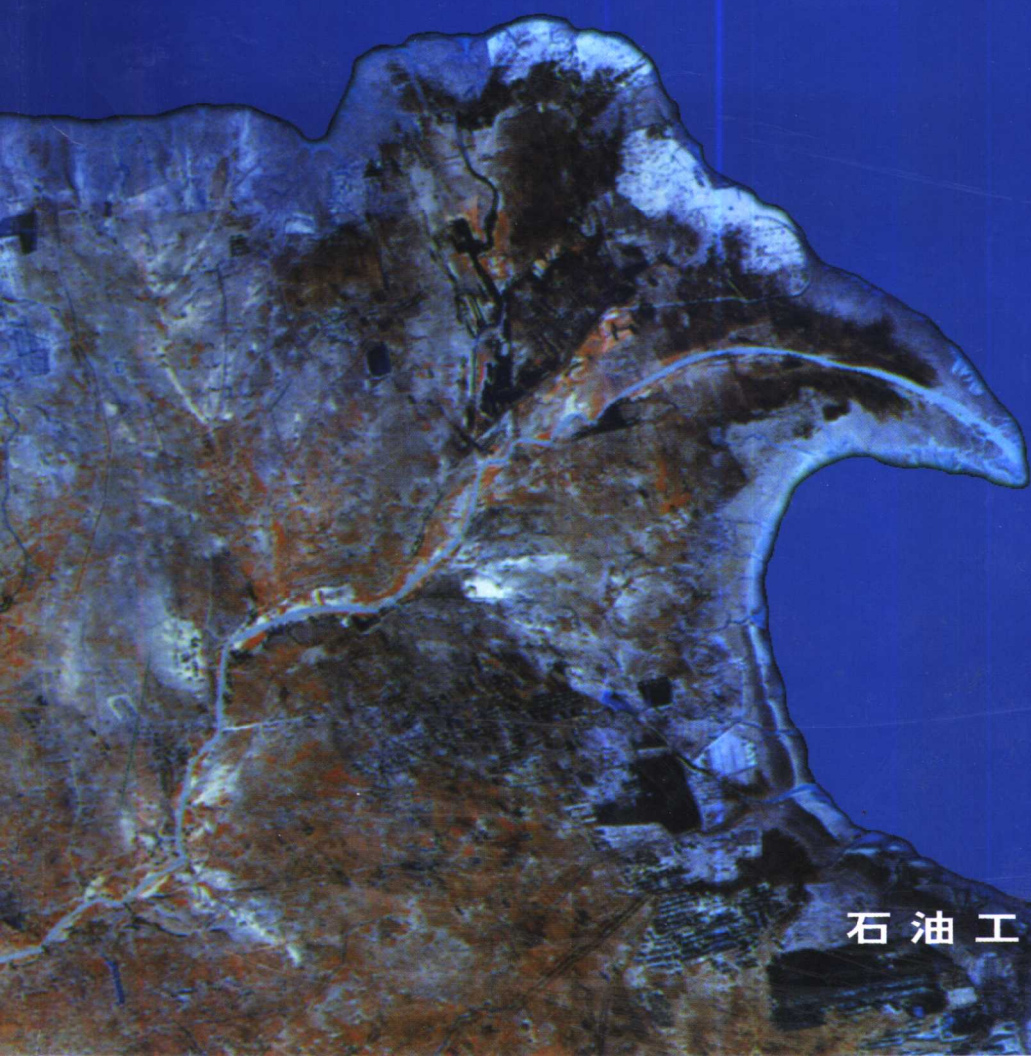


胜利油田高分辨率 地震勘探方法与实践

杨云岭 韩文功 主编



石油工业出版社

胜利油田高分辨率 地震勘探方法与实践

杨云岭 韩文功 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在“九五”的部级攻关项目“胜利探区高分辨率地震勘探技术研究”的成果基础上总结而成。书中详细叙述了在车西和田家等地区进行高分辨率地震勘探的采集、资料处理和解释中采取的一系列实用方法和先进技术，以及取得的显著效果。书中述及的技术成果和工艺措施对整个胜利油田以至其它油田的地震勘探技术的发展具有重要的影响和借鉴意义。

本书可供地震勘探研究工作人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

胜利油田高分辨率地震勘探方法与实践/杨云岭, 韩文功
主编. —北京: 石油工业出版社, 2002.6

ISBN 7-5021-3593-6

I. 胜…

II. ①杨… ②韩…

III. 油田-高分辨率-地震勘探-研究

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 080614 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)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 210 千字 印 1—1000

2002 年 6 月北京第 1 版 2002 年 6 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3593-6/TE·2646

定价: 40.00 元

编 委 会

主 编：杨云岭

副 主 编：赵殿栋 韩文功 余大祥 曲寿利

编 委：(按姓氏笔划为序)

于富文 王 鑫 王新红 史克宝 吕公河 许学平

刘成斋 沈才余 郑泽继 陈繁勤 郭 栋 郭树祥

赵玉华 谭绍泉

执 行 主 编：韩文功

执行副主编：郭 栋 吕公河 王 鑫

序

胜利油田是一个地下地质条件异常复杂的复式油气区。多年来，胜利油田的地震勘探工作在找油找气方面一直发挥着极其重要的作用，近40年来共计发现了70个油气田，找到石油地质储量40余亿吨；其中，尤其是20世纪80年代至今，在“成熟区里”连续17年中每年找到后备储量 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。这不得不归功于成功使用了石油物探方法，也凝聚着地震勘探工作的巨大贡献。

