

文章编号: 0253- 9985(2004) 01- 0088- 05

储层沉积微相带自动跟踪方法

薛林福¹, 王 剑¹, 王东坡¹, 梅启太², 孙 权²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130026; 2. 大庆油田采油七厂, 黑龙江大庆 163517)

摘要: 储层沉积微相带自动跟踪是在井间地层划分、对比和沉积微相分析的基础上, 利用计算机技术自动确定沉积微相分布、微相带边界和绘制沉积相带图的方法, 主要包括井位坐标变换、网格化、插值、叠置、边界搜索及绘制沉积微相带图等步骤。该方法的关键步骤是采用蠕虫插值法和空间插值法, 以确定呈带状和片状分布的各种沉积微相, 通过网格叠加把这些沉积微相分布结果叠加起来形成最终的沉积微相分布图。蠕虫插值法不同于常规插值法, 是根据地质规律模拟人对带状分布的沉积微相分析的一种智能方法。根据这一原理所开发的微相带跟踪系统软件(MFBTS-Micro Facies Belt Tracing System)能够快速分析和跟踪沉积微相及储层的分布。该方法已初步应用到松辽盆地葡萄花油田, 由 MFBTS 软件所产生的结果图与人工绘制的沉积微相带图基本吻合。

关键词: 沉积微相带自动跟踪; 空间插值法; 蠕虫插值法; 葡萄花油田

中图分类号: TE112. 221

文献标识码: A

Automatic tracing of reservoir's sedimentary microfacies

Xue Linfu¹ Wang Jian¹ Wang Dongpo¹ Mei Qitai² Sun Quan²

(1. Jilin University, Changchun, Jilin;

2. No. 7 Oil Recovery Plant of Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, Heilongjiang)

Abstract: Automatic tracing of reservoir's sedimentary microfacies is to predict automatically the distribution and boundaries of sedimentary microfacies and draw facies map by using computer technologies based on interwell stratigraphic classification and correlation and analysis of sedimentary microfacies. It is carried out in 5 steps including coordinate transform of well positions, gridding, interpolation, superposition, search of boundaries and drawing sedimentary microfacies map. The key of this method is to determine the distributions of different sedimentary microfacies by spatial interpolation and "worm" interpolation, and create a map of sedimentary microfacies belts through superposing these microfacies distributions. "Worm" interpolation, unlike conventional interpolation methods, is an intelligent method that mimic human to analyze zonal distribution of sedimentary microfacies based on geologic rules. The MFBTS (Micro-Facies Belt Tracing System) software, developed according to the above mentioned principles, provides a tool for analyzing and tracing rapidly the distribution of reservoirs and sedimentary microfacies. Application of this technique in Putaohua oilfield in Songliao Basin shows that the map of sedimentary microfacies created by MFBTS is basically consistent with that drawn by hands.

Key words: automatic tracing of sedimentary microfacies belts; spatial interpolation method; worm interpolation method; Putaohua oilfield

不同类型沉积微相的分布模式和规律不同、且分布不连续, 虽然一些插值方法可以用于分析和预测沉积微相的分布, 如反距离平方插值, 克里金插值, 最小临近元素插值等^[1], 但用这些方法难

以获得有关沉积微相分布模式的确切信息。根据沉积水动力学原理, 通过沉积过程模拟也可以预测沉积微相的分布^[2], 但这种方法需要在已知沉积环境和水动力参数的前提下进行, 应用范围有

基金项目: “九五”自然科学基金重大项目(498894190- 4)“刻划复杂储层地质特征研究”

第一作者简介: 薛林福, 男, 41 岁, 教授(博士后), 沉积盆地定量分析

收稿日期: 2004- 01- 29

限。实际工作中,人们主要根据沉积学原理和经验,推测可能的沉积微相分布并手工绘制沉积微相带图,但该方法耗时费力。

任何单一方法均难以有效地用于确定沉积相的分布。然而我们可以有这样的思路:用不同方法分别确定不同类型的沉积微相分布,然后把不同类型微相的分析结果按一定次序叠加,最终产生可编辑的成果图。

