



中国石油天然气集团公司
CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION

物探工程技术交流会论文集

中国石油天然气集团公司 工程技术与市场部 编
石油工程技术承包商协会



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国石油天然气集团公司

物探工程技术交流会论文集

中国石油天然气集团公司 工程技术与市场部 编
石油工程技术承包商协会

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收录了2005年10月召开的中国石油天然气集团公司物探工程技术交流会论文39篇。分采集、处理、解释及软件与装备四个部分。反映了地球物理勘探新技术、新方法及新成果,包括典型适用技术、成功应用并可推广的技术实例及代表专业发展方向的前沿技术。可供石油地球物理勘探、石油地质等专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

物探工程技术交流会论文集 / 中国石油天然气集团公司工程技术与市场部, 石油工程技术承包商协会编. —北京: 石油工业出版社, 2005.10

ISBN 7-5021-5260-1

I. 物…

II. 中…

III. 油气勘探: 地球物理勘探—文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 120669 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.com.cn

总 机: (010) 64262233 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

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.75

字数: 400 千字 印数: 1—1000 册

定价: 48.00 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

前 言

为了贯彻落实中国石油天然气集团公司勘探开发工程技术工作会议精神，全面总结交流“十五”以来地球物理勘探新的适用技术和新成果，2005年10月召开中国石油天然气集团公司物探工程技术交流会。针对目前地球物理勘探面临的技术难点进行研讨，交流提高中国石油天然气集团公司物探工程技术水平，以期在油气勘探开发中发挥更大的作用。

“十五”以来，随着地球物理勘探装备的不断更新和技术的进步，中国石油天然气集团公司地球物理勘探专业逐步形成了适用于各种复杂地表及地下地质条件的地球物理勘探方法技术系列，在油气田的勘探开发过程中发挥着越来越重要的作用。本论文集收录了地球物理勘探新技术、新方法及新成果，包括典型适用技术、成功应用并可推广的技术实例及代表专业发展方向的前沿技术，供石油地球物理勘探、石油地质技术人员借鉴参考，以促进整体技术水平的提高。

本论文集的编辑出版得到了东方地球物理公司、大庆石油管理局钻探集团公司物探公司、吉林石油集团地球物理勘探公司、辽河石油勘探局地球物理勘探公司、四川石油管理局地球物理勘探公司、中国石油天然气集团科技发展部、中国石油天然气股份公司勘探与生产分公司及各油气田分（子）公司等单位的大力支持，在此表示感谢！

2005年10月

目 录

采 集 部 分

复杂山地地震勘探数据采集技术及其效果·····	施海峰 严 峰等	(3)
西部地区复杂山地地震采集技术进展·····	张晓斌 王勤耕等	(9)
山地宽方位三维地震勘探技术·····	胡一川 李志荣等	(14)
山地高陡构造地震采集技术·····	李正佳	(20)
鄂尔多斯盆地黄土山地地震勘探技术·····	倪宇东 杨志军等	(29)
大沙漠区地震勘探数据采集技术及其效果·····	王乃建 严 峰等	(34)
复杂地表条件下地震采集技术在大庆探区的应用·····	周志才 刘杰烈等	(39)
辽河大民屯凹陷精细地震采集技术研究与应用·····	王著芳 朱大力	(47)
辽河坳陷大平房—驾掌寺火山岩发育区地震采集方法攻关·····	乔永富 李云明等	(53)
高精度地震勘探数据采集技术及其效果·····	黄永平 宋强弓等	(61)
高精度三维地震采集技术在吉林探区的应用·····	刘 军 卢 军等	(66)
松辽盆地北部高分辨率地震勘探技术及其应用·····	勾永峰 王建民等	(70)
辽河外围低信噪比地区采集方法研究·····	梁绍波 姜远升等	(80)
可控震源高效数据采集技术及应用效果·····	张慕刚 魏 铁等	(86)
浅海过渡带地震勘探技术及其应用效果·····	全海燕	(91)
三分量三维地震勘探技术及效果·····	詹世凡 邓志文等	(97)
多波多分量地震勘探技术及其在大庆探区的应用·····	王建民 张向君等	(106)
高密度空间采样地震勘探技术·····	王梅生	(114)
非零 VSP 地震勘探技术及其在大庆探区的应用·····	王玉贵 王建民等	(118)
数字草图测量技术·····	王晓辉	(124)

处 理 部 分

复杂地表区静校正技术进展·····	冯泽元 李培明等	(133)
叠前时间偏移处理技术及应用效果·····	刘占族	(139)
叠前时间偏移技术及其在大庆探区的应用效果·····	孙长赞 王兆湖等	(144)
复杂山地高陡构造地震数据处理技术·····	戴晓云	(150)
西部复杂区地震数据处理技术研究·····	赵 波	(155)
吉林探区高精度三维资料处理技术·····	刘 军 黄 棱等	(159)
川中广安构造二维转换波数据处理技术研究·····	李 忠 谢 芳等	(164)

