

文章编号: 1001-1749(2023)03-0307-10

塔河地区面向缝洞体的地震采集优化策略研究

彭代平¹, 邓光校², 王震², 黄鹏¹, 肖云飞¹

(1. 中国石化 石油物探技术研究院, 南京 211103;

2. 中国石化 西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 塔河油田随着开发的深入, 高精度三维地震资料已经不能完全满足需求, 面临着小尺度缝洞预测难、规模缝洞体结构、连通关系及剩余油描述难等问题。这里从塔河地区现阶段地震开发面临的问题出发, 结合塔河地区地震地质条件、高精度三维采集方法与应用效果和影响缝洞体成像的地震采集关键因素分析, 研究了面向小尺度缝洞的地震采集优化策略。证实了影响塔河地区小尺度缝洞体成像最重要的因素是地震资料的信噪比, 而提高信噪比最有效的手段是增加覆盖次数; 其次要做好缝洞绕射的记录与保护, 减小采集面元更充分地记录好绕射波场, 减小检波器组合更好地保护好绕射波场, 为绕射波成像提供数据基础。提高缝洞体结构以及连通关系的描述精度, 需要进一步拓展地震资料的有效频带; 塔河地区地震激发接收条件好, 具备一定的拓展频带的空间; 一方面采用低频检波器接收更好的记录低频信息, 在压噪处理时保护低频信息, 拓展有效低频, 提高地震资料倍频程; 另一方面通过高叠次进一步压制高频随机噪声, 突出有效反射, 拓展有效高频。采用以上优化策略在塔河地区开展了地震采集试验, 小尺度缝洞体的成像精度明显提高。

关键词: 缝洞体; 信噪比; 检波器组合; 低频检波器; 死亡频率

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.03.04

0 引言

塔河油田主体位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起, 以奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏为主体^[1-2]。塔河油田的发现经历了四个阶段: 前期探索阶段(1978年—1995年)、油气重大突破阶段(1996年—1997年)、塔河油田扩大探明阶段(1998年—2000年)和塔河外围扩展及立体勘探阶段(2001年—至今)^[3-4]。

塔河地区面向奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层的地

震采集, 主要分为两个阶段: 第一阶段是以托甫台为代表的常规三维地震(2001年—2005年), 主要勘探目标为大中尺度的岩溶缝洞, 其采集方法的主要特点是面元大(25 m×25 m)、覆盖次数低(48次), 奥陶系地震资料信噪比和分辨率都较低, 不能满足风化面残丘精细刻画和奥陶系内幕缝洞储集体的半定量一定量预测的需求^[5-6]; 第二阶段是以十区东、十区西为代表的高精度三维地震(2006年—至今), 主要勘探目标为小尺度岩溶缝洞体。针对常规三维地震的不足, 分别于2007年、2009年在S48井区和6区~7区开展了可分面元的高精度三维地震采集试验,

基本面元 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ (覆盖次数 320 次~352 次), 可分面元为 $7.5\text{ m} \times 7.5\text{ m}$ (覆盖次数 80 次~88 次)。通过观测系统退化分析, 以“串珠”反射数量与清晰度以及河道刻画为评价标准, 形成了 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 面元、168 次覆盖, 兼顾勘探成本与地质效果的高精度三维地震采集方案, 并在十区东、十区西、桑塔木、兰尕东、托甫台北、十二区等工区进行了推广应用^[7]。

随着高精度三维地震的实施, 构造、断裂解释精度以及缝洞体成像精度大幅提高, 为主建产区的缝洞带及缝洞单元划分、连通性分析、注水方案设计、动态调整、井位部署等开发基础研究提供了有利支撑, 开发井位部署成果突出, 放空漏失率即新井中靶率显著提高^[8]。

然而随着开发的深入, 高精度三维地震资料已经不能完全满足生产需求。在已动用储量区存在着规模缝洞体结构、连通关系不清及剩余油描述难的

问题。在未动用储量区, 面临着小尺度缝洞预测难, 油水关系分辨难的问题, 需要进一步提高地震资料的信噪比、保真度和分辨率。

针对上述问题, 笔者结合塔河地区地震地质条件、高精度三维地震采集方法及其应用效果, 分析了以往采集存在的问题, 并根据正演模拟与高精度三维资料的退化处理分析, 研究了影响缝洞体成像的地震采集关键因素, 提出了面向缝洞体的地震采集优化策略。