1 前提

跟踪或确定微相分布的工作应首先建立在详细的储层研究基础上,在进行跟踪微相分布的工作之前应首先对储层进行划分、对比及微相分析,并应已知如下信息:(1)井位。用于提供控制点的空间信息。(2)单元层划分结果。将储层划分为各个单元层,一个单元层一般指单个砂层,它是用于编绘微相带图的基本单元。在储层划分阶段应获得储层的厚度参数,此参数可用于估算河道宽度。(3)单元层的微相类型。通过沉积微相分析确定研究区所有井的各单元层的沉积微相类型。(5)单元层间的对比关系。建立各单元层的多井对比关系,这种对比应在统一的等时地层框架内进行。

2 方法

沉积微相带自动跟踪方法包括井位坐标变换、网格化、插值、叠置、搜索边界并绘制沉积微相带图等基本步骤。

2.1 井位坐标变换

跟踪沉积微相分布的方法在一定程度上取决于井的排列方式。井网的坐标系可以由一种形式转化成另一种形式。适当转化井网坐标系有利于简化沉积微相分布的跟踪过程。可对井网坐标系进行旋转或平移变换。原始井网可被转换为井网的对角线平行于南北方向,或井网的排列平行于南北方向两种方式。井网在经过第一种形式的变换之后,易于建立起井间沉积微相的关系,本文采用了这种井网变换方式(图1a,b)。

2.2 网格化

网格化是指以给定行数和列数将研究区细分的过程。网格的行线与列线的交点称节点。4个节点围成的矩形区域称为单元(图1c)。井所在的位置称控制点。控制点的属性是指当前要编绘沉

积微相带图的单元层的微相类型。控制点的属性一般用整数来表示。0代表微相类型未知,大于0的数则分别表示各种沉积微相的类型号,比如:1代表水下主分流河道;2代表水下非分流河道;3代表主席状砂等。

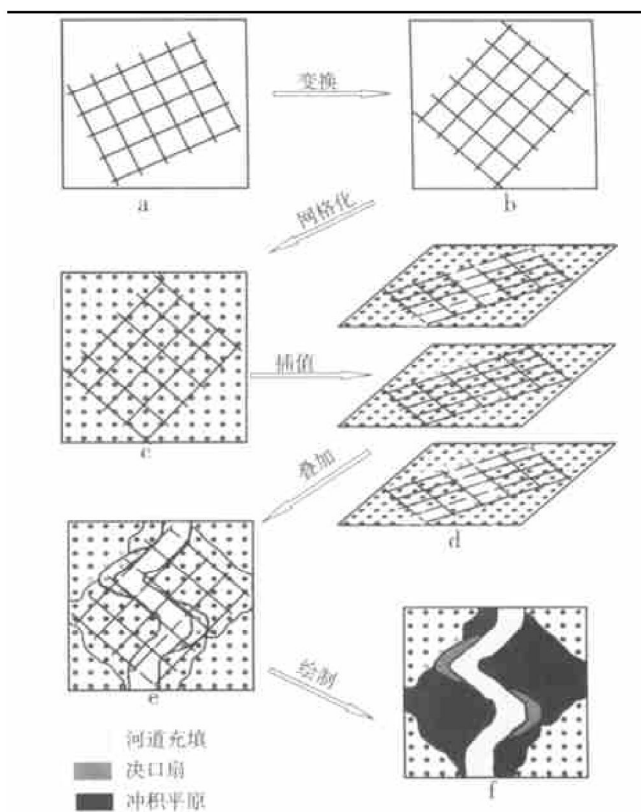


图1 跟踪沉积微相分布与创建微相带图的过程

Fig. 1 Procedure of tracing distribution of microfacies and creating microfacies maps

a—初始井网;b—井网转换;c—网格化;d—根据微相类型进行插值;e—不同微相类型的叠置结果;f—微相带跟踪结果图

每个节点的属性即沉积微相的类型号,可根据该节点周围控制点的微相类型用插值方法确定。插值的精细程度取决于网格的行数和列数。网格的行数和列数越多,沉积相带跟踪的结果就越精细,但用于跟踪沉积微相边界所花费的时间也就越多。如果想快速了解沉积微相的大体分布则可设置较少的行数和列数。

