

沉积盆地地震—层序地层学研究辅助系统— I

王多云

(中国科学院兰州地质研究所)

提要 笔者近几年在柴达木、准噶尔、鄂尔多斯、华北和南宁等盆地从事地震地层学和层序地层学研究中,建立了“沉积盆地地震—层序地层学研究辅助系统”(A Seismic—Sequence Stratigraphy Supplementary System of Sedimentary Basins,简称4S)。4S由三大区块组成,即勘探信息数据库,数据综合分析处理与建立定量模型和模型展开并平面、二维及三维成图。4S是一个由4万余条源语句组成的微机软件系统,能够对含油气盆地的地表地质、地震、钻井测井、样品分析测试等数据进行综合分析处理,定量研究目标层序的沉积相,沉积体系,古水流方向,烃类和生储盖层分布预测,沉积体系二维地层模型的地震模拟,沉积层序三维水平切片及其表面地貌形态成像等许多地震—层序地层学所涉及的问题。4S所使用的数据种类和目标结果都不同于目前各种地震资料解释专用系统和盆地模拟系统,并且具有所需设备简单,便于普及和能够解决多种基础地质问题等特点。

关键词 沉积盆地 地震—层序地层学 软件技术

第一作者简介 王多云 男 36岁 研究员 沉积学与层序地层学。

引言

含油气盆地地震—层序地层学研究实际上是以地震资料为依托,结合对地表、钻井测井和样品测试等资料研究得出的岩相及沉积环境的认识,对地层成因给予综合解释,据此回答与油气勘探与开发有关的基本问题,例如岩相分布,沉积环境格架,古水流方向,海(湖)岸线位置,生储层分布范围等。在这项工作中,研究者所面对的是大量的地上与地下,地质与地球物理,各种分析测试数据与专家经验等繁多的信息。目前,不论是引进的专用地震资料解释系统,还是各种盆地定量模拟系统,都不可能将这些基本信息全部囊括。所以,以地震—层序地层学为中心,利用其他多学科知识(如地球物理,数理统计,数学地质及计算机科学等),结合各种资料(如地表沉积地质,地震,钻井测井及样品测试等),建立应用多种信息的、定量化程序化的、面向基础和不同层次研究人员的、实用及便于普及的沉积盆地地震—层序地层学研究辅助系统,无疑具有将理论—方法—技术融为一体的作用,4S正是根据这种需要开发的微机软件。

4S有以下6个特点:(1)数据种类多样化,即能将地表,钻井测井,地震勘探,样品分析,井下油气测试和部分常用概念与专家经验以数字方式全部进入系统;(2)分析定量化,即将所有描述性的信息转换为编码,使对岩相,沉积环境,沉积体系等研究均达到定量分析的水平;(3)解释模型化,即先在已知控制点上建立解释模型,而后将模型扩展到未知区域面;(4)系统软件化,即模块式结构,4万多条各种语句,40多种图件、20多种表格输出;(5)过程自动化,即分属三个区块,8级菜单的180多个子程序,可整装运行,也可单独运行,使用者还可根据自己的思路拼接各子程序;(6)设备简单化,即只需一台286或386个人计算机,配协处理器,外设打印

机, 绘图仪, 数字化仪; 软件配置操作系统, BASIC, FORTRAN, PASCAL 等解释和编译程序以及 Auto CAD(9.03 版及以上)等系统软件。

4S 已应用于准噶尔和鄂尔多斯盆地。并且侧重解剖准噶尔盆地东部的三台、北三台地区和鄂尔多斯盆地东部绥德—榆林地区以及中部靖边—横山地区等勘探程度较高的已知区块, 以便检验该系统和所用方法的有效性, 并对上述区块的相邻地区(无钻井揭示的未知区)进行了连片研究。研究结果与实际情况的吻合度良好, 对未知新区的一些结果已被生产单位证实。即便如此, 4S 仍需在应用中进一步考验、改进、充实与提高。