1 高精度三维地震采集存在的问题

塔河地区目前已采集了 11 块高精度地震资料, 自 6 区-7 区确立了较高性价比的采集方案后, 后续的高精度三维采集方法基本一致, 具体参数如表 1 所示。

表 1 塔河地区高精度三维地震采集参数

Tab. 1 High-precision 3D seismic acquisition parameters in Tahe area

工区	托甫台东 (2020 年)	于奇 8 (2019 年)	十二区北 (2018 年)	托甫台南 (2016 年)	托甫台北 (2014 年)	10 区西 (2013 年)	兰尕东 (2012 年)	10 区东 (2011 年)	桑塔木 (2010 年)	6 井~7 井区 (2009 年)	S48 井区 (2007 年)
观测方式	24L8S3 36T	24L8S3 36T	24L8S3 36T	32L8S3 84T	24L8S3 36T	24L8S3 36T	24L8S3 36T	24L8S3 36T	20L10S3 84T	32L34S3 74T	16L120S3 60T
面元大小 /m ²	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15	15 * 15 /7.5 * 7.5	15 * 15 /7.5 * 7.5
接收线距 /m	240	240	240	240	240	240	240	240	300	225	225
炮排距 /m	360	360	360	360	360	360	360	360	480	225	225
覆盖次数	168	168	168	256	168	168	168	168	120	352/88	320/80
纵横比	0.57	0.57	0.57	0.67	0.57	0.57	0.57	0.57	0.52	0.75	0.47
激发因数	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m, 药 量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 5 m, 药 量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg	潜水面下 7 m, 药 量 12 kg	潜水面下 5 m ~ 7 m, 药量 12 kg
接收因数	2 串吕字 型 $L_x =$ 20 m, L_y $=12\text{ m}$	2 串吕字 型 $L_x =$ 20 m, L_y $=12\text{ m}$	2 串吕字 型 $L_x =$ 20 m, L_y $=12\text{ m}$	2 串吕字 型 $L_x =$ 20 m, L_y $=12\text{ m}$	2 串吕字 型 $L_x =$ 20 m, L_y $=12\text{ m}$	3 串品字 型 $L_x =$ 21 m, L_y $=28\text{ m}$	3 串品字 型 $L_x =$ 21 m, L_y $=28\text{ m}$	3 串品字 型 $L_x =$ 21 m, L_y $=28\text{ m}$	3 串品字 型 $L_x =$ 21 m, L_y $=28\text{ m}$	3 串品字 型 $L_x =$ $L_y=17.5$ m	3 串品字 型 $L_x =$ $L_y=17.5$ m

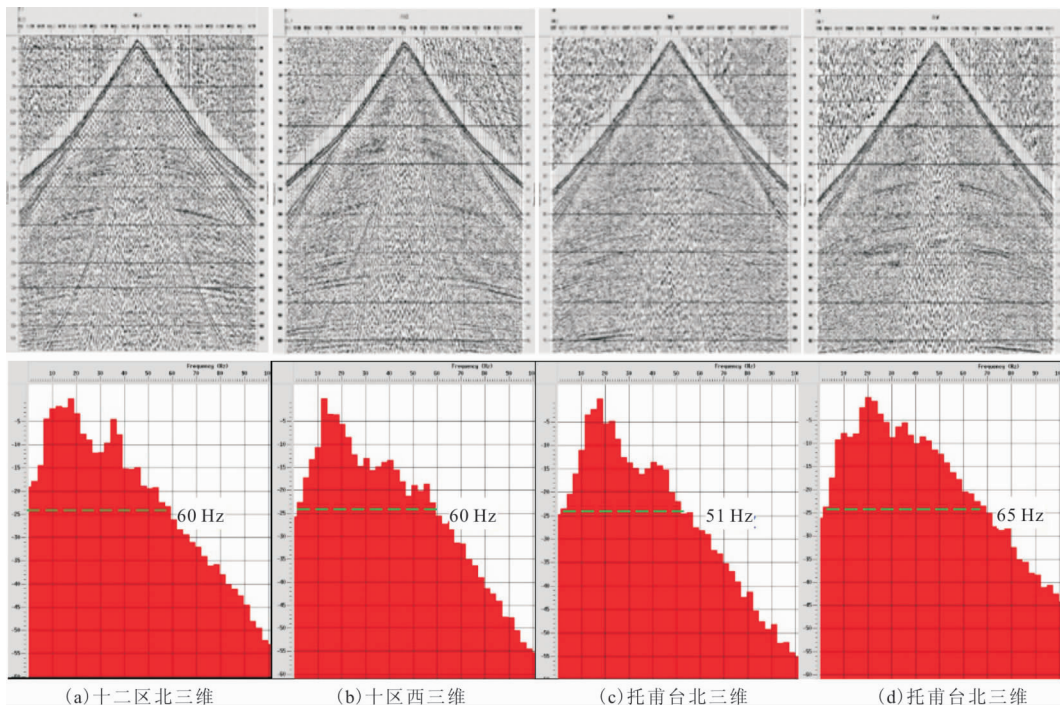


图1 塔河西部斜坡区原始单炮记录与奥陶系地层频率分析
Fig. 1 Original single shot record and frequency analysis of Ordovician stratigraphy in the western slope of Tahe

