

用样点空间调序法消除多次波

徐常练*

(北京地球软件技术开发公司)

摘 要

徐常练. 用样点空间调序法消除多次波. 石油地球物理勘探, 1995, 30(6): 803~810

本文对 Bruland 等人提出的地震道样点空间调序方式^[2]作了改进。新的调序方式可根据干扰波情况和处理目标确定合适的步长, 在保持样点空间调序要求的条件下, 克服了前人方法中对空间步长取值的限制和同一个输入道的样点在输出道集上相距太近的缺点, 这样就扩大了该方法的应用范围。

通过对理论模型数据和实际地震资料的试验表明, 样点空间调序加中值滤波方法对压制和消除多次波是行之有效的, 而且叠加剖面的结果有十分明显的改善, 比用 $f-k$ 滤波的效果好得多。

主题词 地震道样点 空间调序 规则 干扰 多次波 CMP 道集 步长 采样

ABSTRACT

Xu Changlian. Multiple wave suppression using intertrace sequence regulation of seismic samples. *OGP*, 1995, 30(6): 803~810

Intertrace sequence regulation scheme of seismic samples (Bruland et al) is revised here. My sequence regulation method has the following essentials: 1) determining proper step size in the light of noises and data processing target, 2) avoiding both the previous limitation on intertrace step size and the too dense output samples which were less dense on the relevant input trace under the requirements of intertrace sequence regulation, and 3) wider applications.

Theoretical modeling and seismic data results show that mid value filtering plus the intertrace sequence regulation of seismic samples is very effective on elimination of multiple waves, and obviously improves stacked sections. The method is much better than $f-k$ filtering.

Subject heading: seismic sample, intertrace sequence regulation, regular noise, multiple wave, CMP gather, step size, sampling

引 言

在地震勘探资料中, 除了随机干扰以外, 还存在着多种多样的规则干扰波, 如面波和多次

* Xu Changlian, Geophysical Research Institute, Bureau of Oil Geophysical Prospecting, Zhuozhou City, Hebei Province, Postcode: 072750

本文于 1994 年 11 月 23 日收到, 修改稿于 1995 年 3 月 7 日收到。

波。这些规则干扰波的幅值和与时空域内的分布范围有一定的规律,与随机干扰有显著的差异,但采用压制随机干扰的处理方法往往不能取得理想的效果。如果某种规则干扰与有效信号有明显的区别,则可利用这些干扰信号在波场中的分布规律进行识别、并加以压制或消除。但是,在地震勘探采集的数据中,也有一部分规则干扰(如多次波,尤其是层间微屈反射多次波)的分布规律与有效信号非常相似,不容易区分,用现有的方法难以压制和消除。

对于多次波来说,它的速度较低,使用有效波的速度进行动校正时表现为校正不足,即在 CMP 道集上同相轴没有被校平。也就是说,在水平叠加过程中,多次波会受到一定程度的压制。当观测系统的偏移距和道间距比较小时,由于近炮点的道数较多,在叠加剖面上就会有残余的多次波能量出现。轻则使有效信号波形失真,对后续的波阻抗等处理造成不良的影响;重则淹没一次反射,形成虚假构造,并使偏移的假设条件得不到满足。因此,多次波消除得越彻底越好。

对于海上地震勘探资料,由于道间距较小,近炮点道比较多,上述问题将更加突出。但是,由于 CMP 道集内的近炮点道,动校正拉伸很小,接近于自激自收记录,所以反射信号的保真度好。如果为了消除多次波而将近炮点道完全切除,将会降低叠加剖面的质量,无异于因噎废食。针对上述问题,本文对 Bruland 等人提出的地震道样点空间调序方式^[2]作了改进,用新的样点空间调序加中值滤波方法压制和消除多次波取得了很好的效果。

地震道样点空间调序方式

Bruland 等人在第 62 届 SEG 年会上提出了地震道样点空间调序方式^[2],做法是在 CMP (或共炮点)道集内对同一时刻各道的样点按一定的规律进行移位,作者称之为循环采样。这种处理改变了样点的位置,随之改变了波场的分布规律。如果应用得法,有效波和干扰波的差异会变大,便于选择有力措施压制干扰波。Bruland 等人在文中以含有 24 个地震道的道集为例,说明了如何进行步长为 5 的循环采样,图 1 为循环采样示意图。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
(a)																							
24	19	14	9	4	23	18	13	8	3	22	17	12	7	2	21	16	11	6	1	20	15	10	5
19	14	9	4	23	18	13	8	3	22	17	12	7	2	21	16	11	6	1	20	15	10	5	24
14	9	4	23	18	13	8	3	22	17	12	7	2	21	16	11	6	1	20	15	10	5	24	19
9	4	23	18	13	8	3	22	17	12	7	2	21	16	11	6	1	20	15	10	5	24	19	14
4	23	18	13	8	3	22	17	12	7	2	21	16	11	6	1	20	15	10	5	24	19	14	9
(b)																							

