

文章编号: 1001-1749(2023)06-0689-09

四川盆地强噪音环境下高密度地震采集技术实践

耿春¹, 张晓斌¹, 胡峰¹, 赵容容², 胡善政¹,
罗文¹, 熊晶璇³, 何伟¹, 段卓¹

(1. 中国石油 东方地球物理勘探有限公司 西南物探分公司, 成都 610213;

2. 中国石油 西南油气田分公司勘探事业部, 成都 610057;

3. 中国石油 东方地球物理勘探有限公司 物探技术研究中心, 成都 610213)

摘要: 随着社会发展及城镇化进程加快, 地震资料采集面临环境噪音的影响愈加严重。环境噪音的有效控制是提高地震资料信噪比最有效的措施, 然而随着高密度地震勘探技术和技术经济一体化的提出, 高效地震采集与对错综复杂的噪音严格控制的矛盾日益加剧, 因此找到地震资料质量与施工效率的平衡点显得尤为重要。为此首先分析了四川盆地环境噪音特征及其控制措施; 其次分析了不同强度环境噪音对地震资料的影响, 并分析了不同强度环境噪音的压制效果; 最后通过不同强度环境噪音压制效果找到需要控制的环境噪音门槛值。研究表明: 强度在 $20 \mu\text{V}$ 以内的环境噪音对地震资料评价影响较小, 强度在 $40 \mu\text{V}$ 以内的环境噪音通过室内处理可以有效压制。

关键词: 环境噪音; 高密度地震采集; 地震采集效率; 环境噪音门槛

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.06.01

0 引言

近年来, 随着社会快速发展及城镇化进度加快, 交通路网日益增多, 地震勘探整体环境噪音水平明显上升, 对资料采集的影响越来越大。随着物探技术的发展, 地震勘探已大规模应用节点仪进行盲采, 而错综复杂的环境噪音, 对采集过程质控提出了更大的挑战。针对性评估不同干扰源对地震勘探各环节存在的影响, 目前还未找到有效的技术手段。

随着“集中勘探和效益勘探”技术思路实施, 四川盆地地震勘探工作呈现快速增长, 采集参数不断强化, 炮道密度从 2018 年的 22 万道/ km^2 提升到 2021 年的 52 万道/ km^2 , 增幅 136%, 采集工区由于受疫情、禁采期、大型节假日等影响大幅压缩, 同时甲方对环噪的控制要求较高, 要求每小时通过仪器车 428XL

系统拉取排列片动态日检。除掉固定干扰批复道后, 90% 道的随机环境噪音值必须低于某个门槛值方可进行采集。面对甲方严格的环噪控制要求, 在满足地质任务的前提下, 通过技术手段论证环境噪音对地震资料的影响, 找到质量与效率的平衡点, 是在当前提质增效的大环境下, 大家共同关注的焦点。

为此, 在物探技术飞速发展, 物探工作量节节攀升, 采集环境错综复杂的大背景下^[1], 亟需对环境噪音进行深入研究分析, 形成一套野外采集环境噪音分析技术, 以适应四川盆地地震勘探采集环境的快速演变, 为生产组织管理提供科学建议。

1 四川盆地地震勘探环噪控制现状

1.1 环境噪音定义及量化

地震勘探中的环境噪音广义上是指在地震资料



图 1 社会生产中各种噪音

Fig. 1 Various noises in social production

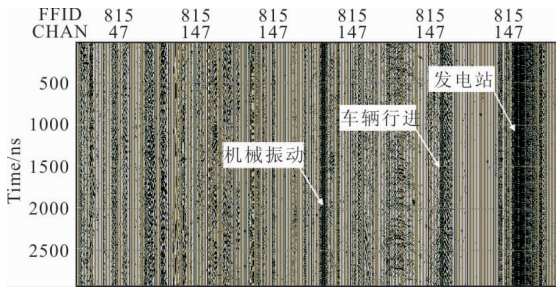


图 2 地震勘探的环境噪音

Fig. 2 Environmental noise of seismic exploration

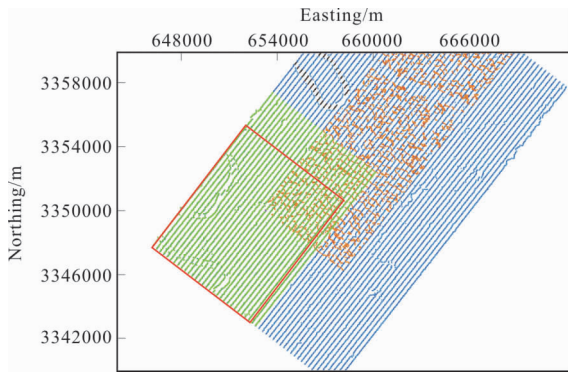
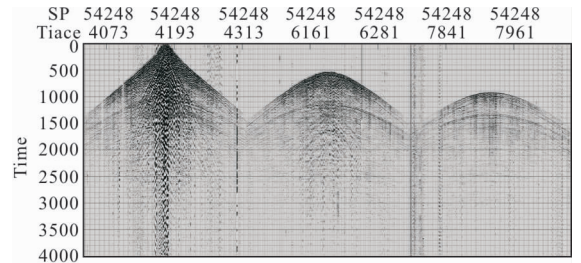


