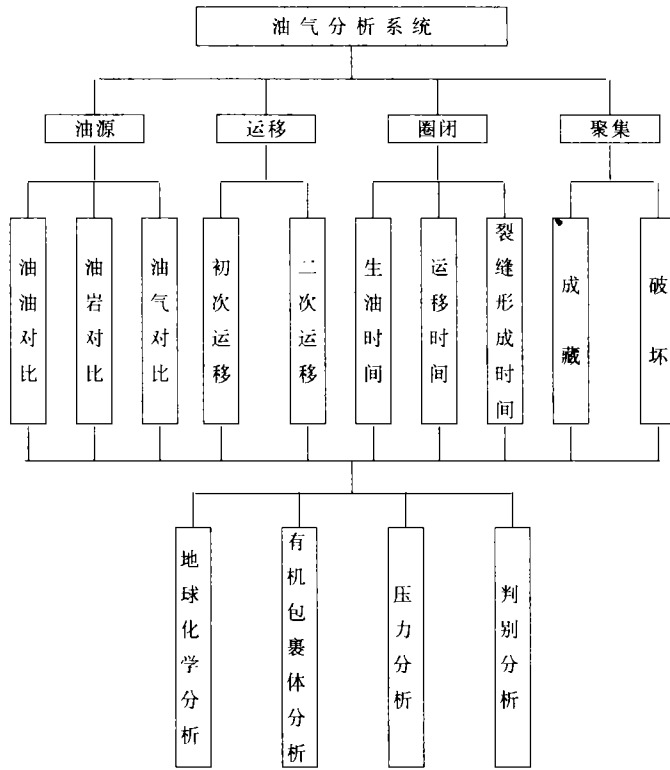


图 3 油气分析系统(D)与各要素相关图

Fig. 3 The relation between hydrocarbon analysis system (D) and various elements

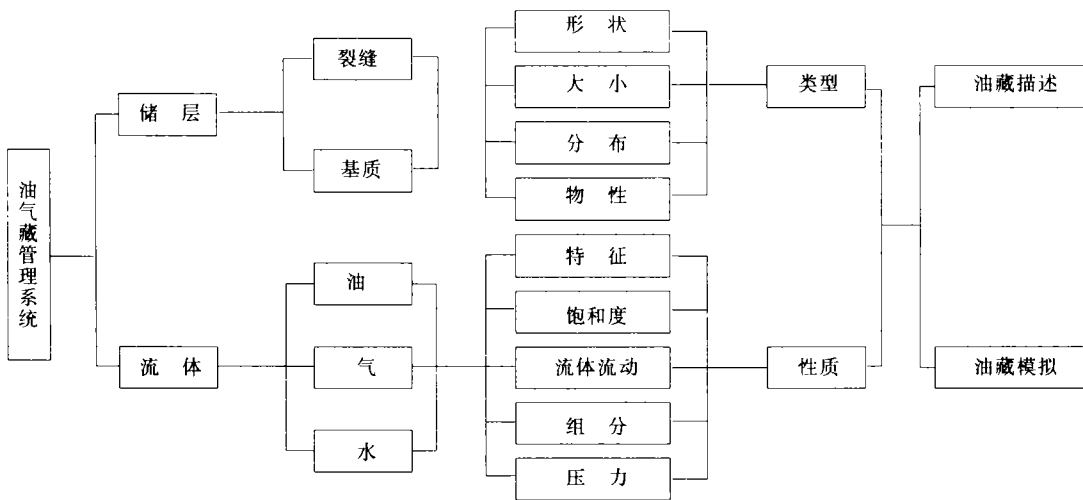


图 4 子系统(E)与各要素相关图

Fig. 4 The relation between subsystem (E) and various elements

中以储层和流体最为重要。裂缝储层包括裂缝和基质两部分，二者的性质、分布、物性等不同，该系统结合子系统(A)和(B)确定出储层面积、有效厚度、孔渗等参数，最后确定储层类型。油

气藏中的流体包括油气水,它们的特征(成分、饱和度等)随着油气藏的开采动态变化(生产史)。

根据储层和流体特征,应用该系统对油气藏进行描述,之后建立起三维三相双孔介质的裂缝黑油模型^[6,7],对油气进行数学模拟,其结果能迅速、准确地对油田开发过程进行跟踪、监督和预测,最后达到对油气藏的有效而正确的管理。

3 系统及其运行环境

系统(S)与一、二级子系统为树状结构,子系统与各要素之间建立关系模型。在建立统一的数据站的基础上,各子系统软件可随时进入数据站提取数据并存放成果数据。总系统的最后功能是将各子系统成果进行判别,选取最佳评价参数对区块进行综合分析、评价和预测,对已开采油气藏进行管理。