2.3 插值

插值用于确定在各个网格节点上沉积微相的类型,从而可以确定沉积微相的分布。现实空间可划分为两类:连续空间和离散空间^[3]。连续空间具有渐变特征,而离散空间则是突变的。沉积微相的空间分布多为离散的,重要的变化都发生

在相的边界上。因此用于确定微相分布的最佳方法是采用邻近元素插值法,即一个网格中未知类型节点的沉积相类型可以由最邻近井的微相类型来确定。

2.3.1 片状沉积微相

以片状(或席状)分布的微相可由最邻近元素插值法确定,主要包括以下3个步骤:(1)找到一个节点的最邻近控制点;(2)使该节点的沉积微相类型等于最邻近控制点的微相类型;(3)重复(1)、(2)步直至确定了所有节点的沉积微相类型。

在应用上述方法时应注意一个问题:有时尽管一些微相的分布呈片状,但如果未给定一个插值范围(插值半径),则所得结果可能与地质规律不符。当所选节点不在井的控制区时,此现象也会出现,因此必需指定一个适当的插值范围。

2.3.2 带状沉积微相

带状微相可形成于多种沉积环境,如河流、三角洲和浊流等,其成因与水流有关。以下主要探讨确定河道微相分布的方法,而其他类似微相分布的确定方法与之基本相同。

河道微相的宽度通常小于井间距离,而其长度却大得多,可以延伸很远,因此常规数学方法不适合于确定河道微相的分布。在尝试采用多种插值法后,笔者提出了一种确定河道微相分布的方法——蠕虫插值法。采用该方法的步骤主要为:

①在具有河道微相属性的每两口井(两个控制点)间确定连接关系,它们可能是连接的或断开的。具有连接关系则表明河道经过了这两个控制点,反之亦然。②确定相关节点的属性值。

2.3.2.1 建立连接关系

建立连接关系是确定河道微相分布的关键步骤。在人工分析河道微相分布时,人们通常根据相邻井的微相类型推断河道微相的延伸方向。任意给定井与周围井的沉积微相带的连接存在多种可能性,连接的基本约束条件是沉积相带分布的地质规律。

经变换后的井网单元如图2所示。对于给定井W,当只与一个邻井相连接时有7种可能的连接,当与其中的两口井相连接时,有数十种连接组合类型。图3列举了几种可能的连接。而一种合理的连接组合应符合如下原则。

①纵向优先:如果研究区的河道微相带主体是沿北东向分布的,在对井位图旋转之后,使沉积

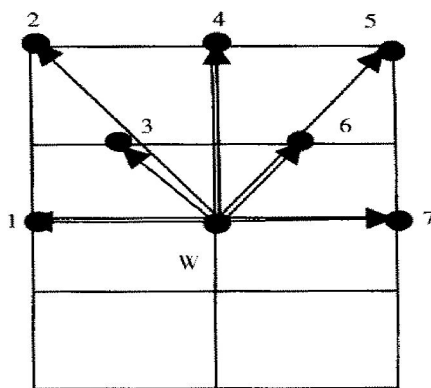


图2 基本井网单元

Fig. 2 Basic well pattern unit

(黑点代表井位或控制点的位置)