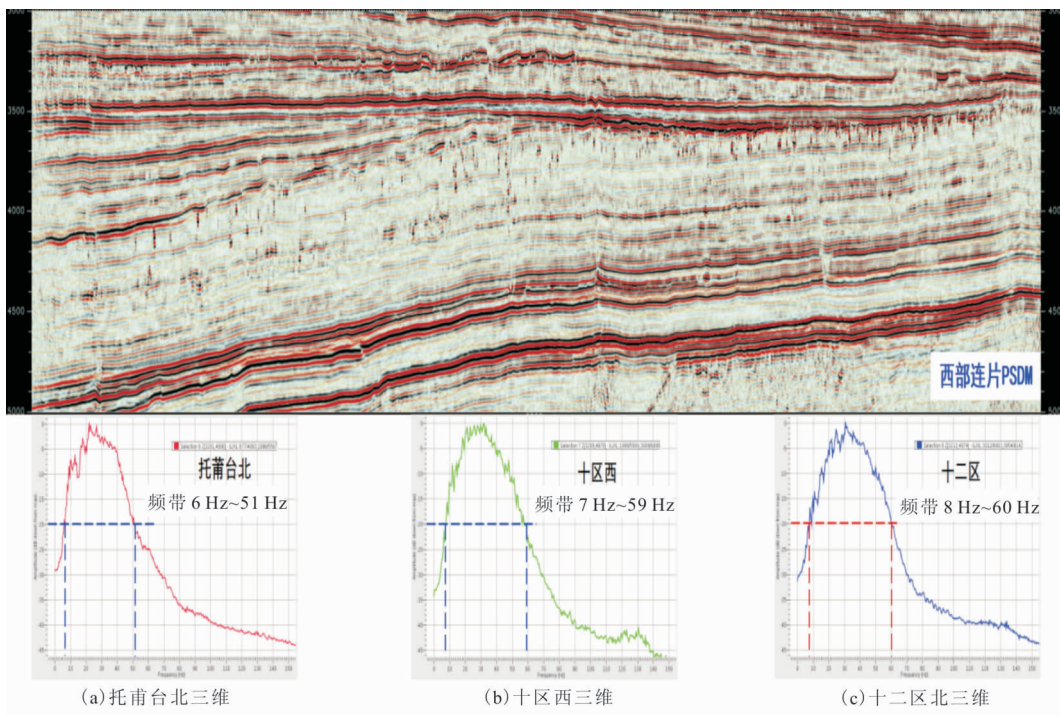


图2 塔河西部连片叠前深度偏移剖面与奥陶系地层频率分析
Fig. 2 Pieces-tied prestack depth migration profile and frequency analysis of Ordovician stratigraphy in western Tahe

对塔河西部斜坡区高精度三维的原始单炮记录进行定量分析,地震资料信噪比整体较高,奥陶系反

射有效频带约为 6 Hz~60 Hz^[9](图 1)。对西部连片叠前深度偏移成果剖面进行定量分析,奥陶系地

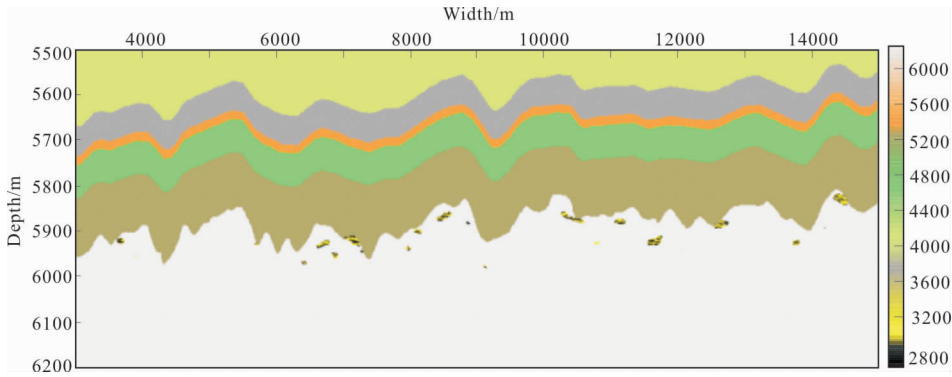


图3 塔河地区典型溶洞模型

Fig. 3 Typical karst cave model in Tahe area

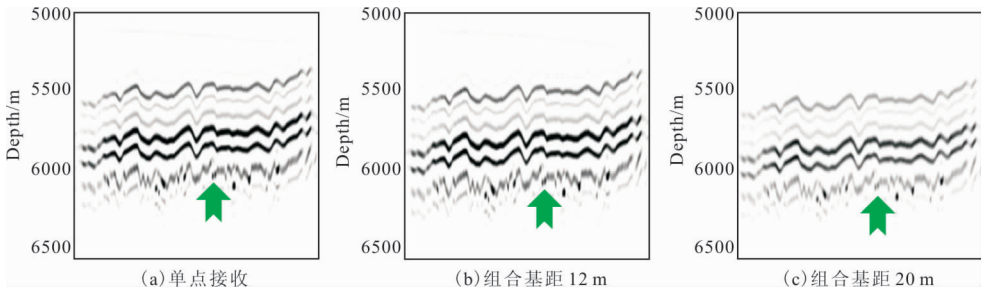


图4 不同组合方式 PSDM 剖面

Fig. 4 PSDM profiles of different combinations

层反射的有效频带约为 $8 \text{ Hz} \sim 60 \text{ Hz}$ (图 2)。

结合塔河地区高精度三维地震采集参数、地震资料定量分析结果、正演模拟认识以及实际资料分析处理,认为前期采集存在以下问题:

1) 采用自然频率为 10 Hz 的动圈式检波器接收,这种检波器在检测地震信号时,只有在 10 Hz 左右才能线性检测速度,远离自然频率的地震信号响应变差,其不利于 $0 \text{ Hz} \sim 5 \text{ Hz}$ 的低频信息的获取^[10-11]。此外在地震资料压噪处理时,衰减面波等低频噪音也会损失一部分同频带范围内的有效信息,使得地震资料的有效频带进一步收窄^[12-14]。然而低频信息的缺失会影响波阻抗反演结果的稳定性,导致洞顶位置预测的精度变差。

2) 基于传统意义上的检波器组合,主要目的是压制干扰,突出有效反射波。与干扰波相比,地层反射的视速度高,检波器组合一般不会对其造成压制^[15-16],但塔河地区主要勘探目标为奥陶系缝洞型储层,对缝洞的成像往往依赖于缝洞产生的绕射波偏移归位成像。与奥陶系地层反射相比,绕射波视速度低,检波器组合基距大会对其进行压制。

根据塔河地区钻井数据、解释成果数据以及溶洞储层发育特征,建立了如图 3 所示的典型地球物

理模型。溶洞发育位置距离 T74 界面小于 60 m ,横向尺寸为 $20 \text{ m} \sim 300 \text{ m}$,以未充填和半充填为主,充填速度为 $2640 \text{ m/s} \sim 3360 \text{ m/s}$ 。

