

观测系统优化技术在四川盆地M & L储气库地震勘探中的应用

巫 骏¹, 赵容容², 黎书琴¹, 任 聪², 吴增友¹, 冉晓川¹, 杜均国¹, 吴晓华¹

¹中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司西南物探分公司, 四川 成都

²中国石油西南油气田公司勘探事业部, 四川 成都

收稿日期: 2022年10月29日; 录用日期: 2022年11月23日; 发布日期: 2022年11月30日

摘 要

四川盆地M & L储气库部署区紧邻威远、泸州、长宁页岩气产区, 具备良好的建库条件。在该区开展的三维地震勘探项目面临着高铁、县城、自然保护区和风景区等大型障碍对观测系统设计造成较大影响等难题。该区的采集实践通过采用优化激发接收条件、加强外界干扰控制等措施, 以及观测系统优化等技术的应用, 获得了高质量高信噪比的地震资料。

关键词

储气库, 障碍, 观测系统优化

Application of Geometry Optimization Technology to Seismic Exploration of M & L Gas Storage in Sichuan Basin

Jun Wu¹, Rongrong Zhao², Shuqin Li¹, Cong Ren², Zengyou Wu¹, Xiaochuan Ran¹,
Junguo Du¹, Xiaohua Wu¹

¹BGP Southwest Geophysical Branch, CNPC, Chengdu Sichuan

²Exploration Business Department of Southwest Oil and Gas Field Company, CNPC, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 29th, 2022; accepted: Nov. 23rd, 2022; published: Nov. 30th, 2022

Abstract

The deployment area of M & L gas storage in Sichuan Basin is close to Weiyuan, Luzhou and Changn-

文章引用: 巫骏, 赵容容, 黎书琴, 任聪, 吴增友, 冉晓川, 杜均国, 吴晓华. 观测系统优化技术在四川盆地 M & L 储气库地震勘探中的应用[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(11): 1552-1558. DOI: 10.12677/AG.2022.1211150

ing shale gas production areas, and has good conditions for reservoir construction. The 3D seismic exploration project carried out in this area is faced with large obstacles such as High Speed Railway, County, Nature Reserve and Scenic Area, which have a great impact on the design of geometry. The acquisition practice in this area has obtained high-quality seismic data with high signal-to-noise ratio by adopting measures such as optimizing the exciting and receiving conditions, strengthening the control of external interference, and the application of geometry optimization technology.

Keywords

Gas Storage, Obstacle, Optimization of Geometry

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

储气库建设是国家能源战略体系中的重要一环,为满足四川、重庆等西南地区季节调峰、事故应急供气,在四川盆地紧邻威远、泸州、长宁页岩气产区部署了 M & L 储气库。该区气藏保存及密封性较好,具备良好的建库条件;且二叠系茅口组发育缝洞优质储层,裂缝发育,具备良好的储渗条件;另外二叠系茅口组气井地质储量大,采出程度高,具备良好的建库空间。

在四川盆地 M & L 储气库区部署三维地震勘探的主要目的包括查明 MJP 构造细节及断层展布;查明茅口组储层空间展布及缝洞发育情况;提供三维地质模型数据体,支撑储气库整体建库设计;以及为注采井部署提供依据。

2. 部署区地震地质特征

2.1. 表层地震地质条件

部署区为典型的山地 - 丘陵地貌,海拔在 200~450 m。中部为的狭长山脉,海拔在 250~400 m。两翼为丘陵,海拔 250~325 m,起伏相对较小。部署区地层主要出露侏罗系沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组,白垩系窝头山组砂泥岩,激发、接收条件相对较好。该区表层结构为两层结构,低降速层厚度在 7 m 左右;高速层速度受地表出露岩性影响,侏罗系地层高速层速度总体在 2000 m/s 以上。

2.2. 深层地震地质条件

M & L 属于宽缓的低幅度构造,有利于地震波的传播,利于获得高品质地震资料;但断裂发育,波场较为复杂。盖层龙潭组厚度 93~130 m,页岩、泥岩夹煤线及凝灰质粉砂岩,沼泽泻湖相沉积。与茅口组不整合接触。底托层栖霞组厚度 90~100 m,石灰岩、白云质灰岩,含白垩及零星燧石,滨海相沉积。与茅口组整合接触。茅口组厚度 240~350 m,自下而上分别为茅一段~茅四段。标志层为上二叠统底界强反射特征,茅二段中强反射特征,茅三段岩溶缝洞响应特征主要表现为振幅变强。

