

# Summary and Suggestions of Seismic Acquisition Methods in the Eastern Faulted Basin

Defu Sun

North China Branch of Sinopec Petroleum Engineering Geophysics Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

The eastern fault basin belongs to the old area of oil and gas development and is the main production position. Through the summary and analysis of the seismic acquisition methods of the recent seismic exploration projects in the eastern fault basin, the existing problems and deficiencies are found out. In view of the existing problems and deficiencies, a constructive scheme vertical stack acquisition is proposed to effectively solve the existing problems of azimuth and resolution. Without increasing capital investment, the data quality (spatial resolution and azimuth) is improved, and the recognition accuracy of complex fault block and lithologic reservoir is improved.

## Keywords

eastern rift basin; acquisition; observation system; vertical observation method

## 东部断陷盆地领域地震采集方法总结及建议

孙得福

中石化石油工程地球物理有限公司华北分公司, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

东部断陷盆地领域属于油气开发老区, 是主要的产能阵地, 通过近期东部断陷盆地地震勘探项目的地震采集方法进行总结分析, 找出存在问题与不足, 针对存在的问题与不足, 提出具有建设性的方案—垂直叠加采集, 有效地解决目前存在的方位角和分辨率的问题, 在不增加资金投入的情况下, 使资料品质(空间分辨率和方位角等方面)得到提高, 提高复杂断块和岩性油气藏的识别精度。

## 关键词

东部断陷盆地; 采集; 观测系统; 垂直观测法

## 1 引言

东部断陷盆地领域是胜利油田、中原油田、河南油田、江汉油田等油气分公司的产能主阵地, 地理位置位于中国山东、河南、湖北、江苏等省, 构造上位于华北盆地、苏北盆地以及江汉盆地。2015–2018年度在东部断陷盆地部署、实施大量二维、三维地震采集项目, 累计完成二维满覆工作量 700km, 三维满覆盖工作量 4100km<sup>2</sup>。东部断陷盆地领域内储备圈闭类型众多, 根据圈闭的成因和形态, 并与油藏类型分类对应, 可划分为 3 大类, 即构造圈闭、岩性圈闭和地层圈闭, 领域内构造破碎, 断层位置难落实。随着勘探开发的不断进行, 对地震资料的品质要求越来越高, 为进一步查清区域内剩余油气分布, 区域内进行了二次、甚至三次采集, 形成了“两宽一高”的高精度地震采集技术, 但施工成本直线增加。

如何实现宽方位、高密度地震数据采集而又不大幅增加采集成本、如何在原有高精度采集资料的基础上进一步提高资料品质, 改善地震采集效果, 是目前需要解决的主要难题。<sup>[1]</sup>

通过收集东部断陷盆地领域实施的地震勘探项目相关资料, 对东部断陷盆地采用的地震采集方法进行分析, 根据分析结果提出下步地震采集工作建议, 为东部断陷盆地领域下步地震勘探部署提高借鉴与参考。

## 2 采集技术适应性分析

### 2.1 观测系统

近三年东部断陷盆地领域实施的三维地震勘探采集项目, 均采用了小的面元(≤ 25m × 25m)、小的接收线距和激发线距(< 300m)、宽方位、高道密度和高覆盖次数的观测系统, 各项目覆盖次数和道密度不断提高(如图 1、图 2 所示)。

