

中外合作队 地震勘探技术汇编

石油物探科技情报协作组

一九八七年三月



内 部 发 行

编辑出版：石油部物探局科技情报所

印 刷：北京市东城区和平印刷厂

每册收工本费：2元

前 言

为了加快石油勘探步伐，提高我国石油勘探技术水平，自八〇年以来，新疆、大庆、胜利、四川、大港、渤海、江苏、玉门、长庆、青海、物探局等十几个单位，先后与美国GSI公司、西方地球物理公司、法国CGG公司以及 Geosource 公司签订了技术合作合同，以中外合作的形式，从国外引进先进设备，雇用外国公司技术专家，共同进行石油勘探。

为了更好地学习和推广合作队的先进经验，掌握复杂地区的地震勘探方法，石油物探科技情报协作组组织有关成员单位，对合作队工作进行了总结整理，编写了“中美合作勘探塔克拉玛干沙漠方法和取得的成果”等九篇文章（详见目录），于八六年十月在协作组西安会议上进行了交流，现由物探局科技情报所国内室组织修改、删节编辑成《中外合作队地震勘探技术汇编》一书。责任编辑潘金环。

为了突出重点，节省篇幅，主要阐述这些复杂地区的地震野外采集、资料处理、解释方法和成果，以及引进先进设备的性能、参数及使用方法。

在编辑出版中，难免有不妥之处，欢迎批评指正。

石油部物探局科技情报所

一九八七年三月

目 录

中美合作勘探塔克拉玛干沙漠方法和取得的成果.....	
.....物探局地调三处	(1)
新疆准噶尔盆地沙漠区勘探方法.....	彭伏龙、刘寿奎、梁遗贵 (17)
四川龙门山地区地震勘探工作.....	邬扬夫 (34)
贺兰山地区地震勘探工作.....	马 筠 (43)
松辽盆地高分辨率勘探介绍.....	袁敦秀 (50)
美国GSI公司在胜利油田的地震勘探工作.....	张绍舜、卢宗莱 (63)
江苏高邮地区地震勘探工作.....	文国平 (70)
渤海地区地震勘探工作.....	王云峰、邢振长 (78)
大港地区海滩地震队技术装备特点及施工方法.....	
.....大港物探公司情报室	(85)

中美合作勘探 塔克拉玛干沙漠方法和取得的成果

物探局地调三处

前言

中国石油公司与美国地球物理服务公司(GSI)签订的合作勘探塔里木盆地沙漠区的合同于八六年五月底结束,合同期三年。合同规定组建三个沙漠队(两个美国队—1830、1831,一个中国队—1832)。三年共完成69条测线,8030.40Km,158170炮,有33个队日超过100km,2000炮,合格率99.82%。库尔勒计算站使用TIMAP—I计算机,经中外人员的共同努力,反复试验、摸索、认真分析,确定了沙漠区资料处理流程和质量控制流程,机器的使用率高,处理的剖面质量达到了较好的水平。结合钻井资料对所获得的地震剖面作了综合解释,基本搞清了沙漠区(包括塔东地区)的地质结构;各沉积层的分布;划分了塔里木盆地的构造单元;发现了一批储油规模较大的圈闭;对塔东地区含油气远景作了综合评价;并及时对有利地区作了勘探部署的调整;提供了一批钻探井位。

通过合作勘探实践,掌握了沙漠区勘探队伍所需的装备,技术性能和使用方法。积累了沙漠区施工的野外采集方法、资料处理、后勤供应、生活管理、通讯联络、空中支持等方面的经验。

同时,全面搜集和分析了沙漠区水文地质和气象特征,为今后开发塔里木盆地提供了宝贵资料。详见《克里雅河以东沙漠区气候特征概述》、《塔克拉玛干沙漠东部水文地质概论》。

通过沙漠区野外工作的实践,全面系统地调查分析了沙漠区地貌、地表地质特征,通过小折射、微测井、试验资料,研究了潜水面变化和地下水(近地表)的水质变化规律和主要干扰波的类型特征,沙丘、沙层地震波传播规律,确定了简便适用的地震勘探的野外工作方法和沙漠区静校正方法。详见《塔里木沙漠区地震勘探方法初探》和《塔克拉玛干沙漠地震静校正方法研究》、《塔里木沙漠区野外静校正数据的采集和整理》等论文。

