

黄土塬地震资料采集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 黄土塬地表条件恶劣、工农关系复杂、天气多变,地震勘探采集施工难度大,尤其是鄂尔多斯盆地东缘,为典型的黄土塬地貌,地表经长期侵蚀切割形成塬、梁、峁、坡、沟的复杂地形,河流沟系多以树枝状分布,大部分沟系为黄土冲沟,沟系流水属季节性流水,冲沟中两岸地势陡峭,为地震勘探采集施工带来不小的挑战。本文围绕黄土塬三维地震勘探实际案例进行分析,旨在为类似地震勘探项目提供参考与建议。

关键词 黄土塬; 信噪比; 激发参数; 近地表岩性; 静校正

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)02-0058-03

黄土塬又称黄土平台、黄土桌状高地,塬是中国西北地区群众对顶面平坦宽阔、周边为沟谷切割的黄土堆积高地的俗称,黄土塬表层地质复杂,由于黄土疏松,弹性差,速度低,被认为是地震勘探上世界级难题。我国陕西省是黄土塬分布的中心区域,该区域天然气及煤层气资源量大,为推动陕西省相关区块的油气以及煤层气勘探开发进度,大量油气公司在陕西黄土塬区域部署地震勘探采集任务。本文通过讨论黄土塬地震勘探实际项目,介绍了提高黄土塬地震采集资料质量的建议。

1 黄土塬地震勘探难点

本项目区域位于陕西省榆林市境内,地处鄂尔多斯盆地东缘,为典型的黄土塬地貌,地表经长期侵蚀切割形成塬、梁、峁、坡、沟的复杂地形,河流沟系多以树枝状分布,大部分沟系为黄土冲沟,沟系流水属季节性流水,冲沟中两岸地势陡峭。该区汛期易发生滑坡、塌方现象,特别是区域内多为土路,降雨会冲毁道路,使交通条件更为恶化,合理的施工季节窗选择对施工安全和施工效率都会产生很大影响^[1]。

1. 巨厚的黄土地形起伏剧烈,近地表岩性变化快,不同区域激发接收差异大,表层巨厚黄土层吸收衰减严重,主频低,频带窄,静校正问题突出。工区地形复杂,地势起伏变化剧烈。地表被较厚的黄土覆盖,并被后期雨水、河流冲刷得支离破碎,沟壑纵横,形成了树枝状冲沟及塬、梁、峁、坡独特黄土山地地貌,相对高差达到了20m~300m,黄土塬区低速带厚度在0m~100m之间。在川道和沟底低速带厚度相对较薄。低速层在300~800m/s,岩性为黄土,干黄土厚度多在3m~9m; 低速层在700~1500m/s,岩性为红土与含水粘

泥层互层并存在砾石层; 高速层在2000~4700m/s,岩性为基岩风化层和基岩。

2. 黄土塬高程变化剧烈,表层岩性变化快,低速带厚,吸收衰减严重,频带窄,激发参数选择难。

3. 巨厚的黄土层对反射上来的有效能量也有强烈的吸收作用,使得地震记录的信噪比极低。

4. 鉴于地表条件复杂,沟壑纵横,炮点排列布设困难,地震勘探技术设计困难。

5. 黄土塬地表起伏剧烈、地下岩性复杂多变,姜石砾石发育,炮点设计难、钻井难度大。

2 以往资料分析

近年的二维采集施工主要沿沟设计弯线采集,测线分散、成网性差、测网密度稀,测网闭合误差较大,仅能控制大的构造变化。同时弯曲测线地下CDP离散,反射点偏移归位差,影响构造准确解释和反演精度^[2]。

2.1 以往二维单炮资料分析

区内主要发育面波、折射波等规则干扰,以及环境噪声、车辆干扰等不规则干扰。不同岩性单炮资料品质差异较大,岩石区激发的单炮在BP(80~160)Hz还可见到目的层的反射信息,频带较宽;红土区激发的单炮在BP(70~140)Hz可见到较弱目的层的反射信息;黄土区激发的单炮在BP(60~120)Hz难以见到目的层的反射信息,频带较窄。为保证不同岩性区的资料品质,本次勘探应做好详细的表层调查工作,分区设计激发参数。

2.2 以往二维资料与邻区三维资料对比

1. 与邻区三维地震资料相比,以往二维地震资料信噪比、分辨率低,难以满足薄储层刻画需求。

2. 同一位置,二维资料振幅保真性差、河道特征

不清晰, 三维资料能够刻画河道反射特征。

3. 三维资料最终偏移成果的主频 40Hz, 频宽 5Hz~75Hz, 二维资料最终偏移成果的主频约为 23Hz, 频宽 7Hz~56Hz。主频较低, 频宽较窄。