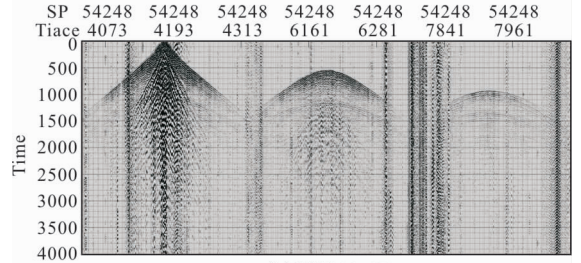
图 3 单炮环噪强度平面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of single shot ring noise intensity

采集时被检波器接收,来自于工业生产、建筑施工、交通运输和社会生活中所产生的一种外界干扰波(图 1、图 2),通常将接收道的噪音振幅值转化为电压值(μV)来衡量强弱程度^[2]。而对于单炮而言,环境噪音强度主要从统计学角度来衡量其大小,主要规则是对单炮所有道的环噪微伏值进行从小到大排序,排名前 90%处的门槛值即为该炮的环境噪音强度^[3]。如图 3 所示,该炮所有排列道 90%环噪值都在 $5 \mu\text{V}$ 以内,则定义该炮的环境噪音强度为 $5 \mu\text{V}$ 。图 4 为 $5 \mu\text{V}$ 与 $20 \mu\text{V}$ 环噪强度单炮的对比,可以看出, $20 \mu\text{V}$ 的单炮干扰强度及范围更大。



(a) 环噪 $5 \mu\text{V}$



(b) 环噪 $20 \mu\text{V}$

图 4 $5 \mu\text{V}$ 与 $20 \mu\text{V}$ 单炮对比图

Fig. 4 $5 \mu\text{V}$ and $20 \mu\text{V}$ single shot comparison diagram

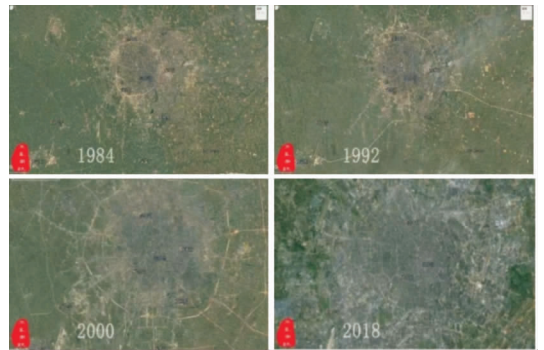


图 5 成都市 34 年城市发展变迁示意图

Fig. 5 Schematic diagram of urban development and changes in Chengdu in the past 34 years

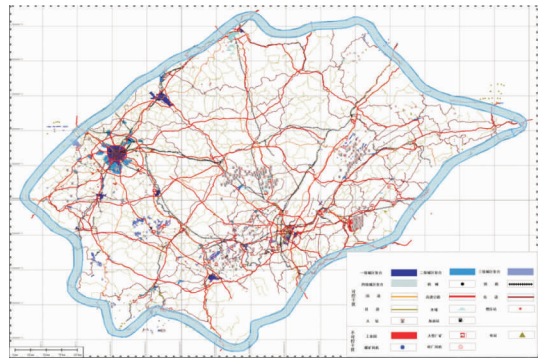


图 6 四川盆地主要障碍物分布图

Fig. 6 Distribution map of main obstacles in Sichuan basin

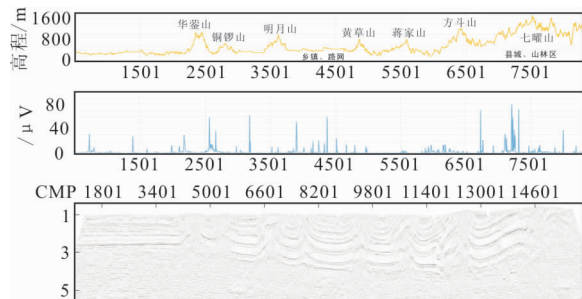


图 7 四川盆地川东地区环噪强度图

Fig. 7 Environmental noise intensity map of Eastern Sichuan in Sichuan basin

1.2 四川盆地环境噪音特征

四川盆地地域广阔,地形多样,有盆周剧烈起伏的地表,有川中平缓的丘陵地形。放眼整个四川盆地,由于川渝地区城市化的高速发展(图 5),城市不断扩张,工业、新型农业、第三产业的不断升级拓展,导致地震勘探整体环境噪音水平明显上升,主要分为大钻干扰、机械干扰、火车、汽车等交通工具干扰、大型城区、工业园区复合干扰,这些错综复杂的环境噪音,给地震勘探的部署和施工带来了极大的困难^[4]。

