

断陷盆地 精细地震勘探实践

周海民 谢占安 等编著



石油工业出版社

断陷盆地精细地震勘探实践

周海民 谢占安 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是冀东油田地震资料采集、处理、解释等方面的新技术应用成果总结。全书共分三篇十章，每篇各章自成体系，力求从不同技术角度反映冀东油田在二次创业中各项地震技术的应用情况。

本书可供从事地震勘探的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

断陷盆地精细地震勘探实践 / 周海民等编著 .

北京: 石油工业出版社, 2007.4

ISBN 978-7-5021-6018-0

I . 断…

II . 周…

III . 断陷盆地 - 油气勘探: 地震勘探 - 研究 - 河北省

IV . P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 042664 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 22.75

字数: 550 千字 印数: 1—1500 册

定价: 198.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《断陷盆地精细地震勘探实践》编委会

主 任：周海民

副主任：谢占安

委 员：董月霞 熊 翥 翟瑞国 李建林

刘占族 赵秀歧 吴清龙 朱宏博

前 言

冀东油田是中国石油企业中的小字辈，标志之一是其油气探矿权面积是全国油气田企业中唯一小于 10000km^2 的，且主要可勘探面积仅为 1570km^2 ；标志之二是在相当长的时间里冀东油田一直是中国石油产量最少的油田；标志之三是其地质条件复杂、地面条件复杂、勘探开发难度大。近年来油田上下认真贯彻落实科学发展观，实施一系列配套技术攻关，油田勘探开发形势发生了令人振奋的变化，有些可以称之为奇迹。

为充分展示勘探开发的工作成果，真实地对冀东油田成立 17 年来，特别是对 2003 年以来在勘探开发技术方面的工作实践予以总结提高，编写了一系列专著，共计 5 本，分别是《断陷盆地精细勘探》、《复杂断块油田精细开发》、《断陷盆地油气成藏动力学与含油气系统表征》、《陆相断陷盆地层序地层学工作方法图集》，以及本书《断陷盆地精细地震勘探实践》。

众所周知，油气勘探地震先行。冀东油田的勘探主战场南堡凹陷长期勘探没有大的突破，其瓶颈就是地震资料品质差，地质认识难以切合地下实际。为此，油田历任领导和广大油气勘探工作者一直对此给予了高度关注，1996 年率先在老爷庙地区实施二次三维地震勘探，1999—2003 年大面积开展陆地二次三维和滩海高精度三维地震勘探工作，2004—2006 年开展全凹陷 2400km^2 大面积叠前时间偏移处理等一系列综合地震技术攻关，真可谓十年磨一剑。伴随着地震技术的进步，油田的勘探开发形势日新月异，为全国石油界所关注。

概括地讲，近年来冀东油田针对南堡凹陷的地震勘探主要有四个方面的成果：一是率先提出并大面积开展成熟探区二次三维地震；二是以小面元、高覆盖、高分辨率为主要技术要点的大面积滩海高精度三维地震；三是以凹陷为单元的整体采集、处理和解释部署思想；四是大面积连片叠前时间偏移处理和解释。

本书分为地震资料采集技术的应用、地震资料处理技术的应用和地震资料综合解释研究三篇，每篇各章自成体系，力求从不同的技术角度反映出冀东油田在二次创业中各项地震技术的应用情况。本书以近年来冀东油田地震勘探成果和以东方地球物理勘探有限责任公司等

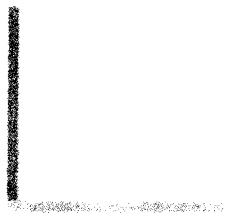
相关单位协作成果为基础编著而成。本书在理论上不求突破，只对工作成果和方法进行总结，希望对类似探区的油气勘探工作有所帮助。

本书编写提纲由周海民整体构思；第一章和第二章由谢占安执笔；第三章由熊翥、谢占安、刘占族、朱宏博执笔；第四章由熊翥执笔；第五章和第七章由谢占安、赵秀歧、翟瑞国执笔；第六章由周海民执笔；第八章和第九章由周海民、赵秀歧、吴清龙执笔；第十章由谢占安执笔；全书由周海民、谢占安统稿完成。