1 系统设计思路与总体流程

油气勘探所针对的目标层序一般较薄。常规地震资料不可能反映出薄层内的所有地层沉积信息, 导致注重地震反射模式的地震相分析方法有很多局限(王多云等, 1992)。因此, 4S 从勘探区普查阶段后期或详查阶段得到的地表露头、钻井、测井和样品测试信息入手, 着力解剖这些局部控制点上的地质信息及其与地球物理信息(主要是各种测井记录)间的必然联系, 建立测井信息对各种地质信息的判识指标(标志); 把地震资料作为区域面上推断未知地质信息的研究对象, 并对其某些参数(例如高精度的速度参数)进行大比例尺高密度分布的采样, 分析和处理; 把测井资料作为连接局部已知地质信息与区域地震信息的桥梁, 并使二者的同一参数(例如速度、反射系数等)达到高度吻合; 通过测井信息与地震信息的密切联系, 使得应用测井

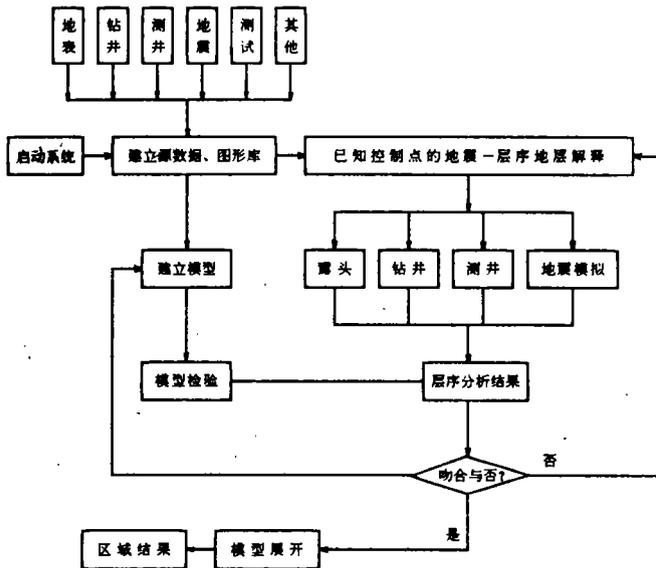


图 1 4S 总体流程图

Fig. 1 Block-diagram showing the general technological process of 4S system

信息对地质信息的判识能够精确地转换为地震信息对地质信息的直接判识。通过测井资料这个重要的中间媒介, 建立起地震资料对有关地质问题的定量解释模型, 最终能够由点到面、由局部到区域、由已知到未知把建立的解释模型和判识指标在整个探区展开, 直到区域上进行叠

层式大比例尺环境相分析、生储盖层分布预测和具体预测油气藏的目的。总体流程如图1。

2 4S 数据、图形及知识库

4S 数据、图形和知识库分为源数据、中间数据、图形和知识资料四个子库。源数据子库中包括：

- 2.1 露头剖面：岩性、颜色、岩性相、沉积构造、化石、最大粒径、支撑情况、厚度等。
- 2.2 钻井剖面：岩性、颜色、厚度、岩芯描述等。
- 2.3 测井剖面：包括声波、密度、孔隙度、地层倾角、VSP、自然电位、自然伽玛及电阻率测井等。并按五种方式采样：(1)与钻井剖面沉积相地层序列段对应；(2)与厚度在10米以上的单岩性对应；(3)以2米为间隔测井数据；(4)声波测井等间隔全采样和(5)地震测井全采样等。
- 2.4 地震勘探：包括：(1)对叠加速度的分析采样；(2)对地震层序界面的数字标定采样；(3)地震反射特征的数字标定采样。
- 2.5 样品测试数据：粒度分析、物性分析、铸体薄片分析等。
- 2.6 油气测试数据：含油气层深度、厚度、试油压力，油层静压力梯度等。
- 2.7 其他定量、非定量的地质、岩石、地球物理数据。