随着勘探、开发工作地不断深入，寻找隐蔽油气藏及精细刻画储油层的地下展布显得愈来愈重要，这就需要我们努力来提高地震勘探的分辨率。“九五”期间胜利油田又针对这项任务开展了技术攻关，成立了专门的攻关项目组，并且与高等院校和科研单位协作，开展了大量的试验攻关工作。本书便是这方面的一个总结，我相信它对推动高分辨率地震勘探工作有较高的参考价值。

在野外采集攻关中，他们采用了一套包括双井微测井、陆地声纳和地质雷达等多种新技术的表层调查方法，研制了垂直延迟叠加震源和爆炸地震锤，获得了发明专利；在激发方式方面，选择合适的激发参数抑制虚反射，提高了震源的能量转换效率；接收方面研究了不同检波器类型、结构、埋置方式对地震信号的影响，率先进行了防50Hz交流电感应的高灵敏度加速度检波器和水听器的试验。这方面的总结对我们大家都是有参考价值的。

在资料处理方面，他们重点研究开发了区域异常压制、 $f-x$ 波场分离、叠前去噪、叠后三维去噪等技术。在动、静校正方面研究了小波分频动、静校正技术，这些技术也是具有实用价值的。

通过高分辨率地震资料的处理解释，使胜利油田在车西、田家等地区获得了较好的资料效果。最终剖面的反射波主频在2.0s左右达到了80Hz，这是近年来我国在中深层反射地震勘探中取得很好效果的实例，值得我们加以总结推广。

在地震勘探中不断提高其分辨率是一项长期的奋斗任务，客观形势要求我们把这项任务持续地进行下去。中国东部各油田在开展此项工作中的经验应该进行广泛地交流，因此我希望其它油田也能出版像这样的专著，以便互相借鉴，共同提高。

中国工程院院士



2001年9月5日

前 言

胜利油田位于山东省西北部的陆地和滩海地区，地貌为黄河下游三角洲平原和滩海，黄河东北向穿越探区，第四系黏土与松散砂层厚达 300 ~ 400m。地质上位于渤海湾盆地西南部，包括济阳拗陷、昌潍拗陷、临清拗陷东部、渤中拗陷（部分）等，是一个多断陷、多断块、多含油层和多种油藏类型的复杂富油气区。

从 1958 年原地质部中原物探大队地震二队首次在东营地区进行地震普查，地震勘探已在胜利油区进行了 40 多年。其间经历了从“五一”型光点地震仪到模拟磁带仪到数字地震仪，从二维地震发展到三维地震和高精度三维地震，采集道数由单道发展到 24 道、48 道直到千道的发展阶段。截止 2000 年底，探区内共完成二维测线 24000km，三维地震 16000km²，完钻探井 5300 口，发现了 70 个油气田，共探明石油地质储量 40 余亿吨。地震勘探技术为胜利油田发展作出了巨大贡献。前期主要寻找了大量的构造油气藏，近十几年来逐渐把重点放到了寻找非构造岩性油气藏及地层、岩性油气藏上，取得了很大的成果。

随着勘探地深入，现今的勘探目标更隐蔽、更复杂，而地震分辨率不够高已成为制约进一步勘探开发的突出矛盾；同时在三维地震大连片基本完成的勘探老区，新一轮勘探要求显著改进地震资料的品质，提高地震分辨率，只有这样才能给物探事业注入新的活力；高分辨率地震攻关项目就在这种形势下应运而生。

“九五”期间胜利油田承担了“胜利探区高分辨率地震勘探技术研究”的部级攻关项目。该项目由胜利石油管理局物探公司、计算中心等单位参加，杨云岭为项目长，负责项目的总体设计，韩文功、余大祥为项目秘书长，负责项目的具体组织运行。项目下设高分辨率地震勘探的采集技术研究、资料处理技术研究和解释技术研究三个课题，攻关过程中又与许多院校和研究单位协作，博采众家之长。

高分辨率地震采集技术攻关，以车西和田家地区为重点试验区，形成了一套包括地质雷达、双井微测井等多种新技术的表层结构调查方法，研制开发了一系列高分辨率激发震源，其中垂直延迟叠加震源和爆炸地震锤获得国家发明专利。激发方式研究方面，进行井深、药量、组合试验分析，抑制了虚反射。接收方面，进行了不同检波器类型、结构、埋置方式对地震信号的影响研究，率先进行了防 50Hz 高灵敏度加速度检波器和水听器的试验，提出了减少噪音产生的方法和“伪陷波”理论，形成了一套适合胜利油田特点的高分辨率采集技术方法和技术装备，完成了 12 次点试验，共计 1621 炮，地质雷达 40km，陆地声纳 6km，双井微测井 42 个，微分电测深 6 个，小折射 95 个，取心 27 个；段试验工作量折合排列长度 103km，共激发 1404 炮；完成车 408、车 22、田家三块高分辨率三维地震数据采集，满次面积 241.81km²，资料面积 432.18km²，合计 27648 炮。

高分辨率地震处理技术攻关，通过对噪音衰减，动、静校正，叠前和叠后反褶积，叠加偏移成像四大关键技术进行针对性研究，建立了一套具有胜利油田特色的高分辨率地震资料处理技术和流程。完成了车 41、车 408、车 22 和田家四块三维高分辨率资料处理，效果明显，主频在 2.0s 处达到 80Hz，达到了攻关项目总目标的要求，同时应用高分辨率处理流程