图 1 循环采样示意图

图中:(a)为输入道集,共有 24 道;(b)为输出道集,步长为 5。水平方向为炮检距方向,垂直方向为时间方向,图中展示了 24 个地震道的 5 个时间点

由于样点只在空间方向调序,在时间方向没有位移。为了更简洁地说明调序的做法,在 Bruland 等人的示例中,输入道的样点值与道序号相同,图 1 展示了 24 个输入地震道的 5 个时间样点和调序后的输出道。

输出道样点是按以下规则确定的:第 1 个时刻,第 1 道的样点取自第 24 个输入道,设第 i 个输出道的样点取自第 j 个输入道,则第 $i+1$ 个输出道的样点取自第 $j-5$ 道(如 $j-5 < 1$, 则取自 $j-5+24$ 道),直到产生全部 24 个输出道;时间方向样点的规律与空间方向相同,如第 1 道第 k 个样点取自第 n 道,那么第 $k+1$ 个样点取自第 $n-5$ 道(如 $n-5 < 1$, 则取自 $n-5+24$ 道),依次递推。

Bruland 等人的样点调序方式虽然实现了样点的空间方向位移,改变了道集内波场的分布规律,但存在如下两个缺点:

(1)空间步长与输入道集内的道数必须互为质数,不能取任意值。在 Bruland 等人给出的例子中,道集有 24 道,步长只能取 1(不改变)、5、7 和 11。这意味着在使用中,处理人员不可能根据噪声具体情况和需求,选择最佳的步长。另外,在工区边界或变观测系统处,以及剔除无效道之后,道集内的道数是变化的,这时很有可能找不到一个步长值满足与各道集的道数都互为质数,因而无法使用,或者不得不根据道集内道数使用不同的步长,导致处理效果不一致。

(2)同一个输入道的样点在输出道集上相距太近。观察图 1 中的输出道集可知,在前 5 个输出道(左端 5 列)的 25 个样点中,有 5 个来自第 4 个输入道。若第 4 个输入道含有很强的干扰(比如面波或野值),调序后的二维去噪处理就不易获得较好的效果,因为输入数据中含有强噪声的样点所占的比例太大。

另外,Bruland 等人在文中给出的实际地震资料试验是压制强干扰和面波。虽然调序可能有所裨益,但不经过调序,仅采用空间中值滤波也可以压制强干扰和面波^[3]。至于消除多次波,Bruland 等人也承认,仅在道集上有改善,而在叠加剖面上却没有见到明显效果。

为了克服以上两个缺点,我们采用了新的调序方式,仍以 Bruland 等人的例子中的数据,选取 3 和 5 两种步长,调序结果见图 2。

采用新的调序方式,若步长为 3(或 5),输出道样点的规则是:第 1 个时刻,第 1 道的样点取自第 1 个输入道,设第 i 个输出道的样点取自第 j 个输入道,则第 $i+1$ 个输出道的样点取自第 $j+3$ (或 5)道(如 $j+3$ (或 5) >24 ,则取自第 $i-7$ (或 $i-4$)个输出道有贡献的输入道的下一道),直到产生全部 24 个输出道;时间方向样点的规律则是输出道的相邻的 3(或 5)个样点来自相邻的 3(或 5)个输入道。

图 2a 以步长等于 3 为例,但从原理上说采用新的调序方式后,步长可为 1~23 间的任何整数(尽管有些步长不见得会有好效果),因此处理人员可根据干扰波情况及处理目标确定适当的步长,却不必顾虑 Bruland 等人方法的限制。

图 2b 中左端 5 列的 25 个样点,来自所有 24 个输入道,只有 2 个样点来自第 1 个输入道,即使任何一个输入道中有连续的强干扰值,在输出道集 5×5 的范围内,出现的机会也只有一两次,对二维处理结果的影响大幅度减小。

综上所述,可知在保持了样点空间调序要求的前提下;新的调序方式分别克服了 Bruland 等人方法的两个缺点。这样,不仅使空间调序法适用于更多的地震资料处理,用最佳的处理参数取得更好的处理效果,同时也为二维滤波提供了更有利的使用条件。

