

# 高陡双复杂地区成像采集技术设计实践

## ——以四川盆地川东LS-BD三维为例

刘攀登, 张晓斌, 黎书琴, 郭祥民, 李一苇, 曾旭, 杨平, 梁轩瑜, 巫骏\*

中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司西南物探分公司, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月18日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月29日

### 摘要

高陡双复杂地区的地震勘探面临着成像精度低、资料信噪比差等技术难题, 严重制约了油气资源勘探开发的成效。本文以四川盆地川东LS-BD工区三维地震勘探为例, 针对该工区高陡地层倾角、地表条件复杂、地下构造复杂的“双复杂”特征, 从采集技术设计角度开展实践研究。通过建立工区地质模型与正演模拟, 优化观测系统参数(道距、炮距、覆盖次数等), 采用“宽方位、小面元、高覆盖”的采集技术方案, 并结合表层结构调查与激发接收条件优化, 有效改善了复杂构造的成像效果。实际采集数据处理结果显示, 资料信噪比较好, 主要目的层振幅关系清晰, 能满足解释需求, 验证了该采集技术设计方案的有效性, 为同类高陡双复杂地区的地震采集工作提供了可靠的技术参考。

### 关键词

高陡双复杂地区, 成像, 采集技术设计, 观测系统

# Practice of Acquisition Technology Design for Imaging in High Steep and Dual-Complex Areas

## —Taking the LS-BD 3D Project in Eastern Sichuan Basin as an Example

Pandeng Liu, Xiaobin Zhang, Shuqin Li, Xiangmin Guo, Yiwei Li, Xu Zeng, Ping Yang,  
Xuanyu Liang, Jun Wu\*

Southwest Geophysical Branch, CNPC BGP Inc., Chengdu Sichuan

Received: March 18, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 29, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 刘攀登, 张晓斌, 黎书琴, 郭祥民, 李一苇, 曾旭, 杨平, 梁轩瑜, 巫骏. 高陡双复杂地区成像采集技术设计实践[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(5): 861-871. DOI: 10.12677/ag.2026.165078

## Abstract

The seismic exploration in high steep and dual-complex areas faces technical challenges such as low imaging accuracy and poor signal-to-noise ratio, which seriously restricts the effectiveness of oil and gas resource exploration and development. This article takes the three-dimensional seismic exploration of the LS-BD work area in eastern Sichuan Basin as an example, and conducts practical research from the perspective of acquisition technology design to address the “dual complexity” characteristics of high and steep dip angles, complex surface conditions, and complex underground structures in the work area. By establishing a geological model and forward simulation of the work area, optimizing observation system parameters (such as track spacing, shot spacing, coverage times, etc.), adopting a “wide azimuth, small face element, high coverage” acquisition technology scheme, and combining surface structure investigation and excitation reception condition optimization, the imaging effect of complex structures has been effectively improved. The actual data processing results show that the signal-to-noise ratio of the data is relatively good, and the amplitude relationship of the main target layer is clear, which can meet the interpretation requirements. This verifies the effectiveness of the acquisition technology design scheme and provides a reliable technical reference for seismic acquisition work in similar high steep double complex areas.

## Keywords

High Steep and Dual-Complex Areas, Imaging, Acquisition Technology Design, Observation System

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

高陡双复杂地区是油气勘探的重点区域之一,其独特的地质条件(高陡构造导致反射波传播路径复杂、复杂地表与地下介质造成波场畸变)使得地震采集面临诸多挑战[1] [2]。传统采集技术方案因未充分考虑“双复杂”特征的耦合影响,常出现目的层反射能量弱、构造形态失真、断点模糊等问题,难以满足后续储层预测与圈闭评价的需求[3]。

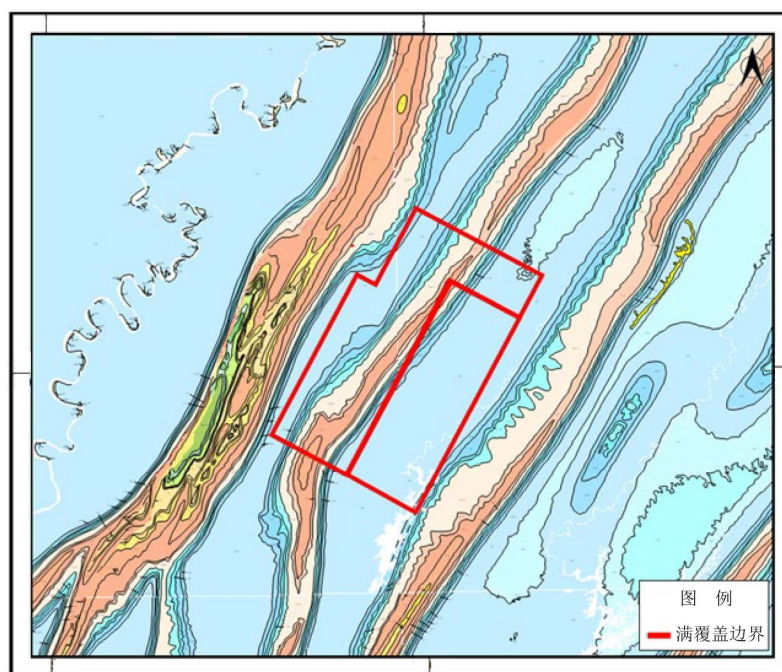
综合地质研究表明,四川盆地茅二期发育大型台缘高能滩带,该台缘带从川西一直延伸到川东。其中在川东地区从 LS 延伸到 FD 一带,该台缘带已被实钻井证实,在相带上已获得了多个  $P_{1m}$  气藏,展示了该区良好的勘探前景。同时 BD 地区具备多层系立体勘探潜力,二三叠系礁滩、石炭系均可作为重要兼探层系。