2.3 邻区三维资料应用分析

受到地质条件等因素影响, 地震资料在应用中存在几方面问题, 具体表现在:

1. 受地表岩性差异及煤矿采空区等影响, 地震资料信噪比偏低, 地震保幅性较差。

2. 煤层的岩石物理特征为低密度、低速度、低阻抗, 形成强反射系数界面, 在地震上表现为强反射。砂岩、气层受煤层强反射影响, 地震响应特征难以识别, 地震纵向分辨率不足。

3. 叠前道集品质差, 部分区域道集 AVO 规律与钻井不符, 影响叠前反演结果可信度。

2.4 以往资料分析结论

1. 单炮整体能量稳定, 不同表层岩性单炮资料品质差异较大。

2. 该区表层地震地质条件复杂, 静校正问题突出。

3. 二维资料存在不同批次能量差别大, 闭合差问题明显, 与三维资料对比, 信噪比、分辨率和保幅性较差, 目标体刻画不清, 难以提供有效的勘探数据支持。

3 黄土源地震勘探应对措施

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问题:

1. 信噪比较低, 构造成像效果不佳。

2. 主频低、频带窄, 分辨率不够。

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, 本项目聚焦地质目标, 抓住黄土源的“信噪比低、频带窄”的资料特点, 主要是采取“高覆盖、长排列、宽方位观测系统”的采集技术对策:

1. 采用高覆盖采集, 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。

2. 采用宽方位观测, 获取各方位地震资料信息, 满足 OVT 处理要求, 有利于小断裂的识别、提高小断层、裂缝和薄储层预测的精度。

3. 采用长排列接收, 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; 接收到深层的反射信息, 提高深层的成像效果。

在地震资料采集施工方面, 针对黄土源地质特征,

为获取两宽一高地震资料, 提出五项针对性对策。

3.1 构建表层结构模型, 摸清岩性分布情况

为克服黄土源巨厚的黄土地形起伏剧烈, 近地表岩性变化快, 静校正问题突出, 本项目全区搭建 2*2km 微测井和 0.48*0.48km 岩性调查网格, 在斜坡等岩性过渡带加密岩性调查点, 结合大钻的近地表资料和往期层析数据, 构建表层结构模型^[3]。

1. 通过岩性分级调查方式, 开展全工区基岩面调查, 精细表层调查模型沿冲沟区域调查开展了基岩出露情况, 得出工区基岩面坐标、高程数据; 通过基岩面控制点数据收集为基础, 获得工区内基岩顶界面数据; 根据地表高程数据及基岩顶界面求得黄土层厚度。

2. 通过已完成的微测井建立速度、厚度模型, 结合岩性调查点数据, 确定岩性分区并求取湿黄土埋深。

3. 在岩性分界地区适当加密岩性调查点, 合理增加微测井点, 结合老资料情况进行相互印证, 优化模型。建立精准的潮湿黄土厚度模型, 逐点设计激发因素, 确保在含水性较好的湿黄土顶界面下 5m 或 8m 激发, 提高资料主频, 拓宽资料频带^[4]。

3.2 精细化激发因素试验, 优选施工参数

针对黄土源高程变化剧烈, 表层岩性变化快, 低降速带厚, 吸收衰减严重, 频带窄, 激发参数选择难; 本项目中精细化激发因素试验, 优选激发和接收参数。以提高分辨率为目标, 确保黄土区和岩石区能量和频带一致性, 细分薄黄土, 开展少井、深井参数试验, 拓宽频带。在老资料基础上开展了井深、药量、井数等详细的对比试验, 共计完成 6 个点 94 炮的试验工作, 优选适合黄甫地区三维地震勘探的最佳激发因素。

1. 按照“黄土厚度分区、坡度分区、岩性分区”的原则差异化设计。

2. 按照“五避五就”原则, 优先在优质炮点区布设激发点。

3. 宏观上确保炮点分布均匀, 根据需要适当加密炮点。

4. 以提高分辨率为目标, 加强试验, 以点、线试验为基础, 优选激发和接收参数。在分析总结以往老项目试验的基础上, 优选激发岩性、井深和组合井数, 开展试验工作。将薄黄土 (H < 50m) 进一步细分, 优化激发参数; 红土区细分为干、湿红土。

3.3 依托科学的观测系统, 提高资料信噪比

针对巨厚黄土层对反射上来的有效能量也有强烈的吸收作用, 使得地震记录的信噪比极低问题, 本项

目依托科学的观测系统利用节点仪在采集作业中的优势,在黄土山地采用“高密度”采集,利用“两宽一高”的采集方法,在保证资料信噪比的前提下,提高资料分辨率,满足勘探开发地质需求。