总体来看, M & L 构造部署三维区域地面地震地质条件相对较好,地表大部分出露侏罗系泥岩、砂岩地层,激发接收条件相对好,利于获得高信噪比地震资料。地面高程起伏较小,有利于采集施工;地腹条件相对有利,目标区构造相对简单,起伏较小,利于获得较高品质地震资料。目的层深度适中,主要分布在海拔-1800~-2800 m 范围内。

3. 三维勘探重难点分析

3.1. 技术重难点及对策

综合对地质任务的理解、工区条件的分析、实际资料的分析,认为本轮三维勘探面临的技术重点主要是提高浅层茅口组地震反射能量、信噪比和纵向分辨率以及确保高保真数据资料,满足裂缝预测和储层预测需求。技术难点主要是茅口组高精度成像、岩溶储层识别与预测和微小断层裂缝预测[1]。

面对技术重难点,本轮勘探采取的技术对策是:1)开展精细表层结构调查,动态井深激发技术,高灵敏度单点检波器接收,提高单炮资料信噪比。2)采用较高密度、较高覆盖次数观测系统,获得丰富的地震反射信息,提高地震资料成像精度和茅口组反射能量。3)采用宽方位观测系统,利于刻画岩溶缝洞的空间展布。

3.2. 施工重难点及对策

根据地质任务的要求,结合踏勘情况,在详细分析现有资料的基础上认为,本轮施工的重难点包括:如何避开雷击风险,保证项目如期完成;高铁、风景区等障碍面积大,如何保障观测系统均匀;提高单炮资料的信噪比与分辨率。针对性措施包括:1)启用节点仪采集;2)优化过障碍设计;3)精细表层结构调查;4)优化激发、接收条件等。

4. 观测系统优化技术应用

地震采集质量直接影响数据的处理结果和解释精度[2]。目前,观测系统设计大多是先通过采集参数论证提出几套候选方案,然后进行论证分析确定最佳的采集方案[3][4][5][6][7]。三维地震资料采集中的观测系统设计是一个非常复杂的综合论证和分析过程,其目的是使每个CMP面元内方位角、炮检距分布合理和均匀,目的区域的覆盖次数达到要求,所采集到的不同目的层的有效地震反射信号有利于速度分析和偏移成像效果,从而提高地震资料信噪比和分辨率,为复杂构造和岩性研究提供更好的地震资料[8]。

观测系统和采集质量的评价大致可以从三个方面来考虑,一是依据目标地质体成像的质量及要求,二是依据对野外各种干扰以及人为噪声的压制,三是尽可能低的施工成本及野外施工难度[9]。

由于本轮施工区域包含自然保护区、风景区、城区乡镇、水域、铁路、高压线和输气管线、大型厂矿及种植基地等多种障碍,特别是高铁、风景区等大型障碍,对观测系统的均匀性造成很大影响,因此观测系统优化技术在本轮勘探中的应用尤为重要[10][11][12]。

下面以过成贵高铁及长宁县城复合障碍的优化设计为例说明观测系统优化技术的应用情况。

成贵高铁由西北至东南贯穿工区,与长宁县城形成复合障碍。成贵高铁两侧各1000m条带内影响炮点面积50.86 km²,共涉及井位3840个;长宁县城影响炮点面积13.88 km²,涉及井位885个。该复合障碍共涉及井位4725个。参见成贵铁路和长宁县城影响激发点布设范围图(图1)。

主要按照以下几个步骤对过复合障碍观测系统进行分析及优化:

1)按铁路两边各1000m丢炮模拟,浅层须家河组出现明显空白带(满覆盖区域空白带面积35.33 km²),其余层位也出现大面积低于理论85%的低覆盖次数区域。参见过长宁县城及成贵高铁丢炮后覆盖次数与理论设覆盖计次数对比图(图2)。