该书的编写得到了东方地球物理勘探有限责任公司研究院冀东分院、北京潜能恒信地球物理公司、北京科泰四维科技有限公司等诸多项目合作单位的支持。在该书编写前的资料整理过程中，冀东油田的领导和专家给予了高度的重视和关心，曹忠宏、何新年、王海、刘国玺、赵岩等都提供了帮助。在后期的审校过程中，黄红祥等做了大量细致的工作，在此一并致谢！

编著者

2007年3月12日



目 录

第一篇 地震资料采集技术的应用

第一章 成熟探区二次三维地震勘探技术	3
第一节 二次三维地震勘探的必要性和可行性	3
第二节 三维地震资料品质分析	4
第三节 二次三维地震技术方案论证	7
第四节 二次三维地震勘探效果	33
第二章 滩海地区高精度三维地震勘探技术	41
第一节 滩海地区概况及地震资料品质特点	42
第二节 滩海地区三维地震勘探部署整体思路与质量保证措施	47
第三节 滩海地区三维地震勘探难点及方案论证	50
第四节 滩海地区三维地震采集实施方案及效果	73

第二篇 地震资料处理技术的应用

第三章 地震资料连片处理技术	81
第一节 地震资料连片处理概况	81
第二节 三维地震资料连片处理技术	85
第三节 地震资料偏移处理技术	104
第四节 叠前时间偏移方法	113
第五节 大面积三维资料连片叠前时间偏移处理的难点及其关键技术....	120
第六节 大面积连片叠前时间偏移处理的应用效果	171
第四章 地震资料目标精细处理技术	187
第一节 地震资料目标处理	187
第二节 改善深部数据目标精细处理技术	190

第三篇 地震资料综合解释研究

第五章 地震资料的构造解释	197
第一节 层位标定技术的应用	197
第二节 断层识别与精细解释	199

第三节	区域构造解释技术	203
第四节	目标区的精细构造解释	217
第六章	层序地层地震格架剖面平衡恢复与层序地层解释技术	222
第一节	层序地层地震剖面平衡恢复原理	222
第二节	南堡凹陷骨干剖面平衡恢复	230
第三节	东一段层序地层及沉积体系研究	238
第七章	地震储层预测技术	250
第一节	地震资料反演	250
第二节	地震属性提取分析	267
第八章	火成岩的地震解释技术	278
第一节	火成岩的产出形式及反射特征	278
第二节	火成岩的地震地质解释	280
第三节	火成岩反射的属性分析	284
第四节	与火成岩有关的油藏特征	290
第九章	碳酸盐岩潜山裂缝预测技术	293
第一节	碳酸盐岩潜山裂缝储层特征	293
第二节	奥陶系储层测井响应特征及控制因素	302
第三节	奥陶系储层分布预测技术	305
第十章	四维地震技术	325
第一节	四维地震技术概论	325
第二节	四维地震研究实例	328
参考文献		353

第一篇

地震资料采集技术的应用

油气勘探，地震先行；地震勘探，采集是基础。三维地震采集技术的应用取决于探区地质条件、地表条件及勘探阶段。冀东油田是个小油田，探区内仅南堡凹陷可供规模勘探，但勘探徘徊 40 年。1997 年以来，由于采集技术和计算机技术的快速发展，探区内勘探工作者和领导者，解放思想、大胆实践，从勘探程序上打破传统观念，陆上开展大面积二次三维地震，滩海在未有实际发现的情况下一一次性开展千余平方千米的大面积高精度三维采集，一举扭转了勘探被动局面。二次三维、大面积三维、整体部署的思想几年来得以推广；采集技术也在此基础上得到发展；针对断陷盆地、复杂断块油田的小面元、高覆盖、大炮检距采集方法也日臻成熟。