解释部分

松辽盆地北部徐家围子地区深层火山岩储层预测技术及应用	崔凤林	张向君等	(173)
松辽盆地北部扶杨油层河道砂体的地震识别方法研究	王允清	杨懋新等	(176)
岩性地层圈闭识别技术及效果		纪学武	(181)
储层裂缝发育带的地震综合预测	李亚林	巫芙蓉等	(186)
塔里木盆地碳酸盐岩储层预测技术及应用效果		杨平	(194)
四川盆地碳酸盐岩储层地震预测技术及其应用	谢芳	李志荣等	(198)
三维地震资料精细解释技术在吉林探区隐蔽油气藏勘探中的 应用	卢军	吴名等	(212)
综合物化探新技术及应用效果	李德春	何展翔等	(217)

软件与装备

GeoEast V1.0 地震数据处理解释一体化系统		刘超颖	(225)
地震采集设备在辽河探区的应用	康锦生	王全收等	(230)
新型国产可控震源研制成果	傅德莲	陶知非等	(239)
地震队生产调度指挥系统	易昌华	陈继红等	(242)

采 集 部 分

复杂山地地震勘探数据采集技术及其效果

施海峰 严峰 唐东磊

(东方地球物理公司)

摘要 近年来,针对中国西部地区复杂山地地表与地下地震地质条件,以及地质目标与勘探任务的要求,东方地球物理公司进行了大量的地震数据采集技术研究,在观测系统优化设计、激发与接收、表层调查与静校正技术等各个方面,取得了丰富的研究成果,使地震资料品质获得了普遍的提高,并且在多个勘探区块和领域获得重大突破,为西部地区复杂山地油气勘探作出了重大的贡献。

关键词 西部 复杂山地 观测系统 表层调查建模 激发 静校正

引言

我国西部山地地表与地下地震地质条件十分复杂,主要表现在地形地貌、出露岩性、表层结构多变,地下构造样式种类多、地震波场变化剧烈等方面,使地震勘探数据采集面临信噪比低、成像困难等问题,严重制约构造的落实与勘探精度的提高。在复杂山地地震数据采集中,采用简单的采集方法难以在整体上保证地质任务的完成。针对以上难题,通过持续的方法研究,形成了复杂山地地震勘探采集技术:多种方法相结合的表层调查技术、基于卫星遥感数据与模型分析的观测系统设计技术、基于表层特征的逐点激发与接收参数设计技术、多种方法相结合的静校正技术。通过以上技术措施在复杂山地二维、三维等地震勘探数据采集项目中的全面应用,有效地提高了资料品质,取得了明显的效果。

一、地震数据采集面临的主要问题

中国西部地区复杂山地地震数据采集面临的主要问题,是由其复杂的地表与地下地震地质条件决定的,主要表现在以下两个方面。

1. 地表地震地质条件复杂

西部山地地形地貌、出露岩性、表层结构的复杂性,造成激发与接收条件差,有效反射观测困难。单炮记录中各种干扰严重、难以见到有效反射;同时表层调查实施难度大,静校正精度难以保证。致复杂山地地震记录信噪比极低。

2. 地下地震地质条件复杂

西部地区复杂山地地下构造多表现为逆掩推覆与高陡构造,构造样式复杂,目的层埋藏深度变化大,吸收衰减严重,断裂系统发育,大面积发育的膏岩层、煤层对地震波的屏蔽作用严重。地下地震波场非常复杂,速度场纵、横向变化大,各种规则干扰与散射干扰

严重。地震勘探理论与之存在较大的差距，数据处理成像困难，资料解释精度难以保证。

针对复杂山地地表与地下地质结构带来的一系列技术难题，在地震数据采集中，应重点进行四个方面的研究：表层调查与建模、不同条件下的激发、地震反射的有效接收、静校正方法的优化。