2)过障碍丢炮后恢复井炮

通过在实地对障碍进行踏勘,并结合高精度卫片进行就近恢复,成贵铁路和长宁县城区域共恢复激发点4725个,但通过模拟发现各层位的覆盖次数改善不大。

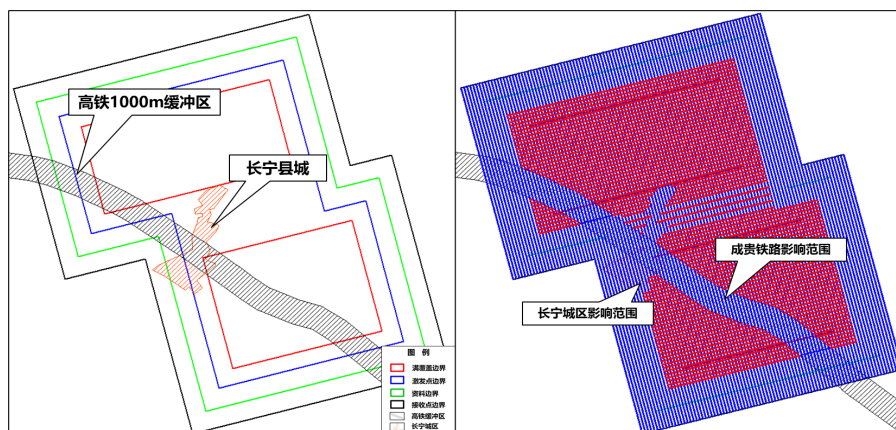


Figure 1. Layout scope of impact sources of Cheng-Gui railway and Changning County
图 1. 成贵铁路和长宁县城影响激发点布设范围图

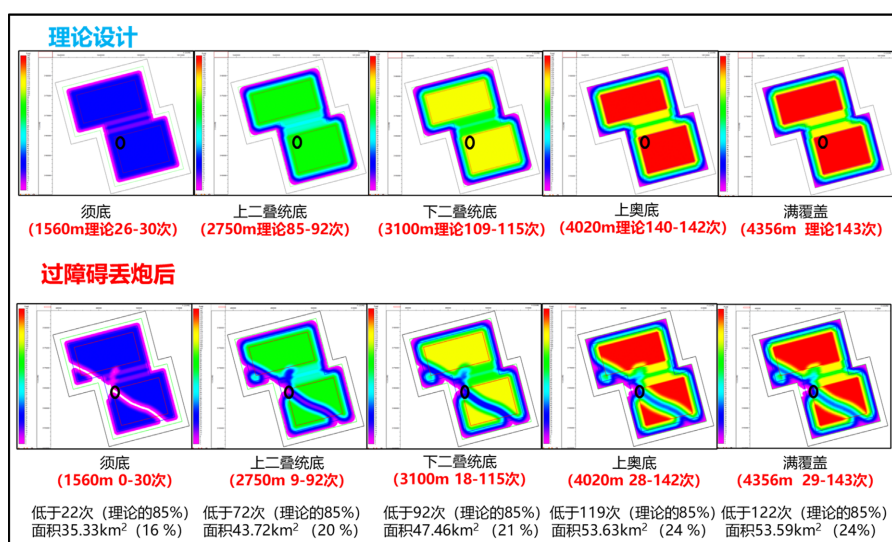


Figure 2. Comparison of between folds after sources loss and theoretical folds
图 2. 过长宁县城及成贵高铁丢炮后覆盖次数与理论设计覆盖次数对比

3) 进一步针对性措施

为提高过成贵高铁和长宁县城覆盖次数，对成贵高铁和长宁县城分别采取措施并进行模拟优选。针对成贵高铁，向铁路部门申请缩小铁路安全距离至 500 m，偏移和恢复全部激发点；针对长宁县城，偏移和恢复部分激发点，并按 40 m 点距和部分 20 m 点距加密布设可控震源点。

4) 过障碍丢炮(500 m)丢炮模拟

成贵高铁安全距离缩减至 500 m 后，影响炮点面积 24.43 km²，影响井位减至 1913 个。长宁县城影响炮点面积 13.88 km²，涉及井位 885 个。该复合障碍共涉及井位 2798 个。通过模拟，可以看出浅层须家河组满覆盖区域内空白带基本消失，但低于理论 85% 的面积依然较大，需进一步优化。

5) 过障碍丢炮后恢复井炮(500 m)

通过在实地对障碍进行踏勘，结合高精度卫片进行就近恢复，成贵铁路区域恢复激发点 1913 个，长宁县城区域恢复激发点 649 个。通过模拟，可以看出满覆盖区域仅有少量面元低于理论覆盖次数 85%，但由于长宁县城面积较大且位于渐进带，一次覆盖边界存在缺口。

6) 布设可控震源

长宁县城城区三级道路以上路网 42 km，经过实地落实，排除地下管网等设施后，11 km 道路可使用可控震源。在恢复井炮的基础上，布设可控震源点 472 个。

在长宁县城城区布设可控震源点后，障碍区域各主要目的层剖面缺口被修复，仅有少量面元低于理论覆盖次数的 85%。图 3 通过布设可控震源点前后剖面缺口放大的对比，可以看出布设可控震源点后剖面缺口修复效果。

