

陡倾角地层煤层气地震勘探方案 优化与应用探析

刘成立

(中海油田服务股份有限公司物探事业部, 天津 300459)

摘要 本文讨论区域处于乌鲁木齐河东富煤中心, 煤层气勘探潜力巨大, 潜在资源量1067亿方。为推动新疆淮南地区勘探开发进度, 有多家煤层气勘探开发公司在新疆乌鲁木齐东北部准格尔盆地部署地震勘探工作。由于准噶尔盆地最初形成于中石炭世末, 下二叠统是它成盆的最早沉积盖层, 它是在周边海槽闭合碰撞时多向挤压应力场中形成的, 属于压性盆地, 整个工作区断层较为发育, 构造倾角较大, 有效的地震勘探资料获取难度较大。针对准噶尔盆地南缘因其独特的地表、地下构造, 存在着“双复杂”的世界级勘探难题, 勘探突破口难以落实, 为提高该区域的地震勘探资料质量, 根据以往地震勘探方案进行分析, 优化本次地震勘探采集技术设计方案, 并分析优化方案后地震采集资料质量的改进情况。

关键词 断裂; 观测系统; 剖面; 地震勘探; 单炮

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)03-0058-03

新疆地区煤层气资源量大, 2000m以下浅煤层气资源量达9.51万亿 m^3 , 居全国第一位。煤层气俗称瓦斯, 是与煤共生的非常规天然气。目前, 新疆已在阜康市、吉木萨尔县、乌鲁木齐市米东区、拜城县实施煤层气开发, 年产煤层气近1亿 m^3 。乌鲁木齐市米东区位于准噶尔盆地南缘, 该区域煤层气丰富, 储盖组合匹配良好, 发育一系列大型背斜构造带, 具备形成煤层气田的地质条件。作为现阶段国内勘探程度较低的正向构造带发育的地区, 准噶尔盆地南缘勘探开发越来越受到各界关注, 探讨该地域地震勘探采集技术设计方案具有重要意义。

1 勘探区域地质特征

本文研究的区域位于北天山褶皱带北缘, 准噶尔坳陷区南部, 研究区域内断层、褶皱较为发育, 地层的倾角总体呈现北缓南陡的特点(北部倾角约 30° , 南部倾角一般为 $70^\circ\sim 80^\circ$), 区域内构造整体呈现“东西分段、南北分带和上下分层”的特征^[1]。

新疆乌鲁木齐东北部准格尔盆地区域内断层发育, 分布多个断裂构造, 其中阜康逆掩断裂, 分布于工作区北部, 区内长度70km, 断面南倾, 具犁式构造特征, 地表倾角较大, 约 $45^\circ\sim 55^\circ$, 深部渐缓, 约 $18^\circ\sim 40^\circ$ 。妖魔山逆掩断裂, 分布于区域南部, 为一区域性控煤构造, 控制煤系地层的南部边界, 区内长度70km, 走向近于东西, 断面南倾, 倾角较大, 约 65° , 断距由西

向东逐渐增大。碗窑沟逆掩断裂长度68km, 发育在七道湾背斜北翼并切割北翼西山窑组地层, 断层北倾, 倾角一般 $72^\circ\sim 85^\circ$ 。七道湾背斜, 位于乌鲁木齐河东区, 分布于七道湾以东, 区内长度33km, 轴向北东, 轴面南倾, 倾角 $76^\circ\sim 88^\circ$, 向西倾伏, 断层北盘(即上盘)由西山窑组、头屯河组地层构成单斜构造(北单斜), 地层倾角 $70^\circ\sim 80^\circ$, 局部直立甚至倒转; 背斜南翼(即八道湾向斜北翼)倾角由西向东逐渐变缓, 倾角在 $30^\circ\sim 65^\circ$ 之间。八道湾向斜, 位于七道湾背斜以南, 区内长度41km, 轴向北东 60° , 轴面南倾, 两翼地层由西向东分别为西山窑组、八道湾组构成, 南翼地层陡($55^\circ\sim 80^\circ$), 北翼缓($30^\circ\sim 65^\circ$)。

2 地震勘探历史分析

为取得理想的地震资料, 对该区域历史的地震勘探观测系统进行分析, 1989年和2008年该区域的测线观测系统采用了常规的二维采集方式, 2002年和2009年采用宽线观测系统, 适当增加了目的层有效覆盖次数, 达到改善低信噪比地区地震成像的效果; 2020年采用了高覆盖的宽线观测系统, 采集效果有了较大的提高。

1989年为该区块开展常规二维地震勘探, 采用观测系统2975-25-0-25-2975, 接收道120道, 覆盖次数60次, 道距25, 炮距50, 剖面特点较明显, 剖面信噪比低, 地质现象不清, 目的层反射不明显、构造形态