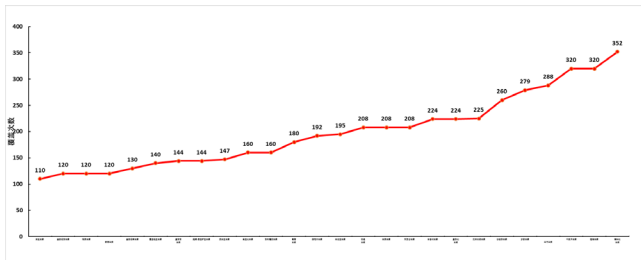


图1 近三年东部断陷盆地各项目覆盖次数趋势图

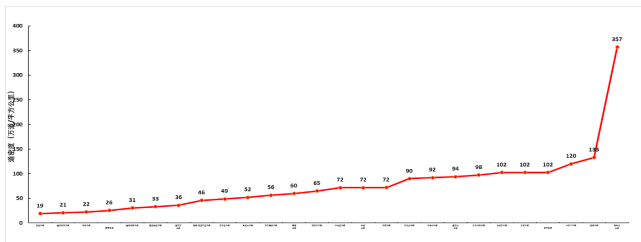


图2 近三年东部断陷盆地各项目道密度趋势图

断陷盆地领域地震勘探项目在进行采集观测系统设计时主要根据工区表层、深层地震地质条件，从提高目的层分辨率、有效覆盖次数和保证目的层成像精度出发，通过对老资料的分析，结合地下地质构造，合理选择论证点，从理论计算、正演模拟、实际资料分析等方面对论证点的面元尺寸（道距大小）、覆盖次数、接收线距、最大炮检距和最大非纵距等参数论证分析，选择合适的观测系统参数。

2017年地震勘探项目在进行三维采集技术论证时，采用道密度（每平方公里面元属和覆盖次数的乘积）代替覆盖次数进行观测系统分析，更能体现采集精度。进行道密度论证时，利用实际资料进行退化分析，分析不同道密度条件下资料信噪比的变化及资料品质变化情况（如图3所示）。

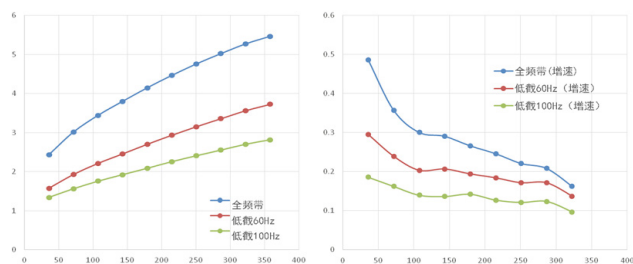


图3 道密度与偏移剖面信噪比图（左）和道密度与偏移剖面信噪比增速图（右）

各项目在参数论证完成后，根据参数论证结果结合该区地质目标，设计若干观测系统，将两种以上观测系统的面元属性、采集痕迹、主要目的层照明分析结果、偏移算子响应等进行对比，优选适合该区的观测系统。

### 2.1.1 观测方向

根据陆上石油地震勘探资料采集技术规范，三维地震主测线方向一般宜垂直构造走向，当采用高密度、宽方位三维观测系统（纵横比 > 0.85 时）进行地震采集方法布设、要解决的地质问题不考虑目标区以往地震资料时，可依地表状况和工区形状调整测网方向。<sup>[2]</sup>

近三年东部断陷盆地已实施的三维地震勘探项目有 11 个项目采用 0° 方位角（检波线方向为南北，炮线方向为东西），其他项目均采用垂直构造走向布设观测系统。在资料分析过程中，老方案采集测网与区内地质断层的夹角为 58 度，不利于该断层的良好成像。2017 年做采集设计时，将测网进行调整，使主测线方向与断层垂直（如图 4 所示），取得较好效果，新采集资料断层及其断阶内目的层的成像更加清晰（如图 5 所示）。

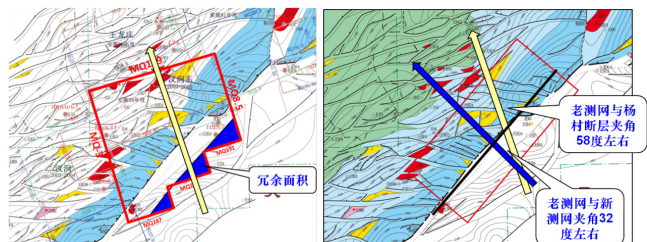


图4 常规三维测网（左）与复杂断裂带高精度三维（右）测网方向图

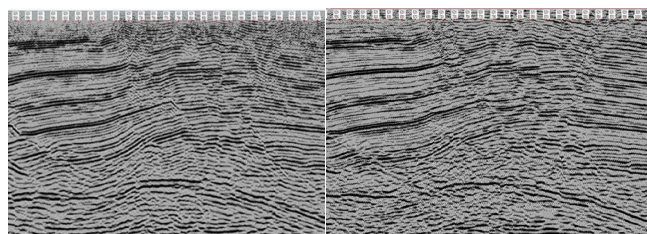


图5 新（左）老（右）资料对比

### 2.1.2 面元尺寸

面元大小设计要有利于提高资料的纵、横向分辨率，落实构造特征及断裂细节，较小的面元尺度能提高资料的纵、横向分辨率，提高资料采集精度，更好完成地质任务。东部断陷盆地近三年实施的地震勘探三维项目，均采用小面元（≤ 25m × 25m）采集，部分项目甚至采用 10m × 10m 的面元，资料分辨率得到大幅提升（如图 6 所示），说明针对东部断陷盆地构造复杂，小断层发育的特点，采用小面元采集是解决东部断陷盆地复杂断块成像的有效手段。

