

# 胜利东部探区井盐区地震勘探方法研究

王子阳

(中石化石油工程地球物理有限公司胜利分公司 山东东营 257086)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4737

SINOPEC Geophysical Corporation ShengLi Branch ShandongDongying 257086)

**[摘要]**胜利东部探区的多个油田涉及多个井盐区,该区域由于大面积抽取地下卤水用于晒盐,导致近地表速度、厚度、岩性纵横向变化剧烈,能量吸收衰减严重,下传能量弱,常规地震勘探方法用到的表层调查、激发等技术已难以满足该地区复杂的地震勘探需求。本文通过创新运用多种适合于井盐区的性的近地表结构调查方法,结合井盐区特殊地质结构开展激发点和井深约束研究,形成了一套适合于胜利东部探区井盐区域的地震勘探新方法,提升了井盐区的地震资料品质,为胜利东部探区的精细油气勘探提供技术保障。

**[关键词]**井盐区;地震勘探;激发井深

tzudy on seismic exploration method in well salt area of Eastern Shengli exploration area

Wang Ziyang

SINOPEC Geophysical Corporation ShengLi Branch ShandongDongying 257086)

**[Abstract]** many oil fields in the eastern exploration area of Shengli involve many well salt areas. Due to the large-area extraction of underground brine for salt drying, the near surface velocity, thickness and lithology change sharply in vertical and horizontal directions, the energy absorption and attenuation is serious, and the downward energy is weak. The surface investigation, excitation and other technologies used in conventional seismic exploration methods have been difficult to meet the complex seismic exploration needs of this area. By innovatively using a variety of near surface structure investigation methods suitable for well salt area, and combining the special geological structure of well salt area to carry out the research on excitation points and well depth constraints, this paper forms a new set of seismic exploration methods suitable for well salt area in Eastern Shengli exploration area, improves the seismic data quality of well salt area, and provides technical guarantee for fine oil and gas exploration in Eastern Shengli exploration area.

**[Key words]** well salt area; Seismic exploration; Excitation well depth

随着石油需求的增长,地震勘探难度不断加大,探区地表条件越来越复杂,导致地震施工方法复杂、施工难度增大、工作效率降低。在复杂过渡带施工过程中,障碍物比较密集,工区内常常布满错综复杂的管线、水井、电网和自然保护区、盐田区等。

胜利东部探区的多个油田涉及井盐区,盐田总面积超过150km<sup>2</sup>。该区域由于大面积抽取地下卤水用于晒盐,导致近地表速度、厚度、岩性纵横向变化剧烈,能量吸收衰减严重,下传能量弱,常规地震勘探方法用到的表层调查、激发等技术已难以满足该地区的技术需求。针对上述难题,通过创新性的运用多种近地表结构调查技术,开展激发点约束、井深约束及接收条件优选研究,形成一套适合于胜利油田东部探区井盐区的地震勘探新方法,大幅度提升了井盐区的地震资料品质。

## 1.井盐区近地表结构调查

近地表结构调查是指在地震勘探过程中围绕近地表介质的地质和物理特征开展相关的研究工作,调查内容主要包括低速带的速度、厚度、埋深、横向变化规律及近地表起伏状况等。复杂的近地表地震地质条件严重影响着地震资料采集的品质和最终的数据处理质量,因此做好近地表结构调查是地震勘探环节中非常重要的一项基础性工作。

目前国内用于近地表结构调查方法主要有小折射和微测井两种。由于研究区位于胜利东部探区,涉及多个井盐区,近地表结构存在速度、厚度、岩性纵横向变化剧烈,地表结构复杂,低频效应明显,能量吸收衰减严重等诸多问题,因此在该地区开展近地表结构调查不能仅适用常规方法。

首先要充分分析本地区的地震勘探老资料并开展沉积相

带的综合分析,在结合往年地震资料的基础上,通过开展区域地质资料及水文地质分析,在研究区选择了6个典型单炮开展频率开展定量分析。分析得出该区域在晚更新世以来曾出现三次大的海侵活动,发育滨浅海相与短源河流相交的三角洲沉积环境;海侵层中滞留封存下来的古海水经过蒸发、浓缩之后,形成地下卤水入侵。频率较低的单炮(1/2/4)均位于井盐区域,低降带较厚;频率较高的单炮(3/5/6)均位于盐场外,低降带较薄。地震单炮频率与井盐地表有直接关系。