四川盆地川东 LS-BD 是高陡双复杂勘探区域,在该区部署三维地震勘探主要是为了落实四川盆地 BD 地区  $P_{1m}$  台缘带白云岩储层、二三叠系礁滩储层发育情况,兼顾  $P_{1m}$  海相非常规和侏罗系页岩油勘探潜力,支撑川东地区区带评价和勘探部署。为了得好侏罗系至震旦系各层地震反射资料,保证主要勘探目的层段获得高信噪比、高分辨率资料,本文以“提高成像质量”为核心目标开展了 LS-BD 三维采集技术设计实践,合理设计采集方案,优化采集参数,优选激发、接收条件,努力减少野外各种噪音干扰,提高资料信噪比,确保采集资料质量,为工区后续油气勘探突破奠定了数据基础。

## 2. 工区地震地质特征

### 2.1. 地表地震地质条件

LS-BD 工区地表由新至老依次出露侏罗系(80.10%)、三叠系(19.90%)地层, 主要出露岩性为侏罗系  $J_2s^2$  砂泥岩互层(58.83%)、 $J_2s^1$  砂泥互层(9.52%)、三叠系  $T_3x$  砂岩(11.37%)。三叠系地层出露宽度自南向北逐渐收窄, 南部平均宽度 6.2 km, 北部平均宽度 4 km (图 1)。



四川盆地川东LS-BD地区三维地震勘探地质图

**Figure 1.** Three-dimensional seismic exploration geological map of LS-BD area in eastern Sichuan Basin

**图 1.** 四川盆地川东 LS-BD 地区三维地震勘探地质图

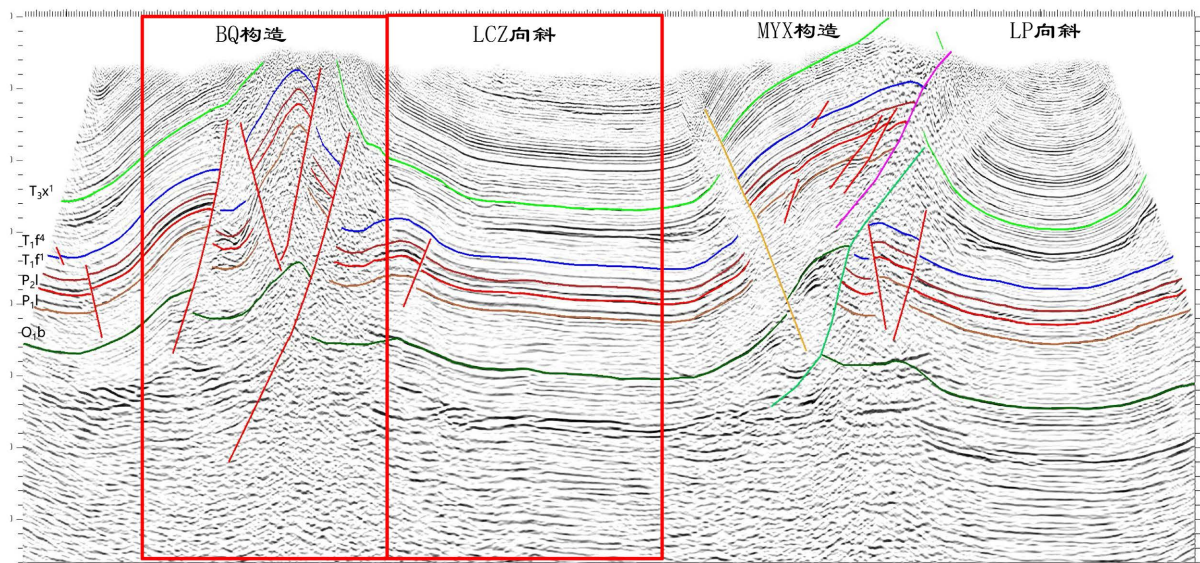
工区内以往表层结构调查点较少, 大部分区域(65%)为表层调查空白区, 以往表层点位主要分布在工区北部。其表层结构以 2 层结构为主; 低降速层速度一般在 1100 m/s 以下; 低降速层厚度低( $\leq 8$  m), 高速层速度高( $\geq 2200$  m/s)。低降速层厚度分布稳定, 厚度主要分布于 3~8 m; 高速层速度整体较高, 主要速度在 2000~3600 m/s 之间。

### 2.2. 地腹地震地质条件

LS-BD 工区中部为 JFS-BQ 构造, 东部位于 LCZ 向斜内。构造格局继承了地面构造特征, 与地面形态基本一致, 主体部位构造复杂, 断裂发育, 向斜区构造相对简单, 浅层和深层构造相对简单, 中层构造褶皱幅度较大(图 2)。

JFS-BQ 构造断裂主要发育于二叠系、三叠系, 深层断裂不发育; 东部三叠系须底以上的浅层, 断裂不发育, 断层少, 落差小, 延伸长度较短; 断裂以北东向为主, 总体表现为规模大, 数量多, 延伸远, 断开层位多。

工区各目的层埋深跨度较大, 三叠系  $T_1f^1$  埋深在 500 m 至 3700 m; 二叠系  $P_2l$  埋深在 1500 m 至 4800 m, 寒武系  $\epsilon_{1q}$  埋深在 6500 m~7400 m。