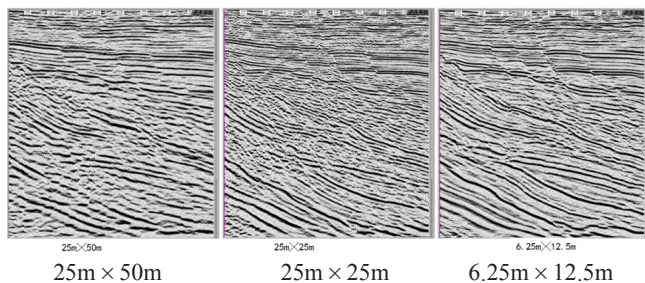


图6 不同面元尺寸剖面对比

### 2.1.3 最大偏移距

东部断陷盆地主要目的层是第三系地层, 埋藏较浅(1000m-3500m), 已实施的地震勘探项目均采用了大于目的层深度的偏移距(4000m-6700m)。最大炮检距的选择除了要考虑最深目的层深度外, 还要满足动校拉伸和速度分析精度的要求, 还要兼顾反射波双曲线近似条件、反射系数稳定及目的层埋深、干扰波特征等的影响, 通过实际资料分析, 东部断陷盆地近三年开展的地震勘探项目, 选择的炮检距是合适的(如图7、图8所示)。

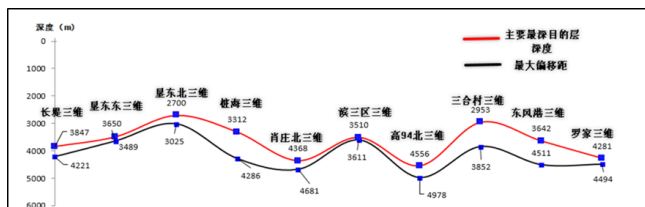


图7 近三年实施的采集项目最大偏移距与目的层深度统计

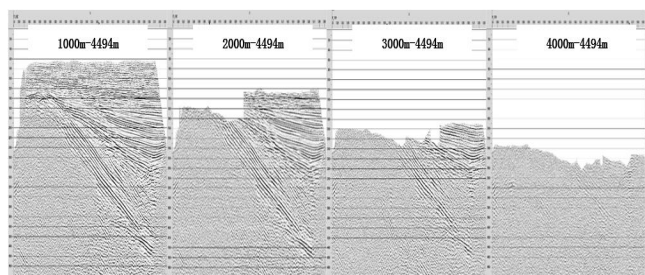


图8 不同偏移距三维剖面对比

### 2.1.4 道密度

道密度是每平方公里采样点次数, 采用道密度代替覆盖次数来进行观测系统分析, 更能体现采集精度。覆盖次数基于叠后处理提出, 从目前处理资料来说, 已从叠后到叠前成像; 同时, 覆盖次数大小与面元大小有关系, 针对不同目的层的覆盖次数也不一样。

东部断陷盆地近三年地震勘探项目道密度最低为 19.2 万道 /km<sup>2</sup>, 最高达到 357.12 万道 /km<sup>2</sup>; 通过分析, 随着道密

度的增加, 资料分辨率得到大幅提升, 断点更加清晰(如图9所示)。

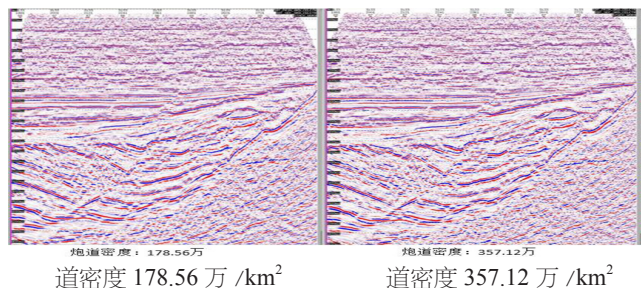


图9 不同道密度三维剖面对比

## 2.2 激发

经过多年的总结与积累, 东部断陷盆地领域形成了成熟的炸药震源激发技术, 在选择激发因素时, 考虑三个方面约束因素: ①利用微测井的运动学特征, 保证在高速层中激发; ②利用微测井的动力学特征, 保证在宽频段激发; ③利用岩性探测数据, 保证在良好的岩性中激发。<sup>[3]</sup>

