



裂缝圈闭及其勘探方法

戴弹申 欧振洲

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

内容提要 本文根据四川盆地三、二叠系气藏特征,提出了裂缝圈闭的概念。在建立裂缝模型的基础上,分析了影响裂缝发育和开启程度的因素,进而提出了勘探裂缝圈闭的方法与技术。若综合考虑诸种方法并结合数理分析优选井位,可确保勘探成功率达60%以上。

主题词 四川盆地 三叠系 二叠系 裂缝圈闭 模型 勘探方法

裂缝-溶洞型储集层是四川油气勘探的重要领域,由于它在时、空上的非均质性及油气产出的特殊性,给勘探开发带来了极大困难,必须采用与常规油气勘探不同的方法去解决。三十多年来四川油气地质工作者努力探索这一难题,从理论到实践上均取得了不少成果:初步掌握了不同类型构造裂缝发育带的分布规律,提出了裂缝圈闭的概念,总结了一套寻找裂缝发育带、找准裂缝圈闭的勘探方法。本文就这些问题作一概述,供同仁们参考。

裂缝圈闭的概念

所谓裂缝圈闭气藏是指构造有效缝及其连通的溶孔、溶洞组成的储集、渗滤空间,构造有效缝因尖灭、闭合或充填而被致密岩块所围限、遮挡的,具有统一压力系统的裂缝性气藏。其类型按圈闭原则命名为“构造裂缝尖灭(或闭合)圈闭气藏”。它是一个独立的勘探与开发单元。

勘探实践证明,无论是二叠系、中下三叠统的致密碳酸盐岩,还是上三叠统、侏罗系的致密砂岩,均可出现裂缝圈闭油气藏。它的分布在纵向上呈犬牙交错或相互叠置;横

向上遍布全盆地各构造部位。它不仅分布在背斜闭合范围内,而且在其外缘的端部、鞍部、翼部或破裂逆断层附近(侧向或末端),甚至在向斜中都可出现。它不受背斜或断层圈闭范围的控制,属非背斜圈闭范畴,实质上是构造圈闭的一种特殊形式。因此,它的分布严格受构造所制约,而构造缝的分布又主要受喜山期构造变形特征所控制。从已探明的裂缝圈闭油气藏看,储量大的裂缝圈闭主要分布在直扭型背斜和直扭与直压复合型背斜的直扭部位;而为数众多、储量较小的裂缝圈闭则分布在直压型背斜和直扭与直压复合型背斜的直压部位。目前探明的裂缝圈闭是小的多、大的少,而四川盆地已查明的构造也是以直压型背斜多、直扭型背斜少。因此,裂缝圈闭勘探方针应立足找中小型、力争找大型,立足于多、争取找富。只要勘探方法、步骤得当,目标选准,四川天然气的储、产量必将得到迅速增长。

裂缝圈闭的勘探方法实际上是指寻找裂缝发育带的方法。由于目前尚无一种方法能准确圈定裂缝圈闭在纵、横向上的分布范围,因而四川在寻找裂缝发育带和选择布井方案中经历了从面积布井到“一占三沿”(占高点、

沿长轴、沿扭曲、沿断层)、构造曲率和既考虑构造曲率又考虑地震动力学异常的过程,形成了目前综合应用地震动力学和运动学信息的非参数最近零分析,按统计概率布井的方法。但在应用地震运动学和动力学信息来探寻裂缝分布规律时总离不开地质解释,因为任何地震信息都存在着多解性,只有对各种地震响应建立起合理的地质模型,才能作出较符合实际的判断。为此,先简介裂缝模型及影响构造有效缝发育程度的因素。

裂缝模型

构造缝在岩石中纵横交错,疏密相间,按一定方式有规律的分布,它是地层在特定变形条件下的产物。虽然岩石破裂的基本形式只有张破裂和剪破裂两种,但因形成地质条

件(物质与环境)的不同,其裂缝的组系方向、力学性质、延伸规模和张开程度各有差异,组合形式与分布规律也不尽一致。对于岩石力学性质相近的岩层,按其形成条件可分为与褶皱作用有关的和与断层作用有关的两大类构造缝。前者包括平面X剪切缝、剖面X剪切缝、层间剪切缝、旋转剪切缝、纵张缝、横张缝、张扭缝、水平张性缝和层间脱空缝等九种;后者包括平行剪切缝、横向剪切缝、平行张性缝和横向张性缝等四种。