**Figure 2.** Pre-stack time offset profile of old data  
**图 2.** 老资料叠前时间偏移剖面

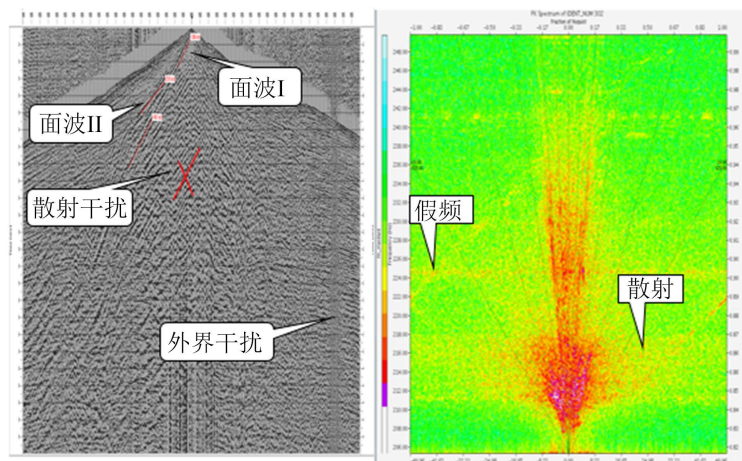
### 3. 资料分析及技术对策

#### 3.1. 二三维老资料分析

区内经历多轮二维地震勘探，主测线密度 1 km 左右。2000 年前以低覆盖、短排列接收，固定大药量激发为主，组合接收；2000 年后以中高覆盖、大排列、单井适中药量，单点接收为主。

近年来邻区实施了多轮地震勘探，多以二三叠系礁滩、石炭系为主要目的层。已实施的三维观测参数面元以 25 \* 25 为主，覆盖次数较低，炮道密度较低，线距较大。

从单炮分析可以看出：区内地表大面积出露的侏罗系地层中激发的单炮资料品质较好，信噪比较高，频带较宽；位于构造顶部的三叠系地层中激发的单炮资料品质相对较差，低频发育，反射信息较少，高频衰减较快；区内干扰波较发育，受岩性控制影响明显，三叠系的低频面波和散射干扰较为严重(图 3)，面波和散射干扰的特征参数见表 1。



**Figure 3.** Analysis of interference waves in single shot data  
**图 3.** 单炮资料干扰波分析

**Table 1.** Main interference wave characteristic parameters**表 1.** 主要干扰波特征参数

| 干扰类型  | 波速(低) | 波速(高) | 频率(低) | 频率(高) |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 面波 I  | 1388  | 1487  | 5     | 15    |
| 面波 II | 2318  | 2400  | 8     | 22    |
| 散射干扰  | 700   | 1500  | 3     | 18    |

剖面品质总体较好，由浅至深反射信息丰富，反射特征清楚；目的层段反射能量强，能连续对比追踪，构造形态清楚可靠；向潜伏构造和主体区域方向，资料品质略有下降。

地震资料分析总的认识有以下几点：1) 区内二维剖面总体较好，构造特征清楚，构造格局基本落实；2) 构造主体位置的成像效果较差，仍有较大的改善空间；3) 邻区三维获得了高品质地震资料，很大程度上支撑了各目的层的有利相带、储层预测工作，为下步勘探开发部署提供了资料基础；4) 邻区三维地震资料针对复杂岩性气藏的刻画精度有待进一步提高。

### 3.2. 技术难点及技术对策

根据二三维老资料特点，结合地质任务和需求，本次采集主要存在以下技术难点：

- 1) 背斜构造主体为灰岩出露区，获得高信噪比地震资料有难度；
- 2) 各目的层的埋深差距大，统筹兼顾立体勘探的高性价比观测系统方案较难；
- 3) 在现有资料品质基础上有效提高成像精度和分辨率，满足精细储层裂缝预测需求较难。

围绕提高构造成像和礁滩体识别精度，借鉴邻区三维采集技术经验，结合工区地质目标需求，开展针对性设计的技术对策包括：

- 1) 采用高覆盖、小线距、宽方位、大偏移距的观测方案，改善复杂构造成像；
- 2) 精细表层调查，指导优选激发岩性的动态井深设计，提高静校正效果；
- 3) 系统性激发参数试验，优选提高激发子波频宽和能量的最优激发参数。

## 4. 采集技术方案设计

### 4.1. 观测系统参数论证

地震采集质量直接影响数据的处理结果和解释精度[4][5]。目前，观测系统设计大多是先通过采集参数论证提出几套候选方案，然后进行论证分析确定最佳的采集方案[6]-[11]，论证的参数主要包括满足面元大小、覆盖次数、最大炮检距、最大非纵距和接收线距等[12]-[20]。

首先根据地下构造变化和目的层埋深差异，选取了 4 个典型论证点，采用钻井资料和地震资料相结合的方式，建立了地球物理模型，得到工区的地球物理参数。然后开展观测系统参数论证，依次论证了面元大小、覆盖次数、最大炮检距、接收线距和偏移孔径、观测方向等。下面以覆盖次数的论证为例加以说明。

