

复杂地表障碍浅层缺口成像预判及快速验证技术

石一青¹, 陈习峰², 胡国斌², 朱峰¹, 冯晓强¹, 谈晓东¹

(1. 中国石化地球物理华东分公司, 江苏 南京 210009; 2. 中国石化江苏油田分公司物探研究院, 江苏 南京 210009)

摘要:复杂地表障碍区域的采集缺口会造成地震资料近偏移距数据缺失, 采集数据的均匀性下降, 不仅影响缺口附近资料及中深目的层的信噪比, 还会影响叠前偏移的成像质量。以往无论是观测系统设计时的模型正演还是现场资料处理, 都无法实现缺口快速成像, 难以在采集前对炮点设计进行有效指导和及时验证。为解决这一问题, 借助三维水平层状模型, 实现浅表层单炮记录模拟及基于实际切除参数的叠加, 并针对不同地质需求设计不同尺寸障碍区, 分析障碍区中心位置成像缺口、建立炮点设计原则; 引入实际炮、检位置, 应用叠前实际切除参数分析工区整体缺口成像质量, 实现缺口采集效果的快速验证。TJB工区采集效果显示剖面浅层缺口模拟成像与实际采集资料的成像完全一致, 保证了障碍区缺口符合地质设计要求, 解决了在采集资料现场处理前难以及时判断效果的难题, 也补齐了全节点采集的质量控制滞后的短板。

关键词:浅层缺口; 成像预判; 质量控制; 快速验证

中图分类号: P631 文献标志码: A

Imaging prediction and rapid verification of shallow gap in complex surface obstacles

SHI Yiqing¹, CHEN Xifeng², HU Guobin², ZHU Feng¹, FENG Xiaoqiang¹, TAN Xiaodong¹

(1. East China Branch of SINOPEC Geophysics Co., Ltd., Nanjing 210009, China;

2. Geophysical Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Nanjing 210009, China)

Abstract: The acquisition gap in the complex surface obstacle area will cause the loss of near-offset distance data of seismic data, and the homogeneity of the acquired data will be decreased, which will not only affect the signal-to-noise ratio of the data near the gaps and the medium-depth target layer but also affect the imaging quality of the pre-stack migration. In the past, both the forward modeling and the field data processing during the design of the observation system could not realize the rapid imaging of the gap, and it is difficult to effectively guide and timely verify the design of the shot point before acquisition. In order to solve this problem, with the help of the three-dimensional horizontal layered model, the simulation of shallow surface single shot record and the superposition of actual cutting parameters are realized. The different sizes of obstacle zones are designed according to different geological requirements, the imaging gap at the center of the obstacle area is analyzed, and the design principle of shooting point is established. The actual location of shot and detection is introduced, and the actual pre-stack excision parameters are used to analyze the overall notch imaging quality in the working area to realize the rapid verification of the notch acquisition effect. The acquisition effect of the TJB work area shows that the simulated imaging of the shallow gap in the profile is completely consistent with the imaging of actual collected data, which ensures that the gap in the obstacle area meets the geological design requirements, solves the problem of difficulty in judging the effect in time before the on-site processing of the collection data, and also makes up for the shortcomings of the quality control lag of the whole node acquisition.

Key words: shallow gap; imaging prediction; quality control; fast verification

引用格式: 石一青, 陈习峰, 胡国斌, 等. 复杂地表障碍浅层缺口成像预判及快速验证技术[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(4): 400-404.

SHI Yiqing, CHEN Xifeng, HU Guobin, et al. Imaging prediction and rapid verification of shallow gap in complex surface obstacles [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(4): 400-404.

收稿日期: 2022-12-26; 改回日期: 2023-05-29。

第一作者简介: 石一青(1970—), 女, 高级工程师, 从事地震采集方法研究。E-mail: 7657151@qq.com。

地震采集过程中复杂地表障碍面临浅层缺口质控的难题,质控不当将严重影响主要目的层信噪比和叠前偏移成像效果。井震联合施工使部分城镇缺口得到一定控制,但大面积密集养殖区受制于道路条件限制,井炮激发仍是首选方式,障碍区内井炮点位布设、关键炮点位置预设计的效果分析与验证,是获得高品质地震资料的基础。