这些构造缝的分布因背斜、断层类型不同,其组合形式与配置关系也不相同,分别构成了七种基本模式(表1、2)。

所谓构造有效缝是指在裂缝性储集层中张开的、起储渗作用的构造缝。它们包括与褶皱作用有关的和与断层作用有关的各种张

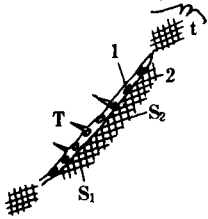
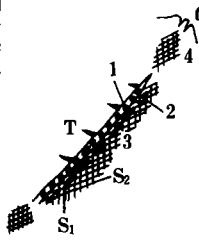
不同类型褶皱的破裂模式

表1

	复式背斜			复式向斜	
	主背斜	端部背斜	前低背斜	后低背斜	反背背斜
裂缝类型	平、剖面X型剪切缝,纵、横张缝,层间剪切缝				
	水平张性缝,扭张缝,层间脱空缝				
有效缝类型	纵、横张缝,水平张性缝,扭张缝,层间脱空缝		纵、横张缝		
有效缝密度	密度大,间距小	密度较大,间距较小		密度较小,间距较大	密度小,间距大
有效裂缝带宽度(m)	<2000	2000~3000	3000~4000	3000~8000	3000~3500
有效缝发育部位	轴部纵张缝、层间脱空缝,断层消失端及挠曲纵张缝,高点与鼻突横张缝,陡翼水平张性缝		高点与断层消失端纵张缝,高点偏缓翼横张缝		高点纵张缝,高点偏缓翼横张缝
裂缝模式					

不同类型断层派生裂缝模式

表2

断层类型	破裂逆断层	延伸逆断层
派生裂缝类型	横向及平行张缝、剪切缝	横向及平行张缝、剪切缝, 层间剪切缝
派生构造及构造岩	破碎理, 碎裂岩、扭曲、挠曲	挤压层理、岩层倒转带、扭曲、挠曲、糜棱岩、构造透镜体、破碎理、磨砾岩、断层泥
断层形成机理	在水平侧向挤压力作用下, 先褶后断, 以褶为主	
	纵弯褶皱作用形成转折端变形褶皱, 沿剖面剪切缝发展成破裂逆断层	纵弯褶皱作用, 作用力足够强, 形成翼部变形褶皱, 沿与层间剪切缝配套的旋转剪切缝发展成延伸逆断层
断层派生裂缝形成机制	断层发生错移, 在诱导应力场作用下, 产生斜交的两组剪切缝, 即平行与横向剪切缝和次生褶皱及其张性缝	沿主应力轴方向的横向张性缝和与其在断层末端因位移转换产生剪破裂
断层派生裂缝模式	 1. 碎裂岩带 2. 破碎理带 T. 横向张裂缝 - S₁. 横向剪切缝 - S₂. 平行剪切缝 t. 纵张缝	 1. 糜砾岩、断层泥、糜棱岩带 2. 构造透镜体 3. 网状缝构成之破碎理带 4. 剪破裂缝 T. 横向张性缝 - S₁. 横向剪切缝 - S₂. 平行剪切缝 t. 纵张缝

性缝。其中以纵张缝的储渗作用最为显著。

影响构造缝发育程度的因素

影响构造缝发育程度的因素有变形强度、变形频数、岩性、埋深和层厚等。研究表明, 差应力大、变形强度大(图1、2)、变形频数多、岩性塑性程度差(图3)、埋藏深度浅(图4)、单层厚度薄(表3)的地层有利于裂缝发育, 且裂缝的密度大、间距小; 反之, 则密度小、间距大, 裂缝不发育。此外, 岩层的变形速率和含流体饱和度对裂缝的密度也有一定的影响。