基于模型开展高阶有限差分二维数值模拟,观测系统为 $6000-0-1-0-6000$,道距为 1 m 、炮点距为 120 m 、覆盖次数为 100 次,主频为 25 Hz 的雷克子波。通过抽道和组合,形成道距为 20 m 的单点接收、13 道组合接收和 21 道组合接收的三套数据体,组合基距分别为 0 m 、 12 m 和 20 m 。采用模型速度分别对三套数据体进行叠前深度偏移,成像剖面如图 4 所示。

将组合基距 12 m 和组合基距 20 m 的成像数据分别与单点接收的成像数据进行残差计算,得到图 5 所示的剖面。从图 5 可以看出,随着组合基距的增大,地震资料的保真度逐渐降低,当组合基距达到 20 m 时,缝洞的成像精度明显降低。而以往高精度三维基本采用了沿测线方向大于 20 m 的组合基距,不利于奥陶系缝洞体产生的绕射波的保护,影响了缝洞体偏移成像的精度。

3) 高精度三维观测系统覆盖次数不足,奥陶系地震资料信噪比不够,不利于小尺度缝洞体成像。2014 年徐颖^[7]以塔河 6 区~7 区高精度三维为靶

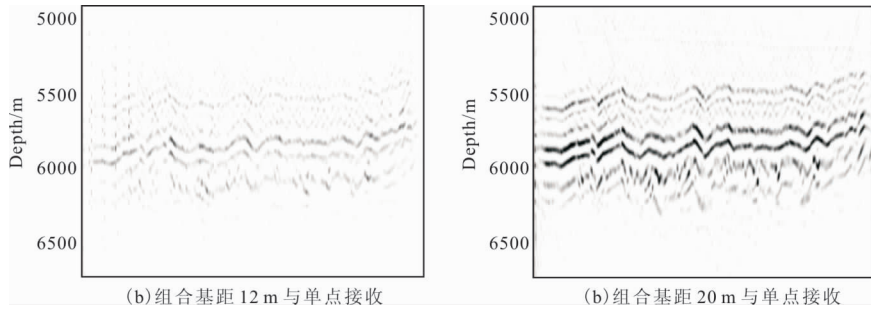


图 5 不同组合基距 PSDM 残差剖面

Fig. 5 PSDM residual profile of different combined base distances

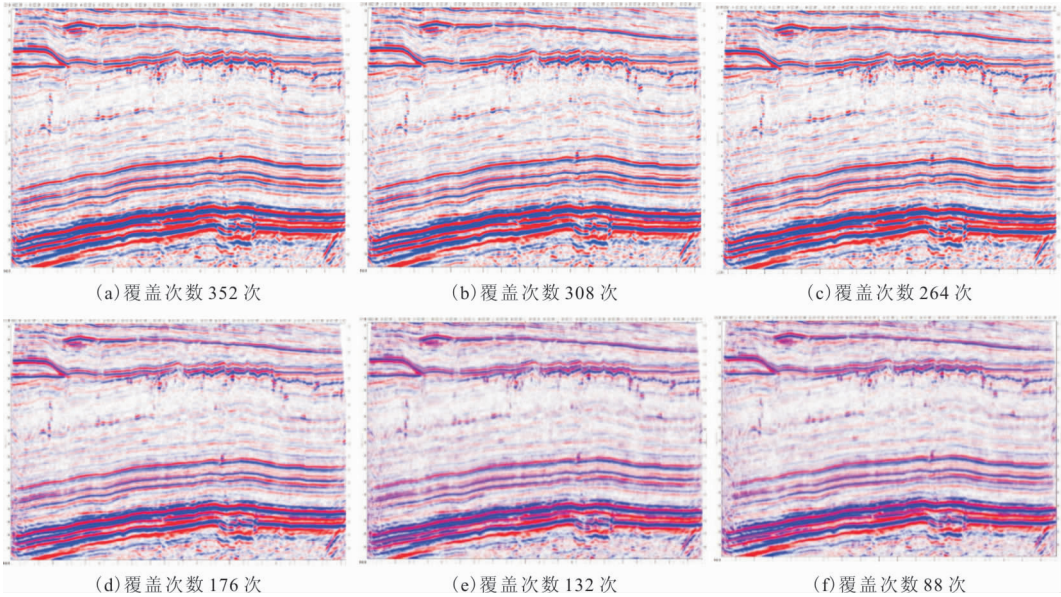


图 6 塔河 6 区~7 区不同覆盖次数高精度三维叠后偏移剖面

Fig. 6 High-precision 3D post-stack migration profiles of different coverage times in Tahe 6-7 area

区,开展了相同面元($15\text{ m}\times 15\text{ m}$)条件下不同覆盖次数的叠加、叠后偏移和叠前时间偏移剖面的对比分析,认为信噪比和缝洞体成像精度与覆盖次数皆呈正相关关系,两者皆随覆盖次数的增大而提高,但覆盖次数达到一定程度后,信噪比提高受限,且缝洞体响应的能量和数量也不再变化。从经济效益和目前的采集处理技术分析,从偏移成像和叠后预测的角度出发,覆盖次数在 120 次~160 次即可达到要求。