系统在 IBM-386 微机上运行。应用 FORTRAN 语言完成系统的建立及管理。

4 应用实例

该系统已在江汉盆地王场地区应用。

江汉盆地王场地区位于该盆地潜江凹陷王广浩断裂带与王场背斜交接部位,整体为 NW 向的王场背斜,其南部被 NE 向正断层(遮挡断层)复杂化,断层及背斜均为生长型构造。目的层为下第三系潜江组泥岩、碳酸盐岩,其中已发现大量的裂缝油气藏。

系统分析从岩心检测子系统开始,首先将在岩心库检测的不同构造部位 60 口井的资料建立岩心资料数据库。图表表达出裂缝中绝大多数为张裂缝,其中 NE 向高角度张裂缝和 NW 向垂直层面的张裂缝占优势,并成为主要的储油空间。岩心的一系列实验室测试表明,基质具一定孔隙度但渗透率极低。进一步分析表明,上述两组裂缝分别与遮挡断层和王场背斜两局部构造有关。据此进入裂缝分布分析系统,分别使用有限单元法和曲率法对 NE 向裂缝和 NW 向裂缝分布进行了模拟。并利用子系统 A 对平面上裂缝密度进行标定。在上述模拟的基础上,进一步运用地球物理分析系统对裂缝及裂缝油气藏的分布进行分析。首先成功地建立起了裂缝及裂缝油层模型与测井的响应关系,利用声波时差差值和井径扩径交会判别裂缝层,利用 4m 电阻率与自然伽马交会判别裂缝油层。将其与子系统 A 对比并标定后建立统一的判别标准对区内裂缝及裂缝油层进行划分。进一步利用工区三维地震的速度资料求取目的层层速度,进行深度校正后,得出区内层速度异常值,利用子系统 A 和 C_1 进行标定,选取 600m/s 作为裂缝发育带的门限值对全区裂缝分布进行划分。子系统 A、B、C 作出的裂缝分布通过总系统归纳得出裂缝主要分布于背斜顶部、背斜两翼部分地区、遮挡断层上升盘、南断块部分地区。上述结论要对油气藏进行分析、评价、预测还取决于油气分析系统。通过有机地球化学等分析表明油气具原生和次生两种来源,前者受背斜控制远离断层,具较短运移距离,后者邻近断层,运移距离较长^[5]。进一步运用有机包裹体分析、生油、运移以及裂缝三者的时间在荆河镇末期和广华寺末期匹配完好。依据上述油气分析,结合子系统 A、B、C,系统建立了六种成藏模式。通过前四个子系统分析,总系统优选出裂缝空间分布、储层体积及物性、油气形成、运移、裂缝作用时

空匹配关系三项主要参数,对区内裂缝油气藏进行分析、预测,提出遮挡断层上升盘、王场背斜轴部两个最有利区块。利用油气藏管理系统分别对这两个区块进行了油气藏描述和油气藏模拟。对储层和流体进行单井描述的基础上,进行区块(多井)描述,整体把握油气藏特征。进一步利用三维三相黑油模型对油气藏进行了模拟,其中对生产史的拟合效果较好,并对动态进行了监测和油藏最终采收率进行了预测。认为进行水力压裂扩大微裂缝、沟通基质孔隙是延长油藏寿命的重要措施。

参 考 文 献

- [1] Nelson R A. Geological analysis of naturally fractured reservoirs. Gulf publishing company. Houston. Texas. 1985:43~105.
- [2] 王允诚等. 裂缝性致密油气储集层. 北京:地质出版社,1992:137~175.
- [3] 曾锦光. 应用构造面主曲率研究油藏裂缝问题. 力学学报,1982,(2):202~206.
- [4] Mei Lianfu. The finite element method analysing the fractured distribution in the carbonate reservoirs in central Hebei, china. Abstracts of 29th IGC. Kyoto. Jappan,1992,(3):832.
- [5] 梅廉夫等. 江汉盆地王场地区裂缝作用和烃类运移. 科学通报,1994(待刊)
- [6] Thomas,L. K. Fractured reservoirs simutation. Soc. Pet. Eng. J. ,1983,(2):42~54.
- [7] 尹定. 全隐式三维三相裂缝黑油模型. 石油学报,1992,(1):61~68.

(本文收到日期 1992-12-28)

(修改稿收到日期 1994-04-28)

(编辑 孟伟铭)

A COMPREHENSIVE ANALYSIS SYSTEM FOR FRACTURED RESERVOIR

Mei Lianfu Xu Sihuang

(China University of Geoscience,Wuhan)

Abstract

A comprehensive analysis system of fractured reservoir is a compound system analyzing and evaluating reservoirs, which is built on the basis of petroleum geology of the reservoir, select and use the elements of geology, geophysics, petroleum reservoir engineering etc. , by means of a series of methods of geochemistry, rock mechanics, finite-element method, finite-difference method, hydrocarbon inclusion, multi-element statistics and computer technology...etc. This system include five subsystems: the detecting of the fractured core, the analyzing of the fractured distribution, the analyzing of geophysics, the analyzing the hydrocarbon and the reservoir management system.

Key words fracture hydrocarbon pool analysis system