中间数据库为系统运行过程中产生的中间数据；图形子库中包括源图形资料和结果图形；知识资料子库含有一般的概念知识和一些特殊知识，例沉积相的标准模式等。

对于描述性的非定量数据信息，4S 规定了一套编码方案。

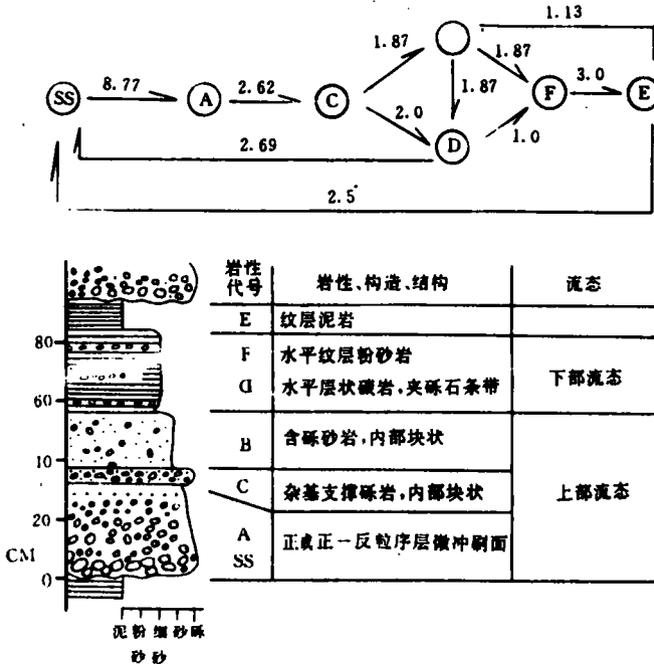


图2 岩性序列的马尔科夫链模型实例(柴达木盆地西部渐新统干柴沟组)
Fig. 2 An example showing the Markov chain model of lithological sequence

3 在局部已知点上抽提解释模型

局部已知点指研究区内露头、钻井、测井剖面以及这些已知点旁和地震反射点(段)。对已知点的精细解释可寻找出已知地质信息与测井物探信息的关系,可以建立由已知推断未知的解释模型。4S 建立以下 8 种解释模型:

3.1 时间—岩性序列的马尔科夫链模型

应用马尔科夫链方法定量分析各已知岩性序列,抽提出各自的岩性叠复模式,以便和现有较标准沉积模式对比,进而确定地层序列的成因类型。一般用岩性状态组织剖面,分析剖面中各岩性单位的计数矩阵和转移概率矩阵效果较好。图 2 是由 7 种岩性(构造)单位分析的马尔科夫链地层模型,表明了某扇三角洲中水下碎屑流—洪水浊流沉积物的理想层序。

3.2 时间—岩性序列的频谱分析模型

对各已知序列进行谱分析,确定某一典型地质特征在序列中出现的最大周期和最大谱值。两个在成因上有联系的地层序列之间应有相近的最大谱值和最大周期,即某个地质现象如在两个等时的地层序列中同时出现并且出现的幅度相近,则这两个地层序列在成因上有联系。例如,同一沉积环境中的两个等时沉积序列,在序列结构上是相似的。频谱模型用于确定研究区内沉积体系的大致轮廓和环境格架,例如古水流方向、河道位置、水陆分界线等(王多云等, 1992)。最大熵谱(Maximum Entropy Matrix)分析因不受取样长度限制,对频分辨率较高,因此适合于对岩性序列进行频谱分析。一个确定性随机过程的 M 谱值 $P(f)$ 由下式确定:

$$P(f) = P_m \Delta t \left| 1 - \sum_{n=1}^m A_{mn} e^{-2\pi i f n \Delta t} \right|^{-2} \quad (1)$$

式中, P_m 是第 m 个点的预测误差滤波器的输出功率。

A_{mn} 是预测误差滤波器的系数。

m 是预测误差滤波器的阶数,即滤波窗口的大小。在 MEM 分析计算中, m 的选择十分重要。 m 选择过小,即阶数过低,导致主要的谱峰分辨不出来,而 m 过大,即阶数过高,又会引起谱峰的分裂。

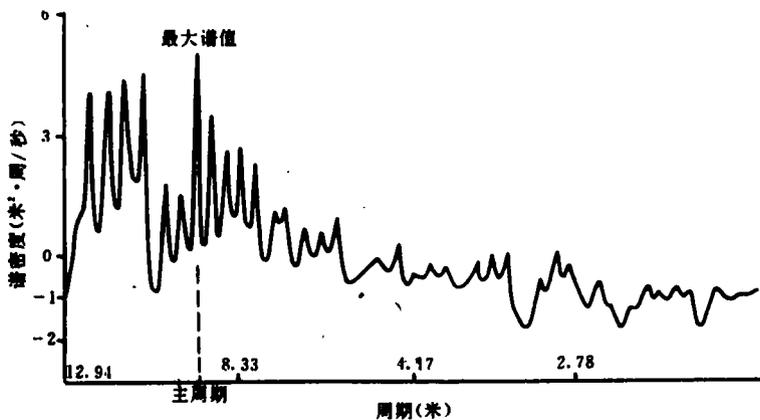


图 3 地层序列最大熵谱分析谱图(鄂尔多斯盆地东部 y6 井 p_{1x} 序列)