不清晰, 横向展布特征难以准确识别, 构造难以准确落实。

2002 年该区块开展宽线采集的二维地震勘探, 采用宽线 2L1P, 观测系统 4890-10-0-10-4890-20/5690-10-0-10-4090-20, 接收道 490 道, 覆盖次数 240 次, 道距 20, 炮距 40, 剖面信噪比较 1989 年资料有一定的提高, 背斜构造形态较为清晰, 主要煤层反射较为清楚、波组特征较为明显, 但断层不够清晰, 二叠系、三叠系反射不清, 难以追踪识别。

2009 年该区块开展宽线采集的二维地震勘探, 采用宽线 2L1P, 观测系统 6390-10-20-10-6390, 接收道 1280 道, 覆盖次数 256 次, 道距 20, 炮距 40, 剖面信噪比跟 2002 年资料品质较为相似, 主要煤层反射较为清楚、波组特征较为明显, 但断层不够清晰, 断点不明确, 由于采用了较长的偏移距, 中深层反射较 2002 年资料有一定改善。

2020 年该区块开展宽线采集的二维地震勘探, 采用宽线 2L2P/3L2P, 观测系统 11990-10-20-10-11990, 接收道 2400/3600 道, 覆盖次数 1200/1800 次, 道距 20, 炮距 40, 剖面信噪比跟 2002、2009 年资料信噪比有一定提升, 目的层的煤层反射较为清楚、波组特征较为明显, 但部分区域难以横向追踪, 断层不够清晰, 断点不明确, 主要目的层构造难以准确落实, 较 2002 年资料有一定改善, 中深层地层反射较为清晰。

通过已有资料分析可知: (1) 宽线采集信噪比明显高于常规采集; (2) 长偏移距采集更有利于中深层地层成像; (3) 2020 年采集的资料中浅层信噪比仍然较低, 观测系统八道湾组有效覆盖次数应至少高于 2020 年采集覆盖次数^[2]。

3 地震采集难点与对策

3.1 地震采集设计难点与对策

通过以上资料和工区地震条件的分析, 本区地震资料主要存在以下难点:

1. 复杂高陡构造和断裂发育造成地震波波场十分复杂, 地震资料表现为反射杂乱, 波组特征不明显, 构造成像不准确。

2. 信噪比较低, 构造成像效果不佳。

3. 工区静校正问题突出, 影响成像效果。

在采集技术参数方面, 主要是采取“宽线、高覆盖、长排列观测系统”的采集技术对策: (1) 宽线采集。采用多线、较大测线宽度的宽线观测系统, 通过面元组合叠加提高压制侧面散射干扰的效果, 改善剖面成像信噪比; (2) 高覆盖采集。通过提高覆盖次数, 改

善叠前偏移效果, 提高资料的信噪比, 改善目的层成像效果, 提高储层预测的精度; (3) 长排列接收。有利于 AVO 分析, 更有利于满足叠前储层预测对地震资料的要求; 有利于接收深层的反射信息, 提高深层及陡倾角地层的成像效果。

3.2 优化观测系统方案

综合考虑以上论证分析结果, 优选两种观测系统方案, 具体参数如表 1。

表 1 推荐观测系统参数

	推荐方案 1	推荐方案 2
观测方式	二维宽线 (3 线 1 炮)	二维宽线 (3 线 2 炮)
纵向观测系统	6395-5-10-5-6395	6395-10-20-10-6395

方案 1: 纵向面元尺寸 5m, 面元较小, 接收点数量增加一倍, 使用一条炮线。

方案 2: 纵向面元尺寸 10m, 增加一条炮线, 炮数增加一倍, 施工成本显著提高, 但相同面元下覆盖次数相同。

对比两个方案的优缺点, 可以看出, 方案 1 纵向面元更小, 更有利于中浅层成像, 布置的炮数更少, 施工成本更低, 方案 1 更优。

3.3 推荐观测系统

二维地震勘探观测系统设计参数如下:

观测系统类型: 宽线 3R1S

道距: 10m

炮间距: 40m

接收线距: 20m

最大接收线距: 40m

纵向观测系统: 6395-5-10-5-6395m

4 采集施工技术难点与对策

4.1 采集施工技术难点

地表条件: 属山前带复杂地表, 砾石沉积, 岩石出露, 地表岩性多变, 激发接收条件差。

表层条件: 砾石层厚, 山地低速层厚度与速度变化大, 难以追踪稳定的折射层。

深层条件: 结构复杂, 断裂发育, 没有明显的反射标志层, 成像效果差。

难点 1: 工业园区、煤矿及采空塌陷区等大型连片障碍物多, 炮检点布置困难, 获取完整地震资料困难。

难点 2: 低信噪比, 浅、深层构造复杂, 断裂发育, 地震成像困难, 静校正问题突出。

4.2 采集施工技术对策

对策 1: 依托小线元、高覆盖宽线二维观测系统优化设计。

通过调研山前带采集方法、以往资料分析、采集方法论证,采用宽线二维3线1炮,观测系统提高本工区地震资料成像。

本次采用宽线二维采集方法优点:(1)采用小面元刻画陡倾角地层成像;(2)高覆盖次数满足山前带成像;(3)宽线横向多次覆盖和组合压制干扰;(4)提高静校正精度和速度分析精度;(5)提高对近地表低速层的刻画。