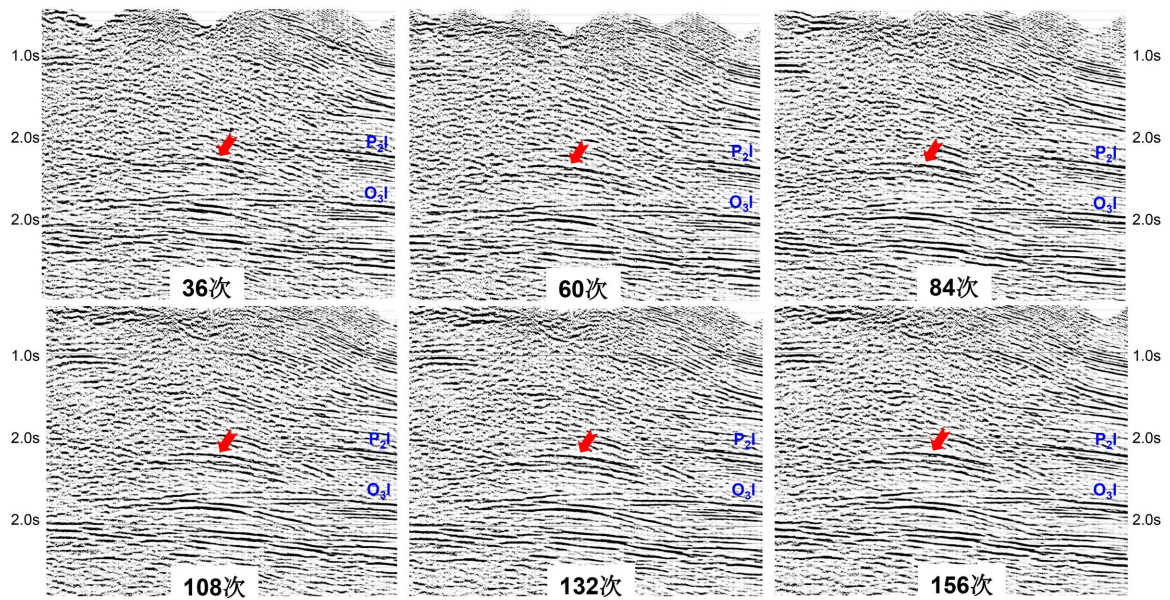
覆盖次数论证采用了邻区 SPC 三维工区的资料。

- 1) 不同覆盖次数(炮道密度)叠加剖面对比

利用邻区 SPC 三维实际地震资料不同覆盖次数对应剖面(图 4)进行成像分析可以看出，随着覆盖次数的增加，剖面由浅至深成像品质呈逐渐改善趋势，局部细节成像有一定提升。

- 2) 不同覆盖次数(炮道密度) PSTM 道集对比

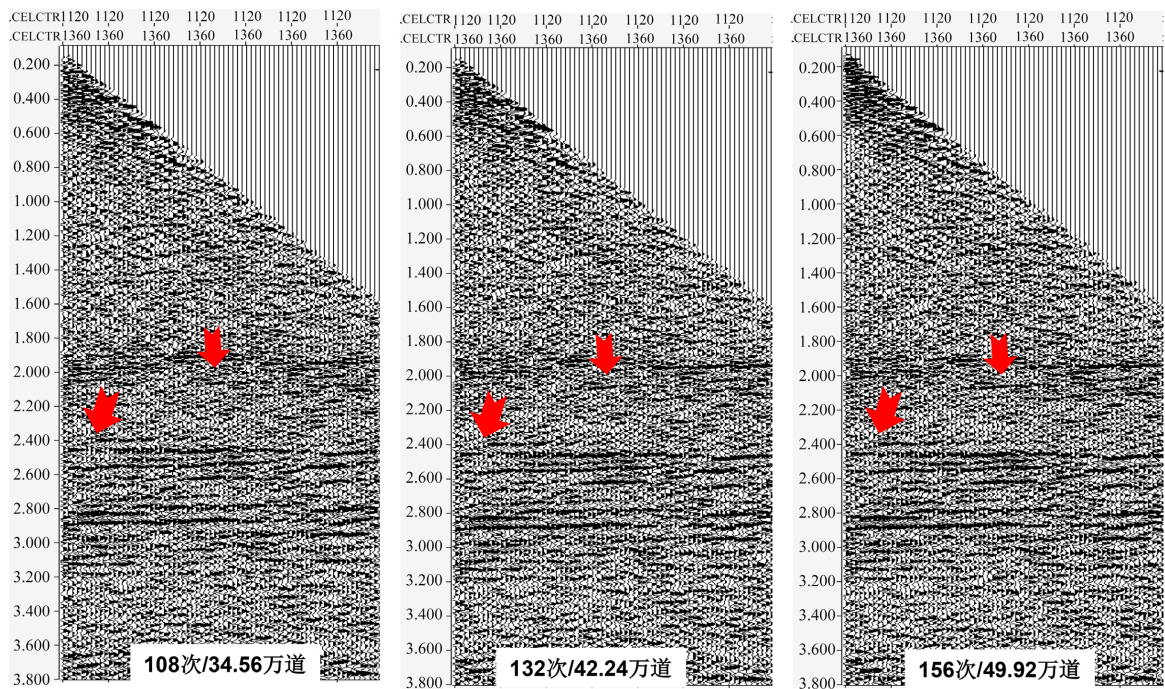
从道集(图 5)看，高覆盖次数同相轴连续性略好。



不同覆盖次数 (炮道密度) 叠加剖面 (局部)

Figure 4. PSTM profiles with different folds (source-receiver density)

图 4. 不同覆盖次数(炮道密度) PSTM 剖面



不同覆盖次数 (炮道密度) PSTM道集

Figure 5. PSTM gathers with different folds (source-receiver density)