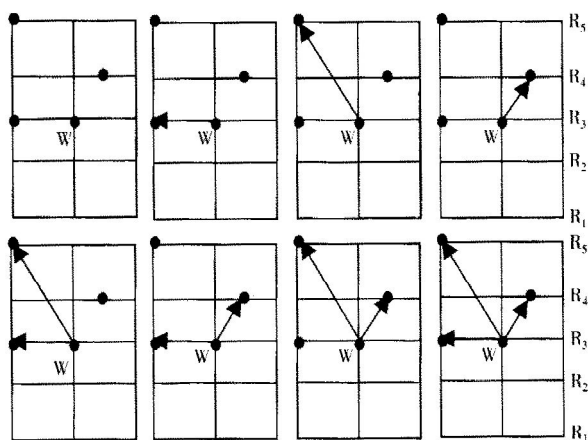


图3 可能的微相带连接组合

Fig. 3 Possible combinations of microfacies

(黑点代表井位或控制点的位置)

微相带呈纵向分布,则在微相带跟踪时应优先进行纵向连接。

②先近后远:优先连接邻近的井。

③范围限制:可连接的井必须在指定范围内。

④避免交叉:相互交叉的河道沉积相带不符合地质分布规律。

⑤同相优先:在进行河道微相连接时,在满足其他条件的情况下,可以优先连接具有相同微相类型的井。例如,当前井的微相类型为主分流河道而连接井也是这种微相,应优先考虑这种连接,然后再考虑主分流河道与浅分流河道的连接关系。

由于井间距离通常大于河道宽度,所以即使在相邻一排井中没有河道控制点,如果条件合适也可在当前井排与隔一排井的井之间建立连接关系。假设目前要处理第*i*排井,根据上面的法则,第*i*排则可与第*i*+2排井建立连接关系。

跟踪河道分布可以始于网格区域的任意一角

(左下、左上、右下、右上)。跟踪方向可以由下到上或由左到右等。要获得较佳的微相分布结果,应尽可能多地考虑待处理井的相邻井的属性。因此在跟踪算法中兼顾考虑了待处理井的上下两排井。如图3所示,当前的待处理井是W,在建立W与其他井的连接关系时,考虑了 R_1 、 R_2 、 R_4 和 R_5 共4排井。若河道的总体走向已知,则最好让跟踪方向与之平行。在算法中跟踪方向应与河道的总体走向大体平行,在这里也就是遵守纵向优先的原则。

2.3.2.2 蠕虫插值方法

在建立了一口井与具有河道微相类型的相邻井间的关系后,利用“蠕虫”插值方法可以确定河道微相的分布。其实现方法是以相连的具有河道微相属性的两口井为控制点,假设有一个直径与河道宽度相等的圆盘,该圆盘向另一个邻近的河道控制点以指定的步长(dx)移动。圆盘的移动路径可以是直线或曲线,在移动开始时假定移动的路径是连接两口控制井的直线,每移动一步均检查该圆盘是否遇到了其他属性井,如果是,则试图在允许的偏移范围内向左或向右偏移移动路径(图4a),以避免该井。若圆盘试图向左或向右移动均告失败,则表明河道已不能继续延伸,并在此位置终止。

此外,该方法也可以自适应地改变河道的宽度(图4b)。当前跟踪的河道要在两口非河道微相井控制点之间穿过时,如果有必要,圆盘的直径可以在允许的范围内增大或缩小,增大或缩小的量由圆盘所经过的路径周围的控制点与河道宽度改变的算法决定。