对老三维资料进行目标处理,见到了很好的效果,资料的分辨率提高了 10~20Hz。

高分辨率地震解释技术攻关,重点开展高分辨率基础研究、层位识别和标定技术研究、高分辨率地震反演技术和高分辨率资料综合解释方法研究;分析出研究区的储层物性特征和地震反射特征,建立起了储层解释模式;开发研制出一套有特色的多井测井约束反演软件系统,成功地解决了过断层的问题,有效地提高了地层的识别能力,取得了很好的应用效果;提出了改进合成地震记录制作的四种方法,开发了一套高精度合成地震记录制作流程,形成了高精度速度参数分析和高分辨率资料综合解释方法;建立起高分辨率资料综合解释技术方法和流程。

车西、田家等地区高分辨率资料解释成果显著,共描述砂体 136 个,面积 130.2km²,修改和落实构造圈闭 76 个,面积 54.8km²,取得了明显的经济效益和社会效益。同时,高分辨率攻关所形成的技术成果和工艺措施对于整个胜利探区地震勘探技术的发展也具有重要的影响和意义。

“胜利探区高分辨率地震勘探技术研究”项目,经过 5 年来的奋力攻关,取得了丰富的成果,它凝聚了所有参加人员集体劳动的汗水和智慧。参加本项研究工作的有:杨云岭、韩文功、余大祥、曲寿利、赵殿栋、郭树祥、吕公河、郭栋、郑泽继、史克宝、陈繁勤、王鑫、谭绍泉、于富文、赵玉华、李卫忠、沈才余、刘成斋、王成礼、徐辉、张庆淮、冯刚、贺业林、石好果、徐锦玺、杨玉龙、许学平、郭见乐、李晓清、王新红、徐淑合、阎昭岷、于建国、成爱民、李云典、段卫星、侯健全、赵庆国、孔庆丰、刘洪文、卢红旭、陈秀玲、任富新、牟敏、陈新荣、朱伟强、保统才、罗霞、姜玉成等。

2001 年 2 月“胜利探区高分辨率地震勘探技术研究”攻关项目获得中国石化集团公司科技进步一等奖,《胜利油田高分辨率地震勘探方法与实践》正是该攻关成果的集中体现和进一步总结。

本书共包括前言及 3 章 14 节,其中前言由韩文功编写;第一章由吕公河、谭绍泉、张庆淮、徐锦玺等编写,包括基础理论、表层结构调查方法、激发震源及激发方式、检波器及接收方式、高分辨率采集工艺方法和效果分析;第二章由曲寿利、郭树祥、王鑫等编写,包括噪音衰减方法、反褶积方法、高精度动静校正方法、叠加成像方法、高分辨率处理流程与处理效果分析;第三章由韩文功、郭栋、赵玉华、石好果等编写,包括高分辨率资料解释的基础研究、高分辨率资料层位识别和标定技术、高分辨率资料综合解释方法与流程、高分辨率地震资料综合解释应用效果。全文由韩文功、郭栋统稿,杨云岭主审,陈秀玲、杨玉龙、缪红卫、胡丽霞等参加了书稿的图文编排录入工作。

项目研究过程中得到了中国石化集团公司、原中国石油天然气总公司各级领导的关心和支持,得到了李庆忠、俞寿朋等物探老专家的技术指导,特别是李庆忠院士多次给予了具体的指导,在他的“地震高分辨率勘探中的误区与对策”论文还没有发表时就将原稿毫不保守地拷备给我们,并亲自给项目组讲解,他的著作是项目组学习的必备材料;项目研究过程还得到了胜利石油管理局科技处、勘探事业部、物探公司、计算中心等各级领导的关心和支持;物探公司科技办公室王新红、徐淑合同志为本书的出版做了大量工作,在此一并表示感谢!

我们认为,一方面,随着油田勘探开发地深入,其对地震分辨率的需求越来越高;另一方面,就技术本身来说,高分辨率地震技术是一个庞大的系统工程,包括资料采集、处理和解释各个环节,包括理论、方法、技术和工艺措施等各个领域,包括仪器设备、软件、硬件

等多个方面。因而，高分辨率地震技术攻关仍然是今后面临的一个久攻而常新的重大课题，它是一项长期的、持久的、艰巨的任务，在一定经济界限范围之内，分辨率的提高没有止境，只有更高，没有最高。这也正是我们将胜利探区高分辨率地震勘探技术研究成果结集出版的目的所在，希望该书能为今后该区和其它地区的高分辨率地震勘探有所借鉴，有所启迪。由于作者水平和时间所限，文中不当之处敬请批评指正。

编 者

2001 年 9 月

目 录

第一章 高分辨率地震勘探采集	(1)
第一节 基础理论	(1)
第二节 表层结构调查方法	(6)
第三节 激发震源及激发方式	(8)
第四节 检波器及接收方式	(12)
第五节 高分辨率采集工艺方法和效果	(21)
小 结	(26)
第二章 高分辨率地震勘探处理	(27)
第一节 噪音衰减方法	(28)
第二节 反褶积方法	(45)
第三节 高精度动静校正方法	(57)
第四节 叠加成像方法	(71)
第五节 高分辨率资料处理流程与处理效果分析	(78)
小 结	(83)
第三章 高分辨率地震勘探解释	(85)
第一节 高分辨率资料解释基础研究	(86)
第二节 高分辨率资料层位识别和标定技术	(93)
第三节 高分辨率资料解释方法与流程	(101)
第四节 高分辨率资料解释应用效果	(115)
小 结	(125)
参考文献	(126)