沙漠区地震勘探条件及其相应的装备

自然地理环境和地表地质条件

气候条件沙漠地区总的气候特点是温差大;风沙大;降雨量少。夏季最高气温70°C,冬季最低气温-30°C,沙漠中心年降雨量少于15mm,每年刮中、大风(速度 $V \geq 17.2\text{m/s}$)达85天以上。

地表地质条件

A、塔克拉玛干沙漠是风沙地貌,有复合新月形沙丘、复合型沙丘链和复合型纵向沙垄。总的特征是沙丘高大,最高250m,最长45km,给施工和车辆通行构成很大困难。

B.地下水的主要流向为由西南向东北，在沙漠区，尤其沙漠腹部潜水面为2 m左右，所以，在高大沙丘区，只要沿着沙丘谷地走向施工，6—9口3 m井组合，就能得好资料。在塔里木河南岸15km范围内，潜水面变化大（4—10m），地表为浮土，难以施工，不易得好资料。地下水的含F、盐碱、总硬度从西南向东北增大，给饮水造成困难。详见《塔克拉玛干沙漠东部水文地质概论》。

地震勘探的测线部署和装备

测线部署 测线方向应与沙丘走向一致，每条测线从东北向西南沿沙丘谷地布设。施工中推土机在前面开路，沿测线前进方向每隔30—50km建立一个营地。

沙漠队主要装备表 表1

类别	设备名称	数量	类别	设备名称	数量
车 辆	V ₁₂ 大型运输车	3	仪 器	96道DFS—V地震仪	1
	V ₁₀ 大型运输车	2		24道浅层折射仪	1
	V ₈₁₀₀₀ 型钻机	2		T ₂ 经纬仪	3
	V ₈ 水罐车	3		自动经纬仪	3
	巴格300型空气钻	4		MX—1502卫星定位仪	1
	巴格仪器车	1		TI—770计算机	1
	巴格工地运输车	6		TI—59计算机	2
	中MOL运输车	11		拉科斯特重力仪	3
	凡尼克（小MOL）车	8	营 房	炊 事 车	2
	D8K推土机	3		餐 车	1
	柴油发电机组车	1		洗 澡 车	2
	平板拖车（LoWboy）	一 套		6人住房车	2
电 台	150W电台	1		12人住房车	9
	100W电台	13		库 房 车	2
	40 W电台	10		办 公 车	2
	6 W电台	8		修 理 车	1
发电机	150KW发电机	3		水净化器拖车	1
	各种油水罐	12			

沙漠地区特殊的装备沙漠地区必须配备马力大、重量轻、越野能力强,适应沙漠区的地形和气候特点,方便灵活的野外施工及生活用的整套机动设备(GSI提供)。各沙漠队的装备见表1,装备技术参数见表2。

沙漠车辆主要技术参数表

表2

型 号 项目	V ₁₂	V ₁₀	V ₈	巴 格 BUGOY	中莫尔 BABYMOL	凡尼克 FENNEC	推土机 D8K
自重 (T)	23.7	15.6	9	5	4.2	2.8	31.4
最大载重 (T) 气缸数	26.3 12	24.6 10	18 8	5 6	4.2 6	2 4	6
马力 (匹)	432	269	188	120	120	67	300
车轮胎总体 尺寸 (mm)	29.5×15~ 28PLY 12850× 3500×4070	24×21 11350× 2947×3400	20×20 10850× 2545×3140	63×43×25 6300×3240 ×2590	18—20 6150× 23640× 2940	180 5260×2240 ×2500	履 带
耗柴油量/ 马力小时	162	159	159	162	162	162	
变速箱最大 时速km/h	前进 8 挡 倒退 4 挡 72	前进 9 挡 倒退 2 挡 53	前进 5 挡 倒退 1 挡 81	前进 5 挡 倒退 1 挡 35	前进 5 挡 倒退 1 挡 86	前进 5 挡 倒退 1 挡 90	15

试验工作和野外采集方法

试验工作

沙漠地震工作开展以来,先后共作了十个试验点,每个试验点分别作了干扰波调查,组合检波和组合爆炸试验.干扰波调查方法分为直角排列法;L型排列法;重叠排列法三种。详细情况见《塔里木沙漠地区地震勘探方法初探》。

噪音分析及野外采集方法的确定

噪音分析对野外试验采集的干扰波调查记录经现场处理,可以得到以下图件:

- (1) 同方向同因素记录道显示的干扰波调查追踪剖面,所有各道真振幅采用了时间转换系数的振幅显示方法。
- (2) 作以上剖面的F—K平面分析图。
- (3) 将上述剖面压缩(按生产排列道距50m, 5 道或 10 道显示一道)模拟成生产记录。