对策2:优选激发参数。为优选适合该区的最佳激发因素。针对不同岩性开展实验点,优选适合本区的最佳激发因素。

对策3:优化激发参数设计。详细表层调查,精细激发分区,逐点设计激发参数,提高单炮资料信噪比和频带。

(1)详细表层调查工作,加密岩性调查点,结合基岩露头、大钻的近地表资料构建表层结构模型;(2)通过表层调查资料及现场调查优化岩性分类,基于岩性及速度模型的激发井深设计;(3)根据高清卫片、地质露头、岩性录井、微测井、潜水面调查等信息精确划分岩性分区。

5 优化方案后采集资料分析

5.1 采集资料单炮分析

基岩区单炮整体能量强,波阻反射特征明显,单炮目的层信噪比较高,波阻反射特征明显,单炮低频信息丰富,信噪比较高,连续性较好,单炮目的层高频段有较明显的目的层反射特征,频带较宽^[3]。

砾石区单炮整体能量均衡,波阻反射特征明显,整体品质较好,信噪比较高。单炮低频反射信息丰富,单炮目的层主频段信噪比较高,波阻反射特征明显,高频段能见到有效反射,频带较宽。

黄土区单炮整体能量较强,波阻反射特征明显,整体品质较好,信噪比较高,目的层连续性较好,单炮低频信息丰富,单炮目的层高频段能见到目的层有效反射^[4]。

从现场处理剖面看,主要目的层反射信噪比较强,连续性较好,反射能量强,波组特征明显,同相轴连续好,构造形态清楚,浅、中、深各层位反射信息丰富,波组特征明显,能够真实反映地下地质现象^[5]。实践表明,本次采集方法科学合理,施工参数准确可靠,现场质量管理严格,所获地震资料能够完成本项目地质任务要求。

5.2 采集资料效果总结

通过对单炮资料进行分析,单炮信噪比较高、频

带较宽,剖面目的层反射信息丰富,波组特征清晰,信噪比高,连续性较好,整体资料品质较好。岩石区激发效果最好,频带较宽;次为砾石;黄土区频率相对较低。岩石区激发频带宽5-57Hz,砾石频宽5-53Hz,黄土区频带较窄5-46Hz,可控震源频宽6-84Hz。从现场处理剖面分析,主要目的层连续性较好,信噪比较高,层间信息丰富,波组特征明显^[6]。与以往二维成果剖面对比,剖面目的层连续性更好,层间信息更丰富,信噪比较好。后期通过室内精细资料处理,剖面质量将会有进一步提升,能够完成预期地质任务。

6 结语

新疆是煤层气资源大区,但产量在全国占比却微乎其微,其中一个原因就是新疆煤层气构造复杂开采难度大,新疆煤层气高倾角,煤层多且厚,煤质碎软,钻井和压裂工程难度大。新疆准噶尔盆地南缘物探面临下组合超深目的层、天山北坡超级冲积扇群、中浅层超强各向异性、多重冲断超复杂断裂系统、山地超陡倾角地层“五超”难题,高精度地震勘探难度大、成本高,而且,南缘地震勘探还面临许多技术问题,有些甚至是世界级难题,比如,南缘地区是典型的地表、地下双复杂勘探区,本论文是对新疆准噶尔盆地南缘区域煤层气地震资料采集方案的一次优化探索,进一步加强地震采集技术攻关,强化采集质量控制,通过优化的地震采集方案,获取优质的地震勘探资料是推进新疆准噶尔盆地南缘勘探开发的关键利器。

参考文献:

- [1] 魏永恒,葛燕燕,王刚,等.新疆库拜煤田铁列克矿区地应力分布及其对煤层气开发的影响[J].现代地质,2022(05):1324-1332.
- [2] 桑树勋,李瑞明,刘世奇,等.新疆煤层气大规模高效勘探开发关键技术领域研究进展与突破方向[J/OL].煤炭学报,1-24[2023-12-29].
- [3] 余传涛,柳春林,薛俊杰,等.废弃矿井煤层气资源地球物理勘探研究进展[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(06):1991-2005.
- [4] 郭栋.如何提高煤层气井钻井效率的工艺技术[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(21):151-153.
- [5] 康永尚,闫霞,皇甫玉慧,等.深部超饱和煤层气藏概念及主要特点[J].石油学报,2023,44(11):1781-1790.
- [6] 徐凤银,王成旺,熊先钺,等.鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气成藏演化规律与勘探开发实践[J].石油学报,2023,44(11):1764-1780.