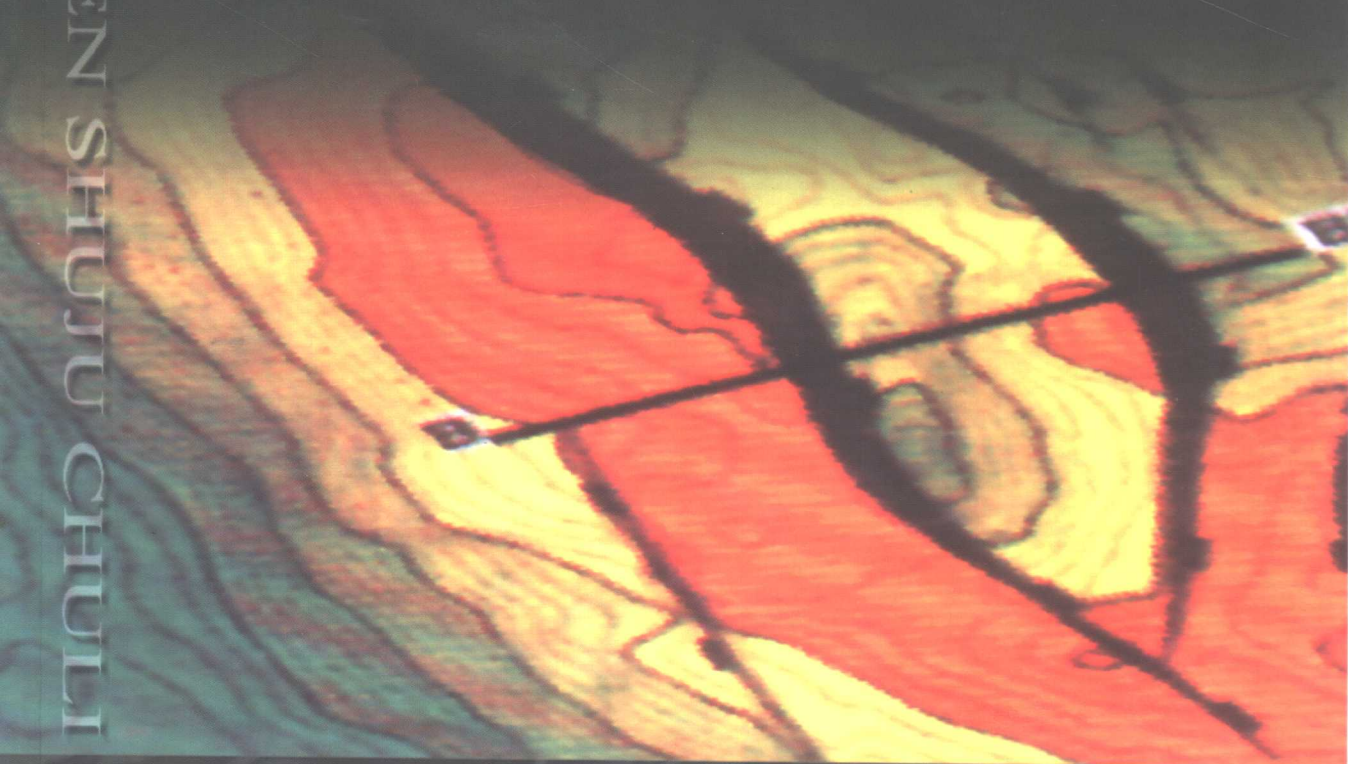


FUZA DIQU DIZHEN SHUJU CHULI SILU

复杂地区 地震数据处理

思路

熊翥 著



石油工业出版社

复杂地区地震数据处理思路

熊 翥 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在给出复杂地区地震数据处理的特点和主要问题的基础上,以三章篇幅分别讲述了静校正和信噪比、地震数据成像、提高分辨率的处理,最后以实例提炼出解决复杂地区地震数据处理问题的思路。全书的讨论均以定性的分析方式为主,辅以大量图幅,一般不涉及深奥的数学公式,因此,具有很强的解决问题的可操作性是本书最大的特点。

本书可供地震数据处理、解释人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂地区地震数据处理思路/熊翥著.

北京:石油工业出版社,2002.5

ISBN 7-5021-3716-5

I. 复…

II. 熊…

III. 复杂地层-地震数据-数据处理

IV. P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 014727 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 490 千字 印 1—1500

2002 年 5 月北京第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3716-5/TE·2716

定价:48.00 元

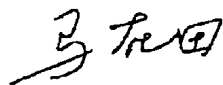
序 一

《复杂地区地震数据处理思路》一书是以作者的30年实际工作经历为基础写成的。作者是我国地震资料计算机处理工作的早期实践者之一,他对我国石油地震勘探数据处理的方法研究和实际应用做出过显著的贡献。作者从70年代至今参与我国东部和西部大油区大量的二维和三维地震资料处理,解决了大量的、日常的和特殊的实际处理中出现的问题,因而也积累了丰富的处理经验和解决实际问题的知识。要将不同地质条件和不同水平的地震数据处理成能够满足不同要求的地震剖面 and 地质图件,不但需要基础理论知识,还应当具有丰富的经验,特别要具有在前面二者基础上的分析具体问题的能力。同样的地震原始观测数据,不同水平的处理人员会得到完全不同的处理成果,其中的差异可以体现出处理人员的知识、经验和分析研究能力。这本书实际上是这三者的结合,但更着重的是处理实际资料的经验和分析实际问题的能力。理论知识的学习相对来说还是比较容易的;实际经验和分析能力就不那么容易了。它常常需要长时间的甚至是毕生的精力去充实。有的书是在他人书本的基础上编纂出来的,当然也有价值。而这本书则是自身多年实践和研究的体会,因此更具有知识性、新颖性和参考性。