第一章 成熟探区二次三维地震勘探技术

冀东油田的二次三维地震勘探工作首先是在老爷庙地区展开的。1996 年根据多方面专家的充分论证,建议在有利地区进行二次三维地震勘探。根据专家建议,在高精度二维地震资料采集试验取得良好效果的基础上,首先对老爷庙地区进行了二次三维地震资料的野外采集工作,此举开创了我国在陆地进行二次三维地震资料采集的先河,同时也为以后二次三维地震资料采集打下了坚实的基础。尔后,在高柳、唐海、柏各庄、北堡等地区先后进行了二次三维地震资料的野外采集工作,均取得了显著的成效。

第一节 二次三维地震勘探的必要性和可行性

一、二次三维地震勘探技术实施的必要性

冀东油田 1996 年以前所采集的三维地震资料总面积为 798km^2 ,其采集面元都是 $25\text{m} \times 50\text{m}$,覆盖次数相对较低,83% 的资料覆盖次数在 12 ~ 24 次之间,只有 17% 的资料覆盖次数达到了 30 次。因此,地震资料的品质普遍较低,这在很大程度上影响到油田勘探开发工作的进程。1985—1990 年间共完钻探井 31 口,其中 15 口井获工业油流,个别井单井日产量很高,但未形成规模油田,仅获控制储量 $555 \times 10^4\text{t}$ 。

1988—1990 年进行了覆盖全区的三维地震勘探,1991—1992 年根据三维地震资料解释成果在庙南完钻探井 3 口,均未能获得工业油流。这一方面说明本区构造十分复杂,另一方面也证实老的地震资料不能够适应本区的勘探工作。

1992 年又在南堡凹陷高柳地区进行了以小道距、高覆盖次数为特征的二维地震采集试验,最终剖面信噪比虽有较大幅度的提高,但受多次波的干扰,其勘探效果并不明显。这使该地区的勘探开发工作始终处于“有油无田”的被动状态。其他地区也存在同样的情况,油气勘探工作由于受地震资料品质不高的限制,很难打开勘探局面。虽然通过各种处理方法使地震资料的品质有所改善,但却不能从根本上解决地震资料品质低的问题。所有这些都对油田的油气勘探开发工作形成了制约,严重地影响了油田的发展。因此,用先进的采集技术和装备进行二次三维采集是彻底改善地震资料品质的最佳途径和最有效的方法。

二、二次三维地震勘探技术实施的可行性

从 20 世纪 90 年代初期至今,地震勘探仪器的发展进入了一个新的时代——24 位 A/D 遥测仪器阶段。美国 I/O 公司 20 世纪 90 年代初在世界上首先采用 A-Z 技术的 24 位 A/D 转换器的新型遥测地震仪,结束了传统 IFP 瞬时浮点放大器的历史使命。加拿大 Geo-X 公司也首次突破了传统的地震排列施工结构和数据传输观念,在地震勘探仪器设计制造领域

引入了网络技术和重采样技术,推出了具有新颖观念的 ARAM 24 遥测地震仪。

美国 I/O 公司生产的 IMAGZ 地震仪器在原来的基础上有较大的改进。原来 I/O System Two (MRX) 和 System 2000 (MRX) 属于纯有线方式系统, I/O System Two (RSR) 的无线电遥控地震仪属于纯无线方式系统。而新的 IMAGZ 系统将上述有线方式 (MRX) 与无线方式 (RSR) 两者有机地结合到一起,完成了一体化设计。在施工中,两种不同方式可以灵活方便地混合使用,在主机中统一进行操作和控制。另外,该系统适用于炸药震源和可控震源等不同的作业方式。不同激发震源方式之间通过主机统一操作和控制,非常方便地进行不同激发方式施工的转换,从而实现同一记录系统可由不同激发方式连续作业的功能。这种功能特别适用于像南堡凹陷这样水陆兼有的复杂地表、过渡带等地区。