裴正林等^[1]提出运用三维建模波动方程正演实现目的层直观效果判断,但是受软件和硬件设备限制耗时较长,无法进行采集现场即时快速的炮点预设计验证,以及变观设计效果的对比;前人研究认为可通过变观前后观测系统属性分析判断炮点设计效果^[2-4],但属性分析受制于速度精度、未考虑切除等因素影响,无法显示缺口形态,计算结果与实际缺口深度有一定差别。现场处理剖面监控受到完整数据体回传时间限制,起到部分质控作用,目前东部探区已开展全节点地震采集,数据下载回收延迟至一周以上,现场处理剖面实时质控作用完全滞后,同时高比例的地表障碍导致浅层缺口质控问题更为凸显,资料缺口很难准确监控^[5-6],因此迫切需要简便高效的浅层缺口成像预判及快速验证技术,建立满足地质上对浅层成像要求的炮点设计原则,实现炮点预设计采集现场的即时效果验证,优化施工参数,提高并补齐复杂水网区质量控制短板。

1 问题的提出

TJB工区是JH凹陷低熟油藏发育的有利区带,东南部是储量发现空白区,主要目的层深约1.7 s左右。以往地震资料由于采集最小偏移距过大,400 ms以上基本没有资料;由于养殖区连片分布,有线设备受到较大的限制,原有资料缺口难以控制,多个区域资料局部缺口深达1 s。尽管实施多轮重复处理,受限原始地震资料改进有限,整体信噪比较低,主要目的层阜宁组同相轴难以追踪,断层成像差、断点归位不准,圈闭难以落实^[7-8]。为进一步拓展JH凹陷低熟油勘探场面,新一轮部署要求采用全节点、高覆盖次数的高精度三维采集。

工区地表六个连片养殖区总面积占炮点面积的41%,单片养殖区面积达到13.02 km²(图1),且多为种鱼塘、蟹苗塘等高价养殖。养殖区大面积连片分布直接影响地震采集质量。依据安全距离进行炮点避障设计,覆盖次数大于设计覆盖次数一半

的面积仅有17.15 km²、占13.8%;大于设计覆盖次数4/5的面积不足1 km²、占0.8%。说明障碍区的炮点设计不到位,将直接影响本次高精度覆盖次数和浅层缺口两条质量指标任务的完成。

以往资料分析显示,浅层资料缺口对主要目的层资料信噪比造成极大影响。本次全节点采集的数据回收滞后,难以即时获取地震数据形成叠加剖面对采集效果进行判断。因此炮点预设计阶段必须加强对设计方案有效性、关键炮点位置的预判,并在实际采集实施后快速检验效果。

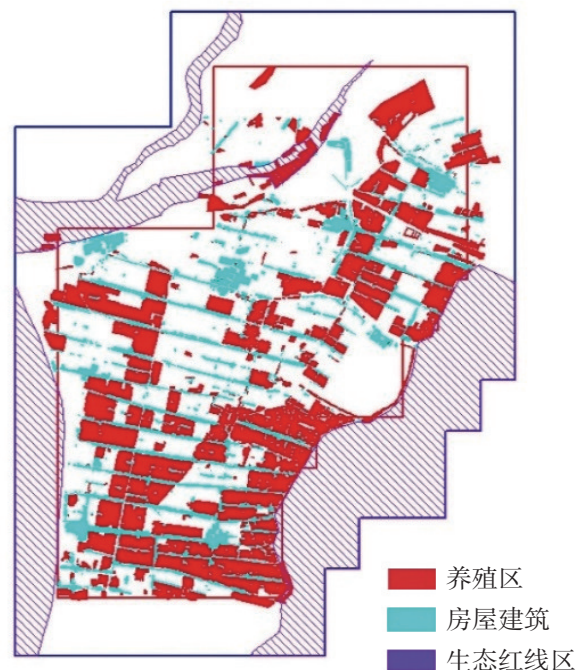


图1 工区地表障碍分布情况

2 浅层缺口成像预判及快速验证方法

2.1 几何学模拟思路

考虑到东部探区浅层地层产状基本近似水平,因此针对浅层缺口的模拟,建立三维浅表层水平层状模型,取代根据以往地震解释结果建立的复杂三维模型。叠前成像分析中只需研究地震波几何学特征,包括浅层的反射波和初至波,这两类信号的模拟可以利用工区表层调查结果直接计算,规避三维射线追踪或波动方程正演等特别复杂的算法,实现快速成像。其中切除参数是影响成像缺口的重要因素,因此需要模拟出道集以分析动校拉伸畸变等影响,同时考虑直达波、折射波对浅表层反射的强干扰。

