

地震属性在塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏 连通性分析及其注水开发中的应用

李小波¹, 李新华¹, 荣元帅¹, 彭小龙², 王可可²

(1. 中国石化西北油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 西南石油大学 油气藏与地质国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要: 由于塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏具有极强的非均质性, 实施多井缝洞单元注水开发过程中存在对井间连通性认识不清的问题, 极大地影响了注水开发的效果。通过对判识碳酸盐岩缝洞型油藏连通性的地震属性进行优选, 确定的最大曲率属性在反映碳酸盐岩缝洞型油藏微断裂和裂缝的发育程度、描述垂向上的非连续性以及表征裂缝的线型特征等方面均优于相干和地震倾角属性。因此, 利用最大曲率属性识别和描述微断裂—裂缝体系, 追踪大尺度裂缝的延伸方向, 并结合振幅梯度属性, 刻画缝洞连通体的空间形态。在碳酸盐岩缝洞型油藏多井缝洞单元注水开发过程中, 最大曲率属性可以清晰地反映微断裂—裂缝体系的空间分布, 确定其与溶洞的空间组合关系, 为井间静态连通性的判定提供依据; 利用多种地震属性刻画的缝洞连通体, 可以指导注采井部署和优化注采关系; 根据追踪的大尺度裂缝连通的主方向, 可以预测注水受效方向。

关键词: 缝洞型油藏 注水开发 微断裂—裂缝体系 最大曲率属性 塔河油田

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)06-0065-03

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏为经过多期构造运动和古岩溶作用形成的岩溶碳酸盐岩缝洞型油藏^[1]。其岩溶缝洞体的形态、规模和空间分布特征存在差异, 导致对缝洞单元内部空间结构和储层特征的描述存在困难, 且目前的油藏描述方法难以对井间连通缝洞体和大尺度裂缝通道进行有效描述^[2-4]。对多井缝洞单元实施注水开发是目前塔河油田提高采收率的主导技术, 但由于碳酸盐岩缝洞型油藏非均质性极强, 致使对井间缝洞连通体的识别以及井间裂缝通道判识不清, 存在受效油井少、油井控制程度低、注水井以单向驱油为主且有效期较短等问题, 制约着注水开发的全面推进。

由于碳酸盐岩缝洞型油藏的储集体呈网络状分布, 仅根据动态资料进行井间连通性判定, 难以确定其连通形式和路径。而井间静态连通性分析可以为缝洞空间组合关系以及连通体分布的确定提供依据, 较好地指导和修正对动态连通性的认识, 进而有效地指导现场生产。为此, 笔者利用最大曲率地震属性对微断裂—裂缝体系进行识别和描述, 综合多种地震属性特征对缝洞连通体进行表

征, 进一步认识注水单元中注采井间的静态连通道, 以期多井缝洞单元注水开发过程中井间连通性认识、注采井优化部署及注水受效方向预测提供有力的地质依据。

1 地震属性优选

碳酸盐岩缝洞型油藏发育的裂缝不仅是有效的储集空间, 还是连通溶洞的高渗透通道, 准确识别和刻画裂缝的形态将直接影响对静态连通性的判定。相干、地震倾角(方位角)和曲率等多种地震属性虽均可用于断裂解释, 但在识别和描述微断裂和裂缝特征等方面却存在差异。

相干属性常用于识别和刻画储层的断裂特征和地质体的非连续性, 可用于描述大型断裂特征。岩性的不连续(河道边界)和断裂也会引起相干属性的变化^[5], 但其对于小型断裂、与裂缝相关的成岩特征以及河道边界、河谷底部等的分辨效果却较差。断裂和裂缝在地震倾角属性平面图上往往表现为长条形的线型特征, 可确定其长度, 但无法确

收稿日期: 2014-09-03。

作者简介: 李小波, 男, 工程师, 硕士, 从事碳酸盐岩缝洞型油藏开发研究。联系电话: (0991)3160853, E-mail: lxb969@163.com。

基金项目: 国家“973”计划“碳酸盐岩缝洞型油藏开采机理及提高采收率研究”(2011CB201005), 国家科技重大专项“塔里木盆地大型碳酸盐岩油气田开发示范工程”(2011ZX05049)。

定其形态,难以区分出断裂和褶皱。曲率属性在反映某些微小断裂、裂缝和褶皱时的效果很好,表现为可以分辨的挠曲特征^[6];其中,最大曲率属性是非常有效的用以描述断裂和裂缝边界特征的地震属性。在最大曲率属性中,断裂表现为正负相间曲率的特征,正、负曲率分别代表断裂的上升盘和下降盘,可以识别一些小型的断裂和裂缝。因此,最大曲率属性是认识微裂缝—裂缝系统的有效手段,其优点是包含了形状的信息,可用来区别断裂和褶皱的线型特征,反映出微断裂和裂缝的发育程度;可识别出小型的挠曲、褶皱和凸起等,更好地描述垂向上岩性的非连续性;可展现裂缝的线型特征,进而反映缝洞体的空间分布、配置关系及其连通性。