在此基础上,综合运用折射/深井微测井、超深井微测井、双井微测井、岩性探测、岩性取心及卤水水面调查6种近地表结构调查技术,并结合层析反演试验,准确分析近地表结构(表1)。

折射/深井微测井技术可用于调查高速层埋深,以建立准确地高速层顶界面模型、低降带厚度模型;超深井微测井技术便于验证地下没有更深的高速层,确认除个别薄夹层外,本区没有更深的高速层;双井微测井技术用于确定潜水面位置,

表1 胜利东部探区井盐地区近地表结构调查方法

序号	调查技术	主要目的	取得效果
1	折射/深井微测井	调查高速层埋深	建立准确地高速层顶界面模型、低降带厚度模型
2	超深井微测井	验证地下没有更深的高速层	确认除个别薄夹层外,本区没有更深的高速层
3	双井微测井	确定潜水面位置	确认井盐区因卤水抽取,40m范围内没有潜水面
4	岩性探测	调查表层岩性变化	建立全区岩性模型,为优选激发岩性提供依据
5	岩性取心	直观了解近地表岩性特征和沉积环境	为不同区域的沉积特征、沉积相研究提供依据
6	卤水水面调查	调查全区潜水面变化情况	验证双井微测井结果,掌握井盐区潜水面变化趋势

通过对井盐区钻孔资料分析,由于沉积环境影响,存在三套比较稳定的粉质黏土层。全区的表层沉积岩性基本相同。从工区近南北向岩性连井剖面来看,不同岩性埋深、厚度存在差异,主要粉质黏土层自南向北粉粘层埋深逐渐增加,厚度呈现中间厚,两侧薄的特征。

使用折射微测井进行调查,偏移距更长,便于追踪更深的高速层;在小清河两侧及井盐区实施40米折射微测井,比正常微测井加深10米,利于精确调查。微测井调查发现盐田区呈现四个特征。

特征一:盐田区表层厚度变化剧烈。

综合邻区表层资料分析可见,除井盐区外,其他地区低降带厚度变化不大,平均在6-8m;井盐区潜水面下降,地震波传播速度降低,低降带厚度明显增加,最深达26m,低降带厚度与盐池分布有明显的对应关系。

特征二:井盐区呈现低速层速度偏低,高速层速度偏高的趋势。井盐区高速层速度较其他区域更高,东南区域速度达到了1800m/s以上,低速层速度较低的区域与盐池有明显的对应关系。

特征三:不同岩性的地震波传播速度存在差异。地表变化使潜水面下降、表层含水量降低,是导致地震波传播速度慢,形成低速带的主要因素。潜水面的漏斗,也是表层地震波传播速度的漏斗。

确认井盐区因卤水抽取,40m范围内没有潜水面;岩性探测技术用于调查表层岩性变化,建立全井盐区因卤水抽取,40m范围内没有潜水面;岩性取心技术便于直观了解近地表岩性特征和沉积环境,为不同区域的沉积特征、沉积相研究提供依据;卤水水面调查技术,用于调查全区潜水面变化情况,验证双井微测井结果,掌握井盐区潜水面变化趋势。

通过综合运用上述6中技术,查清了本区的表层沉积模式、岩性、速度、结构,通过对井盐区1#钻孔资料分析来看,取样出现了河道砂、粉砂和含有机质粉质黏土,激发环境相对较好。主要为干冷期的大型深切河流,在干冷疾风下,伴随风成黄土沉积形成的粉质黏土。从2#钻孔的取芯资料来看,在地表以下30m内,主要发现黄骅海侵和献县海侵滨浅海相沉积物,表明该区域曾经有过海侵历史。取样发现有软体动物化石及生物生存的迹象,发现富含有机质的岩样,还有贝壳碎片沉积,进而建立了井盐区近地表模型。

特征四:随着时间推移和地表盐田化改造,井盐区的低降带厚度明显变厚。2010年八面河三维(北区)微测井资料与新施工的同一位置微测井资料进行了对比,微测井解释成果低降带厚度变化较大。该区潜水面随着盐田发展,近10年潜水面下降了近6-10m左右;地下水位的持续下降,造成了地下漏斗不断扩大。