近年来,勘探方法不断变化,地震勘探仪器性能不断提高,对石油地震勘探工作无疑是一种良好的技术支持和保障,尤其是对那些要求工期短、任务量大,同时又需要有高分辨率、高精度的三维地震勘探工作而言,作用更大。随着勘探任务要求的不断提高,一些新的勘探方法也在不断研究和发展,以适应这种需求。

目前,地震勘探仪器功能指标已经达到了以下几个方面的要求:

(1) 三维地震勘探仪器配置越来越大。2ms 采样间隔时,仪器接收道数基本上都超过 1000 道,甚至接近 3000 道。如果要按 100% 备用道滚动配置,则一套系统可以配置到 3000 ~ 6000 道。

(2) 同一套仪器系统,有线方式和无线方式紧密结合并且能够灵活施工,这样仪器系统能适应各种不同地表条件,有效克服各种地表障碍。这一点对南堡凹陷的地震勘探工作显得尤为重要。南堡凹陷的地表条件为陆地、滩海和滩涂(水陆交互),现有先进的三维地震勘探仪器完全能够满足三维地震采集的需求。

(3) 现有的地震勘探仪器能适应各种不同激发震源施工方式,包括炸药震源、可控震源、气枪震源等。

(4) 现有地震仪器的采样间隔均达到了 1ms、0.5ms 的采样间隔,可以满足高精度、高分辨率采集的要求(0.5ms 的采样间隔主要应用于煤田地质勘探)。

(5) 地震勘探仪器和外线部分的工作稳定性、排列故障率的不断降低,可以满足地表条件复杂、地面施工范围大的采集要求。

第二节 三维地震资料品质分析

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷的北部,勘探面积 1932km²。目前已发现高尚堡、柳赞、老爷庙、北堡、杜林、唐海、柏各庄、大清河等油田。由于地表条件十分复杂,各构造带地下地质条件也存在差异,地震资料采集工作需根据不同情况作不同的方案设计。下面以高柳地区的三维地震采集为例,对二次三维地震勘探技术方法进行论述。

高柳构造带位于南堡凹陷陆地,东南部与渤海相连,有两条河流(第一入海泄水路和青龙河)贯穿整个工区。受渤海湾气候影响,晴多雨少,冬季多风多雾。工区内道路大部分为乡间小路,适合小型车辆通行,不适于大型机械化作业。构造带面积约 150km²,分为高尚堡背斜构造和柳赞背斜构造。

该区地势平坦,平均海拔 0 ~ 4m。鱼池、虾池和蟹池遍及工区;潮汐带、沼泽地、芦

苇地和结晶池亦有分布。油田设施和建筑物较多，机械和工业干扰严重。禁炮区多，干扰多，地震勘探施工难度大。

一、勘探简况及资料品质分析

高柳地区的勘探工作始于 20 世纪 60 年代，勘探早期以重、磁、电普查工作为主；70 年代开始进行二维地震勘探，测网密度 $1\text{km} \times 2\text{km}$ ，这期间主要采用模拟信号来记录野外采集数据；80 年代开始采用数字记录仪器，在原有工作的基础上加密测网，密度达 $1\text{km} \times 1\text{km}$ ，并于 1985 年在高尚堡构造上首次进行了三维地震勘探（满覆盖面积 64km^2 ）；1989 年以后进一步加大了地震勘探力度，至 1993 年完成了该区的三维地震勘探全部覆盖（图 1-2-1）。

经过前期的勘探工作，在高柳构造带发现了明化镇组、馆陶组、东营组、沙一段、沙三段五套含油层系。由于当时进行三维地震勘探受装备条件、技术条件和管理等方面的影响，资料品质十分低劣，特别是在构造顶部，资料品质差，基本上无法准确落实构造形态（图 1-2-2、图 1-2-3），地震资料所完成的构造图只是作为开发工作的参考，开发方案的调整只能依靠钻井资料。