第一章 高分辨率地震勘探采集

高分辨率地震勘探采集技术研究长期以来一直是高分辨率地震勘探技术攻关的关键环节，起到决定性的作用；尽管如此，高分辨率地震采集技术仍然存在着许多技术难题，制约着高分辨率地震勘探技术水平的提高；因此，需要进一步深入细致的技术攻关研究。高分辨率地震勘探采集技术研究的难点在理论上主要有：（1）大地吸收衰减机制研究，尤其是近地表的吸收衰减问题；（2）噪音产生机制及分析方法研究仍然存在一些认识上的问题；（3）激发、接收机制的理论研究；（4）表层特点及其表层传播规律的研究等。在方法上主要有：（1）信号频率和能量的补偿方法；（2）有效压制噪音的方法；（3）高频、高能量地震信号的激发方法；（4）接收检波器及其接收方式如何拾取和保护高频有效波的方法；（5）有效的表层结构与表层波的调查分析方法。以上这些问题都是技术攻关的主要目标。

针对高分辨率地震勘探采集技术存在的问题，在“九五”期间，开展了有针对性的技术方法研究，其中有：（1）检波器的对比选型及新型检波器研制；（2）高分辨率激发震源的研制与应用；（3）表层结构调查方法研究；（4）干扰波分类及其能量分析；（5）激发、接收方式的试验分析研究；（6）观测方式、录制因素的分析研究；还做了一些理论上的分析与探讨。研究过程中，共完成以下试验工作量：共进行了 12 次点试验工作，共计 1621 炮；地质雷达 40km，陆地声纳 6km，双井微测井 42 个，微分电测深 6 个，小折射 95 个，取心 27 个；段试验工作量折合排列长度 103km，共激发 1404 炮；共完成高分辨率三维生产满次面积 241.81km²，27648 炮。

通过这些研究工作，取得了较好的成果：在表层结构调查方面，采用地质雷达、双井微测井等新方法，形成了一套表层结构调查方法；在激发震源方面，研制出系列高分辨率激发震源，拓宽了地震子波的频带宽度，增加有效波的高频成分；通过震源激发方式的研究，选择合适的激发参数，抑制虚反射，提高震源能量转换效率；在检波器接收方面，研究了不同检波器类型、检波器结构、检波器埋置方式对地震采集信号的影响，通过采用抗干扰高灵敏度加速度检波器和选择合适的接收因素，能够接收宽频带的地震信号，提高地震资料的信噪比和分辨率；通过对干扰和噪音的研究，提出在地震波的激发和接收过程中减少噪音产生和压制干扰波的有效方法。垂直延迟叠加震源和地震锤获得国家专利，提出了井中检波器接收的“伪陷波”理论。

通过开展地震波基础理论以及地震数据采集技术方法研究，建立了一套适合胜利探区特点的高分辨率地震勘探野外采集的技术方法和合适的配套装备。通过应用该技术，在提高信噪比前提下努力拓宽地震采集信号的有效频带，使野外获得的地震资料在 2.0s 的反射波主频达到 80Hz 以上，取得了较好的研究效果。

第一节 基础理论

地震勘探的基本理论是基于弹性波在地层中传播的理论，而分辨率的基本理论是基于以下两方面。

(1) 垂向分辨率: 根据 Reyleigh 准则, 垂向分辨能力

$$h = v_{in}/4f \quad (1-1-1)$$

式中 h ——垂向分辨地层厚度;

v_{in} ——层速度;

f ——信号主频。

(2) 横向分辨率: 第一菲涅尔直径作为横向分辨能力

$$D = v \times [t_0/f + 1/4(t_0/f^2)]^{1/2} \quad (1-1-2)$$

式中 D ——菲涅尔直径;

v ——平均速度;

t_0 ——双程旅行时;

f ——地震信号主频。

以上分辨率的基本原理, 反映了只有提高地震波的频率才能提高分辨率, 但针对地震勘探的影响因素和面临的问题, 还必须考虑地震波的能量、频率和信噪比等问题。而影响地震波频率的主要因素是大地对地震波的吸收衰减, 影响地震资料信噪比的主要因素是各类噪音(形成的背景噪音)。因此, 高分辨率地震采集技术的理论基础研究主要就是针对大地对地震波吸收衰减理论和各类噪音的基本理论研究。

一、大地吸收衰减影响

1. 表层吸收衰减的影响

表层对高频吸收衰减起着重要的作用, 利用大地衰减理论公式, 可以得到近地表相应的衰减量, 定量的分析表层结构的衰减规律。在表层第一层 7m 厚度的地层对 100Hz 的频率衰减量达到 0.8dB, 对 150Hz 的频率衰减量达到 1.2dB; 在表层第二层 7m 厚度的地层对 100Hz 的频率衰减量达到 4.5dB, 对 150Hz 的频率衰减量达到 8dB。

2. 大地吸收衰减的影响

地震波在传播过程中, 能量的衰减主要有两个方面:

(1) 球面扩散, 能量以指数衰减。

(2) 吸收衰减, 主要是地震波在传播过程中受到粘弹性介质的影响。粘弹性介质受到挤压后, 介质发生滞迟、蠕变和松弛等现象, 吸收了地震波的能量, 使能量不能完全传播到下一个点上去, 高频地震信号尤其如此。另外还有地层的阻挡、漫散射以及薄互层等影响。通过研究, 得出了下面的衰减公式:

$$S(f) = 27.29 Q^{-1} f t \quad (1-1-3)$$

式中 S ——总衰减量;