对于浅层的反射信号,依据工区以往地震剖面浅层反射轴分布情况,并参考速度谱数据拾取各反射层时间(t_0)和均方根速度(v)参数,将其代入水平层状介质反射波时距方程得到不同偏移距下反射时间 t (见公式1)。

$$t = t_0 \sqrt{1 + \frac{X^2}{t_0^2 v^2}} \quad (1)$$

式中, X 是偏移距,m; v 是均方根速度,m/s; t_0 是水平地层零偏移距反射时间,ms; t 为任一接收点的反射波旅行时间,ms。

2.2 工区浅层速度建模及道集模拟

TJB工区微测井显示表层基本为两层结构,低

速层和高速层平均速度分别为400 m/s和1 750 m/s,低速层厚度稳定在2~3 m。

以往剖面显示本区深度600 m以上反射轴均比较平直,在200 ms、400 ms和600 ms处均有一套较强反射,其他为弱反射。典型速度谱显示浅层有5个强能量团,对应的均方根速度分别为1 782 m/s、1 810 m/s、1 841 m/s、1 873 m/s、1 943 m/s,其对应的 t_0 分别是120 ms、200 ms、250 ms、410 ms、560 ms。根据公式(1)取得浅层反射不同偏移距下反射时间,获得模拟道集及其对应的速度谱(图2)。为避免炮记录进行叠加处理涉及耗时巨大的分选作业,进一步节约时间,可直接模拟出共中心点道集用于后续叠加分析。

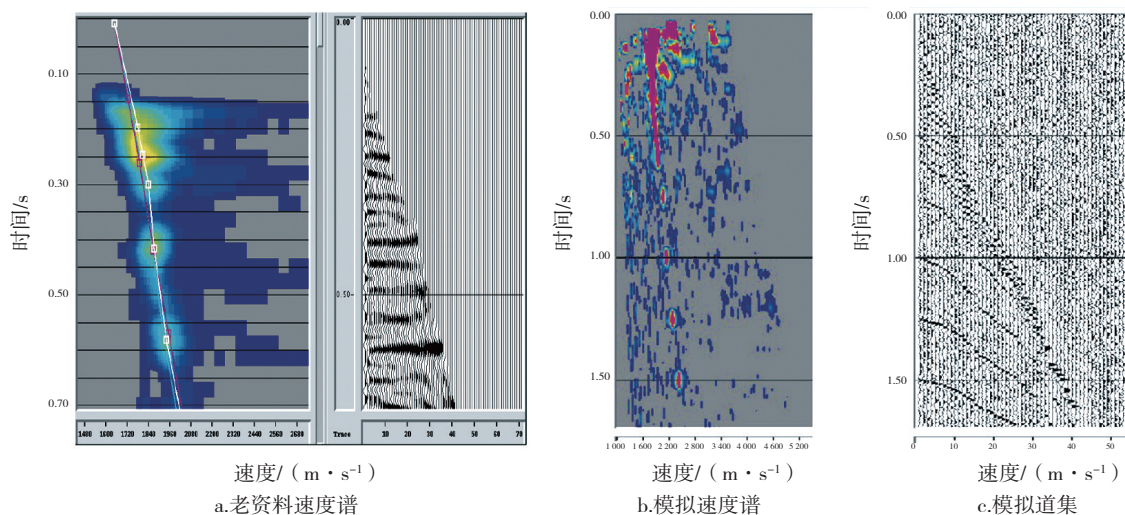


图2 TJB工区浅层速度建模及道集模拟

2.3 实际工区障碍区炮点设计原则

在三维浅表层模型基础上模拟获得炮、道集后进行叠加处理,抽取得到直观显示缺口大小的剖面。为了判断浅层缺口是否满足地质需求,需要建立本区障碍区炮点设计基本原则。

首先根据工区地质任务要求及观测系统中炮点距和炮线距的参数,设计不同尺寸大小的障碍区。TJB工区观测系统参数中炮点距为60 m、炮线距为160 m,据此共设计7个不同大小的障碍区,其纵横向尺寸分别为:320 m×240 m、480 m×360 m、640 m×480 m、800 m×600 m、960 m×720 m、1120 m×840 m、1280 m×960 m(图3)。然后模拟所有单炮后根据不同障碍尺寸抽空,炮集数据进行叠加后抽取每个障碍中心位置的主测线和联络线(图4),为了与实际数据成像的剖面缺口一致,叠加时需选用工区老资料的切除参数;可以看出,随着障碍区尺寸