(4) 将(1)、(3)剖面作振幅控制、反褶积处理, 及振幅控制加反褶积处理后的显示剖面。

(5) 并抽(3)中记录若干道作功率谱。

重叠排列法线形 ($LY = 100m$) , 园形组合检波采用深井 (20m) , 浅井组合 ($5 \times 25m$) 调查干扰波所得24炮记录, 可以处理四种以上剖面 and 功率谱。有深井、线形检波组合; 深井园形检波组合; 浅井线形检波组合; 浅井园形检波组合的记录(剖面)及以上各记录道的功率谱。

分析以上干扰波调查追踪剖面及拟合的生产记录, $F-K$ 平面图和功率谱, 分析干扰波类型、特性, 研究压制其干扰波突出有效波的方法, 根据地震地质条件, 确定适合野外情况的生产因素。

野外采集方法根据两年来所作(1)~(7)个试验点所得的干扰波调查资料及地震地质条件, 所采用的生产因素, 在工区内从北向南可分为四类地区:

一类地区位于北部沙漠边缘区, 是属于地势平坦的沙质粘土区, 潜水面变化大, 最浅1~3m, 最深16m。该区主要干扰波类型及性质见表3:

试验点(1) 干扰波参数表 表3

类 型	$V(m/s)$	$f (Hz)$	$T (ms)$	$\lambda (m)$	$K(1/\lambda)$	强 度
地滚波 1	250	8	125	31	0.032	次 强
地滚波 2	270	8	125	34	0.030	较 强
地滚波 3	270	7	150	41	0.025	强
地滚波 4	450	8	130	59	0.017	弱
地滚波 5	450	5	200	90	0.011	弱
次生地滚波	250	8~10	80~100	25~33	0.03~0.04	极 弱

为了压制以上干扰, 采用三串 (3×12 个) 检波器排成平行四边形见图 1。

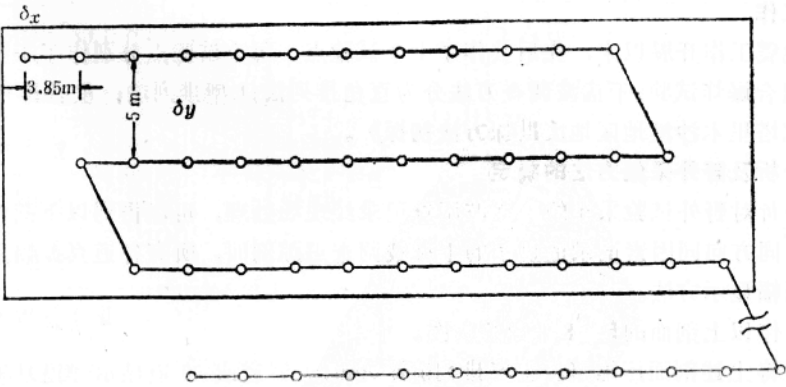


图 1 平行四边形检波器组合图

这种组合对 $\lambda = 41\text{m}$ 左右的地滚波有较强的压制，使之衰减18dB以上。

对3~5口3m井线性排列，井距11~6.5m与6口3m井矩形组合；9口3m井长方形组合爆炸记录的分析，可使干扰波衰减6~12dB，六口井矩形组合爆炸效果好，井组合和检波器组合总效应，可使 $\lambda = 48\text{m}$ 左右的干扰波衰减30dB以上，从而突出了有效波，为此确定一类地区生产因素：

接收24次复盖，道距50m，偏移距100m，96道，36个检波器平行四边形组合（如图1），组合距3.85m，排距5m。

激发6井线形或矩形组合爆炸，井距8m，井深2.5—3.0m，药量1—2kg。

仪器记录长8s，2ms采样，低截滤波12Hz，前放增益24dB。

以上生产因素，得到较好的野外记录和剖面（见图2）。

二类地区位于沙漠边缘北部和中南部，沙丘高度大于15m，呈蜂窝状和鱼鳞状。地形起伏剧烈，潜水面相对较深，干扰强，其干扰波类型和参数见表4。

试验点（2）干扰波参数表

表4

类 型	V (m/s)	f (Hz)	X (m)	$f_1 \sim f_2$ (Hz)	$\lambda_1 \sim \lambda_2$ (m)	强 度
地滚波 1	357	17	27	6—25	12—60	强
地滚波 2	485	17	29	5—31	10—100	次强
地滚波 3	700	18~21	36	13—26	21—57	较强
次生地滚波 1	650	14~18	18~36	36—48		弱
次生地滚波 2	160~200	8~17	10~25			弱
多次折射波	1000~1150	14~17	77	7—50	30—160	强