Q ——地层品质因数;

f ——频率;

t ——传播旅行时。

从上式可以看出, 在时间一定时, 地震波中的频率越高衰减越严重。因此, 地震波中高频成分最容易被吸收衰减。当频率一定时, 传播距离越远衰减越严重。要想提高分辨率, 必须从根本上提高信号的频率和低频信号的能量。

3. 胜利油田大地衰减规律

对车西、东营、史南等地区的大地衰减规律进行了系统研究, 利用 VSP 资料取得较为

准确的纵波速度资料，再根据经验公式： $Q \approx 14v^{2.2}$ 求得 Q 值，然后针对不同深度求得衰减量。

根据车 252 井的地震波不同频率激发能量衰减与地震波反射时间 T 的关系图（图 1—1—1），可以明显看出，地震波的能量衰减随着地震波频率的升高而增大，在时间一致的情况下，随着频率的升高，地震波能量衰减的量级为常数，在地震波频率一定的情况下，随着地震波反射时间的增加，地震波能量衰减量级也随之变大。

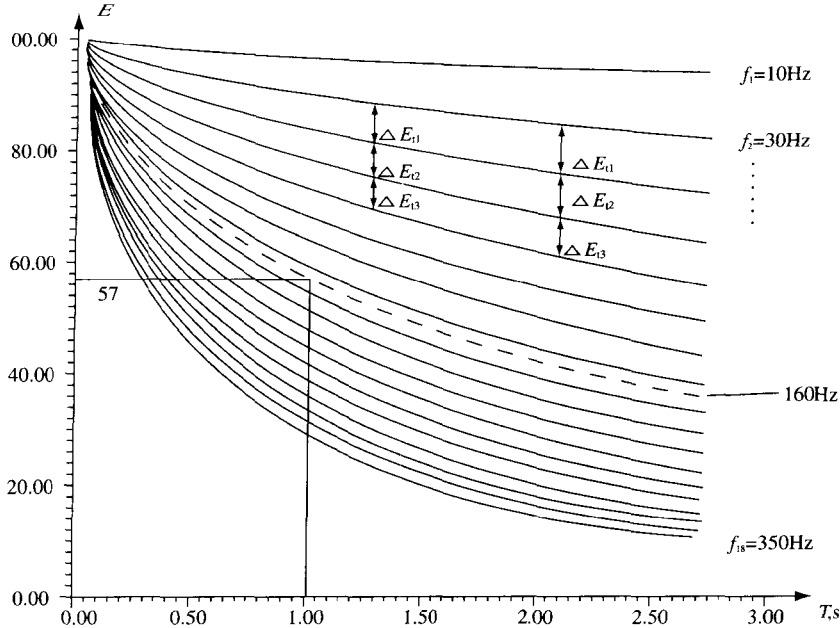


图 1—1—1 车 252 井区地震波能量随反射时间的衰减曲线

通过分析研究，近地表 23m 的厚度对 100Hz 信号的衰减量达到 10dB，大地衰减在 3s 处对 100Hz 信号的衰减量达到 90dB，由此可见，表层的厚度即使不大，对高频信号的衰减也起着重要作用。济阳拗陷的表层和大地衰减统计规律具有衰减量大和地层变化大的特点，给高分辨率采集攻关工作带来很大的困难。

二、噪音的影响

对于高频地震信号来说，由于地震有效信号在传播过程中受到强烈的吸收和衰减，到达地面时已相当微弱，这时噪音的影响就显得相对较强，严重影响了地震记录的信噪比。提高地震记录的信噪比一方面要提高有效反射波能量，另一方面要降低噪音水平。因此，在高分辨率地震资料采集过程中有效克服噪音的影响就显得尤为重要。

1. 噪音对高分辨率的影响

噪音的强弱直接影响地震资料的信噪比，信噪比的高低对分辨率的影响很大，根据“Widess”公式：

$$P_n = P_a / (1 + 1/\gamma^2) \tag{1—1—4}$$

式中 P_n ——有噪音时的分辨能力；

P_a ——理想分辨能力；

γ^2 ——信噪能量比。

由上面公式可以知道，当信噪能量比（ γ^2 ）较低时，分辨率就低；信噪能量比较高时，才能使地震资料具有相对较高的分辨率。因此，要提高资料分辨率需要降低噪音的水平，尤其是在非优势频带内的噪音。

2. 噪音规律

1) 噪音分类

(1) 环境干扰，包括规则环境干扰和不规则干扰。

①风力引起的噪音：主要是由于刮风影响而直接或间接产生的噪音，如刮风引起草动、树动产生高频干扰；风力直接吹动检波器、采集站、大小线抖动产生噪音等。

②机械干扰：主要是由于外部机械原因产生的干扰，如车辆行驶，人员走动，各种管线中、河沟中液体流动，各种工业设备运转等。

③电力干扰：包括高压线、低压线、电话线、地下电缆产生的干扰，仪器车发电机产生的干扰，雷电、天地电产生的干扰，各种无线电波产生的干扰（对无线遥测记录系统尤为明显）等。

(2) 系统噪音：包括记录仪、采集站、大线、小线和检波器产生的固有噪音。

(3) 激发后形成的干扰。

①伴生干扰：如声波、面波等。

②次生干扰：波在传播过程中在一定条件下产生的干扰（表层介质不均匀或地面障碍物等造成），如次生反射波、侧面波、建筑物引起的扰动等。

2) 环境噪音分析

通过分析大量环境噪音，在没有机械干扰的环境下，环境噪音的能量谱近于白噪谱，且其能量一般较弱，仪器记录的能量值较小，电压值大约 $1\mu V$ 左右，不同风速时的环境干扰能量变化一般是： $1 \sim 6$ 级风其量值在 $1.5 \times 10^5 \sim 10^6$ 之间。