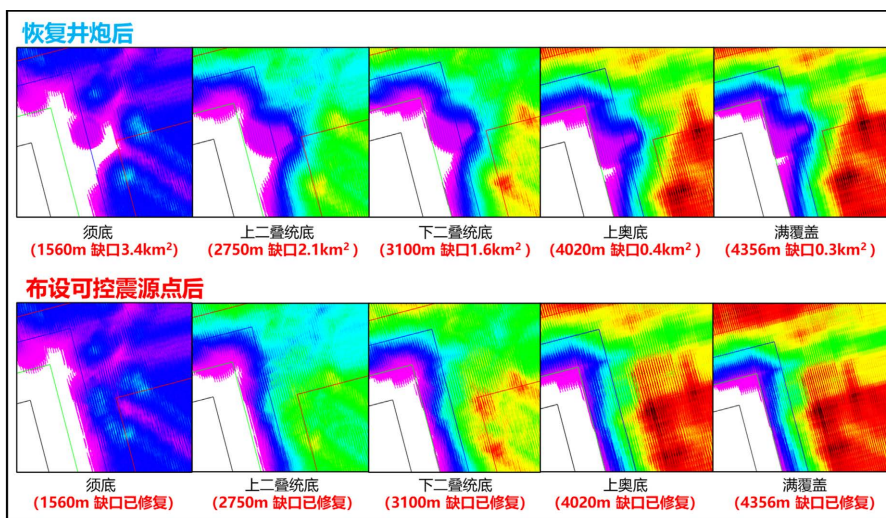


Figure 3. Repair effect of profile notch after vibroseis point layout
图 3. 布设可控震源点后剖面缺口修复效果

过成贵高铁及长宁县城复合障碍的观测系统通过以上 6 个步骤的优化，上二叠统底低于理论覆盖次数 85% 的面积从优化前的 16% 降为 1.4%，下二叠统底低于理论覆盖次数 85% 的面积从优化前的 17% 降为 0.7%，上奥底低于理论覆盖次数 85% 的面积从优化前的 17% 降为 0.7%，满覆盖低于理论覆盖次数 85% 的面积也从优化前的 17% 降为 0.7%，优化效果明显，优化前后覆盖次数对比如图 4 所示。

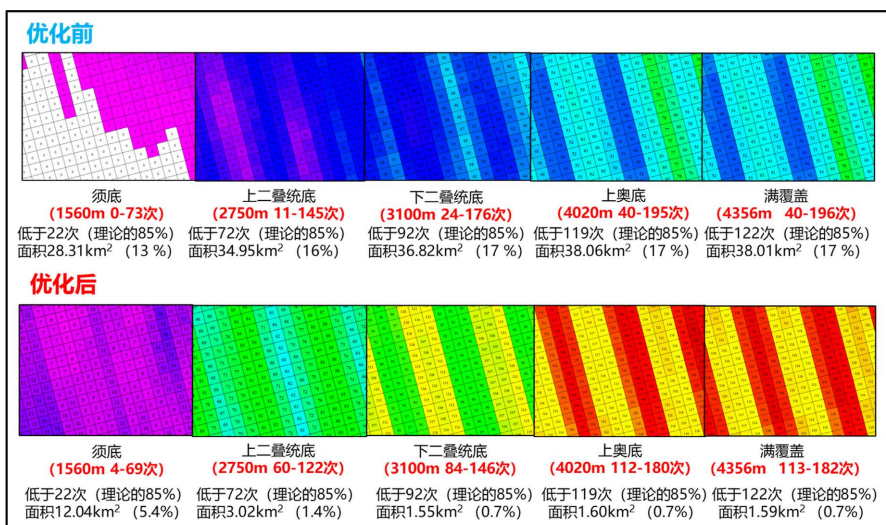


Figure 4. Partial display of folds comparison before and after obstacle optimization
图 4. 过障碍优化前后覆盖次数对比局部展示

5. 应用效果分析

本轮三维勘探通过采用宽方位、较高密度、较高覆盖次数观测系统，配套精细表层结构调查、动态井深激发、高灵敏度单点检波器接收等，结合高精度三维采集处理一体化，获得了高信噪比、高分辨率的地震资料。