图 5. 不同覆盖次数(炮道密度) PSTM 道集

### 3) 不同覆盖次数与信噪比关系

通过覆盖次数与信噪比关系曲线图(图 6)能明显看出, 随着覆盖次数(炮道密度)的增加, 剖面信噪比呈增加的趋势; 且覆盖次数大于 108 次后增加趋势变缓。

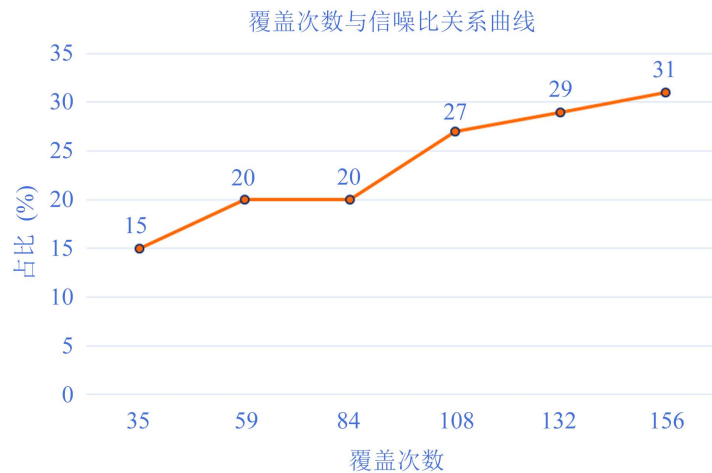


Figure 6. Relationship curve between folds and signal-to-noise ratio

图 6. 覆盖次数与信噪比关系曲线

#### 4) 不同覆盖次数与均方根振幅属性

通过分析目的层(P<sub>1</sub>)均方根振幅属性能量发现(图 7), 随着覆盖次数的增加, 目的层(P<sub>1</sub>)均方根振幅属性能量逐渐增大。

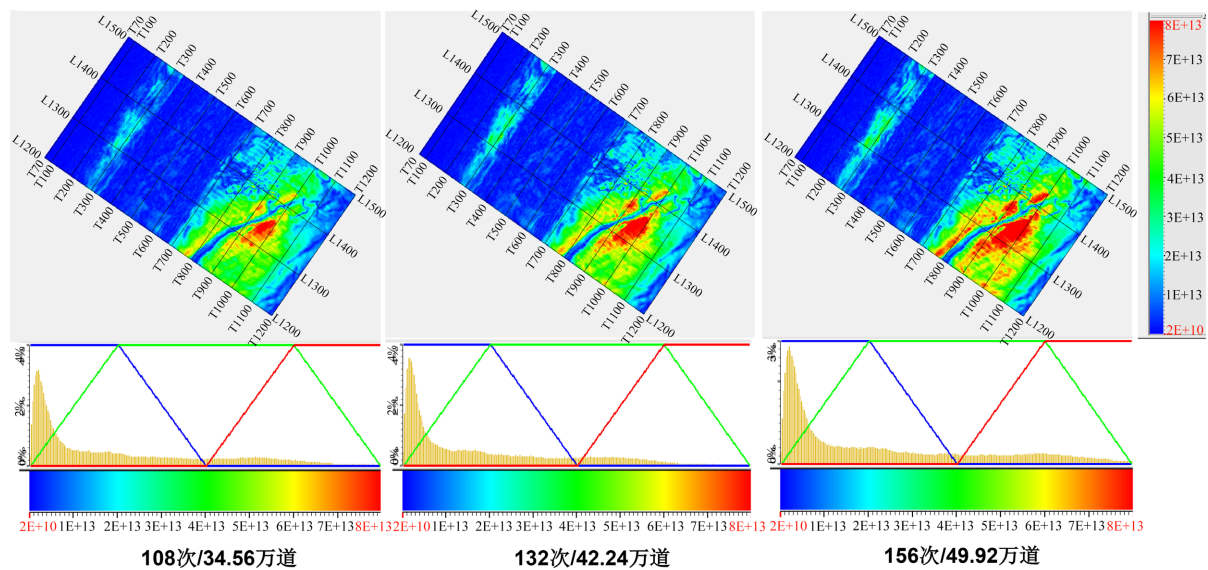


Figure 7. Root-mean-square amplitude attribute (target layer energy) of P<sub>1</sub> with different folds

图 7. 不同覆盖次数 P<sub>1</sub> 均方根振幅属性(目的层能量)

综上所述: 建议本轮三维覆盖次数不低于 108 次。

经过论证, 推荐面元尺寸为 25 m × 25 m, 最大炮检距为 6000~7000 m 左右, 覆盖次数 ≥ 108 次, 接收线距 ≤ 500 m, 偏移孔径 ≥ 4200 m, 观测方向采用 inline 118°。

#### 4.2. 激发参数分析

加强激发点位、井炮激发岩性等优选, 精准选择激发方式, 确保激发效果。

井深: 根据以往资料近地表调查结果, 部署区低降速带厚度不超过 10 m, 且侏罗系为砂泥岩互层分

布,因此本轮采集沿用动态井深,即:侏罗系地层采用 12~15 m 优选泥岩激发,三叠系地层采用固定井深 12 m 激发(需采集微测井的井位,砂泥岩采用 15~17 m 优选泥岩,三叠系地层采用固定井深 15 m)。

药量:根据邻区三维激发参数,结合本轮地质任务开展系统性试验后确定激发药量。

### 4.3. 接收参数分析

采用 5 Hz 高灵敏度单点检波器接收,根据地表情况分区埋置。

不同地表采用相应埋置工艺:

- 1) 常规表土地表:体耦合埋置;
- 2) 林区腐殖层区:挖坑除草,除去腐殖层,断树根埋置;
- 3) 城区水泥地表:使用平底检波器,对准粘牢;
- 4) 经济作物种植区:此类区域检波点埋置无法打坑除草,夯实插紧;
- 5) 硬地表:配备电钻,打孔填土插紧夯实。