3) 激发后形成的噪音分析

长期以来，噪音的研究工作一直没有很大的进展，主要是在噪音的认识方面还存在不足之处。在以往的研究中，人们一直认为直接影响地震资料信噪比的主要因素是环境噪音，当然在较强的环境噪音下，可以这样认为，那么在较平静的环境噪音下，为什么信噪比还是不高？按有效波能量与平静环境噪音的能量比，相差十倍或几十倍，为什么信噪比没有达到这么高呢？实际资料显示水涨船高的现象，即，有效波能量与噪音背景能量有共同抬高的趋势，而且背景噪音的能量比单纯的环境噪音的能量高得多。显然是在地震波激发之后产生了一些伴生的和次生的各类噪音，提高了噪音的能量。激发后，产生各种干扰，混合掺杂，形成了地震记录上杂乱无章的噪音背景，频带较宽，能量较强。这些噪音的来源主要是近地表的不均匀性及各种干扰波的相互影响等造成的（图 1—1—2）。

三、高分辨率地震勘探采集的攻关方向

通过对大地衰减和各种噪音的分析研究，对影响高分辨率采集技术提高的主要因素有了进一步认识。高分辨率地震勘探要获得具有“三高一宽”的地震资料，即：高频率、高信噪比、高保真、宽频带。对于高保真度，需要深入研究从采集到处理的整个系统。高频率、高信噪比和宽频带，可概括为具有高信噪比的宽频带资料，也就是获得较宽的优势频带。常规

地震勘探采集的资料往往在地震信号低频端能量强，优势频带较窄。高分辨率地震勘探就是通过提高高频端有效信号的能量，压制高频端干扰信号，从而达到拓宽优势频带的目的（图 1—1—3）。