中国的地质情况远较国外的地质条件复杂。当前我国地震勘探面临的实际问题都与这种复杂地质和地表条件有关。因此,外国的方法、理论和经验不足以完全解决中国的地震勘探问题。中国的问题要靠在中国工作的工程师和科学家来解决,这一点应当成为我们的共识,从各个方面创造一种环境支持那些决心为解决中国的各种难题且又有水平、有能力的踏实肯干的专家们。对那些缺乏科学素质、又缺乏科学道德的做假造假,甚至诋毁他人品质的人给予约束和揭露。为了国家的利益,纯洁队伍,为年青的地球物理专家队伍的 normal 成长创造条件。

感谢作者用自己的心血写成了一本好书。这本书的优点和价值前面已经谈及。读者或许对书中阐述的具体方法、技术和技巧有不同的见解,这也是正常的。它将随着今后实际工作的深入而完善和提高。

中国科学院院士



2001年12月25日

序 二

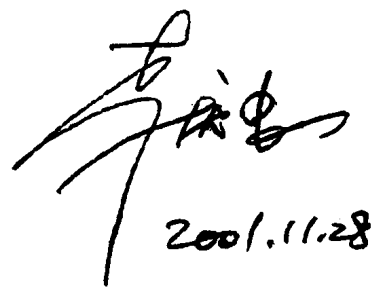
两年前熊翥先生编写了《复杂地区油气地球物理勘探技术(数据采集)》一书,总结了近年来关于复杂地区数据采集方面的系统经验。今年他又继续编写了这本《复杂地区地震数据处理思路》。我祝贺他关于复杂地区地震勘探经验总结的“姊妹篇”的出版,相信它是一本对我们的勘探工作有实际意义的参考书。

熊翥先生在工作中勤于思考,勤于资料积累,又勤于笔耕。这三勤是特别值得我学习的。在生产和研究工作中,我们经常积累了不少感性知识,但往往由于懒于写作而不能把积累起来的知识进一步消化、认识并再提高一步,这是十分遗憾的事情。

关于地震资料的处理工作,近年来也还不断有新技术、新方法和新模块出现,有时多到甚至使人眼花缭乱,的确需要有人对其工作做一些归纳总结,或加以评论。深感近年来我们的勘探主管部门对资料处理中的问题抓得很少,处理行业之间又互相缺乏交流。于是,出现了同一条剖面由不同的单位处理之后,其结果相差悬殊,使人大为困惑。所以本人曾多次呼吁:“地震资料处理工作是当前地震勘探整个链条中的一个薄弱环节”,需要我们大家来加以关心。

熊翥先生的这本书会给我们一定的帮助。虽然书中不可能对每个处理技术都详细地加以讨论,但是,正如熊翥先生自己所指出的:“正确的思路是十分重要的。”因此我愿意和大家一起来读这本书。

中国工程院院士



2001.11.28

前 言

笔者在完成《复杂地区油气地球物理勘探技术(数据采集)》一书的编写任务以后,就着手筹划这本书的编写工作。渴望对复杂地区油气地球物理勘探技术的数据采集、处理、解释有一个较全面的论述,形成一套技术系列书籍。并把笔者四十余年花在这个专业领域的精力与心血,以及培育出来的感情,以这种方式作一个自我满意的总结。

有关地震数据处理,笔者分别于1993年和1995年出版了两本书籍。第一本书比较系统地总结了我国当时地震数据处理技术功能及其应用的现状,在一定程度上反映了当时我国的地震数据处理技术水平。第二本书根据地震数据处理技术的特点,强调了把地震数据处理视为一项系统工程对待,在完成一项处理任务时,需要把各个模块有机地组织起来,形成一个处理流程,最终剖面效果是整个流程的效果,考虑问题时要进行系统思维,而不能一个模块一个模块分割地去讨论。本书是在这两本书的基础之上,针对复杂地区地震数据的特点所产生的数据处理中的一些特殊性,展开有针对性的讨论。根据笔者自身的体会,对复杂地区的地震数据处理,处理员必须有一个明确的处理思路,思路对了,处理成功率就会很高;即使处理效果不十分理想,但也不会发生剖面处理效果的误导现象。处理方法是多种多样的,而且发展很快,如果我们单纯地去讨论每一个处理方法的细节问题,是永远讨论不完的。如果有了正确的处理思路,我们就可以按照思路去选择方法,进行试验,确定处理方案和各种处理参数;或者根据思路的要求,去研究和发展的处理方法,进一步完善现有的处理系统功能。因此本书讨论的重点,是复杂地区地震数据处理的思路,而不是一个一个的处理方法(模块)。

鉴于上述情况,笔者在总结和编写这本书稿时,始终本着“学而思、思而信、信而行”的原则,力求实现“思与学的统一、知与行的统一、述与作的统一”。一个正确处理思路的产生,首先是来自于实践,并且要在实践中得到检验。因此,笔者首先是直接或间接地深入处理现场,向从事处理实际工作的人员学习,获得第一手资料和取得经验;然后,再进行深入思考,反复推证,把经验进行升华,归纳成适应各种类型数据的各种处理思路。在这样一个过程中,一方面要从实践中去总结经验,另一方面又要把这种经验归纳提高到理论上应有的高度,从而得到新的观点和新的发现,来指导今后的处理,这就是创新之处,也是这本书价值之所在,活力之所在。

全书共五章,在第一章绪论中介绍了解决复杂问题的一般方法与途径,简单归纳了数据采集技术的发展,以及复杂地区地表特征和复杂地区资料处理面临的主要问题。这四个问题均与资料处理有着紧密的联系,例如采集技术的发展,就会给资料处理带来新的问题,至少从方法上和应用技术上要去适应这种发展所产生的新的要求。第二章讨论静校正和信噪比两个问题。复杂地区往往地表条件十分复杂,静校正问题严重,数据信噪比低;做好静校正和压制噪声提高数据信噪比,是复杂地区地震数据处理中两个最主要的也是难度极大的问题。前两节讨论地表条件复杂给数据带来复杂特征的一些表现,指出复杂地区地震数据处理很多工作要在叠前数据上进行。后十节讨论静校正的处理思路和噪声压制的主要处理思路。在小结中对这两个问题的一些要点进行了简要的归纳。第三章讨论复杂地区地震数据成像的处理思路,包括叠加成像和偏移成像,时间域成像和深度域成像,并对高陡界面以及三维深度域成像从处