3.4 充分利用调查成果,合理设计炮点和检波点

针对地表条件复杂,沟壑纵横,炮点排列布设困难,地震勘探技术设计困难。

本项目采用陆地节点设备作为采集设备,减少检波点布设困难,同时加强对高清航测卫片与尽职调查成果的利用,合理设计炮点和检波点,克服地震勘探技术设计困难^[5]。

1. 基于高清航测卫片与尽职调查成果,加强工区岩性分析,以“提高目的层地震分辨率”为导向逐点设计炮点,预设计合理炮点方案。

2. 在较宽沟壑区及沟底增加井炮及震源,通过室内外分析论证,保证点位均匀、浅层资料无缺口。

3. 针对黄土山地区钻井施工难题开展针对性攻关。细分区域,在塬顶、上半坡、下半坡等部位提前完成岩调点,进行岩性和时效记录。

4. 采用可控震源对人口、城镇、具备震源施工条件道路及厂密集区域及时采用可控震源,达到全覆盖要求。

3.5 准确制定钻井方案,全力保证钻井质量

针对地表起伏剧烈、地下岩性复杂多变的不利因素,保证钻井质量是获取优质资料的关键。本地区岩性复杂多变,黄土、红土、岩石、砾石交互出现,钻井施工难度大,为保证项目钻井工序顺利开展,按照工区岩性以及钻机适应性进行细致分区,把钻机分配方案落实到工区具体位置、保质保量确保钻井工序生产节奏^[6]。

1. 根据工区岩性情况,提前准备洛阳铲加配破石铲、炮筒,气动钻加配螺旋短钻杆,风钻加配泥浆泵,跟管钻加配套管,以及四轮钻、拖拉机钻等不同钻机。

2. 结合工区岩性调查结果,根据钻机性能以及地形情况,详细制定钻机分配方案,落实到具体位置(桩号点位、激发方式、钻机类型),钻井任务分配前,派遣专人对钻机分配方案进行核实调整,确保钻机分配方案可靠有效。

3. 钻井过程中,井监现场检查,确认钻机分配合理性,遇到特殊情况及时上报,进行钻机类型调整。

4. 洛阳铲:适用于黄土层、薄料姜石层和薄胶泥层,无法处理厚度大的胶泥和料姜石层、较大颗粒的料姜

石层,可用于塬顶、坡体高部位。

5. 山地钻:适用于需钻进基岩的区域,可用于坡、沟部位钻井。

6. 气动钻:适用于料姜石层和硬胶泥层,可用于坡、沟部位钻井,还可用于塬顶洛阳铲无法穿透的情况。

7. 跟管钻:适用于河滩容易垮塌区域,需套管固定井口。

8. 水钻:适用有砾石河床。

4 地震资料分析与认识

1. 本项目开展了详细的表层结构调查,查明区内岩性分界和潮湿黄土顶界面,保证在潮湿黄土内、胶泥层或岩下激发,针对不同的岩性分布选用合适钻具,确保本区钻井成井达到设计要求,保证激发效果,是获得好资料的关键。

2. 通过详细踏勘工区,本项目采用全节点和独立激发采集模式,提高采集任务完成效率。

3. 二、三维资料对比及应用效果表明,本项目三维资料在成像精度、储层预测等方面具有明显优势。

5 结语

黄土原地震勘探由于表层地质复杂,黄土疏松,弹性差,速度低,被认为是地震勘探上世界级难题,主要难点表现在表层巨厚黄土层吸收衰减严重,主频低,频带窄,静校正问题突出,激发参数选择难,因沟壑纵横,岩性复杂多变,炮点排列技术设计困难,钻井难度大,使得地震记录的信噪比极低。本项目通过构建准确的表层结构模型,摸清岩性分布情况,精细化激发因素试验,优选施工参数,同时依托科学的观测系统,准确制定钻井方案,提高资料信噪比,最终取得了优质的地震资料。

参考文献:

- [1] 何京国,张志林,潘家智,等.巨厚干燥黄土原区地震采集关键技术[J].石油物探,2023,62(S1):866-871.
- [2] 陈付,陇东.黄土原区三维地震勘探采集技术[J].科技视界,2013(34):388-389.
- [3] 关继凯,桂杉,关仁祥,等.三维地震勘探技术在山地黄土原的应用[J].科技创新导报,2012(25):108.
- [4] 罗建峰.巨厚黄土原矿区三维地震勘探的关键技术及其应用研究[D].西安:西安科技大学,2013.
- [5] 杨江涛,盛伟琰.鄂尔多斯盆地黄土原地震采集技术现状[J].石化技术,2017(03):90.
- [6] 苏海,郑德德,高棒棒,等.鄂尔多斯盆地黄土原地震采集技术进展[J].地球物理学进展,2019(03):1096-1104.