

趋势面分析在卧龙河 阳新统气藏研究中的应用

吴 康

(四川石油地质勘探开发研究院)

一、问题的提出

川东二叠系阳新统气藏是碳酸盐岩裂缝性气藏,气藏的分布与裂缝发育的关系极为密切,在构造的不同部位,由于应力性质和曲率大小不同,裂缝的性质和发育程度也极不相同。一般在构造的高点、轴线、鼻凸,特别是次级高点部位,以张应力为主,受力较强,曲率较大,裂缝较发育。但在常规的地质与地震制图中通常是考虑构造整体形态多,考虑细微的局部形态少,因此,不免造成若干构造轴部的钻井产生不可避免的失误。

自然界中的构造往往是在漫长的地史中受多次构造运动作用,在不同的边界条件下,受不同方向和不同强度应力的作用逐渐形成的,因此,其构造形态是复杂多变的。图1表示F·P·阿伯格在加拿大组芬兰地区用

趋势面分析所做的一张立体图¹。

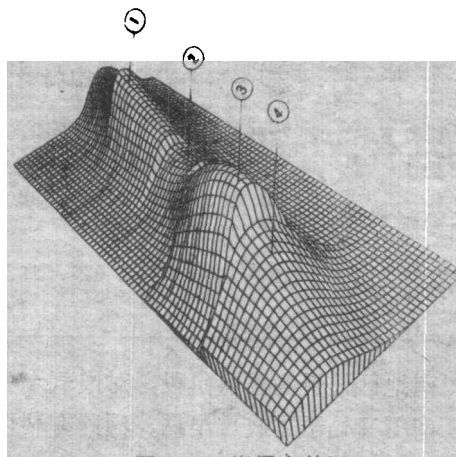


图1 岩层立体图

从图1看出,构造的轴线是起伏多变的几何曲线。图2²是一个背斜的横剖面,它反映出小构造叠加在较大构造的背景上存在次一级小高点(简称次级高点)。

用常规方法所制的构造图来研究构造与

北、九东、明月峡等潜伏构造获得良好的结果。

参考文献

- [1] 黄籍中 四川盆地天然气地球化学特征 《地球化学》 1984年 第4期。
- [2] 黄籍中、张子枢 四川盆地阳新统天然气的成因 《石油勘探与开发》 1982年 第1期。
- [3] B. 卡尔洛夫和 П.Б. 杜格廖夫

沉积岩中天然气生成的规模 《石油地质论文集(煤成气译文专辑)》 1983年 p.136~147。

[4] 黄籍中 用稳定碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值识别干酪根类型的尝试 《石油实验地质》 1980年 第2期。

[5] 杨天宇、王涵云 褐煤干酪根煤化作用成气的模拟实验及其地质意义 《石油勘探与开发》 1983年 第6期。

(本文收到日期 1984年8月20日)

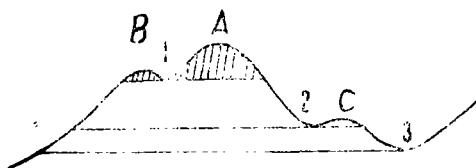


图2 构造横剖面图

油气关系时, 由于有些局部构造形态(次级高点)往往被区域构造形态所淹没, 而不利于对裂缝和油气富集带的研究。趋势面分析则弥补这一不足。它通过把构造的总趋势和局部的随机因素区分开来的思维方法, 就能在常规方法所制的构造图中发现被淹没的次级高点, 为裂缝研究和找油气富集带提供更多、更确切的依据。

二、基本原理

趋势面分析是以多元回归分析理论为基础的一种统计分析方法。它以 X 、 Y 为观测点的地理坐标, 以 Z 为观测值, 表达某地质特征随地理位置而变化的情况。然后, 取满足最小二乘法、具有某种形式的二元函数(代表曲面), 来拟合地质特征的趋势性变化。即用数学方法把观测值划分为两部分——“趋势”部分和“剩余”部分, 前者反映受力范围和系统性因素控制的地质特征(区域性变化), 后者反映受局部因素和随机因素控制的地质特征(局部性变化)。