### 4.4. 表层调查分析

#### 1) 表层调查目的

- a) 解析地表结构,指导优选泥岩,激发井深动态设计技术应用;
- b) 建立高精度表层模型,获取野外静校正量与表层的 Q 值。

#### 2) 点位布设方案

a) 结合已有老资料调查点,均匀布设表层控制点,原则上炮点边框以内按照 1 个/2km<sup>2</sup>,炮点——资料边框按照 1 个/4km<sup>2</sup>,资料——施工边框按照 1 个/8km<sup>2</sup> 布设。

b) 在炮点边框以内区域地表岩性和地形起伏变化大的区域按照 1 个/1km<sup>2</sup> 加密表层控制点。

## 5. 应用效果分析

LS-BD 三维项目通过严格控制施工质量,精细化的质量管理,各项完成指标均优于合同指标,取得了高质量的地震采集资料。

#### 1) 采集单炮分析

分别对侏罗系 J<sub>2</sub>s<sup>2</sup>、三叠系 T<sub>3</sub>x、三叠系 T<sub>1j</sub> 三套地层不同位置的井炮进行分析(图 8),可以看出,区内侏罗系地层整体激发的单炮资料品质较好,信噪比较高,频宽较宽, J<sub>2</sub>s<sup>2</sup> 地层在 70 Hz 能见有效反射; JFS 构造翼部受地面接收条件影响较大(侏罗系地层接收排列品质明显优于三叠系地层),东翼单炮品质优于西翼; JFS 构造顶部三叠系地层激发单炮资料品质相对较差,低频面波发育(主要集中在 3~20 Hz),在 40 Hz 范围内能见有效反射。

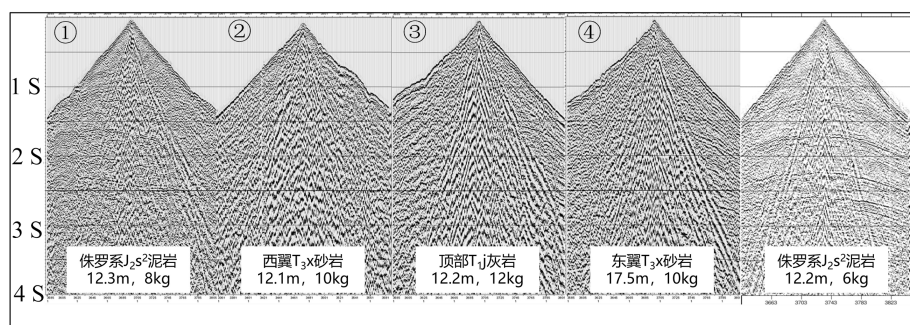


Figure 8. AGC display of single shots

图 8. AGC 单炮展示

## 2) 剖面分析

总体上剖面质量较好，特别是在工区向斜地段反射波组特征自然、清晰、连续，浅、中、深层反射同相轴连续性均比较好，能量适中，剖面反射层次清楚，易于追踪对比，断层断点清晰，层间反射信息丰富，主要目的层二叠系  $P_1m$  反射信息丰富、特征明显。

二维老资料与本次三维剖面资料品质进行对比，从构造成像上来看，新、老资料所展现的整体构造格局基本一致，三维成果在板桥构造主体、两翼以及深层的成像上有一定改善。图 9 为二维老资料与 BD 三维的叠前时间剖面对比情况，老资料在构造主体几乎不成像，深层地层同相轴不聚焦，新资料构造主体可以看到较为清楚的同相轴，深层  $\epsilon_{2g}$  内部的膏岩反射更清楚， $Z_2dn^1$  的地震反射也能够识别，剖面右侧向斜区，老资料有同相轴错相位的问题，这将导致层位对比解释的多解和不确定性，新资料品质明显优于老资料。