从图 5 新老资料的对比可以看出，本轮三维资料与二维老成果资料相比，资料成像品质明显提高，反射波场清楚、同相轴连续性好，断点清楚。本轮处理成果剖面成像质量较好，各层反射特征清晰易追踪、同相轴横向连续性好，波组关系清楚，各类断层刻画更精细，为后期资料解释和储层预测提供了更加可靠的成果数据。

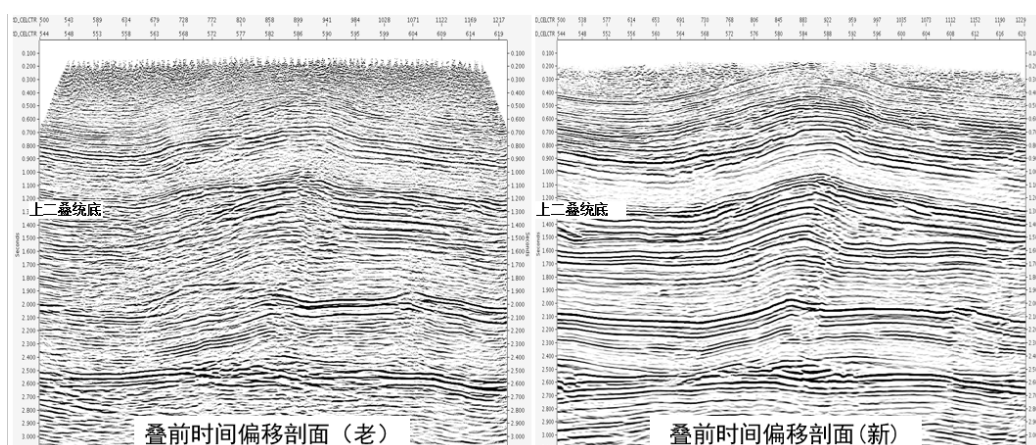


Figure 5. Comparison of new and old PSTM profiles

图 5. 新老资料叠前时间偏移剖面对比

6. 结论

四川盆地 M & L 储气库三维地震勘探通过高精度地震资料采集，特别是通过精细的过障碍观测系统设计和优化等技术的应用，提高了二叠系茅口组成像精度，提高了地震资料的信噪比和分辨率，确保了分布均匀的、高质量、高信噪比三维原始地震数据的获得。

致 谢

本论文是四川盆地 M & L 储气库三维地震勘探项目部分成果的展示，衷心感谢参与该项目的各位同事！

参考文献

- [1] Wu, J., Chen, J.L., Yang, L., *et al.* (2021) Application of 3D Acquisition Design Technology in HCX Gas Storage Project. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, **9**, 176-181. <https://doi.org/10.4236/gep.2021.95013>
- [2] 李伟波, 胡永贵, 张少华. 地震采集观测系统的构建与优选[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(6): 845-848.
- [3] 钱荣钧. 关于地震采集空间采样密度和均匀性分析[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2): 235-243.
- [4] 尹成, 吕公河, 田继东, 等. 三维观测系统属性分析与优化设计[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(5): 495-509.
- [5] 赵虎, 尹成, 陈光明, 等. 炮检距属性的非均匀性系数分析[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(1): 22-27.
- [6] 阎世信, 谢文导. 三维地震观测方式应用的几点意见[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(6): 787-795.
- [7] 马义忠, 魏伟, 孙伟佳, 等. 南阳凹陷高精度三维地震采集观测系统设计[J]. 石油物探, 2008, 47(5): 498-504.
- [8] 张军华. 三维地震资料采集中观测系统设计探讨[J]. 能源技术与管理, 2017, 42(6): 185-199.
- [9] 张文璨. 三维地震观测系统的优化设计方法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.

- [10] Wu, J., Li, S.-Q., Yang, L., *et al.* (2022) Application of Geometry Optimization Technology of Complex Obstacles in QLB Area of Sichuan Basin. *Proceedings of International Field Exploration and Development Conference*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore, 3076-3083. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2149-0_286
- [11] 巫骏, 张鹏, 王博涛, 等. 高精度三维地震采集技术在 YX 区块页岩气勘探中的应用[C]. 第十一届全国天然气藏高效开发技术研讨会论文集. 北京: 中国石油大学(北京), 2021: 153-156.
- [12] Bai, Z.H., Xu, Y.P., Pan, Y.J., Hu, Y.G., Zhao, J., Wang, H.J. and Zhu, X.J. (2020) Source Optimization Technology Based on Coverage Uniform. *International Field Exploration and Development Conference*, **1**, 185-191.