对塔河 6 区~7 区高精度三维重新进行了相同面元不同覆盖次数的叠后偏移,得到了相同的结果,当覆盖次数达到 176 次后,奥陶系内幕资料的信噪比有了明显提升,而之后信噪比提升的幅度明显下降(图 6)。但是由偏移剖面分频对比可以发现,当覆盖次数继续增加到 264 次之后,小尺度缝洞体的成像精度明显提升(图 7)。说明进一步增加覆盖次

数,能有效提高高频段地震资料的信噪比,拓展有效高频,从而提高小尺度地质体的识别精度。

2 面向缝洞体的地震采集优化策略

影响地震分辨率的主要因素是地震资料的主频与有效频带,提升塔河地区地震资料的有效频带是塔河油田持续开发的关键。

由于地震信号记录的最大动态范围是有一定限制的,同时不同地区的不同目的层有着不同的大地吸收量,因此对于特定的地质目标,能够接收到的最高有效频率也是有一定限制的,如果高频、低频信号相对振幅差超过 60 dB,即使到室内也无法恢复,这个最高有效频率称为“死亡频率”^[17-18]。

根据塔河地区的表层结构调查数据以及大套层的分层数据,计算了各地层地震波吸收衰减量(表

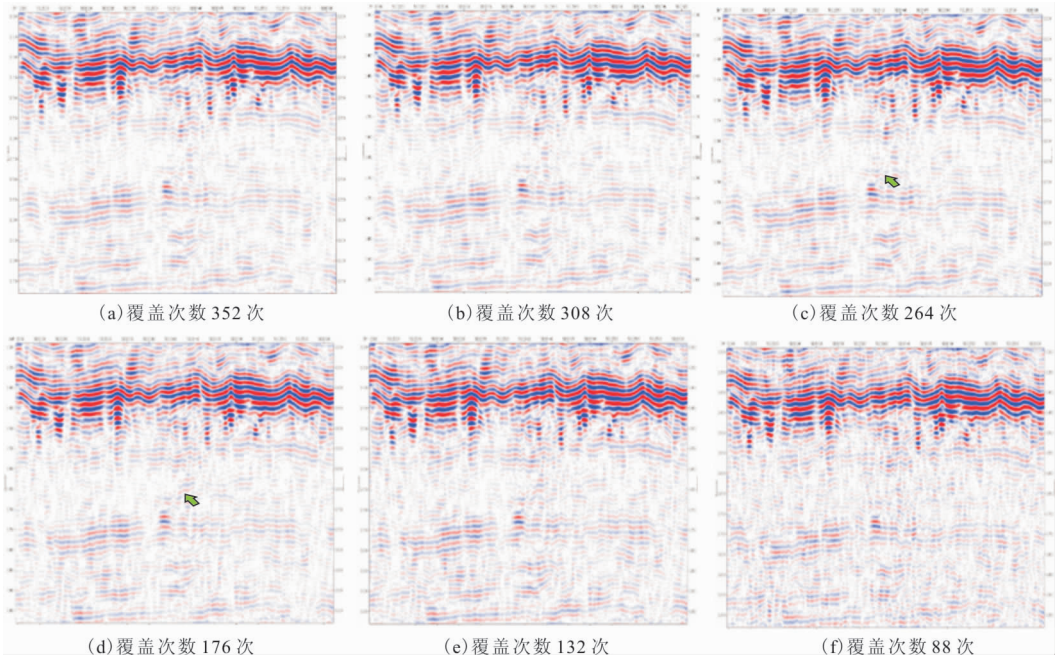


图7 塔河6区~7区不同覆盖次数高精度三维叠后偏移40 Hz~80 Hz分频剖面
Fig.7 High-precision 3D post-stack migration 40 Hz~80 Hz frequency division profile of different coverage times in Tahe 6~7 area

表2 塔河地区各地层地震波吸收衰减量

Tab.2 Seismic wave absorption and attenuation of different layers in Tahe area

地层	深度/m	速度/ $m \cdot s^{-1}$	厚度/m	$\Delta T/s$	Q	β
低速层	3.5	344	3.5	0.010	1.338	20.391
降速层	7.1	582	3.6	0.006	4.256	6.413
高速层	40	1700	32.9	0.019	44.990	0.607
T22	3368	3026	3328	1.100	159.970	0.171
T23	4049	3985	681	0.171	293.137	0.093
T30	4158	3633	109	0.030	239.173	0.114
T32	4756	3688	598	0.162	247.211	0.110
T40	5215	3702	459	0.124	249.280	0.109
T46	5349	4075	134	0.033	307.899	0.089
T50	5635	4206	286	0.068	330.096	0.083
T56	5681	4600	46	0.010	401.972	0.068
T74	5943	5448	262	0.048	583.243	0.047

2),并根据计算的衰减量绘制了奥陶系 T74 反射在有无近地表两种情况下的死亡频率曲线(图8)。从图8可以看出,在没有近地表的情况下,奥陶系 T74 反射的“死亡频率”能达到 100 Hz 以上,但加上近地表,最高有效频率降低到 78 Hz。

对塔河地区高精度三维原始单炮记录进行分频扫描可以发现,在 60 Hz 以上还能看见奥陶系 T74

的反射信息(图9),结合地层吸收衰减分析,认为在保证奥陶系内幕信噪比的前提下,具有进一步拓展有效高频的空间。

根据以上分析,塔河地区开展三次采集具有可行性,采集方法应从以下几个方面进行优化:

1)加强低频信号的记录与保护。采用自然频率 5 Hz 或者更低的检波器接收,提高低频段地震信号

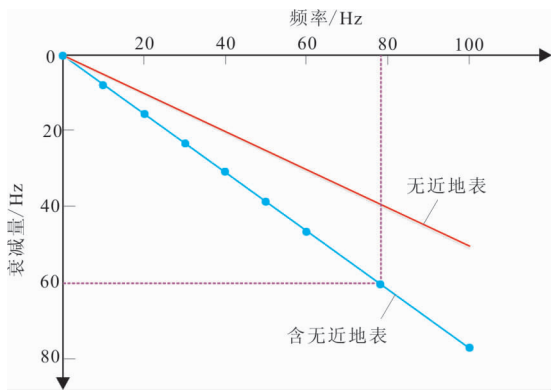


图8 塔河地区奥陶系 T74 反射各频段吸收衰减量

Fig. 8 The absorption attenuation of each frequency band of Ordovician T74 reflection in Tahe area

的响应。在压噪处理时,尽可能地保护低频有效信息。

2)增加覆盖次数,进一步提高奥陶系内幕资料信噪比与小尺度缝洞体的成像精度。大量的正演模拟与多个探区的地震采集试验都证实了信噪比是影响小尺度地质体成像的关键,且塔河6区~7区的退化处理也得出了结论,针对奥陶系碳酸盐岩小尺度缝洞体成像,高精度三维的覆盖次数存在不足。

3)加强绕射波的保护。通过减小采集面元,更充分地对接场采样。减小检波器组合基距,提高地震记录的保真度,降低组合效应对绕射波的压制影响。

3 塔河油田三次采集效果分析

采用以上优化方法,在塔河地区实施了三次地震采集。采集面元为 $7.5 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$,覆盖次数为 392 次,采用一串检波器小组接收^[19-20]。从叠前时间偏移结果上看,与相同位置的高精度三维相比,奥陶系内幕资料的信噪比得到了较大提升,小尺度溶洞以及裂缝的成像精度明显提高(图 10、图 11)。

4 结论

影响塔河地区小尺度缝洞体成像最重要的因素是地震资料的信噪比,而提高信噪比最有效的手段还是增加覆盖次数。要做好缝洞绕射的记录和保护,减小采集面元更充分的记录绕射波场,减小检波器组合更好地保护绕射波场,为绕射波成像提供数据基础。

提高缝洞体结构以及连通关系的描述精度,需要进一步拓展地震资料的有效频带。塔河地区地震激发接收条件好,地层吸收衰减较小,具备一定的提频空间。但要重视以下几点:①采用低频检波器接收,更好地记录低频信息,在压噪处理时保护低频信息,拓展有效低频,提高地震资料倍频程;②通过高覆盖进一步压制高频随机噪声,突出有效反射,拓展有效高频,信噪比的提高也能为后续的提频处理提供基础。

参考文献:

- [1] 翟晓先,云露.塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾[J].石油与天然气地质,2008,29(05):565-573.
ZHAI X S, YUN L. Review of geological characteristics and exploration ideas of Tahe large oilfield in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(05): 565-573. (In Chinese)
- [2] 杨敏,陆正元,窦之林,等.塔河油田奥陶系油藏 TK461 井组油水分布概念模式研究[J].石油实验地质,2010,32(01):83-86.
YANG M, LU Z Y, DOU Z L, et al. Study on the conceptual model of oil and water distribution in the TK461 well group of Ordovician reservoir in Tahe oilfield[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(01): 83-86. (In Chinese)
- [3] 丁勇.塔河油田奥陶系岩溶型储层特征及对开发的影响[D].成都:成都理工大学,2009.
DING Y. Characteristics of Ordovician karst reservoirs in Tahe oil field and their influence on development [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009. (In Chinese)
- [4] 翟晓先.塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J].石油实验地质,2011,33(4):324-331.
ZHAI X X. Exploration practice and understanding of Tahe super large oil and gas field in Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 324-331. (In Chinese)
- [5] 漆立新.塔河油田碳酸盐岩储层高精度地震勘探的思考[J].石油物探,2005(04):352-356.
QI L X. Thinking about high-precision seismic exploration of carbonate reservoirs in Tahe oil field[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005(04): 352-356. (In Chinese)
- [6] 武加鹤,李大文,邓松京.拖谢高精度开发三维采集、处理、解释一体化研究[C].江汉油田难采储量开发技术研讨会论文集(二),2007:107-111.

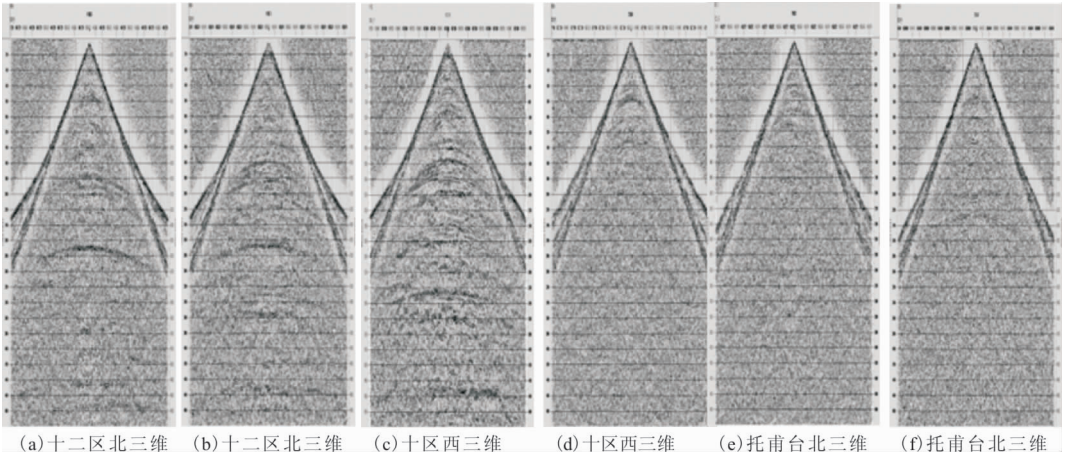


图 9 塔河地区典型单炮 60 Hz~120 Hz 分频记录
 Fig. 9 Typical single shot 60 Hz~120 Hz frequency division record in Tahe area