理思路进行了归纳,有些图件是引自各类杂志和公司的商业广告。同样在小结中对这一章的要点进行了扼要的归纳。第四章针对复杂地区地震数据的特点,如何开展提高分辨率处理展开了讨论,总的思路是在提高数据信噪比的基础上去提高分辨率。高信噪比是提高分辨率的基础,因此这一章的重点放在如何实现保真压噪,拓宽优势频带上,而不是单纯地去讨论反褶积方法。在小结中进一步强调了这种处理思路。第五章展示了一些处理实例,每一个实例资料特征和处理目标都不一样。我们在介绍这些处理实例时,尊重了处理员的实际作法,展示的是当时的实际处理效果。尽管这些方法现在看来有的可能不是最好的方法和方案,剖面处理效果有的也不是最佳状态,但处理思路是正确的,因此处理效果大多数是明显的。为此,笔者对最佳处理方案和一些更先进的处理方法,在文字叙述上进行了补充。删去了一些共同的问题,突出了每个处理实例的特点。这样,对于每一个处理实例来说可能是不全面的,但通读全部实例就可以全面地常握各种处理技巧,产生适应各类处理数据的正确处理思路。

笔者在编写本书的过程中以及平时的工作中,始终得到了两位地球物理勘探前辈的指导和鼓励。中国科学院院士、同济大学教授马在田先生曾多次鼓励我从实际数据处理中去总结经验,提高数据分析和处理能力。本书第五章就是在马院士的建议下进行编写的,有关偏移成像的处理思路是从马院士的著作中启蒙的。早在四川石油会战期间,马院士就曾给了我许多具体的指导。中国工程院院士李庆忠先生,不仅仅在复杂地区地震数据处理上给了我许多思路和启发,更重要的是他对实际问题的精辟分析方法和求实的精神,一直激励着我去探讨地震数据处理中的奥妙,总结出一些有益的思路。本书中的有些内容,是从他的著作中得到启发而产生的,或者是从他的演讲和交谈中得到了启示而完成的。这本书的问世,首先要十分感谢两位前辈的帮助。

石油地球物理勘探局副局长工程师凌云、王卫华先生是两位年富力强的地震数据处理专家,笔者平时在与他们的共事中曾得到了他们的帮助,书中有些内容直接或间接地引用了他们的研究成果。石油地球物理勘探局科技发展部赵恒主任、周长征副主任及其部门的同事,曾给予我很大的帮助,他们不仅给我提供了信息,而且也帮助我解决了一些实际问题,保证了书稿如期送出。这本书最后完稿期间,我在石油地球物理勘探局技术发展中心战略研究部办公时,蔡为芳副总工程师及科技办公室的文碧生、崔为民等先生给了我多方面的帮助,为我的工作提供了一个较好的空间和环境。另外石油地球物理勘探局数据处理中心、塔里木石油勘探开发指挥部、软件方法研究中心的王克斌、严峰、蔡加铭等为代表的一些同志给我提供了许多有兴趣的资料,在和他们的讨论中得到了许多有益的帮助。在这里我衷心地向上面提到的以及没有提到的凡是给了我帮助的同事们表示诚挚的感谢。

由于笔者水平和经历有限,再加上最近一两年把一些时间花在了开发地震技术课题上,深感对书中罗列的一些问题缺乏系统的整理和推敲,缺点和错误不可避免,殷切期望读者的批评和指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 解决复杂问题的一般方法与途径.....	(1)
第二节 复杂地区地表特征及其分类.....	(2)
第三节 西北地区是典型的地震勘探复杂地区.....	(5)
第四节 地震数据采集技术的发展.....	(7)
第五节 地震勘探技术的创新与发展.....	(10)
第六节 复杂地区地震数据处理面临的问题.....	(15)
第二章 复杂地区地震数据静校正处理和提高信噪比处理的主要思路	(17)
第一节 复杂地区地震数据的部分记录特征(一).....	(17)
第二节 要高度重视数据的叠前处理.....	(29)
第三节 静校正是一项关键技术.....	(31)
第四节 静校正处理的思路.....	(35)
第五节 近地表模型的调查与建立.....	(41)
第六节 静校正方法和静校正量的分析.....	(46)
第七节 几种静校正方法的简易讨论.....	(49)
第八节 原始数据特征与品质分析.....	(63)
第九节 提高数据信噪比处理.....	(67)
第十节 叠前压噪的处理思路.....	(70)
第十一节 几种叠前压噪方法的简单介绍.....	(76)
第十二节 数据处理流程及其思考.....	(89)
第十三节 小结.....	(94)
附录 与静校正有关的一些基本计算公式.....	(96)
第三章 复杂地区地震数据成像的处理思路	(101)
第一节 复杂地区地震数据的部分记录特征(二).....	(102)
第二节 共中心点(CMP)叠加成像.....	(112)
第三节 时间域偏移成像.....	(125)
第四节 深度域偏移成像.....	(138)
第五节 合理地应用好偏移归位技术.....	(142)
第六节 偏移技术的发展.....	(147)
第七节 陡界面偏移成像的处理思路.....	(153)
第八节 复杂构造三维深度域偏移成像的处理思路.....	(161)
第九节 基于模型的成像处理思路.....	(166)
第十节 复杂地区数据成像处理的基本流程.....	(169)
第十一节 陆上数据深度偏移处理实例.....	(173)
第十二节 小结.....	(190)