描述曲面的方程(多项式趋势面方程的通式)为:

$$Z_i = a_0 + a_1 X + a_2 Y + \dots + a_m Y^K$$

式中 K 为方程次数

$$m = \frac{1}{2} K (K + 3)$$

三、剩余值与裂缝发育带的关系

当岩层受力弯曲时, 背斜顶部岩层在中

和面以上受张应力为主, 产生垂直层面的张裂缝。使裂缝多发育在背斜的轴部及次级高点顶部。所以, 寻找和圈定构造的次级高点就成为提高钻井成功率的重要手段。

就整体而言, 背斜的轴部是裂缝的发育地带, 但轴部并非处处都有利于油气聚集。图1中(2)号点就是轴线上相对下凹的部位, 裂缝不很发育, 不利于油气富集, 而(1)和(3)号点则是轴线上的高部位, 利于捕获油气。在翼部, 一般裂缝不如轴部发育, 一旦有如图2中的B和C这样的次级高点存在时, 仍有可能获得工业性气流。

在数学上, 通过趋势面分析把一个复杂曲面分为“趋势”和“剩余”两部分来了解它的总体和局部变化特征。而地质上, 构造常常是多次演变的结果, 形态复杂多变。如果把变形的构造层面设想成数学上的复杂曲面, 那么, 通过趋势面分析就能把地下构造的某一层面分为区域形态(趋势部分)和局部形态(剩余部分)。当把某个背斜的总貌作为第一级构造形态来观察时, 那么, 计算出的趋势面就是反映层面受区域应力作用后的构造总体形态, 而“剩余值”则反映次一级构造的起伏, 当然其规模和形态都比整体构造小而简单得多, 而且随着勘探技术的不断进步, 还可以找到规模更小的次级构造。在剩余值中, “正剩余值”是直接反映构造总体形态上的次级高点, 如图1中的(1)和(3)号点及图2中A、B和C等部位; 而“负剩余值”则表示构造总体形态上的次一级下凹, 如图1中(2)和(4)号点及图2中1、2和3等部位。这样就能较仔细地搞清构造上次级高点的分布, 使钻井成功率大大提高。

四、卧龙河气田阳新统顶面构造趋势面分析

(一) 原始资料

卧龙河阳新统顶面（简称阳顶）构造为一狭长的低陡背斜，两翼不对称，西北翼陡，东南翼缓，轴向北北东，由北向南为 $50^{\circ}\sim 30^{\circ}\sim 190^{\circ}$ ，长轴32公里，短轴3.5公里，沿西北翼陡带有一规模较大断面东南倾的走向逆断层带，平行构造分布，切割构造为两半。总闭合度为1400米，闭合面积97平方公里。趋势面图是在阳顶构造图上，采用规则网格非均匀取点566个，经计算机计算后人工勾绘而成，计算面积420平方公里。



图3 卧龙河气田阳新统顶界构造图
(本图根据1982年徐中英资料)