为了压制干扰波，主要是 $\lambda = 77\text{m}$ 的浅层折射，要采用大面积的（70m×37.5m）组合检波，要保持同一道组合检波器高差不大于7m，复盖次数由24次改为48次，信噪比可提高2倍。

该区采用的生产因素：

接收48次复盖，48个检波器平行四边形组合（同图1的形式，dX=3.85m，dY=5m，LX=53.9m，LY=15m），对高差大于7m地段面积适当缩小。

激发8口3m两排矩形组合爆炸（dX=12.5m，LY=25m，LX=50m），由于组合面积大，后来改为9口3m井线性组合，井距5—6m，药量1—2kg。所获得记录质量有所提高，加上静校正方法的改进，计算机处理的剖面得到了满意效果（见图2）。

三类地区位于高大沙丘区，测线沿沙丘谷地布设，潜水面1—3m，干扰波相对较弱，采用二类地区生产因素，记录质量好。

四类地区位于地震地质复杂区和高大沙丘的东北边缘地区。（4），（5）号试验点干扰波类型及参数见表5、表6。

EW500

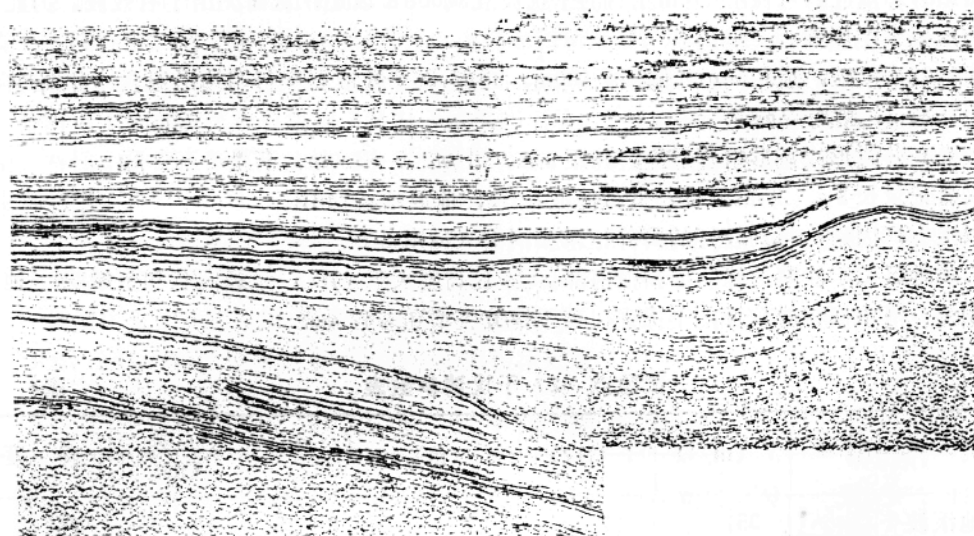


图2 EW—500测线剖面图

(4) 号点干扰波参数表

表5

类 型	V (m/s)	$f_1 - f_2$ (Hz)	f_0 (Hz)	$\lambda_1 - \lambda_2$ (m)	λ_0 (m)	强 度
折射波	1700—2100	10—40	16—20	40—200	100	最强
地滚波 1	285—445	5—14	9	30—80	65	强
地滚波 2	207	4—15	8	13—80	32	次强
次生地滚波	207—407	8—15	10	14—40	30	弱
次生折射波	1700	16			105	弱
多次折射波	1200		18		100	较强
散射干扰波	看上去规则, 因其它干扰无法统计					

低频地滚波采用组合检波或数字滤波来消除, 为了压制 $\lambda = 100\text{m}$ 左右的多次折射波, 只有采用沿排列方向较大组合井距和检波器组合基距。为压制次生干扰组合检波在纵向上也要有一定长度。四类地区工作方法:

接收排列道数、复盖次数不变, 偏移距 $100-200\text{m}$, 4×12 个检波器平行四边形组合, $dX = 4-4.5\text{m}$, $dy = 5-12.5\text{m}$, $Ly = 37.5\text{m}$, 仪器因素不变。