为了选择更好的激发参数, 满足地质任务及采集技术要求, 针对工区地表及地下地质条件的特点, 结合工区以往的勘探经验及以往资料的分析, 制定针对性的验证试验方案, 重点开展区内不同构造部位和地表类型的激发试验。通过精细的点、线、面试验工作, 确定适合工区不同地震地质条件的激发因素, 从而获得较高信噪比和分辨率的地震采集资料, 确保采集资料完成地质任务要求。

## 2.3 接收

东部断陷盆地构造破碎, 断裂复杂, 断层位置难落实, 部分区域低序级断层难以刻画, 多解性强; 区内小断裂多, 地震波场复杂, 不同方向不同期次的断层相交、相切, 对地震资料采集精度要求较高, 采用单点接收方式是该区提高资料成像精度与效果的主要方式之一, 近几年针对东部断陷盆地勘探需要, 研制了不同种类的单点检波器, 其中有: 5Hz 低频检波器, 10Hz 高灵敏度检波器, 宽频检波器, 陆用压电检波器(如图10所示)。



图10 不同种类的单点检波器

近三年东部断陷盆地实施的地震采集勘探项目中, 7 个高精度三维均采用了单点接收方式, 取得了较好的效果(如图 11 所示), 可以说单点接收是提高东部断陷盆地成像精度的必经之路。

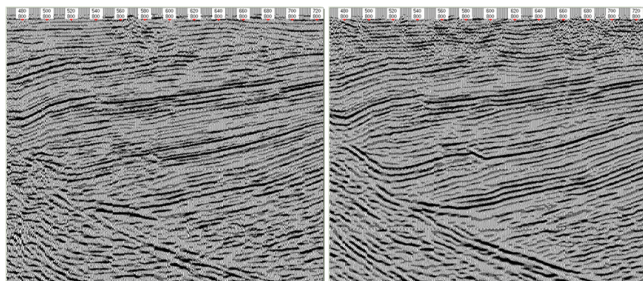
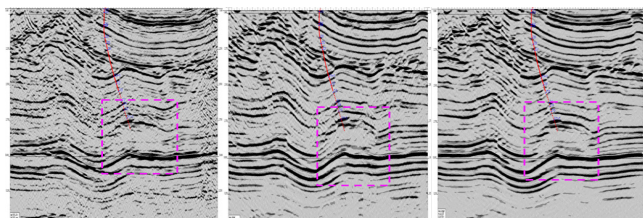


图 11 组合检波(左)与单点(右)接收剖面效果对比

### 3 下步采集建议

目前, 东部断陷盆地领域地震勘探程度较高, 进行三次三维、目标三维勘探时, 炸药激发、接收、观测系统设计等方面已经成熟, 特别是单点高密度的成功应用, 地震资料的分辨率和信噪比得到大幅度的提高。但使用高密度采集勘探成本居高不下, 如何在低油价的情况下即能降低勘探费用又可以提高资料的分辨率, 是开展第三次地震勘探需要解决的主要问题。针对该问题, 通过对以往发方法的分析、总结, 建议在观测施工方式上做进一步的优化。

布设观测系统时首先考虑地质任务的要求, 充分利用以往老资料的基础上, 针对岩性的非均性目标要解决各向异性的问题, 新部署的观测方向与老的布设方向垂直布设, 增加观测方位。如果要解决复杂断块成像及隐蔽性油气藏, 就要考虑提高分辨率的问题, 新部署的观测方向与老的布设方向平行交叉布设, 检波点与以前的位置也交叉布设, 这样就能实现纵横向空间分辨率增加一倍。采集结束后与老资料一起进行融合处理(如图 12 所示), 实现既不增加成本又提高资料品质的效果。