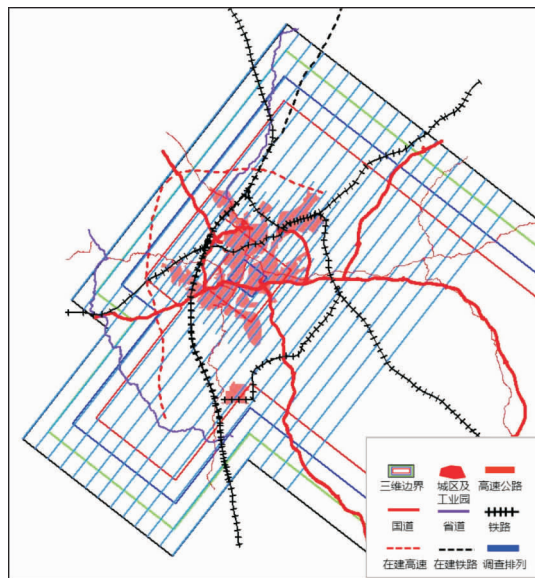
从图 6 可以看出,四川盆地地震勘探施工的主要区域环境噪音特征各不相同,川西地区主要是经济发达的成都平原,该区域工业发达,人口稠密,社会活动多,环噪影响较大;川东与川北地区主要地形为高大山体与丘陵平原区交错,山体区环噪强度低,主要干扰为风干扰,丘陵平原区乡镇、路网发达,环噪影响大;川南地区工业园区较多,县城、村镇星罗棋布,该部分区域环噪影响较大,其他区域环噪强度较低。从图 7 可以看出,强环噪区域主要为 $50 \mu\text{V}$ 以上干扰较多,其它区域大部分在 $10 \mu\text{V}$ 以内。

1.3 四川盆地地震环境噪音控制现状

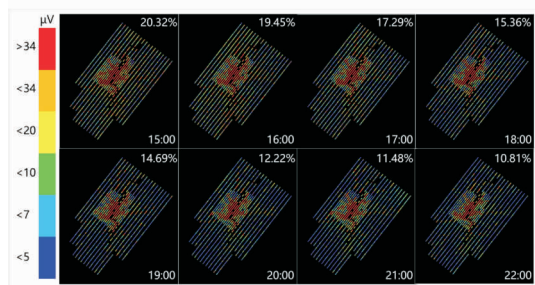
四川盆地地震勘探对环境噪音进行严格的控制,目前主要分为采集前期的全面干扰调查,施工过程中分类管控。在前期干扰源调查中,主要通过布设节点仪进行全工区的干扰源调查。如川东某三维项目,全工区采用接收线 8 抽 1,接收点 4 抽 1 的方式进行干扰源调查(图 8、图 9)。

对全工区进行环境噪音调查,获得每个点在不同时间段的环境噪音强度,通过对其进行统计分析获得不同时间段环噪的变化折线图(图 9),从图 9 可知,该工区环境噪音较低的时间段为 20:00~7:00,为此来确定合适的采集时段。

采集施工过程中,对环境噪音进行分类管控,主



(a) 环境噪音调查排列分布图



(b) 不同时间段环境噪音平面图

图 8 川东某三维环境噪音调查情况图

Fig. 8 Three dimensional environmental noise survey in East Sichuan

要措施是通过 428XL 有线设备实时获得动态日检,从动态日检中获得排列的环境强度,低于某个阈值时方可进行采集,同时生产过程中对可控干扰加强协停工作,通过分类的管控措施,力争在低环噪条件下进行采集。

2 环境噪音影响分析

综合考虑四川盆地区域位置、勘探目标、地面地质条件等因素,选取了该探区具有代表性和分析价值的 3 个地震项目(川东的 HC 三维、川中的 SN 三维、川南的 LWC 三维)进行环境噪音影响分析。

2.1 对单炮评价的影响

对于外界干扰,盆地内地震勘探对单炮资料评价的评价策略是:接收排列内单道噪音值超过 $34 \mu\text{V}$ 评价为干扰道,干扰道/接收道 $\geq 1/24$,则降级。从图 10、图 11 可以看出,单炮环噪值在 $15 \mu\text{V}$ 以内,对单炮降级影响较小,当环噪值达到 $20 \mu\text{V}$ 以

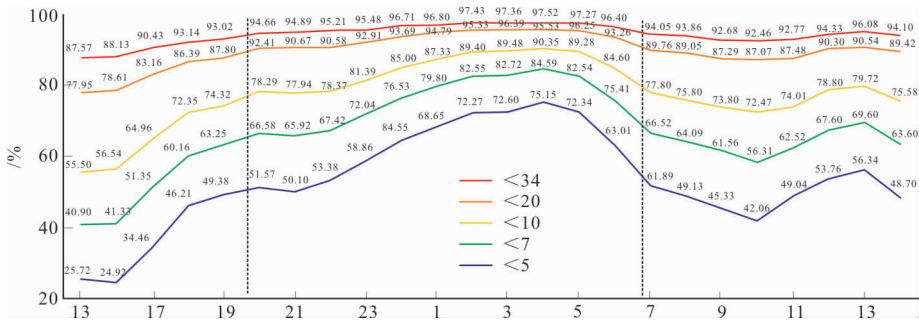


图9 川东某三维环境噪音强度变化折线图

Fig. 9 Line chart of three-dimensional environmental noise intensity change in East Sichuan