2 地震属性表征

2.1 微断裂—裂缝体系描述

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏的缝洞系统是近地表溶洞和裂缝发育的产物,包括地下通道(岩溶河道)的溶蚀作用、溶洞的形成及洞壁和洞顶的破裂、地下通道和溶洞的沉积作用以及后期溶洞的塌陷、压实和愈合作用^[7-9]。

微断裂—裂缝体系是伴生在溶洞附近且连通溶洞的主要通道。最大曲率属性可以较好地描述断裂和裂缝通道在平面上的线型特征。将表征裂缝通道的最大曲率属性与反映溶洞特征的振幅梯度属性相叠加(图1)可以看出,在溶洞的四周均有微断裂—裂缝相伴生,且主要分布于溶洞的边界及上部,这是由于溶洞是沿着断裂或裂缝溶蚀扩大而形成的。最大曲率属性可以较好地表征微断裂—裂缝体系的空间分布,其分布特征符合碳酸盐岩缝洞型油藏的发育特征。

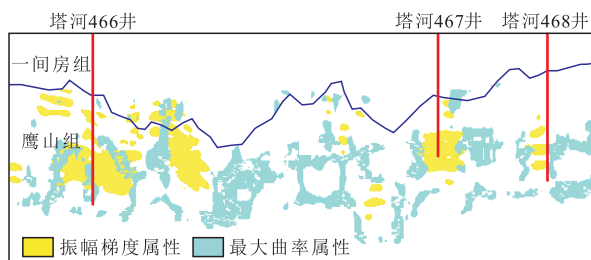


图1 塔河466井—塔河468井最大曲率属性与振幅梯度属性叠合剖面

2.2 缝洞连通体刻画

缝洞连通体主要是由溶洞和裂缝通道2部分组成。通过刻画溶洞和微断裂—裂缝体系在横向上的连通关系,以及缝洞体内的连通特征,可以实现

对储层内部空间结构的表征。利用最大曲率属性可以描述缝洞的连通通道,振幅梯度属性可以有效地刻画串珠状强反射与地层反射的边界,进而确定具有串珠状反射特征的溶洞的空间分布。

首先,利用多属性交汇分析方法确定最大曲率属性和振幅梯度属性的门限值范围;其次,将代表裂缝和溶洞的2种属性分别赋值于2个三维地质模型的网格中,且根据同一网格、溶洞优先的原则将三维网格进行合并;最后,将合并的缝洞体根据网格连接情况,得到空间展布的缝洞连通体。三维地质模型网格化后得到的缝洞连通体可以较好地展示碳酸盐岩缝洞型油藏的储集体空间结构和缝洞组合关系,进而反映井间裂缝和溶洞的组合关系。

2.3 大尺度裂缝追踪

裂缝不但是碳酸盐岩缝洞型油藏形成的重要因素,也控制着裂缝与溶洞的连通程度和方式,描述大尺度裂缝的展布特征对碳酸盐岩缝洞型油藏的开发具有重要的指导作用。采用曲率分析技术对曲率属性在层位切片上进行追踪,确定平面上可识别的大尺度裂缝的空间分布,在此基础上建立三维空间的网状结构模型,进而表征大尺度裂缝在缝洞储层空间潜在的连通特征。以单井产层段为中心,以井距的1/2作为半径搜索的大尺度裂缝平面分布图(图2),即可以较好地反映井间大尺度裂缝的平面延伸方向和连通特征。

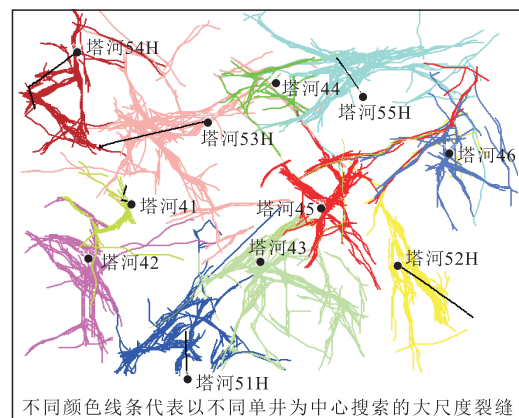


图2 塔河43井区大尺度裂缝平面分布

3 在多井缝洞单元注水开发的应用

3.1 判定井间静态连通性

对塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏的多井缝洞单元实施注水开发后取得了一定的成效,但是现场注采关系的建立、注采参数的调整和优化均主要以动态法为主,缺少井间静态连通资料的有力支撑。

最大曲率属性可以清晰地反映微断裂—裂缝体系的空间分布,为井间静态连通性的判定提供了依据。例如塔河428CH—塔河408注采受效井组具有较好的注水效果,注采关系为缝注洞采,但根据动态资料难以确定井间的连通通道。通过提取最大曲率属性,发现在注采井间存在明显的微断裂—裂缝连通体,较好地反映出井间裂缝的展布特征(图3),为进一步认识注采井间储层的纵向及平面连通关系提供了地质依据。