第四章 复杂地区地震数据提高分辨率处理	(193)
第一节 复杂地区地震数据的分辨率.....	(193)
第二节 影响分辨率的因素.....	(195)
第三节 地震波的衰减机制.....	(199)
第四节 信噪比、分辨率与保真度.....	(207)
第五节 提高分辨率处理方法.....	(212)
第六节 分频处理的思路.....	(219)
第七节 小波变换与提高分辨率处理.....	(224)
第八节 分形数值分析在地震信号分析中的应用.....	(229)
第九节 提高分辨率处理流程.....	(232)
第十节 三维数据提高分辨率处理.....	(237)
第十一节 小结.....	(240)
第五章 处理实例	(241)
第一节 实例一:轮南及其围斜部资料处理.....	(241)
第二节 实例二:库车坳陷老资料重新处理.....	(250)
第三节 实例三:克拉苏山地三维资料处理.....	(255)
第四节 实例四:塔中深层资料处理.....	(261)
第五节 实例五:准噶尔盆地西北缘戈壁滩、腹部沙漠区及沙漠边缘区提高分辨率资料处理.....	(265)
第六节 实例六:松辽盆地提高分辨率资料处理.....	(269)
第七节 实例七:玛扎塔克地区二维资料处理.....	(273)
第八节 实例八:柴达木盆地地震数据处理.....	(277)
第九节 实例九:P1井西地区地震数据处理.....	(287)
第十节 实例十:东南隆起DH地区提高分辨率数据处理.....	(293)
后记	(297)
参考文献	(299)

第一章 绪 论

随着勘探程度的提高,复杂地区和复杂油气藏的油气勘探,已成为地球物理勘探工作者的主要目标。复杂地区主要指复杂的地表条件,但是地表复杂往往地下也异常复杂,例如陡峭的山地往往与地下逆掩推覆带伴生;后者主要指地下,同样也往往无法排除某些地面和地表的不利因素,例如一个老油田上的沙泥岩薄互层、复杂断块、深层油气藏的勘探,地面有很多的油田设施、油气管线和动力装置,给勘探带来了很大的困难。

复杂地区和复杂油气藏的油气勘探,是一项非常复杂的系统工程,必须是多工种的协同作战。地震勘探义不容辞地成为最主要的勘探方法,数据采集、处理、解释融为一体是地震勘探方法有别于简单地区的地震勘探工作方法的最大特点。本书主要讨论的是复杂地区的地震勘探数据处理,第二章将围绕静校正和信噪比两个重要议题展开较详细的讨论;第三章讨论成像,包括叠加成像和偏移成像;第四章将以分辨率作为主题,讨论与此有关的一些处理问题;第五章将给出一些处理成功的实例,限于资料拥有者的权益,我们不能从地质上、油气显示上作过多的解释,但我们相信,它将从资料处理的角度上给读者一些有益的启迪。众所周知,巧媳妇难做无米之炊,任何一次成功的处理,都蕴藏着数据采集的贡献。因此,有关采集的一些问题,在参考文献[3]中又没有明显指出的,我都安排在绪论中给以介绍,这将给后面几章的讨论带来较大的方便。

第一节 解决复杂问题的一般方法与途径

前面已经提到,复杂地区的油气勘探是一项非常复杂的系统工程,面对这样一个复杂的问题,如何着手解决,一般的方法是:

(1)分割它。对极为复杂的对象进行条块分割,把一个十分庞杂的、令人望而却步和望而生畏的问题,通过分割成若干部分,使问题一目了然。具体分割时可按学科、按专业、按类型、按部位,或按其它标准进行。我们平时按采集、处理、解释三个环节来分析问题,寻找问题的结症,求得解决问题的方法,就是一个应用实例。

(2)简化它。在研究因果关系或某些规律时,简化前提条件,使复杂多变的条件“理想化”。例如,地下介质十分复杂,但我们有水平层状均匀介质假设,使时距曲线方程可以用双曲线方程来表示,从而产生了动校正、叠加的思路。使一个十分复杂的问题(射线轨迹),变得十分理想,形成了解决问题的方法和思路。

(3)模拟它。对一个复杂的问题进行模拟,本身就是一个十分复杂的问题,但模拟却是解决复杂问题的一个重要手段。模拟有物理模拟和数学模拟,物理模拟费时、费事、费钱,但问题直观,结论可靠;数字模拟相对于物理模拟而言省时、省事、省钱,但数学模拟首先要把物理模型变为数字模型,然后才能实现数字模拟。用模拟的方法去研究问题,其本身可分为两个研究发展阶段:即模式化研究阶段和发展演化模拟阶段。模式化研究是确定研究对象所具有的某种标准形式,然后人们参照这标准形式去认识问题或解决问题。例如沉积相研究就曾建立不少模式(河流相、三角洲相……),我们通过这些模式去认识沉积环境和沉积特征;发展演化模拟研究

比模式化研究更具体、更具有针对性,它体现人们对事物的静态和动态研究的美好结合,同时也体现了人们对事物的系统思维和定量思维的完善结合,是研究和解决复杂问题的高级形式。

面对一个复杂的问题,有了解决问题的方法途径而不感到束手无策时,正确的思维方法就显得十分重要。当代思维的发展有两个重大的趋向:一是系统思维,二是定量思维。系统思维是在研究了系统内外的关系,系统内的结构,系统外的能量、物质与信息的运动后,给出一大串不同的钥匙,来开启系统这把锁。也就是说,通过系统思维来打开研究复杂问题“禁闭”的大门,把人们引向正确的思路。我在参考文献[2]中,强调了系统思维,其目的是要求我们在地震数据处理过程中,要形成一个正确的处理流程。定量思维是人类思维的高级形式,从方法上来讲,定量的方法比定性的方法更科学、更可靠和更令人信服,这也就是我们反复强调对野外试验资料要作定量分析的主要原因。有时候,我们虽然采用了定量的方法,并且得出了定量的结果,但我们对其结果也只能半定量地去评价和认识,这种情况说明,我们的对象是非常复杂的模糊集合。例如我们在野外采集试验中,药量与信号的振幅,甚至和信号的频谱有一些定量的计算方法,但对其结果也只能作半定量甚至定性的分析。