由于阳顶构造上有较大断层存在，趋势面分析将其划分为上、下两盘进行计算，以减少大断层对趋势面分析的影响。

(二) 断层上盘的计算结果及分析

1. 次数和图形的选取

总体上，断层上盘各次趋势面的拟合度都较高，为60.9~87.3%，反映出断层上盘的总体形态比较规整。

次数的选取原则上是选与钻井结果吻合

最好、最利于解释的那一次趋势图为准。

根据上述原则，拟合度为87%的四次趋势面分析结果令人满意。

2. 趋势面和剩余值分析

四次趋势面（见图4）是一个较规则的半背斜（背斜东半部）形态，基本反映了卧龙河阳顶构造断层上盘的形态特征。

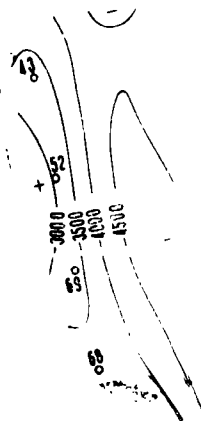


图4 卧龙河阳顶构造断层上盘四次趋势面图

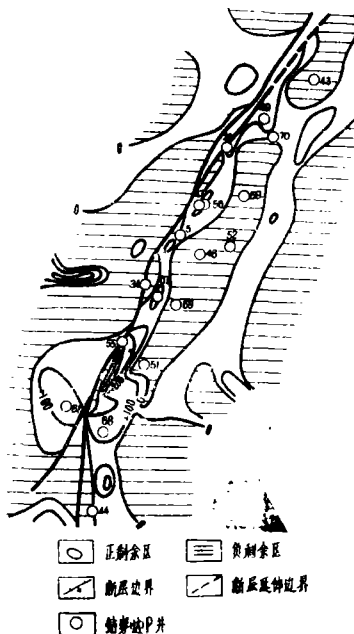


图5 卧龙河阳顶构造四次趋势剩余值图

四次趋势剩余值图(图5)剩余值为 $-400 \sim +300$ 米间。“正剩余值”主要在轴部和翼部呈条带状,沿构造走向分布,其宽度在轴部为 $0.5 \sim 1.5$ 公里,在翼部为 $2 \sim 3$ 公里;而断层附近多为“负剩余值”,并呈不连续分布;“负值区”在翼部呈条带状沿走向分布,其宽为 $2 \sim 4$ 公里。

沿轴线分布的正剩余值变化较大,从 $0 \sim +245$ 米。在构造北、中部多为狭窄条带,南部相对稍宽。

到1983年底,钻达阳新统的24口井中有13口在正值区,其中产气井7口,仅有1口低产井在负值区内。说明这些气井多在构造总体背景的次级高点上。其中卧67井尤为突出:在卧34~卧67井~卧69一线上,卧34井和卧69井都处在负剩余值区(-69 和 -57 米),而它们之间的卧67井却在正剩余值区($+128$ 米),该正剩余值区东西宽1公里,向南、北方向正剩余值迅速降低,卧67井正钻在该次级高点的顶部,使其成为日产 65 万 米^3 的高产气井。而邻近的卧69井无气,卧34井因钻在断层上而为低产气井。卧47井也很明显,他位于构造中段正值区中的高值带,其东西宽2公里,向南、北两侧正剩余值降低较快,为一长条状的次级高点,该井正钻在此次级高点上,因而获得日产 3.39 万 米^3 天然气。继后,卧56井在该次级高点上钻到相同层位时,也有良好的气显示。

对于翼部,一般认为是含气的不利地区。卧龙河阳顶构造翼部钻井8口,仅一口井获气,成功率12%。但若翼部有次级高点存在,裂缝就会发育,同样有利于油气的富集,成为含气有利部位。卧70井就是很好一例:在构造北部有一正值区,把构造轴部和翼部的正值区连接起来,卧70井就钻在此正值区中获气。这一事实说明,在翼部只要找准次级高点,就能获得工业性气流。

(三) 断层下盘的计算结果及分析

1. 次数和图形的选取

各次趋势面的拟合度也较高,为 $66.2 \sim 87\%$,次数的取法与断层上盘一致。

2. 趋势面和剩余值分析

四次趋势面图(图6)出现两个向斜和一个鞍部,北面向斜较大,轴线近南北,南面向斜较小,区内仅出现上翘端,二者之间在卧61井附近为一鞍部。

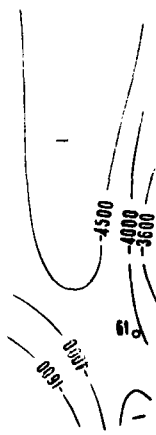


图6 卧龙河阳顶构造断层下盘四次趋势面图

四次趋势剩余值图(图5)的值分布较均匀,在大范围负值区中夹星散分布、呈岛状的正值区,下盘唯一的卧61井就打在该区南部鞍状正值区内,获日产 21.38 万 米^3 中产气流。

五、卧龙河阳新统顶面构造剩余值的处理

在剩余值中包含有随机因素和构造异常(次级高点)两种成分,为了较真实地反映出构造异常,采用一种经验方法来处理,以排除随机因素的干扰。

设 R_i 代表正剩余值, M 代表正剩余值的总个数, N 代表观测点的总数。则正剩余值为局部异常 A 与噪声 L_i 之和³:

$R_i = L_i + A_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ 以经验值 L_k 来代替 L_i ,则为:

$$L_k = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{K}$$

式中 $K = \frac{1}{2}N$, K 为经验系数。

计算结果, L_k 为 80.30 ,经过剩余值处理,去除噪声之后作出的趋势面异常图(图7),其精度有较大的提高。

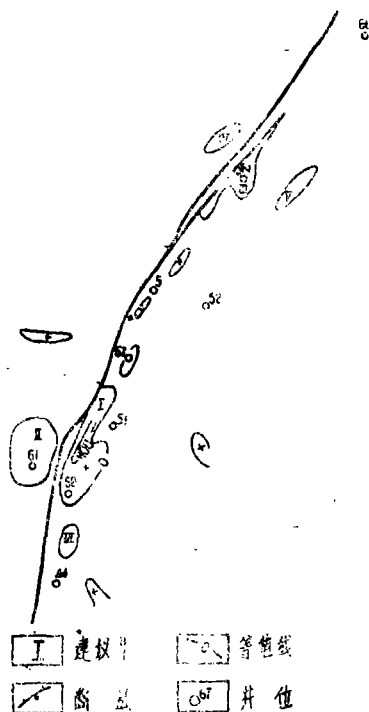


图7 卧龙河阳顶构造四次趋势面分析异常图

图中出现次级高点有12处,分布零散,主要是沿轴线分布,最小面积为0.36平方公里,最大面积为7.7平方公里。以南部的次级高点面积较大,中部和北部的次级高点面积小而个数多。在这些次级高点上钻的井共有9口,其中产气井有6口,高产井1口,中产井1口。说明卧龙河阳新统气藏的主产气井都在次级高点上。他们的不连续性表明构造轴部并非处处都是钻井的有利部位。如卧5井一般地质分析认为他具有良好的产气条件,并且是在正剩余值区内(图5),但是通过剩余值处理后他不在次级高点上,而位于两次级高点间的鞍部(图6),故产气不佳。这种不连续性也说明各次级高点的裂缝系统是独立而互不连通的,钻井和压力测试资料都证明了卧20、47、67井彼此互不连通,各具独立的裂缝系统。

六、趋势面分析结果与钻井统计

卧龙河气田钻达阳新统的24口井中,产气井8口,他们同剩余值的关系见下表。

卧龙河阳顶构造剩余值与钻井关系统计表
(第四次趋势面分析)

趋势值 划分	钻井数 (口)	产气 井数 (口)	成功率 (%)	产气井占总钻井 数的百分比(%)
正剩余值	13	7	53.8	29.1
次级高点	9	6	66.6	25.1
负剩余值	11	1	9	4

上表中说明:1.产气井都落在正剩余值区中;2.高、中产气井都落在次级高点上;3.负剩余值区中的次高点仍有获气的可能性。

七、结论与建议

裂缝发育在褶曲的顶部,故构造次级高点有利于油气富集。通过趋势面分析较容易在构造趋势图和剩余值图中圈定出被总体构造形态掩盖的次级高点。

剩余值处理能帮助分解随机干扰,更可靠地在异常图中勾绘出次级高点的位置和大小。

卧龙河阳新统气藏的产气井大都受次级高点的控制。次级高点的不连续特点,反映裂缝系统的分散和独立性。

鉴于趋势面分析结果与实钻的产气情况吻合较好,设想在今后工作中推广这一方法,将会大大提高经济效益。为进一步扩大阳新统气藏的储、产量,我们以图7为主要依据,结合阳三³的残余厚度、已知断层的展布和曲率值等资料,提出如下建议:先钻图7中的I、II、III次高点,再钻未证明的

用测井信息评价裂缝的新发展

文 华 川

(四川石油管理局勘探处)

近年来,四川盆地部分气田应用现代测井技术,使探井测井解释获气成功率提高了15~19%。这表明,在碳酸盐岩裂缝性地层的勘探中,必须增强对裂缝的测井评价能力。

裂缝性地层

四川碳酸盐岩裂缝性地层很有别于一般砂岩和中东等地的高孔碳酸盐岩层。

(一) 低孔低渗碳酸盐岩

1. 岩性 作为储集岩石的石灰岩、白云岩少含粘土,偶见特殊矿物。薄层状构造、白云化、硅化等,有明显的非均质特性。

2. 低孔低渗透 地层普遍致密,孔隙度多小于1%,孔喉半径小于630埃,渗透率一般低于0.01毫达西。储渗能力极低。

IV、V、VI次级高点及断层下盘和翼部地区,以扩大含气范围。

由于地质构造极为复杂,趋势面分析的运用时间尚短,所以,对某些资料、数学方法、选取次数及剩余值的处理等问题的解决上,都还有待进一步研究。而且还必须把构造及油气的生、储、运、聚、保等因素相结合进行综合研究才能取得更显著的效果。虽然面临的困难很多,但前途定是光明的。一