1	4	7	10	13	16	19	22	5	5	8	11	14	17	20	23	3	6	9	12	15	18	21	24
2	5	8	11	14	17	20	23	3	6	9	12	15	18	21	24	1	4	7	10	13	16	19	22
3	6	9	12	15	18	21	24	1	4	7	10	13	16	19	22	2	5	8	11	14	17	20	23
1	4	7	10	13	16	19	22	2	5	8	11	14	17	20	23	3	6	9	12	15	18	21	24
2	5	8	11	14	17	20	23	3	6	9	12	15	18	21	24	1	4	7	10	13	16	19	22

(a)

1	6	11	16	21	2	7	12	17	22	3	8	13	18	23	4	9	14	19	24	5	10	15	20
2	7	12	17	22	3	8	13	18	23	4	9	14	19	24	5	10	15	20	1	6	11	16	21
3	8	13	18	23	4	9	14	19	24	5	10	15	20	1	6	11	16	21	2	7	12	17	22
4	9	14	19	24	5	10	15	20	1	6	11	16	21	2	7	12	17	22	3	8	13	18	23
5	10	15	20	1	6	11	16	21	2	7	12	17	22	3	8	13	18	23	4	9	14	19	24

(b)

图 2 新的调序方式输出道集

图中:(a)步长为 3;(b)步长为 5

理论模型试验

按照新的调序方式,编制了地震模块,并进行了理论模型试验。为便于分析问题,假设多次波的波形为雷克子波

$$R(t) = (1 - 2\pi^2 f_m^2 t^2) \exp(-\pi^2 f_m^2 t^2)$$

并取雷克子波在 $t=0$ 处的峰值为 1,主频 f_m 为 40Hz,正半支见图 3a。假设多次波的 t_0 时间为 1s,速度为 2850m/s,采用有效波的速度 3000m/s 进行动校正后,各道在 1s 处的振幅如图 3b 所示。由于剩余时差与炮检距的平方成正比^[1],不是线性关系,所以将图 3b 与图 3a 相比可以看出,在近炮点处,剩余动校正时差变化缓慢,空间方向振幅变化也很缓慢,像是把子波的峰值部位进行了拉伸,造成许多近炮点道上存在较大的多次波正振幅值;随着炮检距增大,时差变化加快,使雷克子波负相位相对缩短。在图 3 的显示精度下,原雷克子波的正相位不到总长度的 30%,而空间方向各道中正振幅却占了 50%,其中峰值点附近的大振幅值增加的比例尤为突出;另一方面,负相位的振幅值原来就很小,又减小了分布范围,更无法与正相位抵消,这正是叠加不能消除这种多次波的原因。对图 3b 沿空间方向求和(相当于处理中的叠加),得数为 10.500,这势必对有效波形成很强的干扰。

现对图 3b 进行步长为 9 的空间调序,结果示于图 3c。多次波在空间方向的振幅,不再是原来的平缓变化,而是起伏频繁,与假设空间方向不变的有效波形成了更大的差异,达到了预想的目的。

图 3d 为调序后再进行 11 点均值滤波的结果。因为多次波的正负相位幅值相差悬殊,均值滤波结果含有较大的直流分量,沿空间方向求和得数为 10.991,比直接求和还稍大一些,说明对于这种情况,空间调序加均值滤波并不能消除多次波。

图 3e 为调序后再进行 11 点中值滤波的结果。由于中值滤波特有的稳健性,很大的正相位幅值并不会对计算结果产生不利的影响,所以在空间绝大部分范围内,几乎完全消除了多次波,沿空间方向求和得数为 2.088,仅为直接求和的 19.89%,压制多次波的效果比较明显。

图3e左端未消除掉的多次波幅值是因为处于数据边界上,中值滤波在邻近边界处的滤波长度变短,压制作用降低所致。为了避免中值滤波的边界效应,将图3c的两端连接起来,进行循环中值滤波,结果见图3f。在图3f中多次波完全看不到了,沿空间方向求和得到的数为 -0.0042 ,绝对值仅为叠前雷克子波峰值的 $1/238$,仅为直接叠加多次波幅值的 $1/10^4$,完全可以忽略不计。