分析资料品质低劣的原因，主要表现在以下三个方面：

（1）在地震地质条件上，地表条件复杂，中深层断层多、断块小，目的层埋藏深度大；

（2）在技术方法上，由于受当时技术、设备等条件的限制，采集方法针对性不强；

（3）在组织管理上，施工质量存在较多问题。

其中最重要的是技术方法问题：（1）仪器动态范围小，数据精度低，对中、深层弱反射的接收能力差；（2）接收道数少，炮检距受到限制，不利于勘探中、深目的层；（3）面元大，横向分辨率低，断点落实困难；（4）覆盖次数少（8 ~ 12 次），特别是横向覆盖次数只有 2 次，静校正耦合精度差；（5）药量较大，波形发胖，频带窄，不利于提高分辨率；（6）环境干扰强，接收条件差，噪声发育。

由于以上原因，造成地震资料中、深层品质低劣（尤其在构造主体上），致使高柳地区的勘探工作基本上处于停顿状态，开发工作也十分被动，特别是中、深层的开发面临四个方面的问题：（1）地质认识特别是构造细节认识不清，油藏动静态矛盾较大；（2）中、深层油藏地质特征认识程度较低，滚动扩边和调整潜力不明；（3）中、深层油藏的地震、钻井构造图相差较大，地震资料每一次解释都有较大的差异，目前开发工作中所用的钻井构造图矛盾较多，而钻井与地震所揭示的构造形态相差甚远；（4）由于深层地震资料品质差，无法对裂缝和小断裂系统的发育状况及其对注水开发效果的影响等方面进行系统、深入的研究。