的增大,960 m×720 m、1 120 m×840 m、1 280 m×960 m三个尺寸障碍区的浅层缺口超过0.4 s,最深为0.75 s,突破了地质需求的界限,无法完成地质任务。

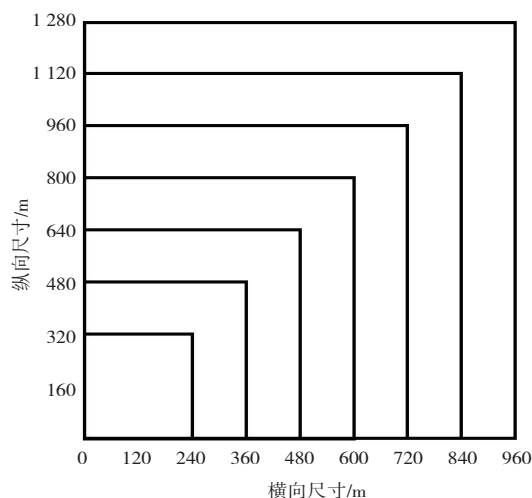


图3 障碍区尺寸模拟设置

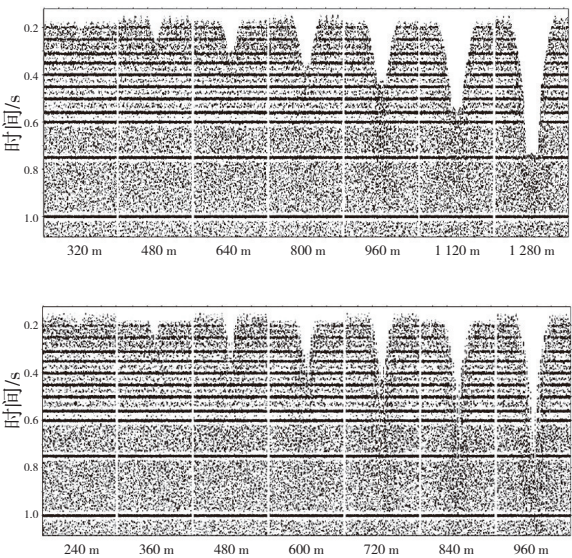


图4 不同尺寸障碍区中心位置叠加剖面
(上:主测线;下:联络线)

结合障碍区中心位置的剖面,分别拾取每条剖面上缺口底界的 t_0 ,得到根据实际切除的不同尺寸障碍对应的缺口底界位置曲线(图5),建立本区障碍区炮点设计基本原则:(1)从三维炮集数据体抽取障碍区位置对应的主测线和联络线,二者对应的障碍长度和宽度不同,但曲线符合度极高,说明三维工区剖面缺口大小决定于障碍最窄方向(短轴)

的尺度,因此过障炮点设计不需要全面逼近障碍,在某个方向最大逼近障碍同样获得较好的效果。(2)障碍“短轴”的尺度决定了最终成像剖面缺口大小和深浅。本次采集地质要求剖面缺口主体不影响300 ms处的反射轴,最大不能影响500 ms处目的层反射。由图可知300 ms对应的障碍短轴长度是370 m,500 ms对应的是630 m。考虑地质任务需求,炮点设计时必须遵循在障碍区的“短轴”方向炮点距小于630 m。