(6) 号点干扰波参数表

表6

类 型	V_0 (m/s)	f_1-f_2 (Hz)	f_2 (Hz)	$\lambda_1-\lambda_2$ (m)	λ_0 (m)	浅井相关 相对强度
折射波 1	1780—2200	10—50	11—28	36—200	100	强
折射波 2	3280	10—18	12	160—300	270	强
地滚波 1	234—458	4—14	6—10	15—110	30—60	较 强
地滚波 2	330—732	4—18	6—10	20—200	4—100	次 强
次生地滚波 1	234—458	7—13	8	20—50	40	在地滚波形带内 较 弱
次生地滚波 2	330—732	6—10	10	23—80	40	
次生折射波	1800	15			150	

激发10口3 m井,沿测线放炮, $dX=4.2-5$ m, $LX=42-50$ m,药量2 kg。

以上组合爆炸组合检波总效应,不仅使 $\lambda=100$ m折射波衰减13—18 dB,而且还使较强的地滚波衰减12—30 dB。在同一道高差大于7 m地段,检波器组合面积为 84×37.5 m。用以上施工方法野外能获得较好的记录。

在沙漠南区,地表浮土砾石层厚达200 m以上,低降速带变化大,干扰严重,能量衰减大,为此采用可控震源(见图3),生产因素:

接收48道排列,50 m道距,偏移距300 m,24次复盖,组合检波器为 9×9 个, $dX=10$ m,

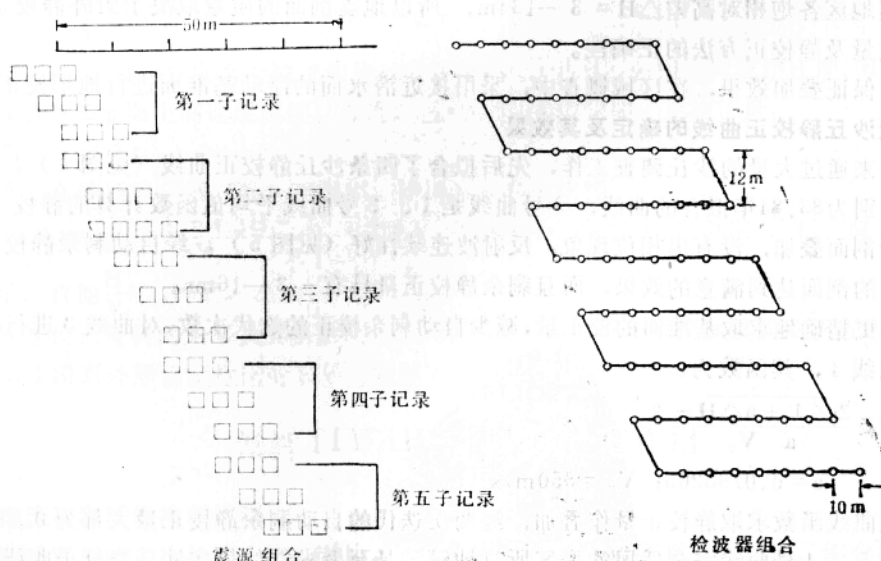


图3 震源组合, 检波器组合图

$dy = 12\text{m}$, $LX = 160\text{m}$, $LY = 96\text{m}$ 的平行四边形。

仪器因素: 扫描频率14—56Hz, 扫描长度16s, 记录长度6s, 4ms采样, SEGy格式。

震源三台, 震源距5m, 3×3 次相关为一个记录, 每5张子记录为50m点距大记录。

高大沙丘的东北边缘, 地表有芦苇、树木、沼泽、河流、潜水面变化大。干扰波类型及参数见表7。因噪音性质与(4)号试验点基本相同, 所以野外生产因素同于南区, 只有井数改为9口。草湖东部及尉犁施工, 野外工作方法同一类地区。

(5) 号点干扰波参数表

表7

类 型	$V(\text{m/s})$	f_1-f_2 (Hz)	f_0 (Hz)	$\lambda_1-\lambda_2$ (m)	λ_0 (m)	浅井相关 相对强度
折射波	1666—1925	10—45	11—24	40—200	110	最强
地滚波1	234—362	5—13	6—10	18—80	20—50	次强
地滚波2	362—528	5—15	8	23—110	50	较强
地滚波3	528—900	8—18	12	36—100	70	弱
次生地滚波	236—362	8—13	11	20—30	23	在地滚波 扇形带内
侧面干扰波	看上去有规则, 因其它干扰无法统计					