同一地表位置,经过10年抽取卤水,同样井深的单炮已经无法达到以往效果,低频效应更加明显。

从模型结果分析得出,由农田区到盐场,低降带厚度明显增加,井盐区的试验单炮频率(20Hz)远低于农田区(54Hz),井盐区存在较薄的低速夹层。建立多层水平地层模型,对比不同速度激发单炮来看,单纯从记录面貌上来看,低降带厚度差异不大,激发速度高的单炮面貌更好,分辨率高,深层能量更强(图1)。通过系统试验与表层资料结合,明确了影响井盐区地震激发效果的主要为速度。其他地区的影响因素是速度-岩性-虚反射。这个结论为井盐区分区域地震采集中的激发深度设计提供了准确的依据。

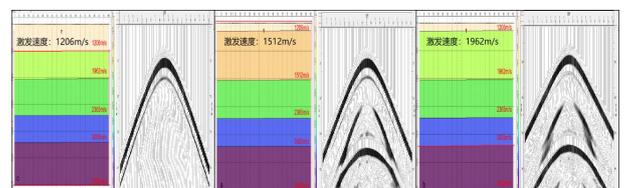


图1 不同激发速度的正演单炮对比

### 2.井盐区激发点位、井深“双约束”研究法

在胜利东部探区，以往常规采用微测井和岩性探测相结合的方法进行近地表调查，微测井、岩性探测根据炮点范围内按 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 密度分布，内插成 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 密度。利用小折射、微测井求取低速带的速度和厚度，利用双井微测井求取虚反射界面，利用岩性取心和岩性探测进行岩性划分，用以指导激发参数优选，保证地震资料品质。

由于胜利东部探区部分井盐区地下覆有双层防渗膜，在开展地震采集工作的同时不能破坏盐厂的正常工作，因此在该区域的地震勘探施工必须做到因地制宜，结合钻井只能设计在南北向盐道上的客观实际，通过激发点位约束，加密激发采样时间和井深约束的方式，进一步提升地震采集资料质量。

#### 2.1 激发点位约束

激发室高分辨率地震勘探“链条”中的第一个环节，它包括激发井深、激发岩性、激发方式、药量大小、炸药爆速、药包形状、炸药与介质耦合条件等多重因素，其中激发点位约束和井深约束震源系统的第一个环节，激发井深的合理选择，是确保获得高品质地震资料的基础。

##### (1) 激发点位约束

井盐区地下覆有双层防渗膜，钻井只能设计在盐道上，炮点整体呈现南北向，与排列方向一致，造成横向激发信息缺失，空间方位信息获取受限。很多横向炮点无法实施，需要在接收点上横向加密，从空间上弥补纵向炮点带来的资料损失。为了保证整体资料效果，采取接收点纵向内插加密的方式提升覆盖次数和采样密度，考虑盐场区增加井炮困难，还在井盐区增加了部分可控震源。

##### (2) 加密采样时间

节点接收资料质量好，具有不占用仪器、可长时间不间断采集的特点。为了提高盐田区资料品质，在盐田区炮区中心位置，按照观测系统属性，增加了4400道节点接收(加密为 $12.5\text{m}$ 道距)，增加震源592炮，井盐区增加覆盖次数300-500次，进一步提高覆盖次数确保成像效果(图2)。通过节点提升了卫东井盐区的覆盖次数和方位信息。近偏移距信息提升约40次，全偏移距覆盖次数增加约400次。