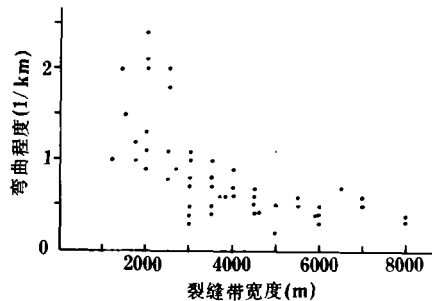


图1 背斜弯曲程度与裂缝带宽度关系图

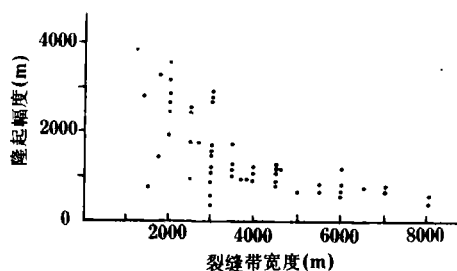


图2 背斜隆起幅度与裂缝带宽度关系图

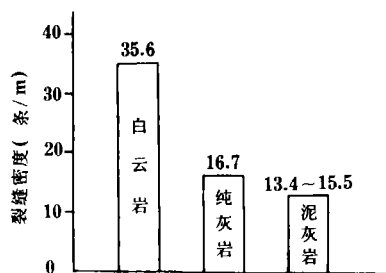


图3 九峰寺背斜同一物理条件下
岩石类型的裂缝密度平均数

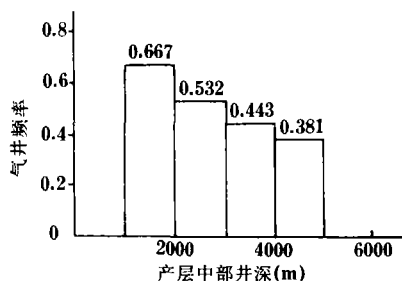


图4 川东南阳新统构造高点、轴部气井频率图

九峰寺背斜翼部嘉陵江组
灰岩层厚与裂缝密度关系

表3

层 厚	薄 层	中 层	厚 层
裂缝率(%)	1.7	1.1	0.9

(据应维华等 1963 年资料)

影响构造缝开启程度的因素

所谓开启程度是指裂缝的张开程度。影响构造缝开启程度的因素,除裂缝力学性质外,溶蚀与充填作用亦是主要因素。构造缝是岩溶发育的必要条件之一,它与岩溶孔、洞、缝有着成因联系。对四川盆地地腹阳新统溶蚀缝、洞的研究表明,在阳新统中分布最普遍的不是岩溶洞穴,而是溶蚀裂缝。岩溶缝洞组成的储渗空间有明显的地震响应,在水平叠加时间剖面上往往有相位、时差、振幅等异常和在拟测井速度剖面上有速度异常存在。这种岩溶缝洞的成因可能是在喜山期形成构造缝的基础上,经深部岩溶作用溶蚀扩大的结果。它是油气储集的有效空间。

勘探方法和技术

在了解组成裂缝圈闭的有效缝、洞的组系及影响其发育程度的因素基础上,随着勘探技术的发展、实践增多和认识提高,现已初步总结出了一套行之有效的勘探裂缝圈闭的方法,即运用地震运动学信息查清构造细节及断层分布,按地层受力变形原理预测裂缝发育带。其具体作法是应用地震资料结合地面和钻井地质资料作出目的层的精细构造图和构造曲率图。曲率图可以用来反映与褶皱作用有关的对油气起主要储渗作用的纵张缝和层间脱空缝的发育程度和分布规律。精细构造图上所展示的断层分布特征及性质,可反映对油气起储渗作用的破裂逆断层及其派生裂缝的展布情况。精细构造图经构造滤波分析所得到的滤波构造图,不仅可反映构造的叠加关系,而且还可用以推测不同组系构造有效缝的最佳叠加部位,并圈定裂缝发育带。在此基础上,还可进一步应用地震动力学信息,在常规时间剖面上应用“相面法”寻找时差、相位和振幅异常,进而对这些异常区进行特殊处理(包括瞬时频率、瞬时相位、瞬时

振幅、视极性、拟测井速度等),以利用这些异常揭示溶蚀缝洞体的具体位置和分布范围。这里需要说明,目前利用地震动力学信息来研究缝洞发育带还处于试验阶段,且它只能指示裂缝圈闭中溶蚀缝洞发育的那一部分,要整体、确切地查明形状极不规则的裂缝圈闭还是很困难的。为此,本文提出了寻找裂缝发育带、找准裂缝圈闭、精选井位的原则是综合考虑曲率、断层、构造叠加关系、构造变形特征和地震异常等因素,进而采用数理分析方法——非参数最近零分析优选井位,以提高钻获裂缝圈闭的成功率。