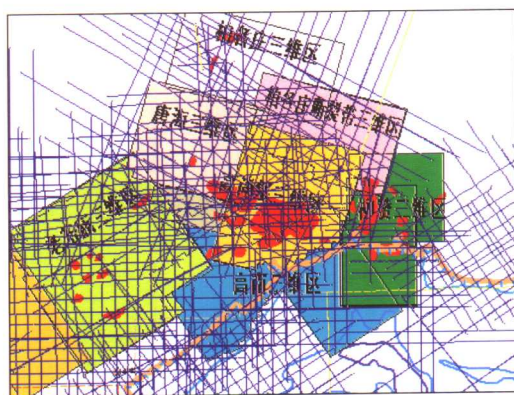


图 1-2-1 截至 1993 年地震勘探程度图
图中的二维测线为数字测线

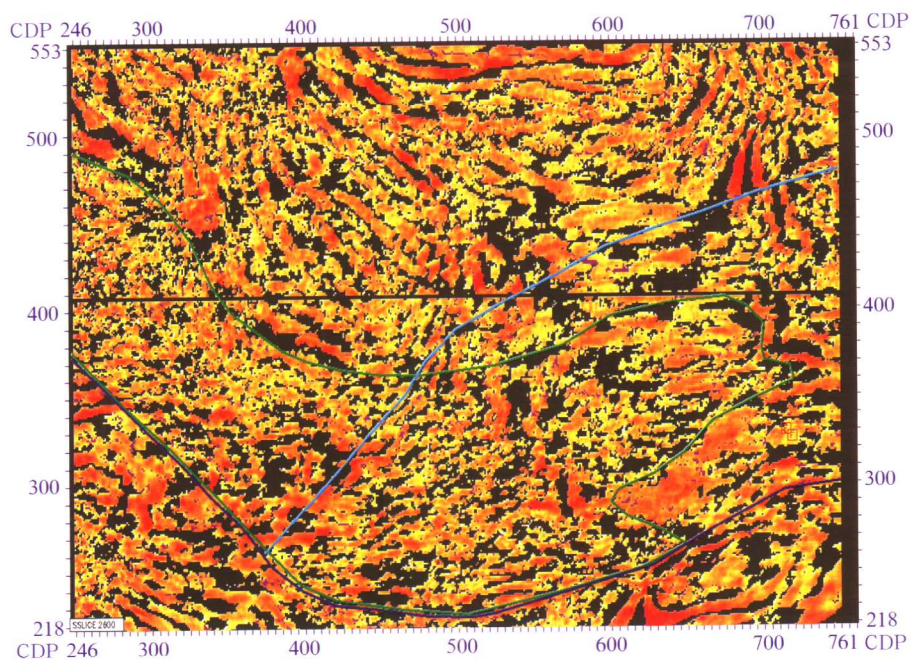


图 1-2-2 主要目的层沙三段地震时间切片



图 1-2-3 高尚堡地区原三维地震剖面

二、二次三维地震勘探地质任务

在二次三维地震勘探的论证中，必须首先明确地质任务，使得采集方法论证有的放矢。在高柳二次三维地震勘探项目的论证过程中，对二次三维地震勘探提出了以下地质任务：

(1) 通过新一轮三维地震勘探，使高柳地区地震资料的品质有明显提高，在此基础上，落实构造细节，理顺油水关系，在浅、中、深层能满足滚动勘探开发的不同需要；(2) 对浅层资料（新近系）在提高信噪比的同时，提高资料的分辨率，能达到开展精细构造解释及进行反演研究储层特征的要求；(3) 对中、深层资料，其目的层段的主要反射同相轴

具有一定的波组特征和可连续对比性，能够进行可靠的构造解释，满足滚动勘探及油田开发调整的需要。具体为：(1) 浅层通过构造解释及储层预测能达到准确识别断距大于 10m 以上的断层、厚度大于 12m 以上储层的空间分布特征、面积大于 0.15km² 以上的断块。(2) 中、深层能进行准确的构造解释，能准确识别有一定规模的断块。目的层埋深 3000 ~ 3300m 时，断距识别能力达到 20m，断块面积大于 0.2km²；目的层埋深 3300 ~ 3600m 时，断距识别能力达 40m，断块面积大于 0.3km²。

第三节 二次三维地震技术方案论证

高柳属于典型的水陆交互地区（图 1-3-1），地表条件相当复杂，整个工区可以看作由三部分组成：从北到南，依次是农田、水网和潮汐带。在施工区，农田为 50%，水网为 40%，潮汐带为 10%。工区内养殖业异常发达，农田和水网区都养了大量螃蟹，水网区还有鱼、虾和珍珠养殖。另有青龙河南北向贯穿工区，青龙河是运盐通道，在它两旁有大量的卤池、盐堆和村庄（图 1-3-2）。该区是老油区，有油井 400 余口，地下管道纵横交错。这些障碍物造成施工中炮点和检波点布设的难度很大（图 1-3-3）。