第二节 复杂地区地表特征及其分类

复杂地区,是指从事地球物理勘探野外作业地表条件十分艰苦的地区,诸如大沙漠腹地悬崖峭壁的山地,包含塬、梁、坡、峁、沟五种类型的黄土覆盖区,戈壁、砾石覆盖区,沼泽及水陆交替的海滩地带,老地层出露及喀斯特地貌,盐碱滩地等。在这些地区工作除了劳动强度大、气候条件恶劣、交通运输极端困难外,对采集方法、技术、装备等都会提出新的要求,是高新技术、高投入、高风险的勘探作业。复杂地区采集的数据,由于受多种因素的影响,信噪比很低,资料十分复杂,数据处理难度很大。因此,也有人认为复杂地区就是资料十分复杂的作业地区,这种概念也不是没有道理的。

一、大沙漠腹地

从当前技术发展来看,一般的沙漠已不是作业的困难区。野外作业队有小沙、大沙之分,我这里主要指的是大沙作业队。复杂因素主要指下列几个方面:

- (1)沙子厚度大,沙子覆盖厚度大于 50m,潜水面很深,在沙子覆盖厚度以下。
- (2)金字塔沙丘、穹状沙丘和蜂窝状沙丘,走向性差,相对高差 50~100m。
- (3)走向性强、相对高差大(50~250m)的沙丘链、沙垄和沙丘复合体。
- (4)流动沙丘,塔克拉玛干沙漠流动沙丘占沙漠的总面积 85%左右。
- (5)没有一个稳定的潜水面(塔克拉玛干沙漠有一个稳定的潜水面)。

二、山地

近几年来,山地的勘探工作量逐年递增。我国西北地区的山地与我国西南及南方地区的一些山地就地震工作条件而言,有其明显不同的特点。西北地区山高无水、无植被,风化程度较高,攀登极其困难;西南及南方大多数地区,一般山高水也高,有植被,除水蚀外,风化程度较低。因此,在同样海拔、同样高差的条件下,在我国南方及西南地区部署地震工作,实施起来可能困难不大,但在西北地区却会遇到很大的困难,成为极其复杂的工作地区。一般来说,可用下列条件衡量:

- (1)平均海拔在 3000m 以上,往往伴随的是气候恶劣,可施工的季节极短。
- (2)在一个排列最大炮检距范围内,相对高差在 200m 以上。
- (3)地形起伏剧烈,沟谷纵横,在一个排列最大炮检距范围内,地形起伏平滑线超过自身二分之一波长。
- (4)山体陡峭,表层地层耸立,倾角大于 45°。
- (5)老地层出露地表,地表速度在 2500m/s 以上,不存在低降速带。
- (6)地表岩性变化频繁,低降速带厚度变化产生的静校正量差或低降速带速度横向变化产生的静校正量差,在一个排列的最大炮检距范围内,超过最浅目的层的四分之一周期。
- (7)没有一个稳定的低降速带界面,一二百米的小折射排列难以铺设。

三、黄土覆盖区

陕甘宁盆地的南部为 $11 \times 10^4 \text{km}^2$ 的黄土所覆盖,黄土厚达 150~200m,在面积广阔的黄土高原上,发育着泾河、洛河、延河和无定河四大水系,将黄土高原纵横切割,加上长期的风化剥蚀,形成了非常复杂、奇特的地貌,成为实施地震工作又一大类型的复杂地区。塬、梁、坡、峁、沟的交替出现,给地震工作增添了极大的困难。

(1)黄土速度很低,干燥黄土层速度为 350~500m/s,厚度为 10~30m;潮湿黄土的层速度为 800~1000m/s,厚度变化很大,其底界受潜水面控制;充水黄土层速度为 1700~1800m/s,顶界起伏大,底界即为黄土底,埋深一般在 150~200m 之间;上第三系红土层速度为 2000~2200m/s,厚度在 100m 左右;上第三系底砂岩和白垩系上部,层速度约为 3000m/s。从以上数据可以看出,存在低降速带,速度很低,从上至下明显分层,界面深度及形态受潜水面控制,潜水面埋藏较深,空间变化又大,使问题变得十分复杂。

(2)黄土分原生与次生两种,原生黄土致密;次生黄土经过再次搬运,结构极为疏松。当它们在排列上交替出现时,使地震信号特征变得十分复杂难辨。

(3)均塬交替出现,其地形变得十分复杂,致使相邻检波点高差可达 50m 以上。当遇上冲沟时,沟的宽度可达 2~3 个道距,高差可达 100m 以上,时距曲线严重失真。

(4)潜水面埋藏深,横向变化大;纵向上,在巨厚的黄土层中,速度随深度增加而增加,具有连续介质特征;但遇上水以后,速度迅速增高,具有明显的分层特点,给表层结构调查,建立表层模型带来了极大的困难。

表 1-2-1 所示数据是六盘山地区实际数据的统计结果,从表中数据所示,表层模型参数横向变化范围是很大的。由于速度很低,在六盘山地区干燥黄土的速度低限可达到 250m/s,厚度的微小变化,都有可能引起较大的静校正量变化;另外,工区内测线最大高差达到 750m,相邻检波点最大高差达到 41m,可见测区内地表起伏十分剧烈。所有这些,无疑给静校正工作带来了困难。

表 1-2-1 表层模型变化情况描述表^①

项 目	变 化 范 围	最 大 差
低降速带平均速度	300~2300m/s	2000m/s
低降速带厚度	1.1~207.8m	206.7m
高速层顶界面高程	1456.1~1701.1m	245m

^①据冯泽元,1999 年。

四、戈壁、砾石覆盖区

戈壁、砾石覆盖区,一般都为山前地带,虽然地形起伏不大,但给钻井带来极大的困难。巨厚的砾石层,严重影响地震波能量的下传,同时产生多种多样的干扰波,致使有效信号能量极弱,噪声能量增强。另外一个特点是,由于处于山前地带,潜水面深度极不稳定且一般埋藏较深,致使低降速带的形态及速度变化频繁而剧烈,给建立表层模型带来极大的困难。

实践证明,坑炮的激发效果是不好的。在这种地区工作,一般可采用大吨位的可控震源进行工作,或者结合大数量的浅井组合。由于钻具的关系,单深井激发很难用于生产。同时要打穿砾石层,往往也是办不到的。