应用效果

1. 构造曲率方法的钻探效果

自1980年以来,以阳新统裂缝圈闭为目标,在全盆地应用构造曲率方法优选井部署了97口井位,目前已完钻78口,获气井51口,气井成功率达65.4%,成效是显著的。钻探证实阳新统气井均位处曲率正值区内,表明裂缝圈闭寓于曲率正值区中。但也发现,有的裂缝圈闭由几个曲率正值区组成,而有的则是一个曲率正值区中包含了几个裂缝圈闭,且几个裂缝圈闭的规模不等,储量悬殊,而曲率值却相差不大。这一矛盾现象,有可能通过地震动力学信息分析得到解决。一些迹象表明,大的裂缝圈闭往往有相位、时差、速度异常等地震响应,它可能反映岩石的溶蚀程度存在差异,储渗空间范围有大小不同。因此,要提高裂缝圈闭的预测成效,还须结合地震动力学信息作出综合评价。

2. 断裂逆断层的钻探效果

对川东63口断层井的统计表明,断层附近钻遇裂缝显示的机遇率达46.7%,气井成功率为38.9%。若按形成条件及与褶皱的伴生关系对断层进行分类(见表2),并统计其钻探效果:延伸逆断层的裂缝机遇率仅11.1%,经测试未获1口气井;断裂逆断层的

裂缝机遇率达62.2%,气井成功率达43.8%。这一数据与川南75口破裂逆断层井的钻探效果(裂缝机遇率为57.3%,气井成功率41.3%)相近,表明不同类型断层派生裂缝的有效性具明显的差异,这是由于破裂逆断层附近具明显的断层侧向效应和断层末端效应,因而有效缝发育;而延伸逆断层附近则相反,因而有效缝不发育或被充填。

若进一步按地层弯曲程度将破裂逆断层附近的构造划分为上凸、下凹和平直等三种情况统计其钻探效果:上凸部位钻遇裂缝机遇率达66.1%,气井成功率50%;而下凹和平直部位钻遇裂缝机遇率仅为15.4%,未获1口工业气井。表明只靠破裂逆断层的侧向和末端效应布井,仍具较大的风险,因断层效应所产生的横向和平行张性缝延伸短,分布范围窄,致使钻遇它的机遇率小。只有当断层附近地层存在拱曲,由拱曲产生的纵、横张缝与断层侧向或末端效应产生的横向和平行张性缝相互交切构成裂缝发育带时,才可使钻遇裂缝机遇率大大提高。因此,以断层为钻探目标,不仅要考虑断层类型,还要考虑断层与地层弯曲的关系。统计表明,按此原则布井可使钻获裂缝圈闭的机遇率达60%以上。

3. 构造叠加部位的钻探效果

岩层多次重复受力,即使作用力不大,也能使岩石破裂,产生各种构造缝。在多组构造叠加部位,多次重复受力十分显著,但破裂情况却有所差异。应用定向滤波分析发现在构造变形强度足够大的复合叠加部位,不仅变形频数高,且强度大,致使裂缝密度也加大。据统计,其中以正向与正向构造叠加部位钻探效果最好,气井成功率达75%;正向与负向构造叠加部位次之,气井成功率40%;而在构造变形强度弱的复合叠加部位,尽管变形频数也高,但因强度小,裂缝密度增加不大,钻探成效差。因此,在考虑构造叠加关系对裂缝发育程度的影响时,应选择变形强度

足够大的正向与正向构造叠加部位进行钻探,钻探裂缝圈闭的概率才可大大提高。

4. 地震异常的钻探效果分析

地震异常是指用“相面法”进行地震波动力学特征分析发现的时差、振幅和相位等异常。它包括阳新统顶部反射波的前、后相位时差较正常相位时差增大;阳新统顶、底反射间的时差较正常时差增大;阳新统顶部反射波能量减弱或反射中断;阳新统内部反射同相轴与阳顶反射层交错或组成眼球状。经三瞬等特殊处理后,上述异常更加清晰。

据不完全统计,在川东南地区共发现 144 个地震异常,目前已钻探 40 个,获气井 23 口,气井成功率 57.2%,表明地震异常检测效果还是较好的。

钻探证实,在阳新统钻获储量大、产量高的气井往往有上述地震响应。但并非所有的阳新统气井都有这种地震响应。且后者远较

前者多,它是否表明了阳新统中分布较广泛的并非岩溶缝洞,而是构造缝。若是如此,则与中梁山坑道裂缝的调查结果相一致。值得重视的是存在地震异常处并非都能钻获气井,它可能表明了地震异常所反映的溶蚀缝洞体的形状极不规则性和分布的极不均一性,预示其勘探难度大。