以上理论模型试验结果表明,将样点空间调序与中值滤波结合起来,可以在叠前道集上消除采用有效波速度动校正未拉平的多次波干扰,效果极为理想,残余值不会对叠后资料形成任何可见的不利影响。应当指出的是,样点空间调序是必不可少的一环,正是它使多次波的幅值在空间方向快速起伏,为中值滤波消除多次波提供了必要条件。如果不进行样点空间调序,而对图3b直接进行中值滤波,是不会有有多大效果的。

在以上理论模型试验中,只讨论了对多次波的压制,而没有提到如此处理对有效波的影响。这是由于假设有效波的幅值在空间方向是完全相同的,因此无论样点调序或空间均值和中值滤波都不会使这样的有效波产生任何改变。

实际资料应用效果

在用理论模型验证了本方法的效果之后,又利用海上D工区多次波比较发育的实际地震资料进行了试验(图4)。图4a为动校正后的CMP道集,道集中有效波的同相轴应沿水平方向分布,但在图中看不到水平方向的有效波;在图的右端近炮点道上由于剩余时差较小,除有接近水平的多次波以外,道集中几乎全是倾斜的多次波同相轴。它们的能量很强,在近炮点道上接近水平分布,用直接叠加进行压制效果很差。

在图4b的叠加剖面中,有若干稳定分布的近水平同相轴,恰好与道集上近炮点道的多次波一一对应,毫无疑问这是多次波。

对图4地震资料采用步长为7道的样点空间调序,再进行长度为5道的空间中值滤波,所得的结果示于图5。在图5a中已见不到倾斜分布和近炮点道上的多次波了,而是水平分布的较弱同相轴。虽然还不能肯定它们是有效波,但具备有效波的特点:①水平方向分布(经过了动校正);②能量较弱(层位较深)。

图5b为消除了多次波的CMP道集叠加后的剖面,图中的多次波消失了,出现了一些原来没有的弱同相轴(如3615ms和3715ms处的近水平同相轴),同时原来若隐若现的同相轴也变得清楚了(如4100ms附近的倾斜同相轴)。尽管只根据叠加剖面还无法断定新出现的和变清

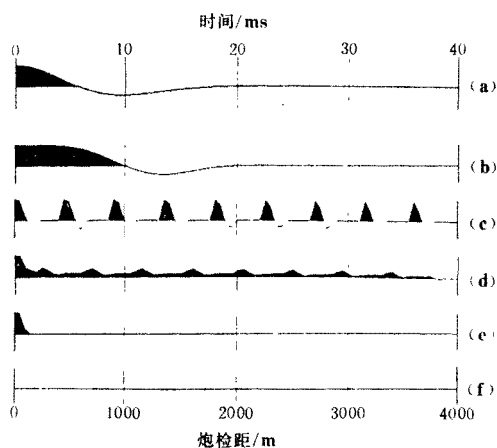


图3 理论模型实验结果

图中:(a)为雷克子波的正半支、主频为40Hz;(b)对多次波用有效波速度动校正后振幅在空间方向的变化;(c)步长为9点的样点空间调序后的情形;(d)为11点均值滤波结果;(e)为11点中值滤波结果;(f)为11点循环中值滤波结果

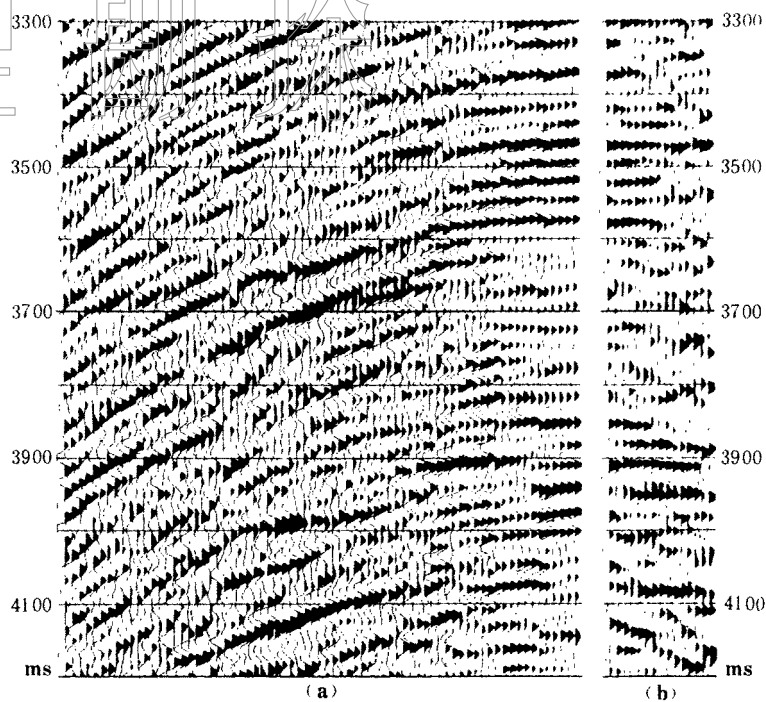


图 4 海上 D 工区多次波干扰严重的地震资料

图中:(a)为 CMP116 的动校正后道集显示(局部),右侧为近炮点道;(b)为 CMP116~130 的叠加剖面(局部)