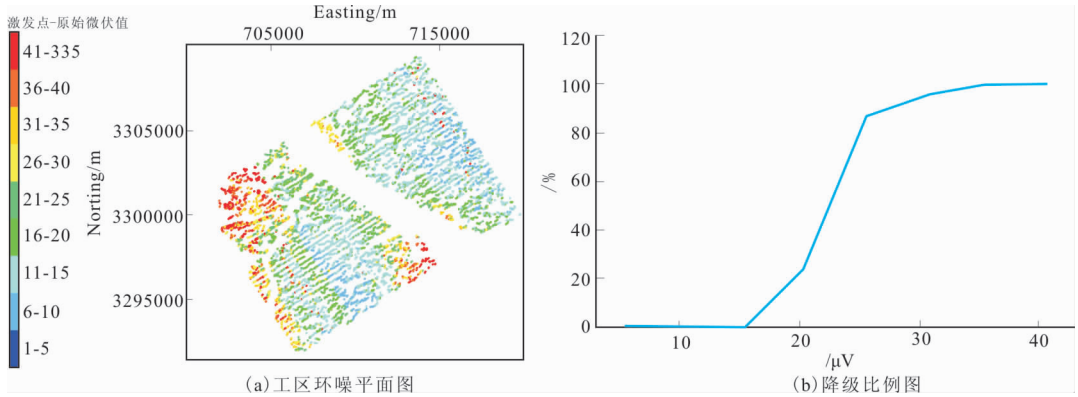


图10 LWC 三维工区环噪平面图及降级比例图

Fig. 10 LWC 3D work area environmental noise plan and degradation scale map

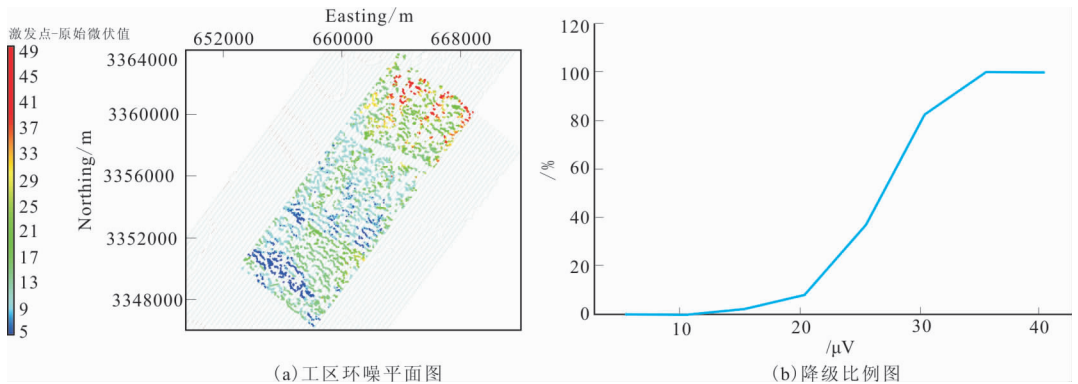


图11 HC 三维工区环噪平面图及降级比例图

Fig. 11 HC 3D work area environmental noise plan and degradation scale map

上时,单炮降级比例出现明显拐点。

2.2 对处理解释的影响

2.2.1 HC 三维

选取 HC 三维环噪强度为 $30 \mu\text{V}$ 的单炮进行分析,从图 12 可以看出,该炮因为干扰强度大,远、中、近排列都受环噪影响严重,环噪强度最大的道达到了 $1000 \mu\text{V}$ 以上,尽管强环噪对单炮资料面貌影

响较大,但通过常规的去噪手段,大部分噪音可有效去除,对单炮资料品质影响较小^[5]。

选取 Rline2170 处理剖面进行分析(图 13),该条线位于工区中部,呈东北、西南走向,东北边靠近华蓥城区,干扰强度较大,单炮环噪强度主要为 $30 \mu\text{V} \sim 40 \mu\text{V}$,向西南方向延伸主要分布场镇、道路等干扰,单炮环噪强度主要为 $5 \mu\text{V} \sim 15 \mu\text{V}$ 不等,

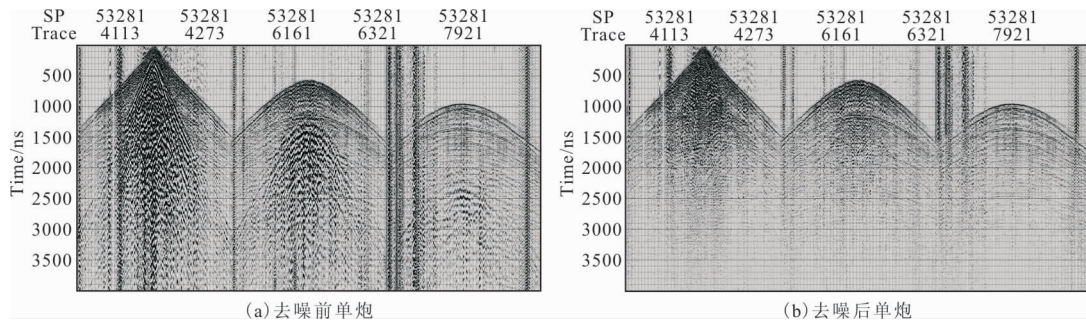


图 12 受环境噪音影响单炮去噪前后对比图
 Fig. 12 Comparison diagram of single shot before and after denoising affected by environmental noise