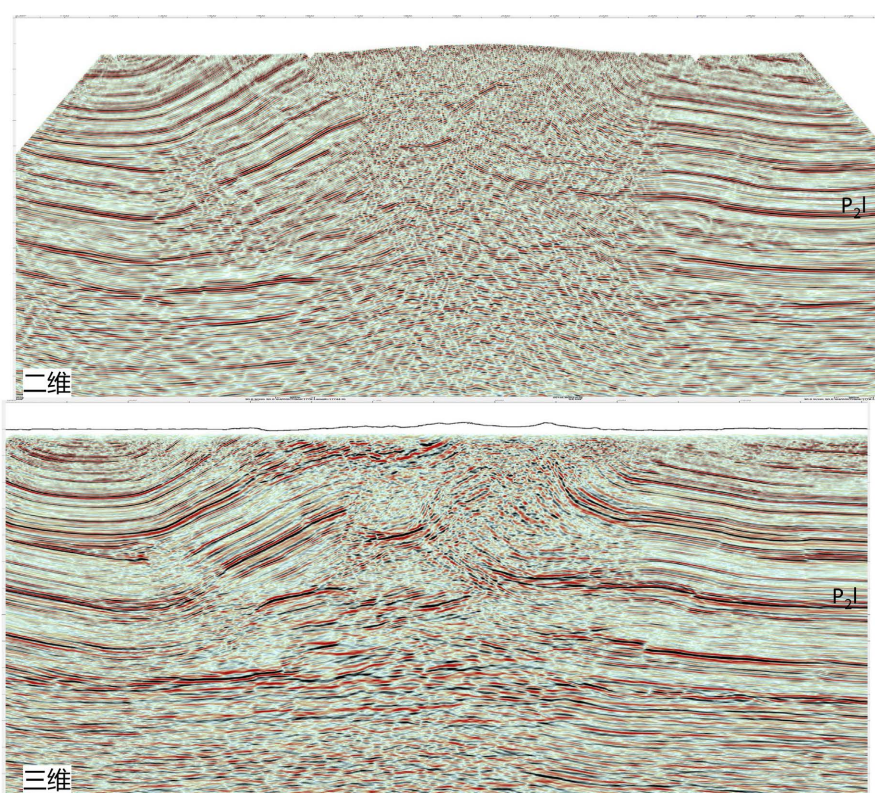
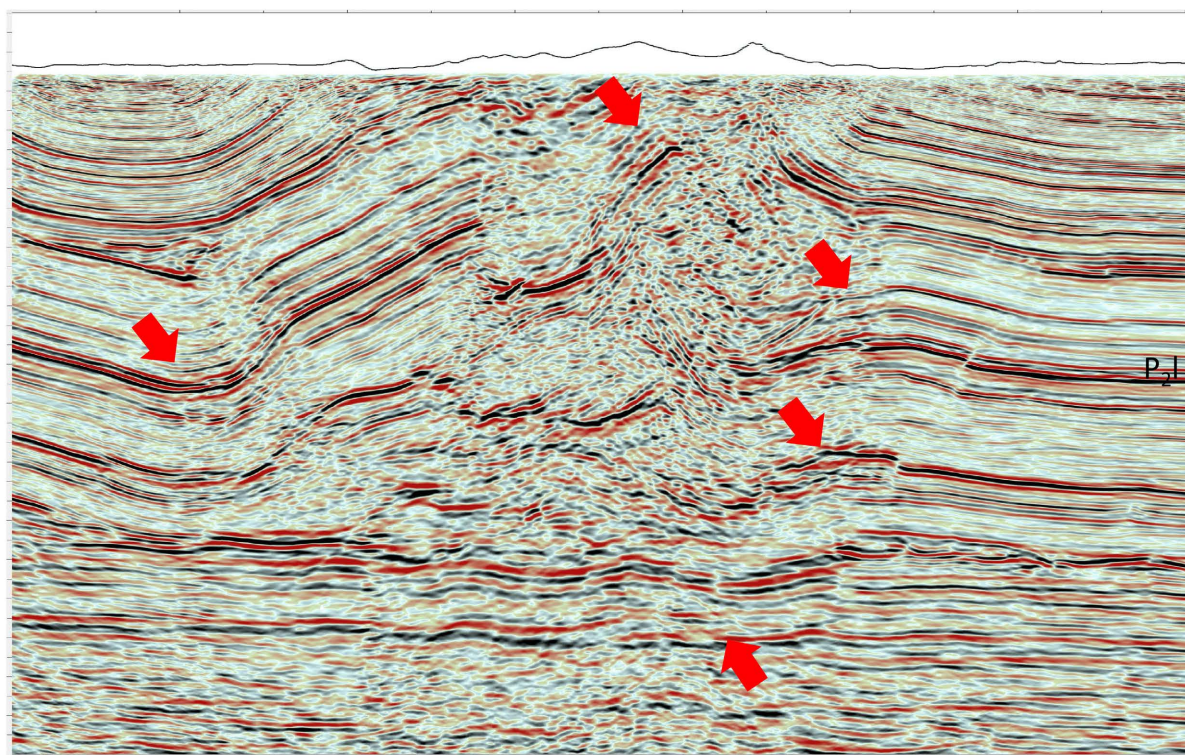


Figure 9. Comparison of new and old data (prestack time migration profiles)

图 9. 新(下)老(上)资料对比(叠前时间偏移剖面)

从叠前深偏资料上看(图 10)，构造主体 JFS、BQ 构造“双高夹一低”的特征更加清楚。BD 潜伏构造及下伏地层形态更加完整，同相轴更加聚焦。陡缓转折带/膏岩堆积下伏二叠系、上奥成成像更加聚焦。深层同相轴更加连续、时间域“假构造”现象得以解决。

再分析已钻井 BD-H1 井的地层倾角资料，BD-H1 井  $P_2ch \sim P_2l$  地层实测倾向南东，倾角  $15^\circ \sim 20^\circ$  左右，叠前深度偏移成果地层产状与实钻地层倾角吻合较好。浅层侏罗系频宽  $5 \sim 75$  Hz；中深层二、三叠系频宽  $5 \sim 70$  Hz，满足考核指标。各层波组特征、波间时差对应较好，标志层特征清晰，合成记录吻合度较高，地震资料保幅性较高。另外，从岩性圈闭来看，茅二上储层“亮点”响应特征清晰，长兴组生物礁隆起特征明显，细节丰富。



**Figure 10.** The prestack depth migration profile of LS-BD work area

**图 10.** LS-BD 三维叠前深度偏移剖面

综上所述，本轮资料品质符合构造主体和岩性圈闭刻画要求。

## 6. 结论

在以四川盆地川东 LS-BD 三维为例的高陡双复杂地区成像采集技术设计实践中，根据工区的地震地质特征，在对老资料进行分析的基础上，通过观测系统参数论证获得了“宽方位、小面元、高覆盖”的采集技术方案，并结合表层结构调查与激发接收条件优化，提高了成像精度，提供了高品质的三维地震资料，为落实区内构造细节、高点位置、圈闭规模及断层展布提供保障，为预测 P<sub>2ch</sub> 生物礁、P<sub>1m</sub>、T<sub>1f</sub> 鲕滩有利区相带展布及井位建议等奠定了基础，也为今后高陡双复杂地区的采集技术设计提供了有效的参考。

## 致 谢

本文是四川盆地川东 LS-BD 地区三维地震勘探项目部分成果的展示，衷心感谢参与该项目的各位同事！

## 参考文献

- [1] 李继伟, 李光鹏, 刁永波, 等. 复杂山地深度域地震成像处理方法——以龙门山山前带海棠铺复杂构造区为例[J]. 石油物探, 2024, 63(3): 578-588.
- [2] 赵虎, 李汶骏, 赵容容, 等. 川西复杂构造带地震采集方法思考及参数建议[J]. 石油物探, 2023, 62(3): 442-451+566.
- [3] 王华忠, 许荣伟, 冯波, 等. 复杂地表探区地震勘探的认识及地震数据成像处理的观点[J]. 石油物探, 2023, 62(5): 789-805.