Fig. 3 A spectral analysis example of a lithological sequence

用等间隔方法组织的剖面,可以认为是一时间序列。图3是一岩性序列段的熵谱分析图,以等间距(0.4m)标定砂岩的厚度,其最大谱密度值(5.09)所对应的砂岩在序列中出现的主周期为10.95米。这一模型可以确定某钻井点上某层序内河道发生的主频率,为在区域上分析河道分布的位置和水流方向打下基础。

3.3 各种多元统计模型

4S可用各种函数关系拟合数据,各种多元统计方法基本齐全,具备数字滤波,付立叶周期分析,相关分析等多种数学处理的功能。多元统计模型旨在建立各种已知信息间的定量关系,特别是地球物理测井信息与地质信息的相互关系,如层序的埋深,时代,速度,孔隙度,地层压力之间;测井物性与实测物性之间;测井速度、密度、孔隙度、倾角、泥岩含量与对应地层的厚度、各岩性含量、沉积构造、岩性组合、粒度、岩石结构等之间;地质信息本身之间和地球物理信息本身之间相关关系等等,以准噶尔盆地东部阜康—吉木萨尔地区为例,有关参数间的定量关系为:

①速度与深度,年代之间关系:

$$V = 109.8(ZT)^{1/5} \quad (2)$$

V=速度(m/s),Z—深度(m),T=年代时间(a)

②三叠系泥岩、砂岩正常压实方程:

$$\Delta t_{sh} = 589e^{-0.0002087Z} \quad (3)$$

$$\Delta t_s = 472e^{-0.0002018Z} \quad (4)$$

Z=深度(m), Δt_{sh} 和 Δt_s 分别为泥岩和砂岩的声波时差($\mu\text{s}/\text{m}$)

③侏罗系测井速度与测井密度之关系

$$V = 1086.857e^{0.4858\rho} \quad (5)$$

V=速度(m/s), ρ =密度(g/cm^3)

④三叠系测井孔隙度与测井密度之关系

$$\varphi = 101.29 - 27.0426\rho \quad (6)$$

φ =孔隙度(%), ρ =密度(g/cm^3)等等。

3.4 沉积相岩性组合—速度模型

该模型是解释地下沉积相分布的主要依据。研究表明,由于陆相盆地沉积层序为多岩性的薄层组合,地震速度,除与地层年代、埋藏深度有正常关系外,主要受地层序列岩性组合、岩石颗粒大小等沉积条件有关的因素制约,导致一套有明确沉积相涵义的岩性组合序列有一定的地震速度响应,这一规律就为利用地震速度参数识别沉积相提供了依据。

图4是准噶尔盆地东部阜康—吉木萨尔上二叠统的沉积相岩性组合速度模型。资料来自对该区35口钻井中125段沉积相地层序列与其对应测井层速度的标定。在速度分布的8个区间中,每个区间均有基本确定的沉积相岩性组合序列与之对应,其岩性含量也基本反映出各个沉积相地层序列中岩性组合的一般规律。应用该解释模型,并根据地震速度在区域上的分布可对未知区的地下沉积相分布作出预测。

3.5 已知油气储盖层的层速度—总体孔隙度模型

应用钻井和地震资料评价储层的公式很多,直接法和地质统计法是基本的两种类型。直接法以Wyllie方程或Biot弹性理论为基础;地质统计法以Cokriging统计技术为依据,这两种方法在实际应用中许多限制因素(王多云,1992),或是某些参数难以求取,或是实际沉积层