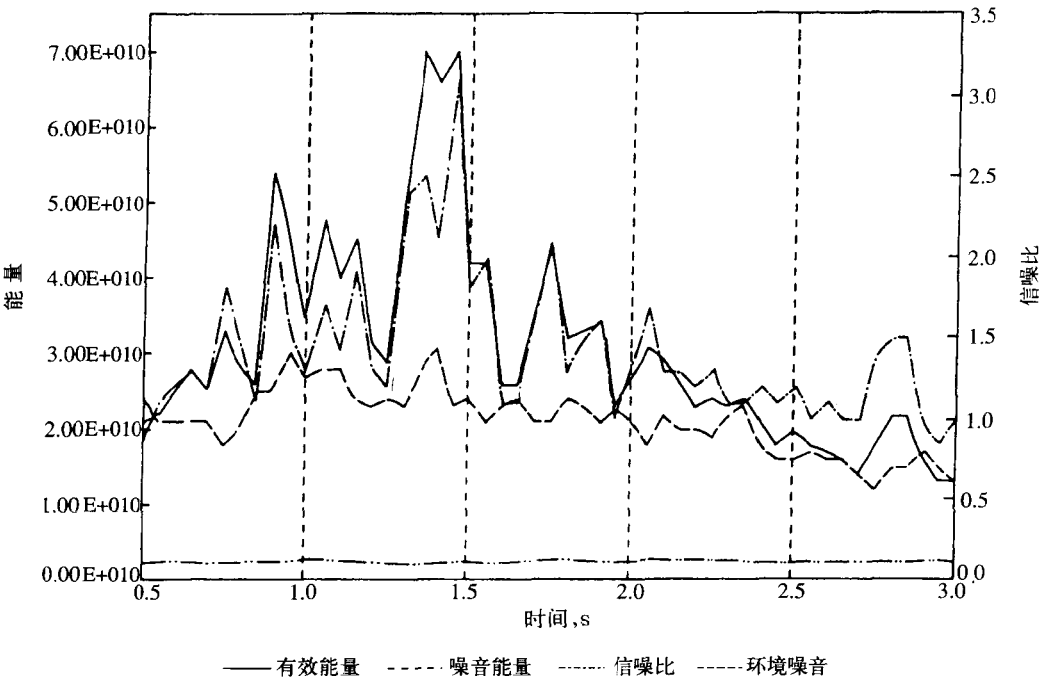


图 1—1—2 有效波、干扰波、环境噪音能量曲线对比

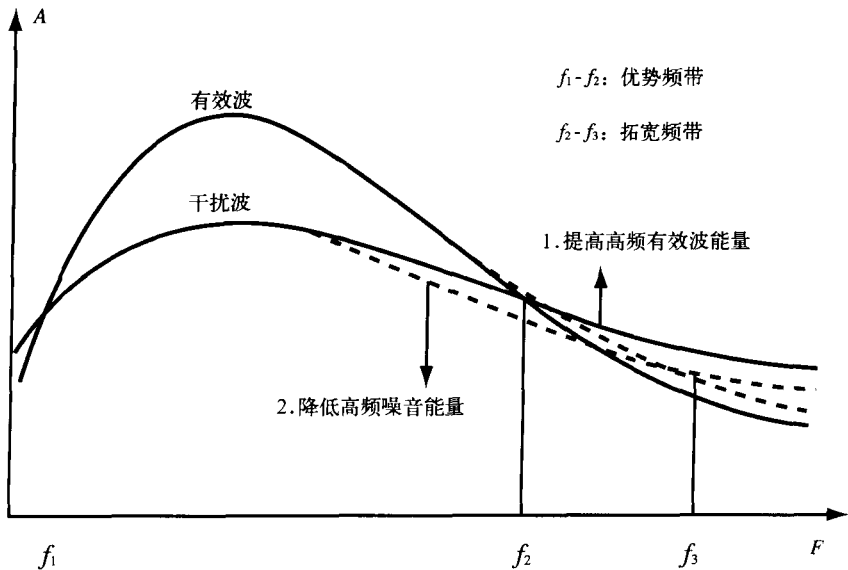


图 1—1—3 地震波拓展优势频带分析示意图

具体的攻关方向如下：

- (1) 补偿大地衰减，提高高频信号的能量；
- (2) 压制低信噪比频段的噪音，提高高频端信噪比。

通过以上两种思路来达到拓宽优势频带的目的。

第二节 表层结构调查方法

表层结构调查是地震勘探中一项基础而且非常重要的工作。激发接收方式在相当程度上依赖于表层岩性，同时，在复杂表层结构区该方法可提供静校正处理的参考资料。为此，在表层调查方面，进行了四种方法的研究。

一、地质雷达技术

利用地质雷达方法可以调查近地表 30m 深的表层情况，其原理是利用不同界面上的电性差异，反映岩性的变化特征。该方法一般是进行连续测量，这样就可以得出一个连续的剖面。通过剖面的解释，可以显示表层结构的形状，再结合表层取心可以找准较好的激发岩性，并且可以连续追踪。利用地质雷达资料可以正确选择激发深度和激发岩性。这种方法使表层结构有一个整体显示，对表层波传播规律的研究也是很有帮助的。图 1—2—1 是在车西地区高分辨率攻关中获得一条地质雷达和陆地声纳解释剖面，可以明显的看出表层的胶泥层和沙层的分布。表层在 5~7m 左右有一层约 1~2m 厚的泥层，8~12m 反射杂乱，基本上没有连续的界面，通过取心显示是一些流沙层，在 18m 还有较硬的泥沙层。

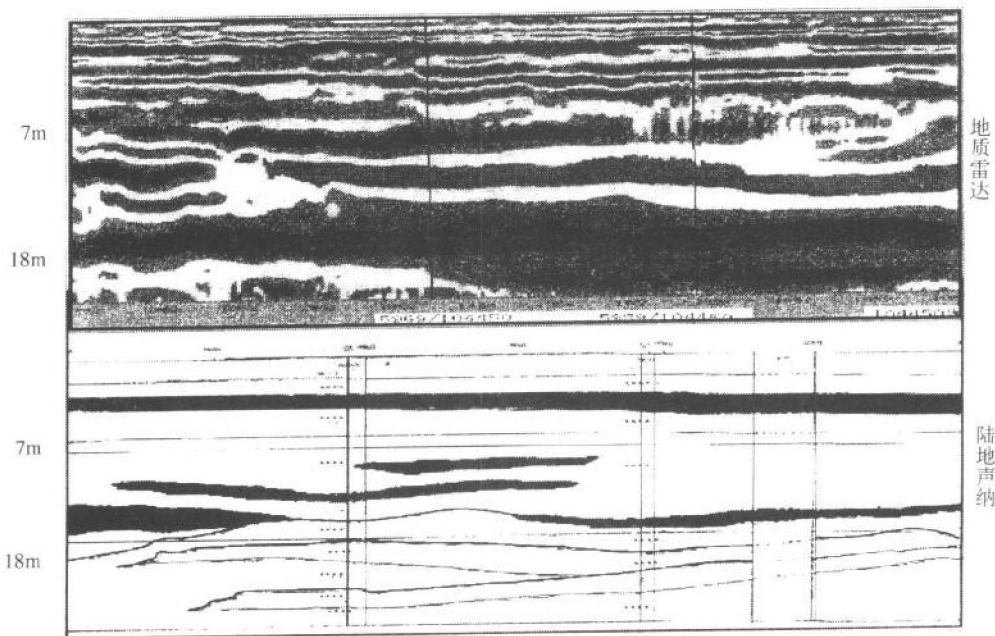


图 1—2—1 地质雷达和陆地声纳剖面

二、陆地声纳技术

陆地声纳的基本原理与地震勘探相同，实际上就是一种近于自激自收的近地表调查的地震方法，通过调查可以得到频带较宽（0~1000Hz）的近地表地震剖面。通过这些剖面的解

释，结果与地质雷达剖面的解释基本吻合，认为存在两层较好界面，反映的是两层较好的胶泥层。从陆地声纳剖面图上可以明显的看出地下岩性体的尖灭现象，能比较清晰的反映出地下介质的分布状态（图 1—2—1）。

三、双井微测井技术

该方法是打两口较深的井，其中一口是激发井，一口是接收井，接收井井底、井口各放置一个检波器，激发井中每隔 1m 一个雷管，自下而上激发，根据虚反射界面的反射波确定虚反射界面。这种方法对求取虚反射界面是相当准确的，根据虚反射界面的深度可以合理的选择激发井深，使得激发产生的地震波不受虚反射的影响，具有较高的频率。图 1—2—2 为利用井底检波器接收的炮集记录，分析所得的地震记录，直达下行初至波品质较好，初至基本清楚。当 $H = 20 \sim 40\text{m}$ 时，该波受直达波延续相位干扰，同相轴的连续性变差；当 $H = 7 \sim 20\text{m}$ 时，在记录上见与初至直达波视速度相反、频率较高、品质较好的反射同相轴，对比理论时距曲线，它可能就是虚反射界面造成的虚反射；当 $H = 3 \sim 5\text{m}$ 时，直达波的第二个相位和虚反射发生干涉，出现同相轴较宽的复波；当 $H = 0 \sim 3\text{m}$ ，激发点已在低速带内，地震信号的频率明显变低。