本文在撰写过程中得到了吴葆青、赵春

3. 剖面地球物理特征 上述二点导致剖面上出现高电阻率和孔隙度测井极低值的显示。增加了测量噪声和提高解释精度的困难。然而,在高电阻率、低中子孔隙度、低声波时差剖面背景里,衬托出缝洞发育的储层是件好事。

(二) 裂缝性储集层

1. 储集层构成 储集层由岩块与裂缝构成。裂缝有不同的成因、延伸规模、产状、张开或充填程度。

2. 非均匀各向异性 这是裂缝性储集层突出特征。非均匀岩石构造,尤其是裂缝及与之相伴的洞孔分布,具明显的非均匀各向异性。这已为大量岩心物性、电性和肉眼观察及钻探、试采成果所确证。图1示出岩心上的裂缝切割。

明、张荫本、李志良等同志的大力帮助,特此表示感谢。

参考文献

- [1] F·P·阿格特伯格(加)《地质数学》科学出版社 1981年
- [2] J·W·哈博(美)《概率法在石油勘探中的应用》地质出版社 1981年
- [3] 于崇文等《数学地质的方法与应用》冶金工业出版社 1980年

(本文收到日期 1984年9月10日)

Origin of the Natural Gas in Chang Xin Limestone of Upper permian in Southeastern Sichuan

Huang Jizhong

Based on the regional stratigraph, structure and geochemical characters, the origin of natural gas in Chang Xin limestone of upper permian in Southeastern Sichuan is discussed in this paper. It is pointed out that the coalformed gas is mainly distributed in the Southem Sichuan, but the none coal-formed gas in the Eastern Sichuan. Between them is distributed the mixed gas. The favourable areas for exploring the various gas reservoirs are proposed also.

NGI Vol.5 No.3 1985

趋势面分析在卧龙河 阳新统气藏研究中的应用

吴 康

本文采用趋势面分析和剩余值处理,在卧龙河阳新统顶面构造图上圈定出被主体构造淹没的次级高点。与实钻对比,效果很好:在正剩余值区内钻探成功率达53.8%;在次级高点上钻探成功率达66.6%。推广这一方法,将会显著提高经济效益。

《天然气工业》 第5卷 第3期 1985

Application of Trend Surface Analysis to the Research of Yangxin Reservoir in Wolonghe Gas Field

Wu Kang

Adopting the surface analysis and surplus value treatment, the sub-crests covered by the main structure have been circled on the structure map of the top of Yangxin series in Wolonghe gas field. As compared with drilling, the result is very good. The drilling succes ratio is 53.8% on the positive surplus value area, and 66.6% on the sub-crest.

Popularizing this method will lead to a visible raise of economic profit.

NGI Vol 5 No 3 1985

用测井信息评价裂缝的新发展

文 华 川

本文阐述了用现代测井信息探测裂缝的要领。对裂缝的产状、发育程度、有效裂缝张开度和裂缝的延伸方向等,从测井信息中能提供宝贵的认识。文中介绍了在四川气田的应用,指出了进一步改进和发展这一技术的途径。

《天然气工业》 第5卷 第3期 1985

Development in Evaluating Fractures by Use of Log Information

Wen Huachuan

The main point for detecting fractures by use of the modern log information are stated in this article. The valuable knowledge about the occurrence of fracture, their developing, the opening of effective fracture and their extensive direction, can be obtained from the log information. The result applied in Sichuan gas fields is presented and the way for further improving and developing such a technique is pointed out in this paper also.

NGI Vol.5 No.3 1985

根据压力恢复曲线求裂缝性 气藏储量及参数的计算机计算方法

李大昌 林平一

本文将天然气视为真实气体,推导出处理裂缝性气藏不稳定试井的计算公式,并提出采用计算机自动拟合方法,处理不稳定试井资料,进行储量及参数计算。该法简单易行,可以早期预报气藏原始储量。

《天然气工业》 第5卷 第3期 1985

A Computer Method for Estimating the Gas Reserves and Parameters in a Fractured Reservoir According to Its Pressure Build-up curve

Li Dachang, Lin Pingyi

In this paper, being referred to the natural gas as a real gas, a calculating formula treating the transient well testing of the fractured reservoir is derived and it is proposed that a computer automatic