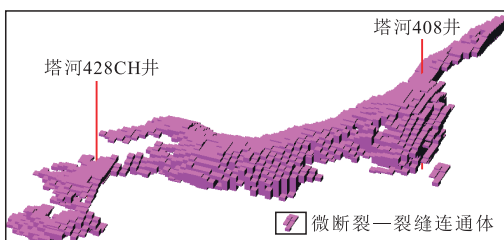


图3 塔河428CH—塔河408注采受效井组井间微断裂—裂缝连通体分布

3.2 优化注采井部署

对于多井缝洞单元实施注水开发过程,注采井的选择须考虑油水井的储集体类型、规模、构造部位以及连通程度^[10]。通过最大曲率属性和振幅梯度属性建立缝洞连通体的几何结构模型,可以反映单元缝洞系统的空间几何形态和延展趋势,有助于明确对单元缝洞结构的认识,以及确定相邻井间的位置关系,判定是否属于同一缝洞连通体。研究区塔河12和塔河11井钻遇同一条岩溶暗河,塔河11井位于暗河的下游,构造位置相对较低,且储集体规模较小,可将塔河11井作为注水井,建立低注高采、洞注暗河驱洞采的注采关系(图4)。因此,通过对缝洞连通体的三维空间刻画,可以为优化注采井部署提供地质依据。

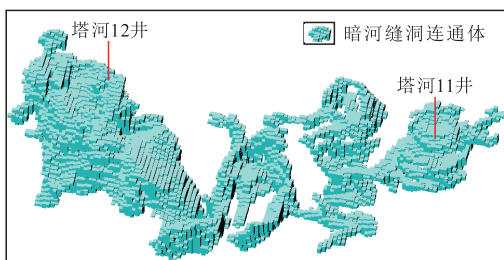


图4 塔河油田塔河12井—塔河11井暗河缝洞连通体空间展布

3.3 预测注水受效方向

在多井缝洞单元注水开发过程中,大尺度裂缝是井间主要的连通通道。三维空间裂缝连通特征描述对多井缝洞单元注水受效方向的预测具有重要的指导作用。在设计注水井时,若能明确与注水

井相连通的裂缝的分布范围和连通主方向,便可预测受效油井的数量和位置;根据大尺度裂缝连通的主方向,可确定注水井的主要水驱方向。以塔河油田塔河2和塔河5井为中心,预测大尺度连通裂缝的展布方向和分布范围。结果(图5)表明,以塔河5井为中心搜索的大尺度裂缝主要沿南北向延伸,连接北东向塔河4井、北西向塔河8井和南部塔河6井;以塔河2井为中心搜索的大尺度裂缝主要连接北部塔河1井和南部塔河3井,如将塔河2和塔河5井作为注水井即可实现注水多向驱油。因此,在多井缝洞单元注水开发过程中,可根据确定的大尺度裂缝的展布特征来优选注水井,并进行注采井网的优化。

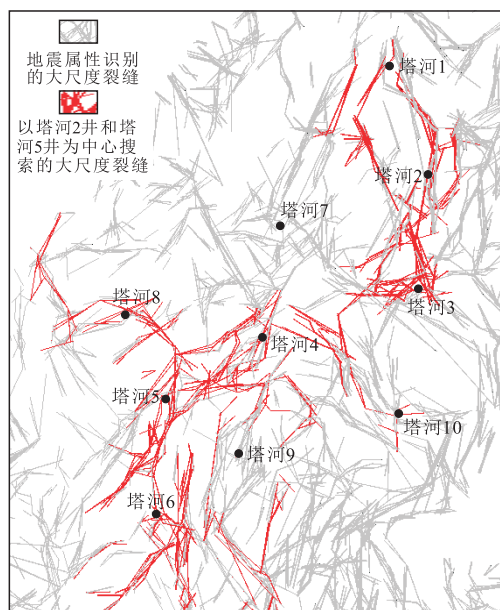


图5 塔河油田塔河2和塔河5井区大尺度裂缝连通体平面分布

4 结束语

理论分析和现场实践结果表明,在描述与微断裂—裂缝体系相关的裂缝通道时,最大曲率属性的效果优于地震倾角(方位角)和相干属性。对非均质性极强的碳酸盐岩缝洞型油藏,最大曲率属性可以较好地识别和描述微断裂—裂缝体系,确定其与溶洞的空间组合关系。在碳酸盐岩缝洞型油藏的注水开发过程中,根据多种地震属性表征的缝洞连通体可以较好地判定注采井间的静态连通性,指导优化注采井部署;利用最大曲率属性对大尺度裂缝进行追踪和描述,可以为注水受效方向的预测提供有力的地质依据。若要进一步认识碳酸盐岩缝洞

(下转第71页)