静校正方法的确定及其效果

沙漠地区各炮相对高差 $\Delta H = 3-134\text{m}$, 所以地震剖面的质量取决于野外静校正资料采集的质量及静校正方法的正确性。

为了保证叠加效果, 在区域概查中, 采用接近潜水面的浮动基准面进行地形校正。

最佳沙丘静校正曲线的确定及其效果

三年来通过大量的沙丘调查工作, 先后拟合了四条沙丘静校正曲线(见图4), 1、2号曲线分别为83、84年拟合的曲线, 3号曲线是1、2号曲线平均值函数计算的静校正量。用此进行剖面叠加, 没有串相位现象, 反射波连续性好(见图5), 经自动剩余静校正四次迭代得到的剖面达到满意的效果, 而且剩余静校正量只有 $-3-16\text{ms}$ 。

为了更精确地求取基准面的校正量, 减少自动剩余校正的迭代次数, 对曲线3进行修正, 拟合成曲线4, 其函数为:

$$\Delta t = \frac{2\sqrt{1+a\Delta H}-2}{a V_0}$$

式中 $a = 0.0793265$; $V_0 = 350\text{m/s}$

用此曲线函数求取静校正量作叠加, 经两次迭代的自动剩余静校正量大都为0, 个别为 $-5-+5$ 。4号曲线完全适用沙漠区所有地段, 是至今求取的最佳沙丘静校正曲线。

基准面静校正量的计算

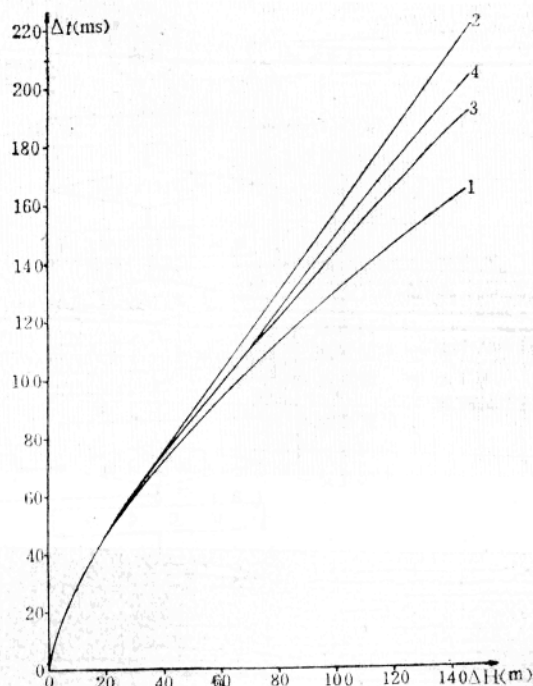


图4 四种沙丘静校正曲线比较

由于确定了最佳沙丘静校正曲线，室内计算基准面校正量的工作方法简化如下：

(1) 在地表平坦，低(降)速带较薄地段，可直接用以下公式计算：

$$\Delta t_{1i} = \frac{\Delta H_{0i}}{V_0} + \frac{H_{1i}}{V_1}; \Delta t_{2i} = \Delta t_{1i} - \Delta \tau$$

式中 Δt_{1i} 、 Δt_{2i} 分别为检波点和炮点校正量； V_0 、 ΔH_{0i} 分别为风化层速度、厚度， V_1 、 ΔH_{1i} 分别为基准面上高速层速度、厚度， $\Delta \tau$ 为炮井L值时间，总校正量：

$$\Delta Ti = -(\Delta t_{1i} + \Delta t_{2i})$$

(2) 在沙丘区，低(降)速带厚，使用沙丘静校正曲线

$$\Delta t = \frac{2\sqrt{1+a\Delta H}-2}{aV_0} \quad (\text{式中 } V_0 = 350\text{m/s}, a = 0.07932365) \text{ 求低(降)速带}$$