序内岩性及其内部结构很难是设定的理想情况。

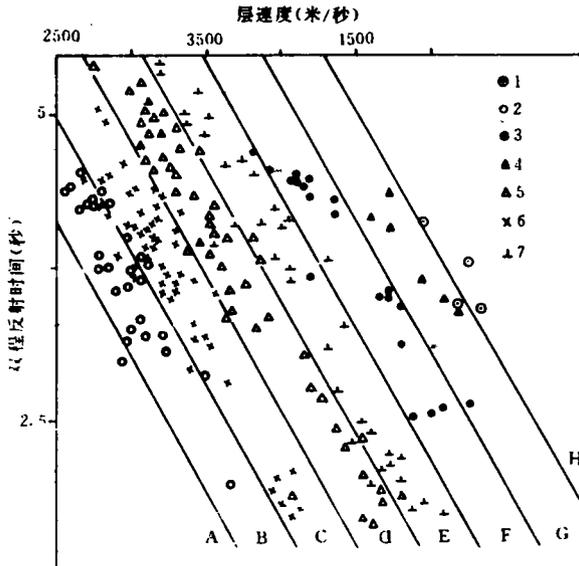


图 4 沉积相岩性组合速度模型实例

A—深湖/较深湖相, B—浅湖相, C—滨湖相, D—三角洲相, E—冲积平原相,
F—河流相, G—含湖相夹层的火山岩序列, H—火山岩

Fig. 4 An illustrative example of the sedimentary facies—lithological association—interval velocity model

研究证明,根据钻井中已经确定的油气生储盖层地层的测井速度,密度、孔隙度和实测的密度、孔隙度、渗透率等参数可直接统计并建立起速度—砂泥岩含量和速度—总体孔隙度间的解释模型。以准噶尔盆地的北三台、三台地区为例,钻井中已知的油气生储盖层大多为一段岩性组合。地层序列层速度与其总体孔隙度之间呈指数函数关系(图 5)。已知的储集层与其上 20—50 米地层段(作为盖层)在速度响应上有明显的差异(图 6)。因此,在研究区内无明显的异常地层压力,即解释层序中速度、密度、孔隙度等与反射时间(深度)间呈正常关系条件下,可以应用这种直接统计的方法来估计未知区同一层序总体孔隙度的大小,达到预测储盖层分布范围的目的。

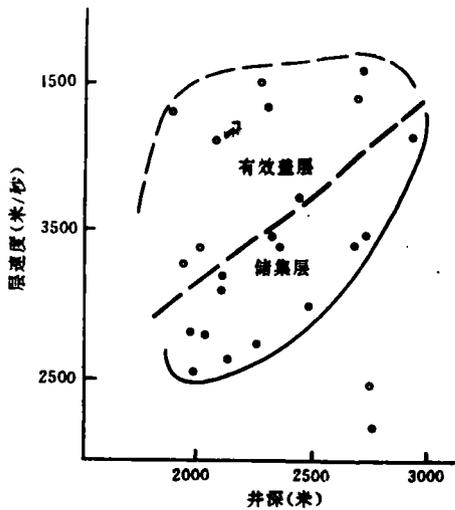


图5 已知储盖层层速度—总体孔隙度模型实例
(阜康—吉木萨尔地区上二叠统解释层序)

ϕ —测井孔隙度, V_p —层序平均层速度

Fig. 5 A model of porosity and interval velocity of reservoir strata

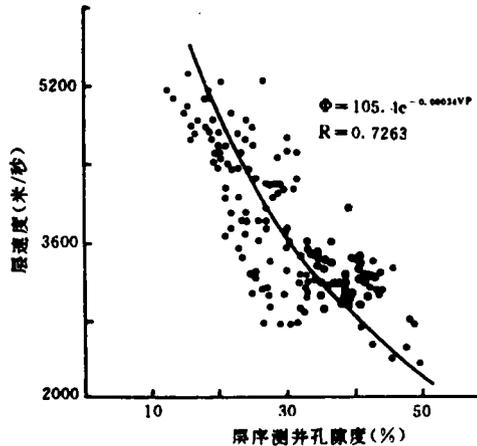


图6 已知储盖组合的层速度—孔隙度差异
(阜康—吉木萨尔地区侏罗系)

Fig. 6 The difference of velocity between reservoir and cover

参 考 文 献

- 王多云等, 1992, 利用最大熵谱分析进行等时沉积序列的相关性对比, 沉积学报, 10卷2期, 62—68页。
王多云等, 1992, 准噶尔盆地油气地质综合研究, 兰州, 甘肃科学技术出版社, 145—156页。
王多云等, 1992, 准噶尔盆地油气地质综合研究, 兰州, 甘肃科学技术出版社, 300—307页。