五、沼泽及水陆交替的海滩地带

这些地区的复杂性主要表现在野外作业实施的难度与复杂程度。一是运载工具;二是检波器埋置;三是震源类型。

(1)沼泽及水陆交替的海滩地带,淤泥很深,杂草丛生,芦苇成片生长,仪器如何进入施工现场,固定在什么地方,实施起来困难很多。

(2)选用什么类型的检波器,如何使检波器与周围媒介有良好的耦合,检波器组合个数由于埋置条件恶劣必然受其限制,通过什么方式来取代检波器组合效应。

(3)采用什么样的震源,保证激发能量下传,淤泥很深,水又浅,如果使用打井炸药激发震源,井深必需进入地层;如果采用其它类型震源,能量必须穿过淤泥传到地下。

六、地层出露区及喀斯特地貌

由于强烈褶皱、断裂、逆掩推覆等构造运动,老地层出露到地表,经长期风化剥蚀,造成现今地貌,给地震作业实施带来了困难:

(1)岩石直接出露地表,风化层极薄,地表速度很高,不存在低降速带。

(2)岩石出露,地表缺水,激发条件差;检波器埋置很难保证耦合良好。

(3)不同年代,不同岩性地层出露,风化程度差异甚大,造成表层速度结构模型十分复杂,横向变化剧烈,一个排列范围内将会遇到各种各样的情况,使激发接收因素十分复杂。

(4)出露地层往往有较大的倾角,使波场十分复杂。

如果是碳酸盐岩出露地表,往往出现喀斯特地貌,溶洞、地下潜河等地质现象频繁地出现,给地震勘探作业带来了极大的困难。

七、盐碱滩地

大面积的盐碱滩地,往往在地表形成一层厚度不小的硬碱壳,往下是一层疏松的泥土,检波器埋置只能埋在硬碱壳上(厚度太大,不能挖穿)。这种结构对地震信号接收极为不利,一是疏松层使信号能量产生较大的衰减;二是射线在疏松层与硬碱壳的界面上产生弯曲;三是硬碱壳本身由于爆裂等原因产生较大的干扰波,当震源进行激发时,硬碱壳的爆裂更加严重,干扰更加强烈。除了震动会产生爆裂外,温度的改变(热胀冷缩)也会产生爆裂。由爆裂所产生的声音,平时都可以听到。有的盐碱滩地,由于水较多,形成一片厚度不等的软碱地,软碱地的底面形状极不规则,界面参数很难得到,给地震作业带来了很大的困难。

以上我们分类型进行了简单的描述,下面我们简单归纳一下造成复杂的主要因素是:

- (1) 缺水、潜水面非常深,只能在十分干燥的介质中进行激发,效果很差。
- (2) 存在低降速带,但横向变化十分剧烈,在排列最大炮检距长度范围内,低降速带的厚度和速度忽高忽低,经平滑后的起伏在一个波长以上。
- (3) 地形起伏频繁,地形平滑线的波长远小于排列最大炮检距的两倍;由于高差引起的静校正量差,在一个排列最大炮检距范围内,远超过最浅目的层反射信号周期的四分之一。
- (4) 在一个排列的最大炮检距范围内,相对高差在 200m 以上。
- (5) 老地层直接出露地表,由于地层年代,岩性不同,风化程度不一,横向变化十分剧烈。
- (6) 表层地层很陡,倾角大于 45° 。
- (7) 碳酸盐岩出露的喀斯特地貌。
- (8) 常规运载工具无法到达的地方。

第三节 西北地区是典型的地震勘探复杂地区

我国西北地区大小盆地近百个,有着丰富的油气资源和众多的含油气层系,但它地表条件恶劣、地下构造复杂、气候变化无常、交通十分困难,是非常典型的复杂地区油气勘探的实例^[2]。正如著名地质家王涛先生所说,在这里进行油气勘探遇到了很多世界级的难题,既是世纪之战,又是科技之战。因此,我们必须^[8]:

- (1) 坚定油气勘探的信念,有坚韧不拔的精神,去迎接各种严峻的挑战;
- (2) 坚持科学的勘探程序,从地质理论研究到工程技术,来加快油气勘探的进程;
- (3) 努力提高勘探成效,是提高勘探效益的最关键的因素。

无论从科学的勘探程序而言,还是从提高勘探成效来讲,物探工作都必须摆到首位。著名地质家王涛曾说过:“物探是地质家的眼睛,钻井是地质家的手”,眼睛不好,又怎么能找到油呢?这是一个十分浅显的道理。在复杂地区的油气勘探,物探先行已是我们油气勘探工作者的共识。

物探先行,不能简单地理解为一个勘探部署问题,也不能简单认为仅仅是领导层决策机构的事,这是问题的一个方面,也许是重要的一面。但另一方面,就物探工作本身而言,必须解决好两方面的问题:一是思想方法认识上的问题;二是具体技术上的各种难题怎样解决,如何去保证能实现“先行”。下面我们先讨论前者。

(1) 首先要“知难”。在复杂地区开展物探工作,有很多难题,因此必须有一种“知难而进”的精神,“知难而进”指的是一种在诸多困难面前毫不气馁、决不后退、奋发进取、知难而上的精神状态。另一方面,知难就是要把难题、难点、难处一个个找准找全,把“难”字说得清清楚楚。“知”者,“智”也,它不仅是知晓、了解的意思,还应具有认识、辨别、省悟和见解的含义。只有把“难”字说透了,我们才能找到解决问题的办法。

(2) 要“有所为”和“有所不为”。就物探专业领域内,它有很多难题;到了一个地区,结合地区的具体特点,又会出现一些问题。那么做什么,不做什么,或者先做什么,后做什么,是需要仔细思考的。我们必须按照“有所为”和“有所不为”的辩证统一思想,去决策上述问题。我们只能在某些方面有所不为,才能在另一些方面有所作为;同样,要想在某些方面有所作为,就应当在另一些方面有所不为。例如,高分辨率地震一直是我们的追求目标,不管是什么地区都是迫切需要的,但对于资料信噪比特低的工作地区,首要的任务是要提高数据的信噪比,把资料得到手,而不能盲目地去追求高分辨率。