一期采集成果剖面 二期采集成果剖面 融合处理成果剖面

图 12 两期地震资料融合处理剖面对比

### 3.1 实现高密度宽方位三维地震采集的垂直观测设计

二次或者三次采集过程中充分利用老资料, 采用垂直于以往观测测线方向的观测系统(如图 13 所示), 进行二次采集(纵横比为 0.47), 和三次采集(纵横比为 0.59), 可以看出, 如果在进行三次采集时, 采用垂直于以往二次采集时的观测方向, 将两期观测系统融合后, 纵横比从原来的 0.47 提升到了纵横比约为 1 的观测系统(如图 14 所示), 资料处理时再将新采集的数据与以往采集的数据进行融合处理, 减少勘探成本的同时能实现宽方位、高密度采集。

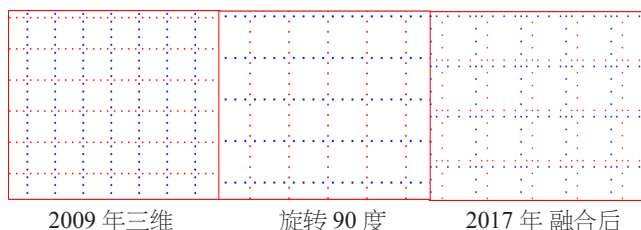


图 13 不同布设方法炮检点位置图

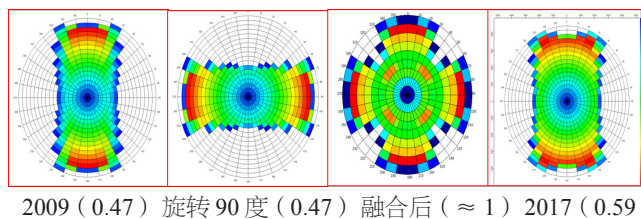


图 14 不同布设方法炮检玫瑰图

### 3.2 实现高密度小面元的三维“内插”观测法

以往的地震采集在设计时新三维面元网格往往与原三维网格重叠, 炮线和接收线基本是在原三维的基础上进行简单的重叠或加密, 这在资料处理时, 无法充分运用原采集资料, 如果新三维在设计时, 充分考虑原三维采集时炮点和接收点位置, 在原三维采集炮线和接收线布设的基础上, 进行内插, 使两期三维的物理点布设相对均匀, 2009 年进行罗家地区三维二次采集, 采用的是 16L16S160T160F 的观测系统(道距和炮点距均为 50m, 面元: 25m\*25m, 接收线和激发线均为 200m), 在 2017 年进行了三次采集, 采用的是 36L5S620T279F 的观测系统(12.5m 的道距和 50m 的炮点距, 接收线和激发线均为 125m), 将新布设接收线和激发线在 2009 年二次采集接收线和激发线的基础上进行内插, 两期三维融合后即形成了 100m 接收线距, 100m 激发线距的观测系统, 在面元不变的情况下(25m\*25m), 覆盖次数从 160 次

提高到了320次(如图15所示)。

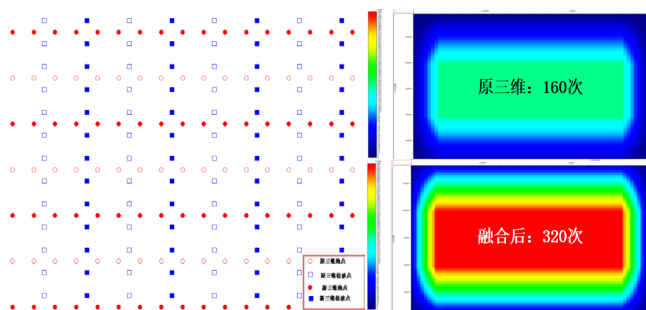


图15 “内插法”观测系统布设示意图(左)和覆盖次数图(右)

如果主要地质目标是进行岩性勘探,需要采用更小面元,可以在新采集设计时,将检波点与原检波点沿纵向平移四分之一道距的长度,以罗家地区为例,二次采集时采用的是50m道距,200m线距,在三次采集时可以将检波点与原检波点沿纵向平移12.5m,横向再平移100m,融合处理后可以形成12.5m\*25m面元的观测系统,覆盖次数为160次(如图16所示)。