Supplimentary System for the Study on Seismic—Stratigraphic Sequences of Sedimentary Basin—I

Wang Duoyun

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

A Seismic—Sequence Stratigraphy Supplementary System of Sedimentary Basins (abbreviated as 4S) was established by the author based on studies of the basins such as Caidam, Jungar, Erdos, North China and Nanning. 4S, which consisting of three main blocks, data of exploration statistics, establishment of quantificational method and the opening of the model, is a microsoft system consisted of more than 4000 source statements, its functions include the synthetical data—operation of ground geology, seismology, well logging and sample analysis; quantitative study many of the problems related to seismic—sequence stratigraphy of the target stratum such as the sedimentary facies, sedimentary system, flow direction of palaeodrainage, prospect the distribution of source, reservoir and cap rocks of hydrocarbon generation, seis-

mic simulation of the model of two—dimensional sedimentary model, three—dimensional slice of sedimentary sequence and its surficial morphologic image and so on. Both of the data systems used in 4S and the target result are different from the currently adopted ones that used especially for the explanation of seismic data and basin modelling.

There are five specialities of 4S: (1) Diversified data. It includes all of the data and statistics of surficial geology, well logging, seismic exploration, sample analysis, downhole oil—gas determination, and digitized concepts and experiences. (2) Quantitated analysis. All of the descriptive information are digitized, this led to the quantitative analysis of lithology, sedimentary environment, sedimentary system and so on. (3) Patterned explanation. Set up a model on the basis of a known spot firstly, then use it in the frontier area. (4) Software—equipped system, i. e., block programme structure, it can data out more than 40000 statements, over 40 figures and 20 more tables. (5) Automatized programme. There are 3 blocks, 8 grades of menu and more than 180 sub—routines that can run as a whole programme or seperately, moreover, the oprator can joint the sub—routines as he will.

4S data, figures and knowledge bank are sub—divided into four sub—reservoirs, they are: original data source, intermediate data, figure and knowledge material.

Original data includes the message of outcrops, section of drilling hole, seismic exploitation, sample test, and downwell oil—gas determination; Intermediate data is composed of the data generated during the running of system; Figure sub—bank consists of the source figure and final figures; Knowledge sub—bank is the foudation of general concepts and some special concepts, such as sedimentary facies and standard models.

There are eight explaining models of 4S that established based on the konwn part of a basin, they are:

(1) Time—lithologic sequence Markov chain model. Use the quantificated method of Markov chain to determine the known lithologic sequence, extract out the multi—models of lithofacies, and contrast them with standard models, then confirm the genetic type of the litho—sequences. Generally, the results will be better if the lithologic assemblage profile is used to analysis the count matrix and transformation matrix of every lithostratigraphic unit.

(2) Frenquence spcctrum analysis model of time—lithologic sequence. Marke spectrum analysis on the known sequences and identify the maximum cycle and wave band of a certain typical geological feature that found in a sequence. The maximum cycle and wave band should be similar if the sequences have correlated genetic type. That is to say, if a geological phenominon ocured in two sequences isochronously and with similar extent, then the sequences should be genetically correlation.

(3) Various kind of poly—statistical model: 4S can simulate data by means of funtional relations, it equipped with basically complete poly—statistical methods, and has the digit—opration such as digit wave filter, Fulier period analysis and correlation analysis.

(4) Velocity—lithologic assemblage of sedimentary facies model. This model is the basis to explain of the underground facies. It is revealed that as the sedimentary sequences of terrigenous basins are thin poly—lithologic assemblages, so the seismic velocity, besides its normal relation with the burial depth and geological time, is mainly affected by the factors that are related to sedimentary condition such as lithologic assemblage of strata sequences and grain size, and a lithologic sequence of a defined sedimentary facies can affect the seismic velocity to a certain degree. Based on this law, we can identify sedimentary facies by use of seismic parameters.

(5) Total porosity—layer velocity of a known oil—gas reservoir and cap model. Based on the logging velocity, density and porosity of a known oil—gas source, reservoir and cap layer, associated with the real (practically measured) parameters such as density, porosity and permeability, two explaining models of velocity—mud—sand contents and velocity—total porosity can be directly and statistically erected. This method is more suitable and practical than the Wyllie equation and Cokriging statistical technique in the study of terrigenous sedimentary basins.