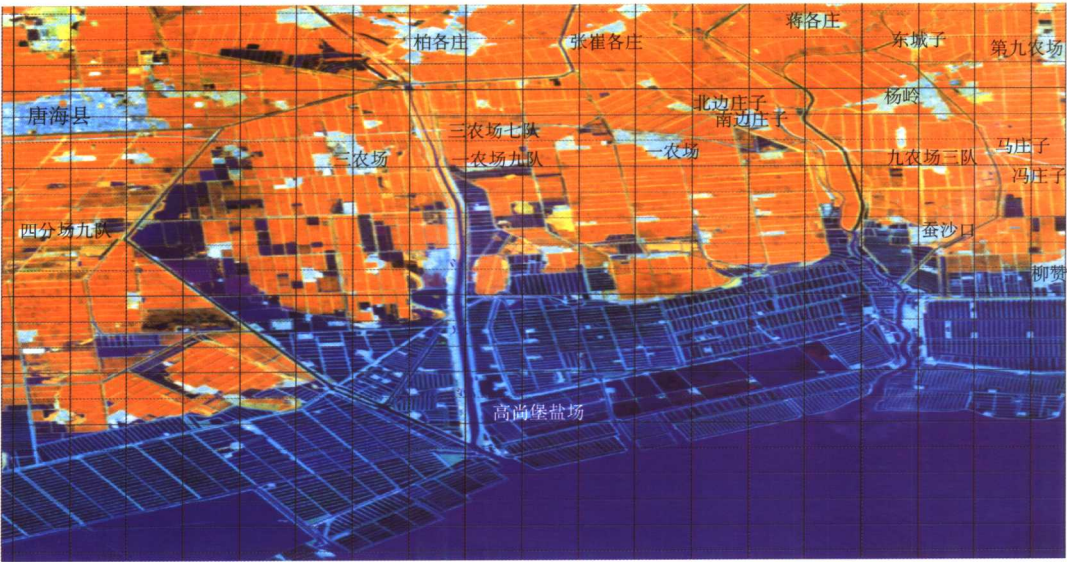


图 1-3-1 工区地形图

在高柳地区重新进行三维采集的最大难点就是如何按设计布置炮点和检波点，确保目的层面元的覆盖次数、炮检距、方位角分布均匀合理，这需要应用变观和特观设计技术，要求有设计软件作为支撑。

一、针对复杂地表条件的技术对策

(一) 恢复性炮点变观技术

工区中障碍物太多，70% 的物理点不能按原设计位置摆放。对于大量的一般性的障碍



图 1-3-2 青龙河旁边的盐池和村庄

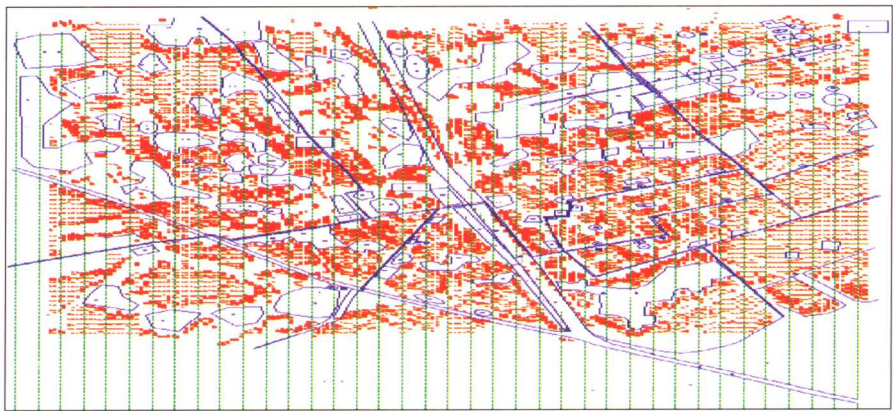


图 1-3-3 实际的炮点和检波点分布图
图中红色为炮点，绿色为检波点，蓝色为障碍物区域

物，主要采用恢复性炮点变观方式指导野外生产。也就是将设计中落在障碍物区内的炮点，按照勘探目的层深度的要求，对称地向测线的两端移动。这种技术的关键是，炮点沿测线方向到底可以移动多大的距离。

恢复性炮点的最大移动距离是由有效炮检距决定的，所谓有效炮检距就是考虑了切除和动校拉伸等因素后的炮检距。对于不同深度的目的层，有效炮检距是不同的。在大型障碍物附近，主要缺失中、小炮检距，因而会引起浅层开口，在以往采集资料上，浅层开口深度达到 1.7s，涉及了目的层馆陶组，给后期开发带来很大的困难。在观测系统的设计过程中，通过有效炮检距射线追踪发现：要得到浅目的层的资料，恢复性炮点移动的最大距离应控制在 250m。这是相对于二维观测系统的情况，三维采集用的是 8 线 20 炮，横向上有 4 次覆盖，因此只要在这 20 炮中有连续 5 炮的偏移量小于 250m，就可以保证浅层有 1 次覆盖（图 1-3-4），就可以较好地控制浅层开口。因此，在每束线的测量结束后，方法人员检查炮偏数据是尤为重要的。