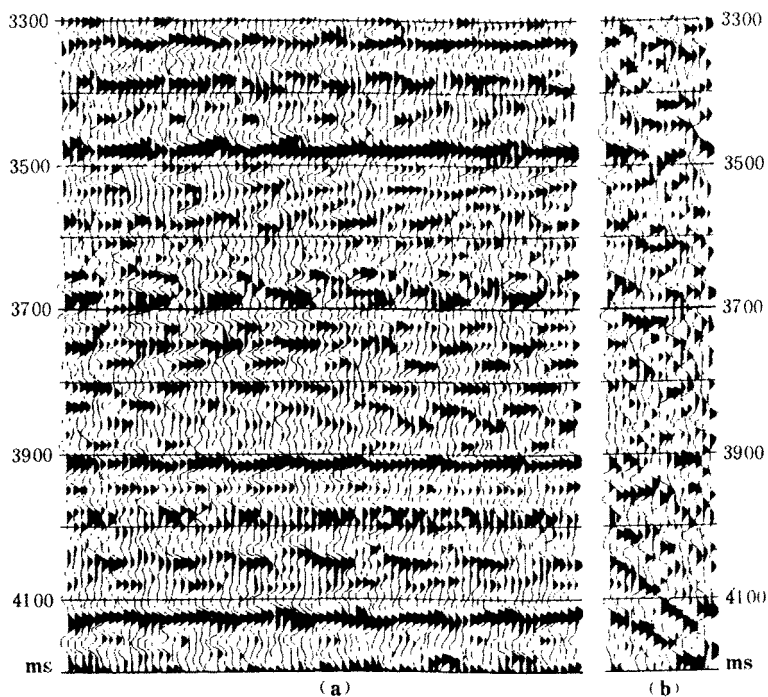


图 5 图 4 资料经步长为 7 点的样点空间调序后再进行 5 点中值滤波的结果

图中:(a)为 CMP116 道集显示(局部);(b)为 CMP116~130 的叠加剖面(局部)

楚的同相轴是地下界面的真实反映(或是其它干扰波),不过它们不是多次波是确定无疑的。

为了进一步说明本方法优于常见的去多次波方法,图6展示了对图4地震资料进行 $f-k$ 滤波的结果。从图6a 道集显示上可以看到,远炮点道的倾斜同相轴已去掉了,但剩下的地震信息信噪比很低,基本上看不到水平的有效波同相轴;近炮点道上的多次波同相轴变弱了,但大多数依旧存在。在图6b 的叠加剖面上,多次波同相轴只有很细微的改变,并没有达到消除多次波的目的。这说明, $f-k$ 滤波虽有压制多次波的作用,但效果并不理想。

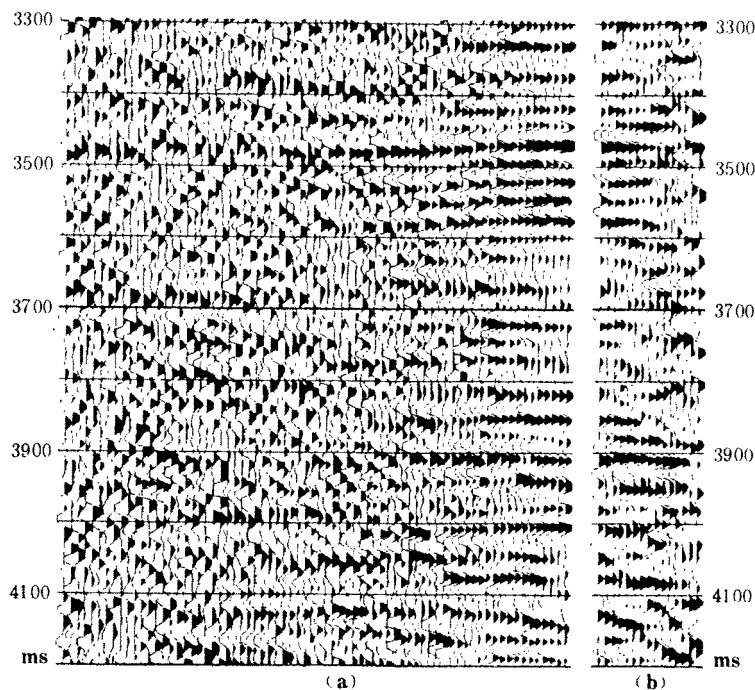


图6 图4地震资料经 $f-k$ 滤波去多次波的结果

图中:(a)为 CMP116道集显示(局部);(b)为 CMP116~130的叠加剖面(局部)