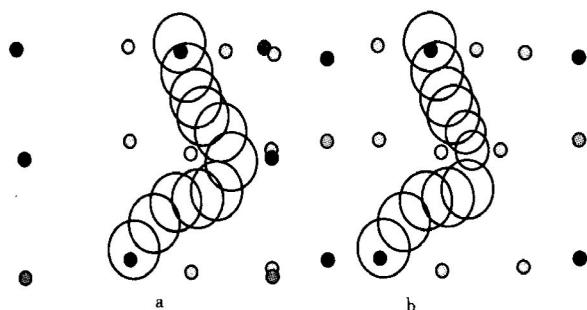


图4 河道微相的“蠕虫”插值方法

Fig. 4 “Worm” interpolation of channel microfacies

a—河道位置偏移;b—改变河道宽度

2.4 叠置和跟踪微相的边界

通过上述方法分别获得了各种沉积微相在各

个微相网格层上的插值结果,每个微相网格层记录了一种微相的插值结果。至于某节点的最终沉积微相类型属性则可通过每种微相网格层的相应节点的叠加结果来确定。每个节点的微相属性值取最后叠加的网格层的节点属性值。各种微相叠置的顺序为:分布范围小的微相叠置于分布范围大的微相之上。例如,河道微相应叠置于决口扇微相之上,而决口扇微相应叠置于泛洪平原相之上(图1d,e)。

为了找出各种微相分布区的边界,可以用邻接链表数据结构^[3]记录沉积微相的分布和微相带之间的拓扑关系,然后通过对邻接链表执行搜索操作,即可获得围限各种沉积微相分布区的边界多边形,根据这些边界多边形控制点数据即可绘制彩色的沉积微相带图。

基于上述跟踪沉积微相带的原理和方法,开发出了一个具有跟踪微相分布、绘制沉积相带图以及编辑功能的沉积微相带跟踪系统(MFBTS-Micro Facies Belt Tracing System),该系统已初步应用于大庆长垣南部葡萄花油田葡1油组的沉积单元的微相带图的自动编绘过程中。

3 实例

葡萄花油田的储层为白垩纪姚家组葡1油组,其岩石组合类型为一套灰白色粉砂岩与灰绿色砂岩。储层深度为800~1000m。在标准层的控制下根据沉积旋回可将葡1油组从顶到底划分为11个小层、26个沉积单元(表1)。葡1油组具湖相三角洲沉积特征。在钻井、测井和岩心资料分析的基础上已鉴别出7种亚相、8种微相。水下主分流河道与水下浅分流河道呈带状分布,主席状砂与非主席状砂成片状连续分布于较大的区域,透镜砂与砂坝呈片状分布于较小的区域。

为了测试MFBTS软件的有效性,选择了一个包括325口井的断块作为测试区。图5是 S_3 沉积单元的跟踪结果图,该图反映了外三角洲前缘相的分布特点:主要由较细的席状砂组成,分布连续。图6是 9_2 单元的跟踪结果图,该图反映了三角洲前缘相的分布特点,包括主分流河道、浅分流河道、分流河道、浅砂洲、分流河道间的透镜砂和泥微相。砂岩厚度较大,砂体分布主要呈带状,砂体在不同方向的分布并不固定,不均匀性明显。

表 1 菊花油田葡 1 油组的沉积相

Table 1 Sedimentary facies of Pu 1 reservoir in Putaohua oilfield

沉积相			沉积单元
亚相	细分亚相	微相	
外三角洲前缘	水进式	主席状砂, 非主席状砂, 透镜砂	1 ₁ , 1 ₂ , 5 ₃
过渡相	水进式	水下浅分流河道, 主席状砂, 非主席状砂, 透镜状砂	2 ₁ , 2 ₂ , 3 ₁ , 3 ₂
内三角洲前缘	水进式	水下主分流河道, 水下浅分流河道, 分流河道间透镜状砂	4 ₁ , 4 ₂ , 5 ₁ , 5 ₂
	稳定式	水下主分流河道, 水下浅分流河道, 含水分流河道间透镜状砂	6 ₁ , 6 ₂ , 7 ₁ , 7 ₂
	水退式	水下主分流河道, 水下浅分流河道, 河道间透镜状砂	8 ₁ , 8 ₂ , 9 ₁ , 9 ₂
过渡相	水退式	分流河道, 主席状砂, 非主席状砂, 席状砂间透镜状砂	10 ₁ , 10 ₂
外三角洲前缘	水退式	主席状砂, 非主席状砂, 席状砂间的透镜状砂	10 ₃ , 11 ₁ , 11 ₂ , 11 ₃