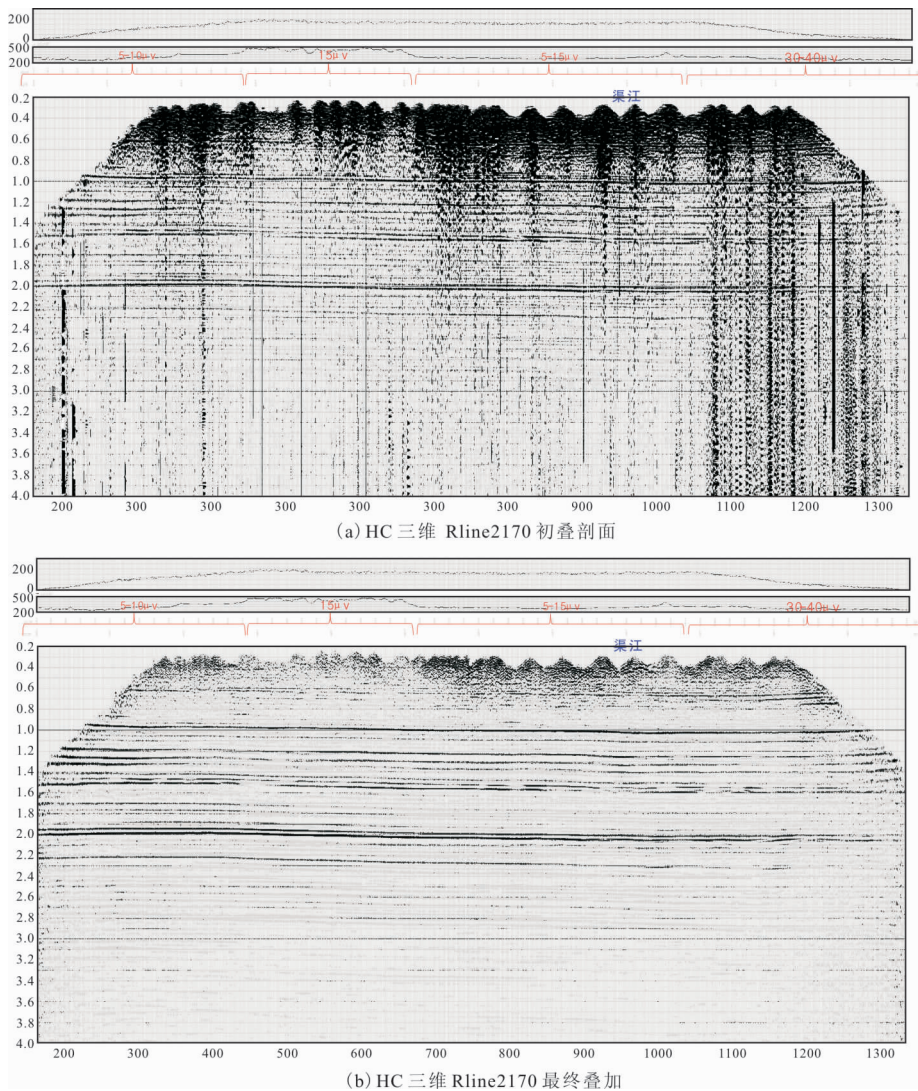
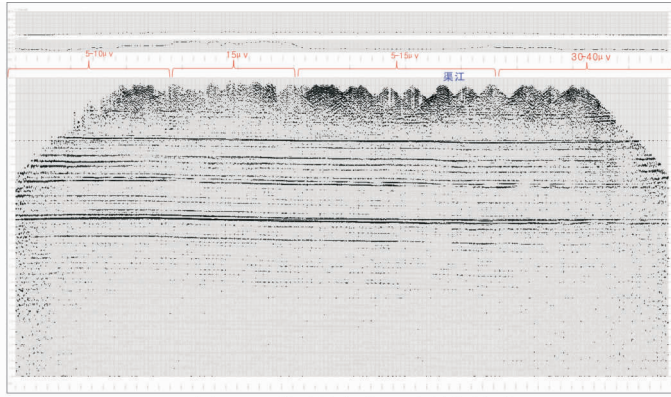


图 13 HC 三维 Rline2170 处理剖面效果对比
 Fig. 13 Comparison of HC 3D Rline2170 processing profile effect

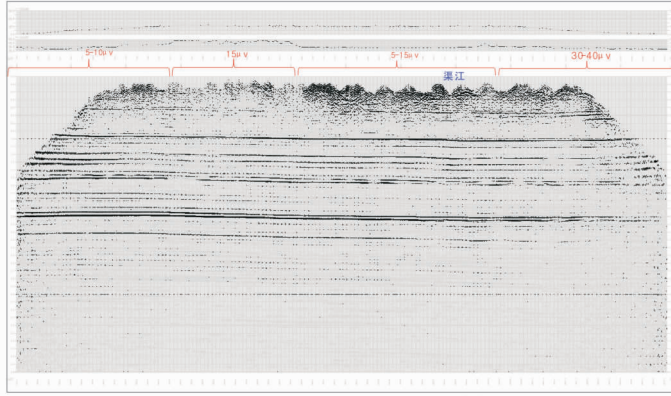
从图 13 可以看出, $30 \mu V \sim 40 \mu V$ 环噪在纯波剖面上表现较强, 对资料面貌影响较大, 但经过处理后, $30 \mu V \sim 40 \mu V$ 环噪能够得到有效去除, 对剖面成

像影响微乎其微。

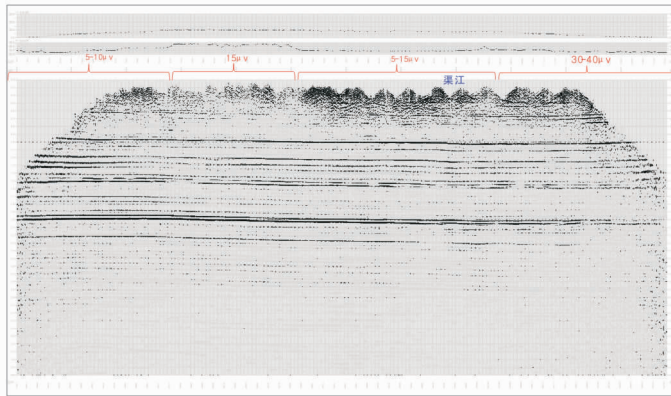
随着近几年采集参数不断强化, 炮道密度逐年增加, 从图 14 可以看出, 在覆盖次数较低时, 强环噪