同时还发现钻获气井的地震异常都位于曲率正值区内或小断层附近,是否表明这种溶蚀缝洞的成因与喜山期的构造缝有关,是经深埋岩溶作用溶蚀扩大、崩塌、陷落而成。

以上各种方法的钻探效果分析表明,要综合各种勘探方法来优选井位,并采用数理分析来计算各种条件下的获气井概率和获高中产气井概率,预计可确保钻探裂缝圈闭的成功率达 60% 以上。

(本文收到日期 1989 年 1 月 2 日)

《天然气工业》创刊十周年

征集文稿、照片及反馈信息的启事

敬爱的编委、通讯员、读者、作者:

为了纪念我刊创刊十周年,我们拟把我刊 1991 年的适当期次作为纪念专号出版。

专号拟着重报道党的十一届三中全会以来,我国天然气工业的巨大成就,“六·五”、“七·五”期间天然气工业各领域的科技成果和经验,特别是有关的重大科研课题、获奖成果、推广项目、技术改造、深化改革和解决生产关键的重大建议,以及天然气工业的展望等,以鼓舞人心,启迪思维,推广成果,指导生产。

专号还将组织两个彩色版面刊登科技照片,以形象地反映天然气工业的成就。

为此,我们欢迎您为纪念专号撰稿、提供照片。稿件要符合国家保密规定,必要时作者应请单位审核盖章;文字最好在 5000 字以内,并有内容摘要和

主题词。照片稿要求图象清晰,色调调和。截稿日期为 1990 年 12 月 1 日(以投寄邮戳为准)。入选稿件将在专号或专栏中陆续刊出。来稿请寄成都市府青路一段 3 号《天然气工业》杂志社(邮码 610051),请注明“十年征文”字样。

此外,为了总结十年的办刊工作,我们希望得到十年来在我刊发表的稿件的反馈信息。因此,如果您的稿件被引用、被推荐、被转载、被摘录、被应用、被授奖以及获得经济效益等,均请您写信告诉我们。

产品是科研成果的反映,产品广告则是推广科研成果的一种有效形式。为此,我们希望通过您为我们征集广告,以沟通产销,扩大交流,推广成果,发展生产。(详见我刊广告简则)。

天然气工业杂志社

1990.5.

To Overseas Readers

title page

Brief Regulation for Advertisement in *Natural Gas Industry* reverse of title page

CONTENTS

EXPLORATION AND DEVELOPMENT

1 Fracture Traps and Their Exploration Method

In light of the characteristics of gas reservoirs in Triassic and Permian in Sichuan Basin, the concept of fracture trap is proposed in this paper. Based on establishing fracture model, the authors analyze the factors influencing the growth of fractures and their openness, and then propose the method and technology for exploring fracture traps. If the well locations were optimized by synthetically considering various methods and combining mathematical analysis, the exploration success ratio to more than 60% could be guaranteed.

Subject Headings: Sichuan Basin, Triassic, Permian, fracture trap, model, exploration method.

Dai Tanshen, Ou Zhenzhou

7 Analysis of the Controlling Factors of the Commercial Gas Wells in Xu-2 Reservoir in Jiulongshan Gas Field

In this paper, the controlling factors of the commercial gas wells in Lower Part of Member-2 of Xujiache Formation in Jiulongshan Gas Field are discussed in accordance with the research from many aspects such as the local variation of the basic characteristics of lithology and petrophysics, the positive residual anomalies of structural plane trend in each part of the structure, the distribution characteristics of the curvature as well as the relations between the property, type and growth rate of fractures and the structural level and stress state.

Subject Headings: Northwest Sichuan, Upper Triassic, gas well, controlling factor, fracture.

Qiu Zongtian, He Peng

11 Resources Predication and Evaluation of Exploration Investment of Reef Gas Reservoirs in Changxing Formation in Eastern Sichuan

Changxing Formation, buried in subsurface in Eastern Sichuan with a area of 30000km², at least contains 370~580 point reefs with gas resources of $\times\times\times\times\times\sim\times\times\times\times\times$ million m³. Under the present technical and economic conditions, on an average, the risk investment in a exploring point reef gas reservoir is five million yuan and the present value of earning from development is 21 million yuan (containing tax). According to risk-income ratio, the exploration investment is basically balanced with the income, which is not able to obtain the profit for expanding reproduction. Therefore, it is more desirable to use the method of attached exploration.