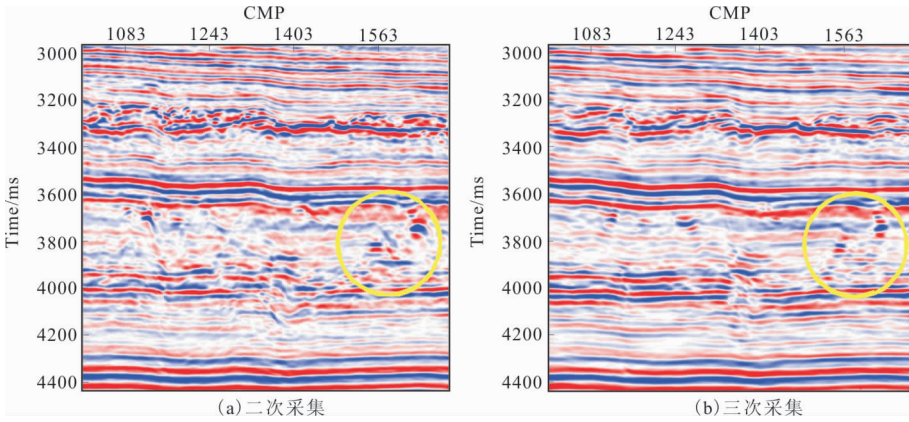


图 10 不同次地震采集叠前时间偏移剖面对比
 Fig. 10 Comparison of prestack time migration profiles acquired in different number of times

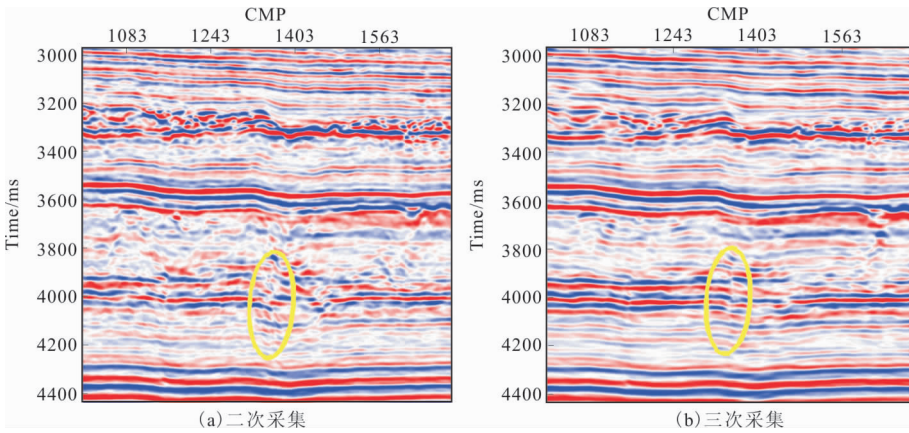


图 11 不同次地震采集叠前时间偏移剖面对比
 Fig. 11 Comparison of prestack time migration profiles acquired in different number of times

WU J H, LI D W, DENG S J. Research on the integration of 3D acquisition, processing and interpretation for high-precision development in Tuoxie [C]. Proceedings of the Seminar on the Development of Refrac-

tory Reserves in Jiangnan Oilfield (II), 2007: 107-111. (In Chinese)

[7] 徐颖. 塔河油田高精度三维地震采集参数优化研究 [J]. 石油物探, 2014, 53(01): 68-76.