四、表层取心

上面三种调查方法都是间接反应表层结构及其特点，但确切的岩性只有靠表层取心才能准确地确定。所以这种方法必不可少，通过取心资料可以较好的对以上资料进行标定。这是表层结构调查中作为点调查的最直接的方法（图 1—2—2）。

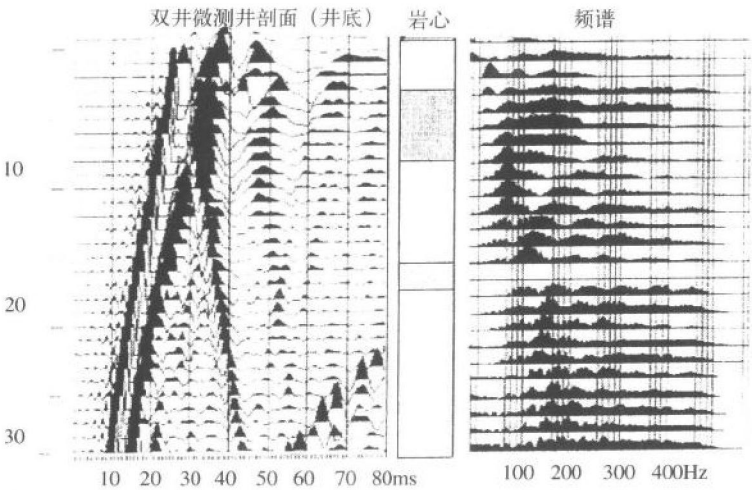


图 1—2—2 双井微测井和岩性取心

五、表层调查成果分析

利用双井微测井方法确定虚反射界面的深度，在表层岩性问题上，我们通过取心进行标定，结合地质雷达方法和陆地声纳进行纵横向的追踪对比，确定岩性的分布。

通过以上几种方法的联合应用，可以较好地确定出表层的结构，得到表层岩性剖面图和表层岩性平面图，为激发、接收因素的选择提供依据，也为静校正提供了可靠的资料，同时对表层波的研究提供了较准确的模型，有利于指导后续工作。

第三节 激发震源及激发方式

一、激发震源的研制及其激发效果

激发震源的研制，主要是围绕如何提高高频信号的能量，并且充分利用炸药的激发能量，减弱表层干扰波的能量和对地面设施的破坏作用。

1. 垂直延迟叠加震源

根据单点小药量激发高频成分相对丰富的原理，克服小药量能量不足的问题，研制了垂直延迟叠加震源。该震源将能量集中向下传播，而传向地面方向的能量是发散的，从而减少了对地面的震动和表层干扰能量。通过多次测试，延迟速度可达到 $1300 \sim 2300\text{m/s}$ ，并且形成了系列产品，从延迟叠加震源与普通震源的原始单炮对比记录中，可以看到明显的效果。普通炸药单井记录上面波较强，垂直延迟叠加震源记录面波较弱。延迟叠加震源与普通震源的对比剖面相比，记录频率有明显的提高，而且频谱明显提高，分辨率也相应提高（图 1—3—1a, b）。

2. 爆炸地震锤

由于聚能弹在与围岩介质作用时，是以爆炸气流射击地层，这样就必然有部分能量用来穿透地层，而且产生地震波的只是冲击波的摩擦力（如果射流是一条线时）起作用。为充分利用爆炸能量，设计了爆炸地震锤，使爆炸能量抛射锤头撞击地层，产生相对较强的地震波能量，这种震源带有较好的定向性。可以根据不同的药量和解决不同的地质任务设计不同爆炸地震锤，形成一套地震锤系列。地震锤震源通过试验，取得了较好的效果，图 1—3—1 是地震锤与普通震源的单炮对比记录，从解编记录对比效果分析，定向地震锤激发后获得资料的信噪比较高。增加了有效地震波的能量，减弱了爆炸带来的干扰和对地面的破坏作用，提高了信噪比，这种震源对于弥补建筑区等复杂地表的资料起到了较好的作用。

3. 细长药柱

细长药柱的设计原理与垂直延迟叠加震源的原理是一致的，在爆炸的过程中，向下传播的能量得到同相叠加，向上传播方向上能量则分散。由于目前炸药爆速很难达到与地层速度一致，并且表层岩性层状分布，从浅至深变化较大，叠加效果不是很好。另外，低爆速细长药柱拒爆现象严重，稳定性差，还没有形成较好的产品。

4. 对撞震源

根据原子弹的引爆原理，研制成功对撞震源，这种震源是采用两端引爆方式，中间能量对撞冲击地层。在试验过程中，该震源在能量方面有所提高，在频率上并不占优势，信噪比也较差，其原因是震源爆炸横向冲击地层，产生了较强的横波和近地表的干扰波，该种震源经过了一定的改造后可用于横波勘探。

二、激发方式研究

震源激发方式研究是地震勘探的重要组成部分，包括激发的井深、药量、组合激发、激发条件等方面的试验研究工作。

1. 虚反射界面对激发井深的影响

在地震勘探中最主要的是下行波，下行波分为直接下行波和先上行再下行波，对于地震反射波记录上是两种波的总合。