- [4] 李伟波, 胡永贵, 张少华. 地震采集观测系统的构建与优选[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(6): 845-848, 1024, 837. <https://www.ogp-cn.com.cn/CN/abstract/abstract1102.shtml>
- [5] 刘振宽, 王成, 赵福海. 高精度三维地震技术及其在松辽盆地北部致密气勘探中的应用[C]//中国石油学会石油物探专业委员会(SPG), 国际勘探地球物理学家学会(SEG), SPG/SEG 南京 2020 年国际地球物理会议论文集. 北京: 《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2020: 1310-1313.
- [6] 王晓阳, 张晓斌, 赵晓红, 等. 四川盆地复杂地表地震采集关键技术及其应用效果[J]. 天然气工业, 2021, 41(7): 15-23.
- [7] Wu, J., Chen, J., Yang, L., Liu, P., Wang, B., Liu, W., et al. (2021) Application of 3D Acquisition Design Technology in HCX Gas Storage Project. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, **9**, 176-181. <https://doi.org/10.4236/gep.2021.95013>
- [8] Wu, J., Li, S., Yang, L., Du, J., Zeng, X., Zhou, X., et al. (2022) Application of Geometry Optimization Technology of Complex Obstacles in QLB Area of Sichuan Basin. In: Lin, J., Ed., *Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2021*, Springer, 3076-3083. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2149-0\\_286](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2149-0_286)
- [9] 尹成, 吕公河, 田继东, 等. 三维观测系统属性分析与优化设计[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(5): 495-498+509.
- [10] 马义忠, 魏伟, 孙伟佳, 等. 南阳凹陷高精度三维地震采集观测系统设计[J]. 石油物探, 2008, 47(5): 498-504. <https://geophysics.cn/cn/article/pdf/preview/1246.pdf>
- [11] 李军华. 三维地震资料采集中观测系统设计探讨[J]. 能源技术与管理, 2017, 42(6): 185-186, 199.
- [12] 张凯淞, 杨瑞召, 姜喆, 等. 高精度三维地震数据采集技术在 TBM 探区的应用[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(4): 75-79. <https://cjytsdz.com.cn/cn/article/pdf/preview/20140410.pdf>
- [13] 巫骏, 黄宇飞, 王扶国, 等. 塔里木盆地塔北隆起 YKD 区块高精度三维地震采集实践[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(4), 521-530. <https://doi.org/10.12677/ag.2024.144049>
- [14] 王华忠. “两宽一高”油气地震勘探中的关键问题分析[J]. 石油物探, 2019, 58(3): 313-324. <https://geophysics.cn/cn/article/pdf/preview/10.3969/j.issn.1000-1441.2019.03.001.pdf>
- [15] 张文璨. 三维地震观测系统的优化设计方法研究——以 D 盆地实际资料为例[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017. <https://kns.cnki.net/kns8?dbcode=CDMD&filename=1018028395.nh>
- [16] 白志宏, 吴迪, 许银坡, 等. 复杂障碍区的物理点优化技术应用[J]. 华北地震科学, 1-4. [https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=OazRilB95d25FmDt6erLBFiqRmxjFE-aO4Lv7yTmZpXg-65nncxXa0loGB6NLbogxQBC1\\_Idh4Bfmm1q\\_qgZ0114IQOyLZwTICVO- auc88VNQct38xbZX3UCIrJoMAhz1sj5JiHd8h3SU-5Ufrj2LzSDMT8zCC8u1z18-fBEex6Q=&uniplat-form=NZKPT&language=CHS, 2026-6-01](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=OazRilB95d25FmDt6erLBFiqRmxjFE-aO4Lv7yTmZpXg-65nncxXa0loGB6NLbogxQBC1_Idh4Bfmm1q_qgZ0114IQOyLZwTICVO- auc88VNQct38xbZX3UCIrJoMAhz1sj5JiHd8h3SU-5Ufrj2LzSDMT8zCC8u1z18-fBEex6Q=&uniplat-form=NZKPT&language=CHS, 2026-6-01)
- [17] 赵虎, 尹成. 复杂地区地震采集设计新方法[M]. 北京: 地质出版社, 2015. <https://www.gph.com.cn/book/show/35422.html>
- [18] 蒋华中, 刘胜, 曾山, 等. 高精度三维采集关键技术龙门山地区的应用[C]//中国石油学会石油物探专业委员会. 2022 年中国石油物探学术年会论文集. 北京: 《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2022: 166-169.
- [19] 崔庆辉, 尚新民, 滕厚华, 等. 高密度三维地震观测系统设计技术与应用[J]. 石油物探, 2020, 59(1): 12-22, 59.
- [20] 赵邦六, 董世泰. “两宽两高”地震勘探技术及应用成效[J]. 世界石油工业, 2024, 31(4): 24-34.