（二）炮点非纵向变观技术

该区有一部分比较典型的障碍物，例如：长宽都相对固定的盐池、鱼池和蟹池。池子

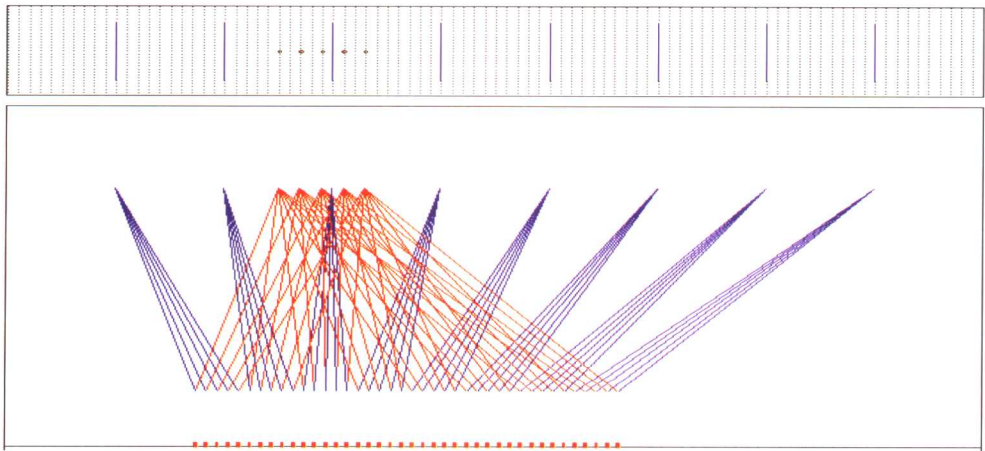


图 1-3-4 三维观测系统横向上连续炮数形成连续的覆盖次数

周围是一些形状相对固定的沟渠，尽管在池子中是禁止放炮的，但在沟渠中可以采用小药量激发。只是理论炮点的位置不可能正好在这些沟渠中，要利用一切可能的地方放炮，炮点要经过一定的偏移。原则上三维的炮点可以任意布设，因为它和接收道的中心点总可以落入工区内的某一个面元中。但为了处理的方便，希望中心点不要落入面元的边线上，并力求不破坏面元的横向覆盖次数，也方便野外质量控制。在这些特殊地区，规定炮点可以横向偏移 30m（图 1-3-5、图 1-3-6）。

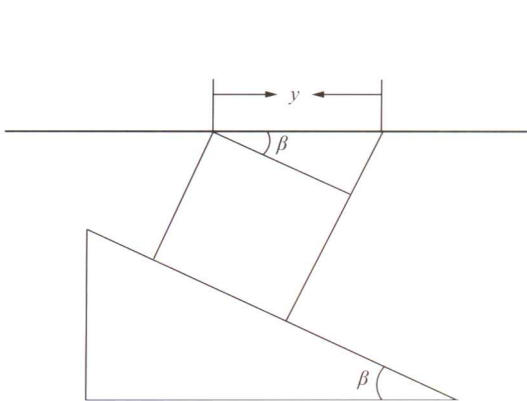


图 1-3-5 炮点非纵变观的反射时差示意图
 β 为地层真倾角， y 为面元边长

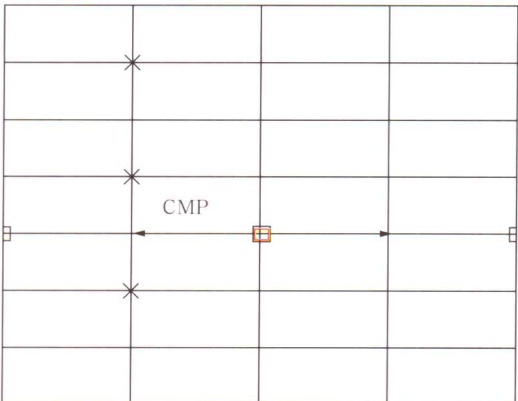


图 1-3-6 炮点非纵变观平面示意图

（三）块状特观设计技术

对于工区中的大型障碍物，例如码头，采用恢复性变观和非纵变观，仍不能解决浅层资料缺失的问题。要得到完成地质任务的资料，需要进行特观设计。特观设计需要遵循以下原则：

- （1）通过工区调查，确认在障碍物区无法正常地设置规则的激发线和接收线时，可设计特殊观测系统；
- （2）实测障碍物位置和范围；