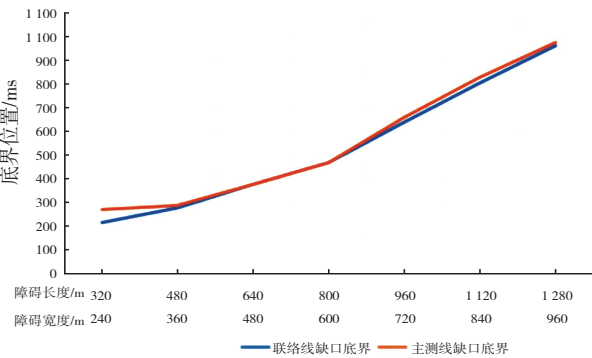


图5 实际切除获得不同尺度障碍对应的缺口底界位置

2.4 实际应用及效果分析

TJB工区东南地质目标重点区域的地表为面积为5 km²的不清塘养殖区,预设计炮数332个,第一轮采集实施71炮后出现严重阻挠而中断且面临高

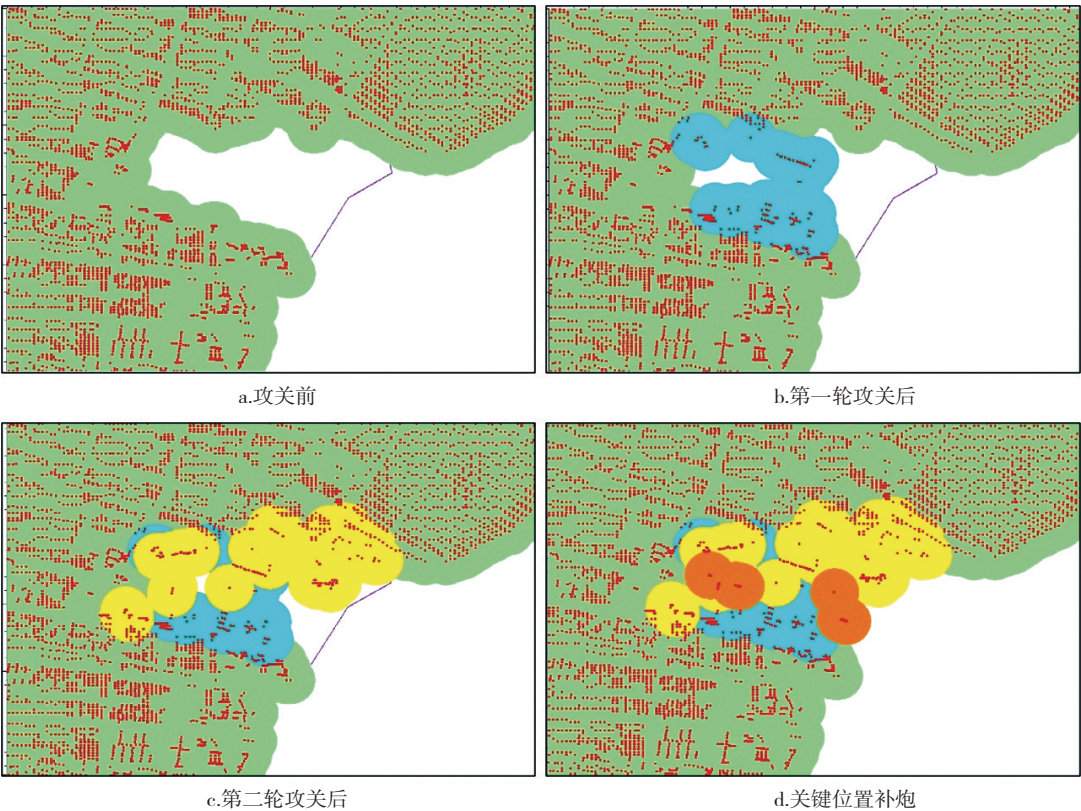


图6 基于缺口快速成像的高邮湖村炮点多轮次动态攻关设计

额索赔。针对该区地质任务要求,需要通过分析71炮效果指导后续采集方向;但是由于节点仪盲采的特性,数据回收、切割和合并滞后,传统分析方法在现场难以快速实现此要求。

现场充分利用前期制定的本工区炮点设计炮间隔原则,即在障碍区的“短轴”方向炮点距必须要小于630m,将71炮进行平面投影,并以315 m半径划圈标注(蓝色),余留的空白区是炮点设计未到位区域,即浅层缺口大于地质要求的范围(图6)。所有空白区继续应用这一原则圈定位置及面积大小(黄色圆),确定出原设计的74个炮点为下一轮必须实施的重点目标,是完成地质任务关键。根据缺口预判和炮点设计指导完成74炮后,剖面质量进一步改善,最大浅层缺口缩小到600 ms。结合模拟成果分析,力争将缺口进一步缩小到500 ms甚至更小,再次圈定两个重点攻关区(橙色圆)内10个炮点,最终依靠浅层缺口成像预判及快速验证方法,在该区域实际采集155炮,覆盖次数达到了理论覆盖次数5/6,缺口小于400 ms,确保了浅层缺口和覆盖次数要求底线。从实际资料叠加剖面看,根据预判技术设计的84炮,确保该养殖区满覆盖范围内所有缺口得到较好控制。