理论和实际地震资料的试验结果证明,样点空间调序加中值滤波是压制多次波的有效手段,它能够有效地消除多次波干扰,增加叠加剖面的可信程度,为其后续处理清除了障碍。

结 束 语

在 CMP 道集近炮点道上的多次波,以及层间微曲反射多次波,由于同有效波的动校正时差非常接近,其分布规律与有效波几乎相同,采用常见的数字处理方法,或者不能消除多次波,或者使有效波也同时受到损失,无法得到理想的处理效果。进行样点空间调序后,增大了多次波与有效波的差异,再利用中值滤波的稳健性,即使很强的多次波也能得到令人满意的处理效果。

本文提出的新的样点空间调序方式,克服了前人调序方式的两个缺点,扩大了样点空间调序方法的应用范围,使之更便于使用,效果也更好,

对理论模型数据和实际地震资料进行的试验表明,样点空间调序加中值滤波方法消除多

次波是行之有效的;不论是速度差异较大的全程多次波,还是速度很接近的微曲多次波都受到了很大程度的压制,叠加结果有十分明显的改善,比 $f-k$ 滤波的效果好得多。

另外,在 Bruland 等人的文章中提到样点调序具有可逆性,处理后的数据样点可以返回原先的位置。这当然不难做到,但没有任何实际意义。因为进行样点调序时,已假定各道的有效波幅值是相同的,果真如此,自然没必要调回来;若考虑到真实地震数据中存在着 AVO 现象,空间方向振幅是变化的,那么调序后这种缓慢的变化也成为快速的变化而受到与多次波同样的压制,经过改造后失真的振幅值放回原处是没有什么用处的。

工作中曾得到赵波高级工程师的帮助,杨星云、刘平兰工程师提供了某海区的实际地震资料和 $f-k$ 滤波结果,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 陆基孟.地震勘探原理,石油工业出版社,1993
- 2 Bruland L 等.压制地震噪声的新的可逆法.美国勘探地球物理学家学会第62届年会论文集,石油工业出版社,1993,464~467
- 3 徐常练.叠前中值滤波.石油地球物理勘探.1992,27(3):387~396

·消息·

西部地区第五次石油物探技术研讨会在乌鲁木齐市召开

9月15日至19日在乌鲁木齐市召开了西部地区第五次石油物探技术研讨会。参加会议的代表来自25个单位共96名。这次会议以野外地震处理方法研究、岩性和横向预测及地震综合解释和物探新技术为主题。大会共收到论文摘要66篇,从中选出54篇编入论文集,有45篇在会上发表。报告内容从不同的角度,不同的侧面针对物探技术发展中的难题进行了论述,既有理论方法,又有实际应用效果。尤其是叠后子波处理方法研究和浅层高分辨率技术的应用独具特色,具有一定的学术水平和应用价值。经专家评审组认真评审,评出一等奖3篇;二等奖6篇;三等奖7篇。

学术报告后分三个专题组进行研讨。第一组以野外地震处理方法研究为主;第二组以岩性和横向预测为主;第三组以地震综合解释和物探新技术为主。

会议聘请塔里木勘探开发指挥部梁狄刚总地质师和新疆地调处周德明总地质师分别对塔里木盆地和准噶尔盆地的勘探前景、物探现状及存在的问题作了专题报告。还特聘物探局陈祖传副总工程师、西安地质学院朱光明教授、石油大学李承楚教授、塔里木勘探开发指挥部熊翥副总工程师等专家在会上作了专题报告。另外还聘请两位专家作了63届 SEG 年会论文摘要的介绍,受到了与会代表的欢迎。

会议闭幕式上,物探专业委员会主任潘瑗讲了话,他对这次会议给予了高度评价,并希望在西部工作的有关单位团结协作,共同攻克难关,为加快西部油气发展做出贡献!

文碧生