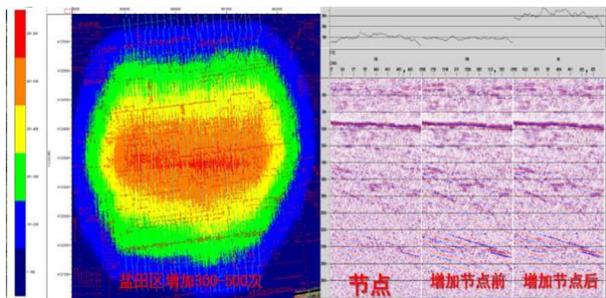


图2 盐场调整后资料方位角和覆盖次数不均匀

#### 2.2 井深约束

在高精度地震勘探中，对地震资料的频率有较高要求，因此对激发井深的研究要十分重视，选择最佳井深，以确保激发

频率和下传能量。

在试验因素的设计过程中，综合微测井自相关分析、激发岩性优选、土工成果等多种手段进行激发特征优选。井盐区设计井深时采取了加密试验因素的方式，按照 $2\text{m}$ 差值加密对比井深；通过精细表层结构调查和大量的资料分析，在井盐区选择2个了试验点和9个考核试验点，对井盐区的激发深度进行精细验证。完成全部试验完成后，综合频谱分析、子波特性和分析、进行综合对比，优选激发井深。

最终根据不同地表类型，进行了针对性的井深设计。

①河北部区域：激发井深为高速层下 $3-5\text{m}$ ，激发药量 $6\text{kg}$ ；

②河南部区域：农田区：激发井深为高速层下 $3-5\text{m}$ ，激发药量 $6\text{kg}$ ；盐池区：激发井深为高速层下 $7-9\text{m}$ ，激发药量 $2-4\text{kg}$ ；优选粉质黏土层激发，以高速层为主要参考。

结合全区精细表层调查和试验对比资料，在进行全区高速层建模和粉质黏土建模的基础上，进行井深设计，盐场区域井深普遍在20米以上，部分漏斗区域超过30米(图3)。

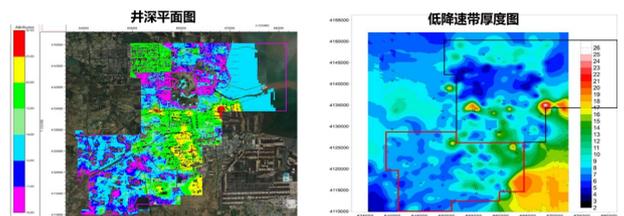


图3 全区井深设计情况

井盐区共布设井炮14470炮，井深基本位于16米以上，部分漏斗区域达到32.5米。井盐区剖面的有效频宽在 $6-80\text{Hz}$ 之间，主要目的层沙河街(T4-T7)主频 $40-41\text{Hz}$ ，有效频宽在 $3-80\text{Hz}$ ，均满足地质任务要求和技术要求。尖灭点、超覆点和断裂等构造特征明显，层间信息丰富(图4)。

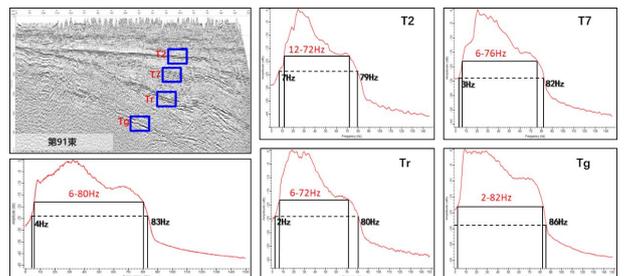


图4 剖面频率分析

### 3.井盐区接收条件优选手段

地震勘探中检波器的埋置工作是获得好资料的基础，作为地震勘探野外施工的第一道工序，检波器埋置的效果直接影响着地震采集资料的品质，因此，如何保证检波器埋置的质量也成為了野外地震采集施工过程中一项重点关注的内容。由于盐场工作需要，不允许在地震勘探过程中破坏其砖下铺设的防渗膜，在充分尊重盐场工作要求的前提下，为了提升检波器的埋置质量，研究区试验了插砖缝、插土堆和插水泥砖三种不同的地震检波器埋置接收方式，并开展对比试验。