(3)技术运用要相互默契,要明确“不通”则“痛”。中医有个古老的理论,叫“不通则痛”。具体解释是:气要通,血要通;气滞则痛,血淤则痛。所以用药也好,针灸也好,目的都是为了达到一个“通”字。由此想到的是,我们在一个非常复杂的地区开展物探工作,免不得要运用各种各样的技术,它们之间是否畅通,如果不通,就有可能产生负面效应,出现“痛”的现象。我们经常听说,某某地区的资料通过处理出现了假构造。这就是技术运用不当所造成的,是负面效应,是“痛”的表现。我们提倡运用多种技术,进行综合研究,来解决某一个具体问题,但在技术运用上,一定要做到相互默契。

(4)要有所创新。99℃的热水再提高1℃,水就开了。开水与热水的本质区别就是这1℃之差。有些事情之所以会有天壤之别,往往就因为这微不足道的“1℃”。有些问题我们久攻不下,有时就是只差这最后一步,被这最后一步卡住。如果我们就此下来,那就会全军覆没,真正是一举不得,前功尽弃。那么,如何攻下这最后的一步,关键是要有所创新。在本章第五节我们列举了十四个方面,其实无论那一个方面我们都做了大量的工作,关键就是要突破最后一步,要有思维上的创新,方法上的创新,技术上的创新,工艺上的创新等等,但首先是要有思维上的创新,来激发创新的活力。

(5)要对“难”作充分的估计。“多易必多难”是我国古代思想家老子的一句话,这里面充满了辩证的思想。有的事情,看得很容易,必定要碰到很多困难;有的事情做得很简单,必定要遭遇到许多波折。有的工作,难度极大,能干得圆满成功;有的工作,举手之劳,可能办得一塌糊涂。其中天壤之别,就在于主体的作用。把事情谋划得很难,可能难也不难;把事情视为容易,可能易也不易。我们平时说,对困难要有充分的估计,其目的就是要在思想上有一个充分的准备,求得解决困难的办法。我们把复杂地区油气勘探的困难估计得充分一些,我们解决问题的能力和方法也就会多一些,这是何乐而不为呢。

上面我们从思想认识和思维方法上谈了五点认识。要确保物探先行,还必须在生产技术管理的角度上有强有力的保证措施。例如:

(1)要有一个科学的部署设计方案。从部署上必需有一个整体的观念,从盆地入手或者是从区带入手,从长规划。如果一时在资金、人力及其它物力不能及时到位的情况下,可以全面部署,分年度实施。我们可以根据整体部署方案,一边生产,一边提前作好下一年度及今后多年的各方面的准备,特别是技术上的准备,保证我们的工作顺利进行。只有这样,才能加快勘探进程,提高勘探成效,保证勘探效益。

(2)扎扎实实地做好各项基础工作。任何一项工作,做好基础工作都是十分重要的。物探工作的基础工作,包括一些基础数据的登录整理,是否要建立数据库;野外施工的基本操作程序和工作质量;数据处理的品质、解释工作程序和成果的规范;图件制作的质量等。例如,在塔里木盆地进行物探工作,从一开始我们就逐步建立和逐步完善全盆地的测量成果数据库,潜水面深度数据库,浮动基准面高程数据库、野外静校正量数据库,以及叠加速度数据库等。这些数据库的建立,为塔里木盆地油气勘探物探先行起到了保证作用。

(3)要充分做好多工种、多学科协同作战,提高综合勘探水平。例如,为了掌握全盆地的区域特征及盆地内部特征,必需有一定数量的区域骨干大剖面。在这些大剖面上,可以进行地质、重磁力、电法、地震等多工种的工作,如果有井的话,还应综合钻井数据、测井数据等资料,形成区域骨干地质大剖面。为了确保物探资料得到充分的运用,必须与地质、测井、钻井、采油工程等多学科的知识 and 资料进行有机的结合。只有真正做到了良性结合,才能把物探先行的作用充分体现出来,才能感觉到物探先行在加快油气勘探进程、提高油气勘探成效中的重要作

用和地位。

(4)要组织好一些关键技术的攻关并有所突破。复杂地区开展地震工作,静校正、信噪比、成像在多数地区成为阻碍地震勘探工作效果的瓶颈,成了十分关键的技术。要保证物探先行,就必需在这些关键技术取得突破,否则就无法实现先行。复杂地区物探技术的主攻方向是,围绕低信噪比地区的地震勘探工作方法,包括采集、处理、解释各个环节,静校正、压噪、成像以及速度分析方法就成为我们工作的热门话题。

我国西北地区集成了油气勘探中各种各样的难点,是复杂地区油气勘探的典型实例。近几年来,我们在这个地区的油气勘探作业活动中,取得了十分令人瞩目的成果,形成了油气勘探的大好局面。当前制约勘探技术发展的主要因素:一是与其它地区相比,工作量相对较少,这与复杂地区工作量应相对多一些是不相吻合的;二是有些关键技术不过关,尽管我们取得了很好的攻关效果,但离需求还有一段距离;三是多学科综合作战能力不强,需要从机构体制方面,生产技术管理方面加以改进。总之,在我国西北地区进行油气勘探,对于物探技术发展而言,既是机遇,又是挑战。我们一定要不失时机,加大科技工作的力度,充分发挥物探先行的作用。

第四节 地震数据采集技术的发展

提高数据信噪比,重点应放在野外数据采集阶段。这几年来,我们一直是这样做的,工作极有成效。原来资料空白区,现在能得到一些资料,原来资料信噪比极低的地区,现在信噪比得到提高,剖面效果有明显的改善。我们探索出来的经验是:

(1)选线选点,对“禁区”、“禁地”能躲就躲,能避就避,选择最好的激发和接收条件。

(2)因地制宜地选用震源类型,强化激发参数,包括井深、药量、岩性等。

(3)山前加密炮点,增加山体覆盖次数,提高山体顶部数据品质,或者采用“隔山炮”技术,弥补山体下方资料的空白地段。

(4)扩大组合面积,放宽组内高差限定,野外(横向)室内(纵向)结合进行。

(5)采用长排列接收,室内进行选择叠加,避开射线盲区,确保有效叠加。

(6)采用特殊的观测方式,例如宽线观测,压制干扰,提高数据的信噪比。

过去,我们习惯于在地形图上部署测线。到了复杂地区,这样做是行不通的。我们必需进行实地踏勘,结合地形图、地理信息图、遥感资料,以选择工区范围内最好的激发条件为主,兼顾接收条件挑选,来确定测线位置,并绘制地质露头剖面 and 测线走廊图(图 1-4-1)。测线可以弯曲,测网密度可以不均匀,但一定要实测每一个炮点和接收点,便于计算机进行各种校正处理。我们应该是在得好资料的前提下,兼顾测网的均匀铺设和测线的弯和直;而不追求资料得不好的非常规范化的测网。

强化激发参数,内容是很多的。除了常规的井深(包括单深井和组合井)、药量(炸药类型和数量)、岩性等选择外,还应包括震源类型、激发方式和钻具的选择。例如,在山前带砾石区,采用大吨位可控震源激发的效果优于井炮,这在塔里木库车山地山前带得到了证实。在一些地方,单深井效果优于组合井激发,并要杜绝坑炮,这样我们就必需去研究钻具。例如在砾石区,我们可能有车载砾石区浅井组合钻具、人抬化砾石区单深井钻具,疏松砾石区扩径跟管钻具和膨化钻井工艺等;例如在黄土塬地区,对黄土层采用风钻或络阳铲,红土层采用水钻,砂泥岩采用风钻和水钻,干燥砾石层采用冲击钻和膨化工艺,含水砾石层和流沙层采用浅层跟管深井钻具结合人抬化水钻,砾石和黄土交互层采用冲击钻和风钻交替使用等。强化激发参数还

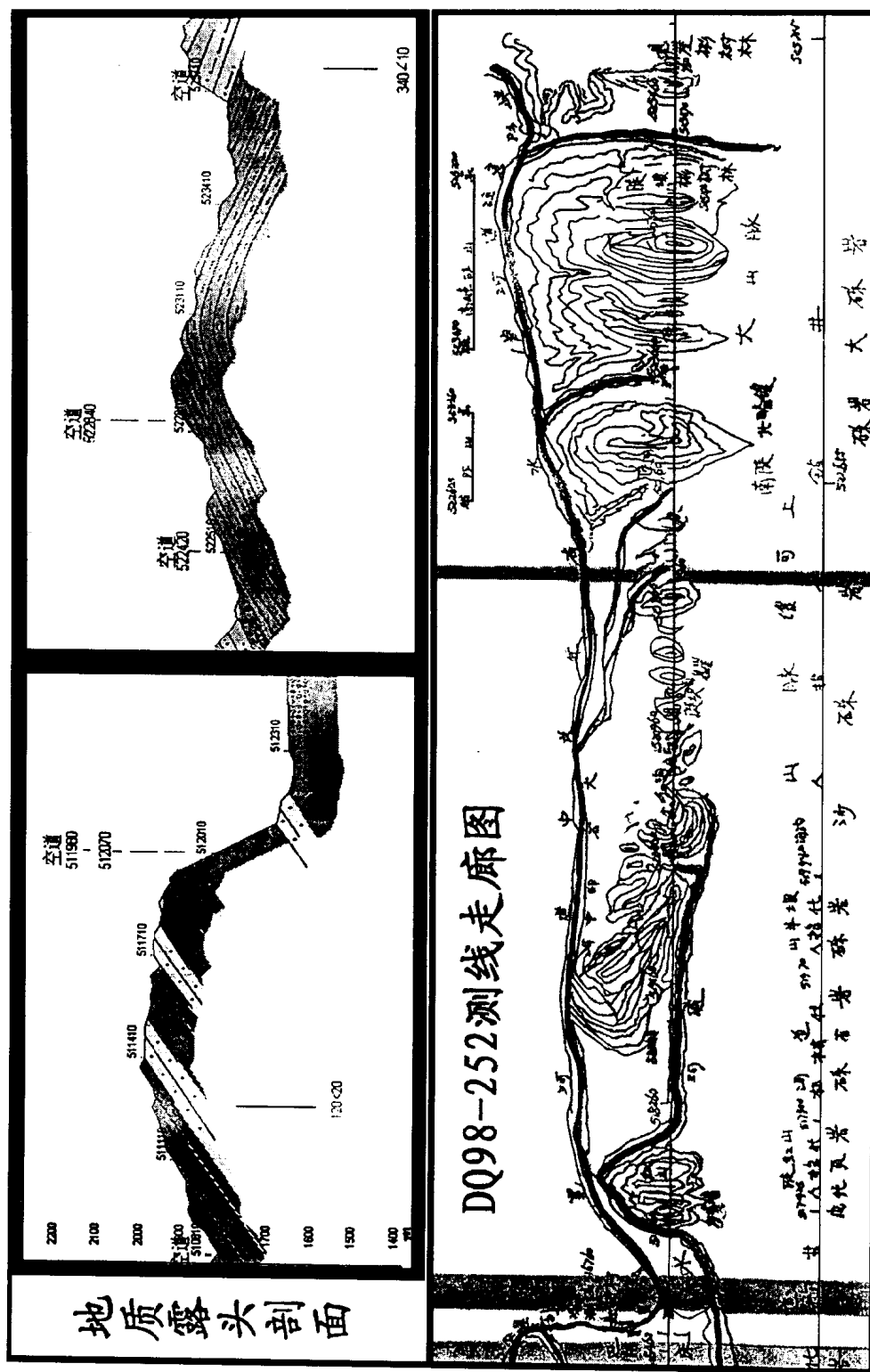


图1-4-1 地质露头剖面 and 测线走廊图 (李振山, 1999)