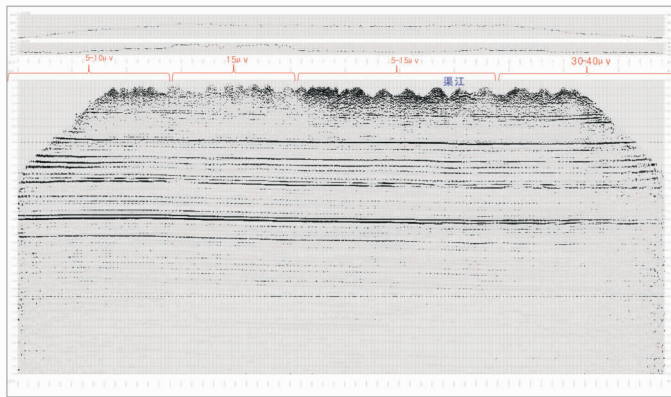
(a) HC 三维覆盖次数 60 次最终剖面



(b) HC 三维覆盖次数 120 次最终剖面



(c) HC 三维覆盖次数 180 次最终剖面



(d) HC 三维覆盖次数 255 次最终剖面

图 14 HC 三维 Rline2170 不同覆盖次数最终剖面

Fig. 14 HC 3D Rline2170 final profile with different coverage times

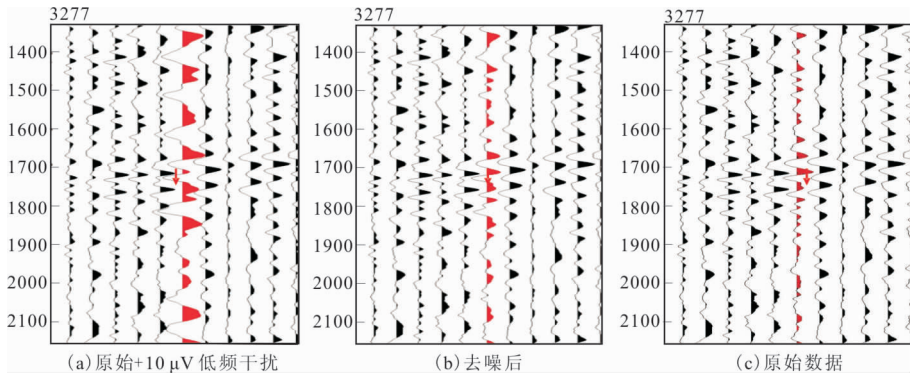


图 15 噪音回加技术示意图

Fig. 15 Schematic diagram of noise recycling technology

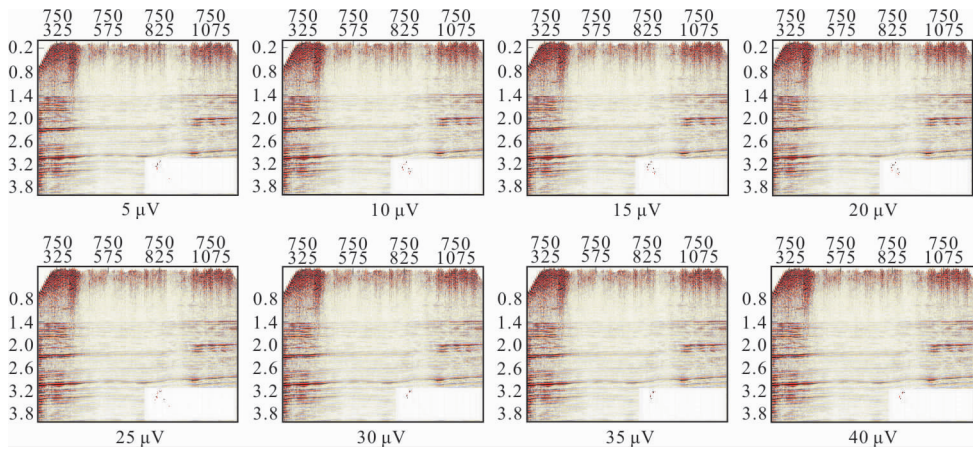


图 16 不同环境噪音去噪后水平叠加剖面

Fig. 16 Horizontal superimposed profile after different environmental noise denoising

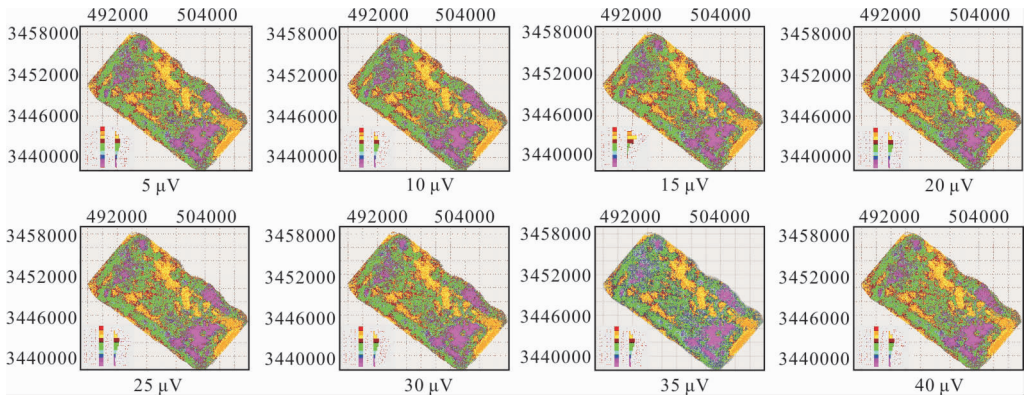


图 17 不同微伏环境噪音去噪后信噪比平面分布图

Fig. 17 Plane distribution of signal-to-noise ratio after noise removal in different microvolt environments