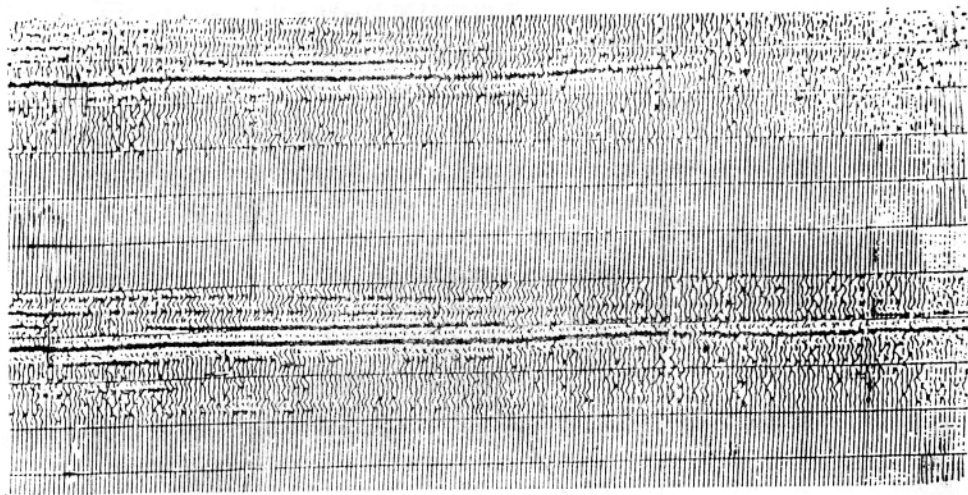
静校正量，再加 $\frac{H_1}{V_1}$ ，因此， $\Delta t_{1i} = \Delta t + \frac{H_{1i}}{V_1}$

关于野外静校正资料的采集及其参数的求取，详见《塔克拉玛干沙漠地震静校正方法研究》、《塔里木沙漠野外静校正数据的采集与整理》。

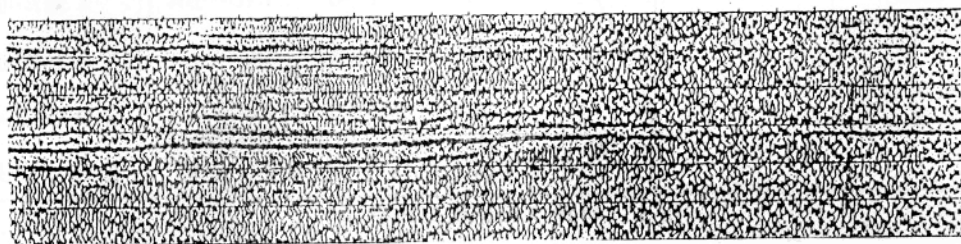
发挥TIMAP—Ⅱ现场处理作用

数字处理流程和质量控制流程

通过对资料的多次处理分析和对比，摸索出一套沙漠地震资料处理方法，结合沙漠区资料特点和TIMAP—Ⅰ计算机的处理功能(软件)，确定了常规的处理流程和基本应用参数



(a)



(b)

图5 (a) 用曲线3作剩余静校正处理的剖面

(b) 用曲线4作剩余静校正处理的剖面

(见图6)，并建立了现场处理质量流程(见图7)。

提高深层反射品质的处理方法

(1) 通过野外沙丘调查，经大量室内处理试验和综合对比确定了沙漠区静校正方法，求取沙漠区最佳静校正曲线，提高静校正精度。

(2) 根据噪音的频率，在迭前用带通滤波，内切除，反褶积，速度滤波，提高记录讯噪比。

(3) 对第一次速度分析自动剩余静校正剖面进行仔细分析，根据深层构造加密速度控制点，对第二次作出的速度谱(加自动剩余静校正)结合 RS_1/V_1 剖面认真解释，求出合适