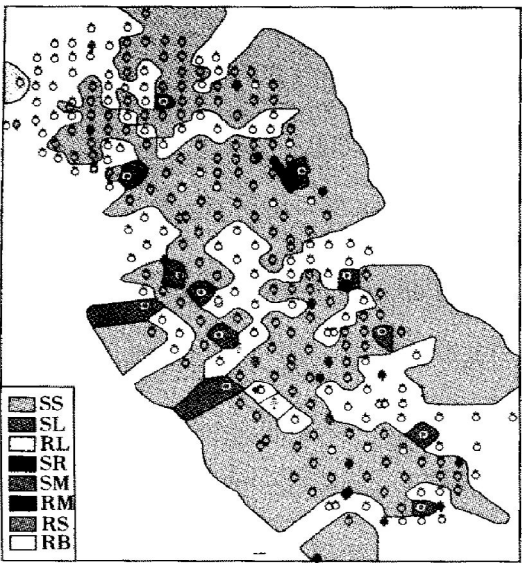


图 5 5₃ 沉积单元跟踪结果图

Fig. 5 Map from tracing of sedimentary unit 5₃

SS—非主席状砂; SL—分流河道间的透镜砂;
RL—水下分流河道透镜砂; SR—河道; SM—主席状砂;
RM—水下主分流河道; RS—水下浅分流河道; RB—浅沙洲

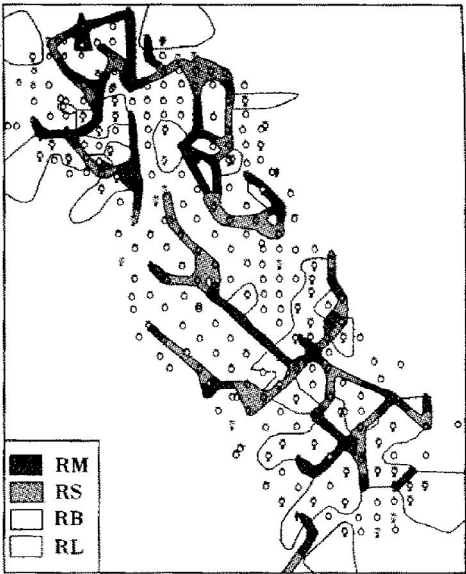


图 6 9₂ 沉积单元的跟踪结果图

Fig. 6 Map from tracing of sedimentary unit 9₂

RM—水下主分流河道; RS—水下浅分流河道;
RB—浅沙洲; RL—水下分流河道间的透镜砂

研究区已进行了大量的沉积相分析工作, 所有沉积单元的沉积微相带图都已绘制完成, 通过比较发现, 由计算机自动生成的沉积微相带图与手工编绘的沉积微相带图分别具有以下特点: ①由 MFBTS 自动产生的结果图与人工编绘的沉积微相带图吻合较好, 基本反映了研究区的沉积微相带分布特点。②MFBTS 产生的河道微相带的延伸性不如人工绘制的图件连续性好, 其主要原因是由于计算机需要严格执行两口井间是否存在着合理的河道连接, 而由人工编绘的成果图则具有更大的灵活性。③MFBTS 产生的图件有时与人工产

生的图件在河道的连接方式上有差别。④MFBTS 产生的图件对席状砂体的分布范围严格按邻井进行插值预测, 但人工绘制的席状砂体分布则具有较大的随意性。

参 考 文 献

1 李龙滢, 陈恭洋, 钟宝荣, 等. 用随机模拟方法对井间砂体预测[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 179~ 181
2 Tetzlaff D M, Harbaugh J W. Simulating clastic sedimentary basins[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989
3 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000