对叠加剖面影响较大。但随参数的强化,覆盖次数增加到满覆盖 255 次时,30 μV ~ 40 μV 以内的环境噪音得到了有效压制^[6]。

2.2.2 SN 北三维

针对环境噪音缺少定量的环噪样本,衰减效果

定量分析困难的现状,笔者采用了噪音回加技术来考察各类环境噪音是否有效衰减(图 15)。即采用去噪后的噪音数据定量放大或者缩小能量级别后回加到原始数据中去,再对该数据进行去噪处理,考察去噪效果,从而确认噪音能够有效衰减的阈值。

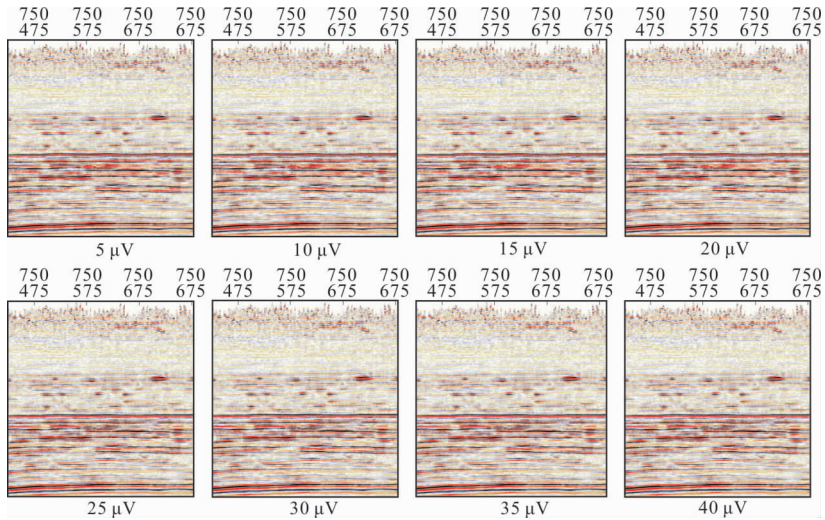


图 18 不同微伏环境噪音偏移剖面段

Fig. 18 Different microvolt ambient noise migration section

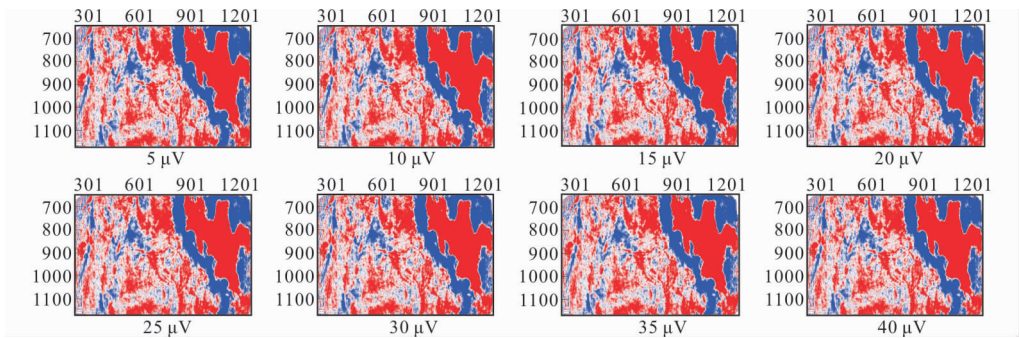
图 19 不同微伏值偏移剖面数据振幅切片
效果分析(1 400 ms)

Fig. 19 Analysis of amplitude slicing effect of different microvolt migration profile data (1 400 ms)

利用 SN 三维项目资料,采用噪音回加技术进行分析,从 $5 \mu\text{V} \sim 40 \mu\text{V}$ 环噪水平叠加剖面来看,不同强度环境噪音都得到较好压制,剖面上无明显差异(图 16)^[7]。

从图 17 可以看出,环噪强度较低时(小于 $35 \mu\text{V}$),信噪比总体水平相当,当微伏值达到 35 以上时,去噪后信噪比略有降低^[8]。

从图 18、图 19 可以看出,在高道炮密度采集条件下,经过叠加、偏移的振幅加权后,会使外界随机干扰的影响大幅降低, $40 \mu\text{V}$ 以内引起的信噪比、波形特征、数据振幅切片差异基本可以忽略^[9]。

3 结论

随着物探采集技术发展和采集环境演变,四川盆地地震勘探发生了翻天覆地的变化,通过对盆地不同区域环境噪音特征及实际资料分析可以得出以

下结论:

1) 随着城镇化进度加快,地震勘探面临的环境噪音影响愈发严重,目前主要的噪音源为道路、城镇、机械等,强度为几十微伏到几百微伏不等。

2) 从盆地不同区域三个工区资料的单炮评价及处理解释角度分析可以看出, $20 \mu\text{V}$ 以内的环噪对资料评价影响较小, $40 \mu\text{V}$ 以内的环噪对资料处理解释影响较小。综合考虑,建议盆地内环噪控制门槛值为 $20 \mu\text{V}$ 。

3) 节点仪已经在生产中大规模成熟应用,炮道密度不断提高,环境噪音不再是制约资料品质的关键因素,在采集过程中,应该根据工区实际情况,针对性进行环境噪音的调查及监控,做到分区分时采集,在保证质量的前提下,提高生产效率。

同时建议在以下两个方面继续开展研究工作:

1) 目前采用均匀的稀疏排列对工区环境噪音进行调查及监控,如何针对工区噪音特征采用更加有

效排列布设方案, 需要进行深化研究。

2) 目前环境噪音对资料的影响分析, 还停留在噪音能量方面, 如何论证不同类型、不同范围大小的噪音对资料的影响, 还需要在下一步工作中加强。

参考文献:

- [1] 魏继东, 李建军. 野外采集阶段噪音的归类与衰减方法 [J]. 地球物理学进展, 2011(26): 1632—1641.
WEI J D, LI J J. Classification and attenuation method of noise in field acquisition stage [J]. Progress in Geophysics, 2011(26): 1632—1641. (In Chinese)
- [2] 安锋, 张光德, 段卫星, 等. 陆上地震勘探随机干扰分析 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 35(6): 62—64.
AN F, ZHANG G D, DUAN W X, et al. Random interference analysis of onshore seismic exploration [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 35(6): 62—64. (In Chinese)
- [3] 杨德宽, 郑泽继, 胡立新, 等. 对深层地震勘探中随机噪音的一点认识 [J]. 石油物探, 2000, 39(3): 50—61.
YANG D K, ZHENG Z J, HU L X, et al. Some cognitions on random noise in deep-layer seismic exploration [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2000, 39(3): 50—61. (In Chinese)
- [4] 陆基孟. 地震勘探原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
LU J M. The Principle of Seismic Exploration [M]. Beijing: The University of Petroleum Press, 1990. (In Chinese)

- [5] 王典, 刘财, 刘洋, 等. 反射法地震勘探噪声消除技术研究 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 957—970.
WANG D, LIU C, LIU Y, et al. Study of the noise elimination methods in the reflection seismic exploration [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3): 957—970. (In Chinese)
- [6] 杜兴忠, 曹俊兴. 强噪声环境条件下的浅层地震勘探方法研究 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23(5): 1616—1620.
DU X Z, CAO J X. Shallow subsurface seismic prospecting methods in high-noise condition [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(5): 1616—1620. (In Chinese)
- [7] 张军华, 吕宁, 田连玉, 等. 地震资料去噪方法技术综合评述 [J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 546—553.
ZHANG J H, LV N, TIAN L Y, et al. An overview of the methods and techniques for seismic data noise attenuation [J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(2): 546—553. (In Chinese)
- [8] 裴江云, 刘洪, 李幼铭. 在随机噪音背景下地震反射信号的增强 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 91—95.
PEI J Y, LIU H, LI Y M. Enhancing seismic reflection signal under random noise [J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(1): 91—95. (In Chinese)
- [9] 崔树国, 刘怀山, 魏继东. 山地地震勘探采集方法研究 [J]. 西北地质, 2004, 37(4): 71—78.
CUI S G, LIU H S, WEI J D. Research on seismic acquisition methods in the mountainous area [J]. Northwestern Geology, 2004, 37(4): 71—78. (In Chinese)

Influence of environmental noise on seismic data in Sichuan basin

GENG Chun¹, ZHANG Xiaobin¹, HU Feng¹, ZHAO Rongrong², HU Shanzheng¹,
LUO Wen¹, XIONG Jingxuan³, HE Wei¹, DUAN Zhuo¹

(1. Southwest Geophysical Branch, BGP Inc., CNPC, Chengdu 610213, China;

2. Southwest Oil & Gas Field Company, CNPC, Chengdu 610057, China;

3. Geophysical Technology Research Center, BGP Inc., CNPC, Chengdu 610213, China)

Abstract: With the acceleration of social development and urbanization, seismic data acquisition is facing increasingly severe environmental noise impacts. The effective control of environmental noise is the most effective measure to improve the signal-to-noise ratio of seismic data. However, with the introduction of high-density seismic exploration technology and the integration of technology and economy, the contradiction between efficient seismic acquisition and strict control of complex noise is becoming increasingly severe. Therefore, it is particularly important to find the balance point between the quality of seismic data and the efficiency of seismic acquisition. This article first analyzes the characteristics of environmental noise in the Sichuan basin and its control measures; Secondly, the impact of environmental noise of different intensities on seismic data was analyzed, and the attenuation effect of environmental noise of different intensities was analyzed; Finally, the threshold value of environmental noise that needs to be controlled is found through the attenuation effect of different intensities of environmental noise. Research has shown that environmental noise with an intensity below $20\mu\text{V}$ has a relatively small impact on seismic data evaluation, while environmental noise with an intensity below $40\mu\text{V}$ can be effectively attenuated through seismic processing technology.

Keywords: environmental noise; high density seismic acquisition; seismic acquisition efficiency; environmental noise threshold