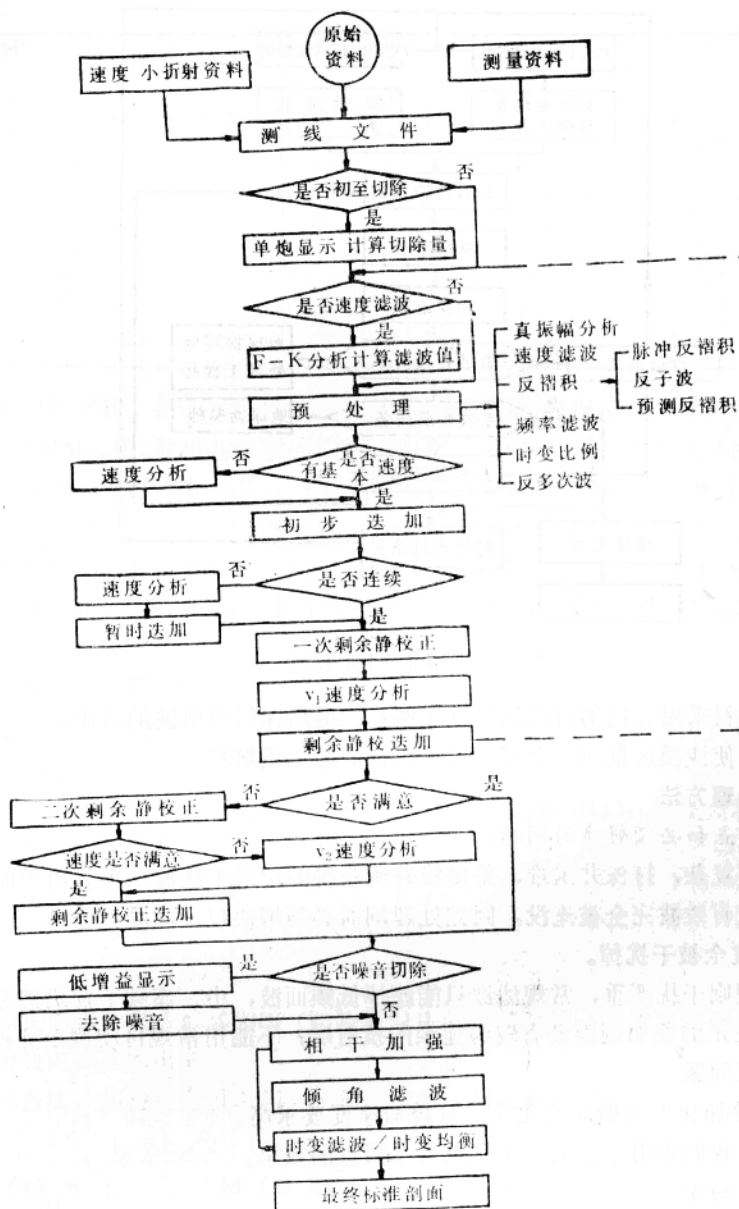


图6 TIMAP—Ⅱ常规处理流程图

的叠加速度。

(4) 为了提高频率, 选择合适的时变带通滤波, 根据剖面反射波频谱选择滤波参数, 浅层B (7、17、50、55Hz); 中层B (10、15、45、55Hz); 深层B (5、10、40、45Hz)。大多数剖面采用以上滤波参数, 较原剖面讯噪比有很大提高。

(5) 倾角滤波、相干加强、组合混波采用合适的参数使深层资料有很大的改善。并对

表8

切除量I (ms) 炮检距	904	1160	1680	2200	2520	2560	2910	3200
200	0	0	0	0				
300					0	0	0	0
4950	2600	2600	2100	1600	1400	1300	1200	

A. 初至切除参数: 是切去各种不同视速度的初至波, 仅保留某一相同视速度的初至波。

B. 填写NRM参数, 绘出共深度点CDP, 的最大偏移距道相对于零偏移距道初至波的最大校正量 $T_{\max}$, 则 $T_{\max} = T_x - T_0$, 任意偏移距道的校正量由计算机的程序按公式 $T_i = T_{\max} (X_i / X)$ 自动算出, X_i 和 X 分别为任意道的炮检距和最大炮检距。

C. 填写NBGI参数, 确定一个随折射界面弯曲的时窗, 时窗开始时间要比折射界面的 T_0 时间小些, 时窗长150~300ms, 模型的运算是沿着折射面进行的, 这实际上是把弯曲的折射面变成一个水平面。

(2) 剩余校正量的计算

同常规的自动剩余静校正一样, 炮点剩余静校正量是在所取时窗内共炮点道求和, 得函数 $SP(t)$ 。

把各炮所对应的共深度点求和并减去 $SP(t)$ 得模型道 $M(t)$, 模型道不包括共炮点道。 $M(t)$ 与 $SP(t)$ 互相关, 得到互相关函数:

$$SRS(\tau) = \sum_{t=t_0-1/2L}^{t_0+1/2L} M(t) \cdot SP(t-\tau)$$

得出相关曲线的最大峰值 $SRS(\tau_i)$ 所对应的 τ , 就是第一次求出的炮点校正值。相关曲线是用抛物线内插法求出的。

用同样方法, 共检波点道求和, 与模型道相关得函数:

$$RRS(\tau) = \sum_{t=t_0-L/2}^{t_0+L/2} M(t) RCV(t-\tau)$$

式中 t_0 为时窗中心时间; L 为时窗长度; $\tau = 4$ 或 8 ms。以上求出的炮点、检波点剩余校正量为第一次求取的剩余静校正值。用迭代方法经三至四次迭代可以达到满意的效果。

速度滤波

采用F-K滤波来消除与有效信号频率相近而视速度不同的干扰波, 滤波参数是根据干扰波噪音分析和单炮记录上求取的视速度来确定。

提高叠加速度的精度