经过试验对比可以看出，三种摆放方式在定性对比上没有明显区别，但砖缝摆放方式效果相对略好；从定量分析上来看，

插砖缝略有优势(图5、图6)。

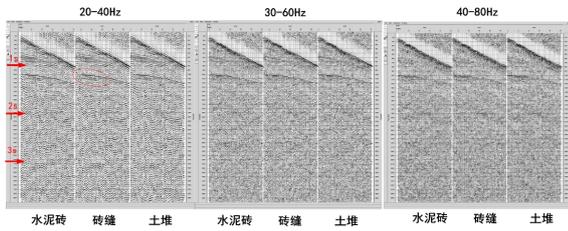


图5 对不同接收条件进行定性资料分析

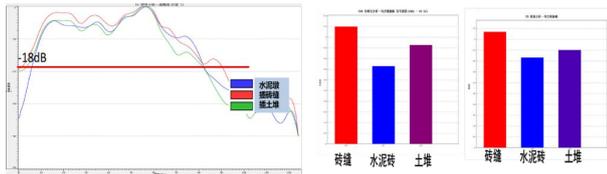


图6 对不同接收条件进行定量资料分析

通过应用精细的井盐区近地表结构调查、激发点位约束及接收条件优选,进一步完善了资料控制操作流程,项目研究在胜利东部探区顺利完成了10万余炮井炮的井深药量设计,优良品率达到90.67%以上,补炮率控制在0.5%以内。

从试验区地震采集的单炮的主频属性统计图分析来看,井盐区单炮主频主要集中在15-35Hz,局部存在的少量频率偏低情况,单炮信噪比整体均衡,压电检波器单炮比速度检波器单炮主频高5-10Hz左右。

井盐区单炮效果有所提升,新采集单炮波场丰富,频带较宽;井盐区地震采集剖面效果有大幅度,新采集剖面断裂系统更加清晰,细节更加丰富(图5)。

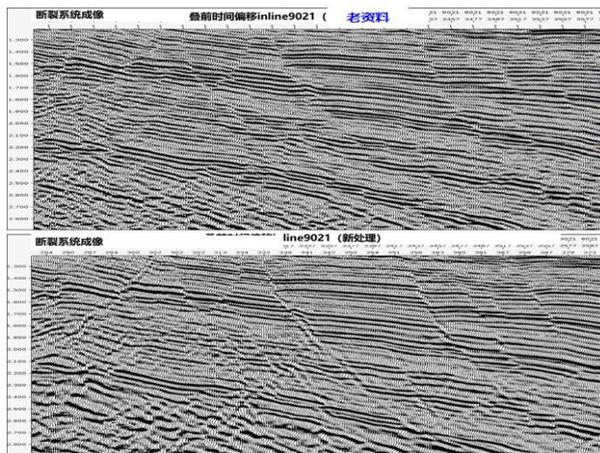


图5 井盐区典型剖面新老地震采集资料对比图

结论:

在胜利东部探区井岩区地震勘探过程中,以近地表特征为切入点,开展基于激发速度-岩性的复杂近地表调查方法研究,形成了针对井盐区复杂表层激发技术系列,结合激发接收因素的对比和优选,配合节点仪的投入和使用,最终获得了井盐区较高单炮品质,地震勘探所获剖面成像效果较好,频带较宽,有效的助力于胜利东部探区的高品质精细化勘探。

[参考文献]

[1]晁如恂,张稿祥,高春红.复杂平原水网地高精度维地震采集技术以高邮凹陷 YA、ZI高精度维地震勘探为例[J].油气学报,2010,32(2):8689.

[2]崔汝同,土尚旭,宁鹏鹏等.炸药震源在济阳拗陷上介质中的激发理论初探[J].石油物探,2009,48(6):606-608.

[3]曲寿利.地震勘探技术的发展促进油气勘探新发现—以胜利油田40年地震勘探历程为例[J].石油地球物理勘探,2005,40(3):366~370.

[4]王喜双,谢文导,邓志文.高密度空间采样地震勘探技术发展展望[J].中国石油勘探,2007,12(1):49~53.

[5]付清锋.地震检波器新技术发展方向[J].石油仪器,2005,19(6):1~4.

[6]陈光明,陈莉,候树麒.SI数据采集系统简介[J].中国煤田地质,2005,17(5):101~103.

[7]刘振武,撒利明,董世泰等.中国石油高密度地震技术的实践与未来[J].石油勘探与开发,2009,36(2):129~135.

[8]董世泰,高红霞.单点单检波器地震勘探技术[J].石油仪器,2005,19(2):66~68.

[9]曹务祥.高空间密度采样资料分析[J].勘探地球物理进展,2006.29(3):178~182.

[10]曹务祥.单道接收地震资料的室内组合法[J].石油地球物理勘探,2006,41(6):615~618.