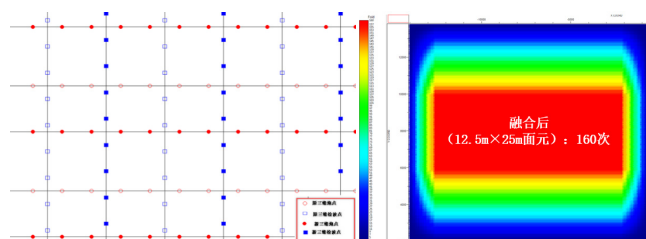


图16 “内插法”观测系统布设形成小面原示意图(左)和融合后小面元覆盖次数图(右)

如果需要获得更小面元资料,可以在原采集资料的基础上,再缩小道距,在三维采集设计时,可以将道距缩小为25m,其他参数不变的情况下,将检波点与原检波点沿纵向平移12.5m,炮点与原炮点横向平移12.5m,融合处理后可以形成12.5m\*12.5m面元的观测系统,覆盖次数为160次(如图17所示)。

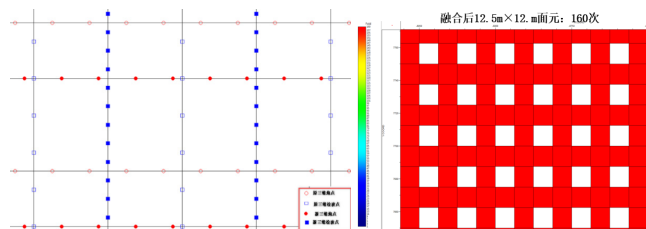


图17 “内插法”观测系统布设形成小面原示意图(左)和融合后小面元覆盖次数图(右)

## 4 结语

近三年东部断陷盆地领域实施的各地震勘探项目在地震采集设计时,坚持基于地质目标的观测系统设计,采用了基于地质需求的地震采集设计理念与思路(如图18所示)。通过分析老资料,找到当前勘探存在的主要问题,针对问题,提出合理的对策,通过近几年的总结,已经形成了一套适合东部断陷盆地的观测系统方案,即宽方位、宽频带、高密度的“两宽一高”观测系统,并逐渐向单点高密度采集方向发展;<sup>[4]</sup>在采集施工过程中,坚持从地质目标出发,严把质量关,通过提前踏勘、提前设计,确保观测系统属性基本与理论设计一致。

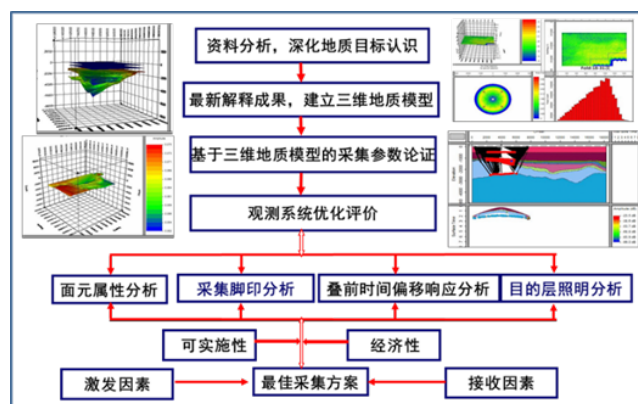


图18 针对地质需求的地震采集设计理念与思路

总的来说,东部断陷盆地领域激发岩性较好,激发技术较为成熟,随着单点高密度的成功应用,地震资料的分辨率和信噪比得到大幅提升,在充分总结以往采集技术方法的基础上,地震勘探部署时,可尝试引进低频可控震源,在大型城镇、厂区等特殊区域尝试使用可控震源激发,充分利用原采集资料,采用垂直观测法和内插法进行布设,通过融合处理手段,提高资料密度和分辨率,为支撑东部老油田稳产、增产打下基础。

## 参考文献

- [1] 陆基孟 王永刚,地震勘探原理,中国石油大学出版社 2011.
- [2] Seismic data analysis, Yilmaz, Society of exploration geophysicists.
- [3] 白旭明,实现高密度宽方位三维地震采集的垂直观测法,物探与化探 2014.
- [4] Vermeer, 3-D Seismic Survey Design, Society of exploration geophysicists.