- XU Y. Optimization of high-precision 3D seismic acquisition parameters in Tahe Oil field[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2014, 53(01): 68-76. (In Chinese)
- [8] 王宇. 面向塔河油田开发的观测系统设计技术[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2017.
WANG Y. Geometry design technology for Tahe oil-field development [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2017. (In Chinese)
- [9] 王伟, 高星, 张小艳, 等. 复杂山区高分辨率地震采集分析与应用—以四川盆地及周缘地区为例[J]. *地球物理学报*, 2018, 61(03): 1109-1117.
WANG W, GAO X, ZHANG X Y, et al. Analysis and application of high-resolution seismic acquisition in complex mountainous areas—A case study of Sichuan Basin and its surrounding areas [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2018, 61(03): 1109-1117. (In Chinese)
- [10] 吕公河. 地震勘探检波器原理和特性及有关问题分析[J]. *石油物探*, 2009, 48(6): 531-543.
LU G H. Principles and characteristics of geophones for seismic exploration and analysis of related problems [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2009, 48(6): 531-543. (In Chinese)
- [11] 武尚. 陆地动圈式检波器低频数据增强技术初探[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
WU S. Preliminary study on low frequency data enhancement technology of terrestrial moving coil geophones [D]. Changchun: Jilin University, 2018. (In Chinese)
- [12] 丁吉丰, 裴江云, 包焱. “两宽一高”资料处理技术在大庆油田的应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2017, 52(S1): 10-16.
DING J F, PEI J Y, BAO Y. Application of “two widths and one height” data processing technology in Daqing Oilfield [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2017, 52(S1): 10-16. (In Chinese)
- [13] 张建军, 刘红星, 孙强, 等. “两宽一高”地震采集技术在鄂东缘致密砂岩气藏勘探中的应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2018, 53(S2): 1-7.
ZHANG J J, LIU H X, SUN Q, et al. Application of “two widths and one height” seismic acquisition technology in the exploration of tight sandstone gas reservoirs in the eastern margin of Hubei [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2018, 53(S2): 1-7. (In Chinese)
- [14] 罗春波, 余圣华, 黄翠叶, 等. “两宽一高”采集技术在黑 82 区块岩性油藏勘探中的应用[C]. 2020 年中国地球科学联合学术年会论文集(十六)—专题四十六: 探地雷达新进展、专题四十七: 油气田与煤田地球物理勘探、专题四十八: 污染灾害生态地下水等环境领域中地球物理监测与检测的技术应用及研究进展, 2020: 108-111.
LUO C B, YU S H, HUANG C Y, et al. Application of “two widths and one height” acquisition technology in the exploration of lithologic reservoirs in the Hei 82 block [C]. Proceedings of the 2020 China Geosciences Joint Academic Annual Conference (16)—Topic 46: New Development of Ground Penetrating Radar, Topic 47: Geophysical Exploration of Oil and Gas Fields and Coal Fields, Topic 48: Technical Application and Research Progress of Geophysical Monitoring and Detection in Environmental Fields such as Pollution Disaster, Ecological Groundwater, etc, 2020: 108-111. (In Chinese)
- [15] 李庆忠, 陈祖钧. 组合效应对反射波的压制和改造[J]. *石油地球物理勘探*, 1984, 2(1): 1-19.
LI Q Z, CHEN Z J. Suppression and transformation of reflected waves by combination effect [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1984, 2(1): 1-19. (In Chinese)
- [16] 魏继东, 丁伟. 检波器野外组合因素对地震资料品质的影响分析[J]. *石油物探*, 2010, 49(3): 312-318.
WEI J D, DING W. Analysis of the influence of geophone field combination factors on the quality of seismic data [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2010, 49(3): 312-318. (In Chinese)
- [17] 王兵. 高分辨地震勘探仪器设计研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
WANG B. Design and research of high resolution seismic exploration instrument [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2008. (In Chinese)
- [18] 李庆忠, 魏继东. 高密度地震采集中组合效应对高频截止频率的影响[J]. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(4): 363-369.
LI Q Z, WEI J D. Influence of combination effect on high frequency cutoff frequency in high density seismic acquisition [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2007, 42(4): 363-369. (In Chinese)
- [19] 尚新民, 芮拥军, 石林光, 等. 胜利油田高密度地震探索与实践[J]. *地球物理学进展*, 2018, 33(04): 1545-1553.
SHANG X M, RUI Y J, SHI L G, et al. Exploration and practice of high-density seismic in Shengli oilfield [J]. *Progress in Geophysics*, 2018, 33(04): 1545-1553. (In Chinese)
- [20] 宋明水, 尚新民, 王延光, 等. 罗家单点高密度三维地震

与效果[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(03): 1089—1095.

SONG M S, SHANG X M, WANG Y G, et al. Luo-

ji single-point high-density three-dimensional seismic and its effects[J]. Progress in Geophysics,

2019, 34(03): 1089—1095. (In Chinese)

Research on optimization strategy of seismic acquisition for fractured-cavity bodies in Tahe area

PENG Daiping¹, DENG Guangxiao², WANG Zhen², HUANG Peng¹, XIAO Yunfei¹

(1. Sinopec Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Exploration and Development Research Institute, Northwest Oilfield Branch, SINOPEC, Urumqi 830011, China)

Abstract: With the in-depth development of Tahe Oilfield, high-precision 3D seismic data can no longer fully meet the needs, and it faces problems such as difficulty in predicting small-scale fractured cavities and difficulty in describing the structure, connectivity, and remaining oil of large-scale fracture-cave bodies. In this paper, the optimization strategy of seismic acquisition for small-scale fractured cavities is studied by starting from the problems faced by the current seismic development in the Tahe area, and combining with the seismic geological conditions in the Tahe area, the high-precision 3D acquisition method and application effect, and the analysis of the critical factors of seismic acquisition that affect the imaging of fractured-cavity bodies. It is believed that the most crucial factor affecting the imaging of small-scale fracture-cave bodies in the Tahe area is the signal-to-noise ratio of seismic data. Therefore, the most effective means to improve the signal-to-noise ratio is to increase the coverage times. Secondly, to provide the data basis for diffraction wave imaging, it is necessary to record and protect the diffraction of the fractured cavities, reduce the acquisition bin to record the diffraction wave field more fully, and reduce the geophone combination to protect the diffraction wave field better. To improve the description accuracy of fracture-cavity structure and connectivity, further expanding the influential frequency band of seismic data is necessary. There is a particular space for expanding the frequency band because the seismic excitation and reception conditions are good in the Tahe area. On the one hand, low-frequency geophones are used to record low-frequency information better and protect low-frequency information during noise suppression to expand effective low-frequency and improve the octave of seismic data. On the other hand, high stacking times further suppress the high-frequency random noise to highlight the adequate reflection and expand the effective high frequency. Using the above optimization strategy, a seismic acquisition experiment was carried out in the Tahe area, and the imaging accuracy of small-scale fracture-cave bodies was significantly improved.

Keywords: cave body; signal-to-noise ratio; combination of geophones; low-frequency geophone; death frequency