对比快速成像剖面与实际叠加剖面(图7),浅层缺口具有极高的相似性,说明快速缺口成像技术能够有力支撑并科学合理完成大型障碍区的炮点设计和优化,现场炮点设计严把住采集质量关口且效果可靠,指导关键炮点位置的攻关,满足地质任务需求的同时降低了采集成本。

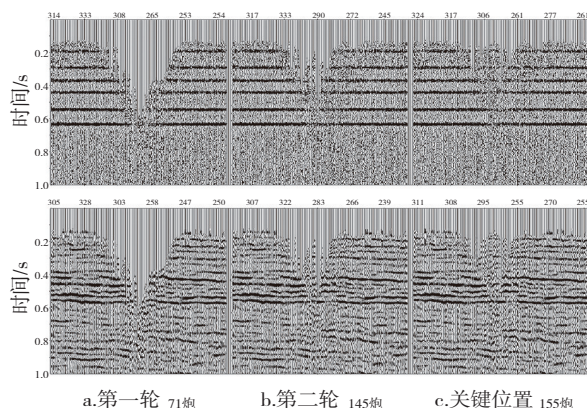


图7 不同轮次设计的缺口快速模拟成像效果及
实际采集后叠加效果

3 结论与认识

(1)基于地质目标需求,采用三维浅层平层状

模型取代复杂三维模型,利用表层调查成果直接计算出浅层反射波和初至波信号进行缺口成像模拟,并依据不同尺度障碍对应的缺口底界位置关系曲线,建立起障碍区炮点设计的基本原则,形成了采集缺口成像预判及快速验证技术。

(2)该技术应用简便快速,能够及时指导复杂障碍区的井炮预设计工作,分析工区整体缺口成像质量,支持实时炮点动态设计,特别是关键点位的补充设计和验证,实现采集质量快速验证。

(3)该技术完全摆脱现场缺口质量控制对实际资料及时性的依赖,有力支撑了大型障碍区的炮点设计与调整,保证缺口控制达到设计标准,取得的模拟剖面与实际采集剖面浅层缺口形态高度一致,有效解决复杂障碍区采集缺口设计效果难以预判的难题,满足地质任务的要求。

(4)该技术特别提高了复杂障碍区炮点设计的有效性和时效性,补齐了全节点采集质量控制时效滞后,且出现质量问题难以及时补救的短板,具有提速提效提质的现实技术支持作用,为全面实现高质量地震勘探的目标奠定扎实的数据基础,具有较高的应用价值和前景。

参考文献:

- [1] 裴正林,牟永光.地震波传播数值模拟[J].地球物理学进展,2004,19(4):933-941.
- [2] 侯成福,蒋连斌,高书琴.三维观测系统与采集脚印[J].石油地球物理勘探,2007,42(6):611-615.
- [3] 陈学强,张林.复杂地表条件下的变观设计技术[J].石油地球物理勘探,2007,42(5):495-498.
- [4] 碗学俭,杨波,孙德福,等.三维观测系统采集脚印定量分析技术[J].石油地球物理勘探,2011,46(3):357-363.
- [5] 杨洲,朱峰,代伟明,等.节点地震采集系统在江苏地区的应用[J].石油物探,2021,60(S1):10-17.
- [6] 晋为真,朱峰,吕香军,等.节点仪采集地震数据现场处理监控方法探讨——以CLFCZ三维工区为例[J].石油物探,2021,60(S1):18-26.
- [7] 刘军,刘喜玲,田骏.苏北盆地金湖凹陷油气运移与聚集规律[J].石油天然气学报:江汉石油学院学报,2005(6):693-694,676.
- [8] 能源,漆家福,张春峰,等.金湖凹陷石港断层构造演化及油气聚集特征[J].石油学报,2009,30(5):667-671,677.

(编辑 刘义梅)