二、采取的关键技术及措施

1. 确定“由表及里”的攻关思路

要搞清地下地震地质特征，必须首先搞清表层结构特征；要获得深部目的层的地震资料，必须首先获得优质的浅中层地震资料。其重要性表现在以下四个方面：

①只有查清表层结构，才能进行针对性的设计与试验，才能确定不同表层结构的最佳激发与接收参数；

②只有查清表层结构，才能建立准确的表层模型，提高静校正的精度；

③只有查清表层结构，才能在适宜的位置布设炮检点；

④只有获得丰富的反射信息，才能保证深部目的层成像与解释精度。

2. 遵循“点、线、面”的工作程序

在复杂山地地震数据采集技术研究中，遵循“点、线、面”的攻关程序，确保了工作进程规范化、程序化、标准化。

①点上突破：首先要根据工区特点，针对性地开展研究，在激发和表层调查上获得突破；

②线上见效：根据点试验结果，确定试验线的采集因素，进一步优化采集技术参数；

③面上展开：如果试验线取得明显效果，在全工区进行数据采集。

3. 强化“四个方面”的技术研究

1) 表层调查与建模技术

表层调查技术是整个复杂山地技术研究的先导与基础，其重要性表现在静校正、激发参数设计、炮检点布设、观测系统设计方面。

鉴于复杂山地表层调查工作的重要性与复杂性，首先采用多种方法综合的表层调查技术，针对不同的地表特点、表层结构特点，分区分段采用不同的表层调查方法，保证取全取准表层参数。其次是科学合理地布设表层调查控制点。针对一次性布设控制点难以保证完全控制表层结构变化与模型精度的问题，坚持循环迭代的表层调查过程，在可能存在问题的点段，加密控制点，进行验证，逐步提高模型的精度。同时根据表层结构的特点，采用分区分段的表层建模方法确保模型的准确性。

2) 激发技术

复杂山地激发技术的重点是提高单炮记录的信噪比，难点主要表现在选择适宜的激发方式、激发因素与激发条件。采用井炮与可控震源联合激发技术，可以满足复杂山地不同地表条件的需要。同时在优选速度层、优选岩性、优选地形、优选倾角、优选震场激发等方面开展细致的工作，确保每一炮均具有较好的激发条件。为了确保激发效果，我们一直致力于复杂山地钻井设备的研制与工艺的改进，提高钻井能力，对提高复杂山地单炮品质发挥了重要的作用。

3) 观测系统设计与应用技术

针对复杂山地的地震地质特点,进行了多种观测系统设计与应用方面的研究,取得了有益的认识,形成了针对复杂山地的系列观测系统设计技术。

(1) 基于模型正演和理论计算的观测系统设计 通过建立准确合理的地质模型,进行模型正演,直观地反映地下波场的分布情况,得到不同层位、不同部位的地震反射波路径,进而确定可接收到复杂目的层段地震反射波的地表激发点与接收点地段,为观测系统设计及采取针对性的变观方式提供参考,提高复杂山地观测系统的观测能力。同时根据地球物理参数进行观测系统道距、排列长度、覆盖次数等参数的计算,为观测系统设计提供依据。

(2) 基于实际资料分析的观测系统设计 由于山地地震地质条件的复杂性,模型正演与理论计算为观测系统设计提供了理论基础,其结论是一个定量的参考。在复杂山地观测系统设计中,特别重视对实际资料的分析,通过单炮记录与剖面分析,可以对道距/面元、最大排列长度、覆盖次数等参数的正确性进行验证,所得结果比理论计算更具有针对性,更加有效。

(3) 灵活多变的观测系统应用 山地地震地质条件复杂,不同地段激发与接收效果不同,对地下构造成像的贡献也不同,同时由于复杂的地表条件使在激发与接收点的布设上也存在较大的困难,设计的观测系统在野外应用中存在许多限制。因此在实际应用中必须坚持“三个有利于”原则——有利于激发、有利于接收和有利于得到好资料。采用灵活多变的观测方式,最大限度地采集有效的反射信息。

4) 静校正技术

经过多年的方法研究与经验积累,对影响静校正精度的各种因素以及各种静校正方法的适用性有了充分的认识,通过各种静校正方法的综合应用,取得了明显的效果。

(1) 模型法静校正技术 该方法是在分区、分段的表层建模方法基础上形成的,在表层调查资料准确、表层结构清楚的地区具有较高的精度。

(2) 初至折射静校正技术 主要应用于低降速层厚度大、有较稳定的折射界面的区域,一般在山前带效果较好,解决高频分量的能力较强。

(3) 初至层析静校正技术 基于回折波理论,不需要稳定的折射界面。应用于低降速层厚度大的山前带与山体区,效果较好,解决中、低频分量的能力较强。

(4) 中间参考面静校正技术 主要是解决高速层起伏带来的静校正问题。

(5) 高、低频静校正分离技术 由于不同的静校正方法解决静校正高、低频分量的能力存在差异,为了充分发挥不同方法的优势,需要进行静校正的高、低频分离。

(6) 多种方法综合优化的静校正技术 是对以上静校正技术方法的综合优化应用。针对不同的问题,分区分段选择不同的静校正方法,充分发挥不同静校正方法的优势,以达到最佳的静校正效果。

三、地震采集实例及效果

上述技术措施的实施,有效地提高了西部复杂山地地震数据采集水平,显著改善了原始资料品质,在多个区块获得重大突破。以塔里木盆地复杂山地地震数据采集为例,

将近年东方地球物理公司在西部地区地震勘探数据采集技术进步方面取得的应用效果简介如下。

1. 复杂山地高密度空间采样二维地震勘探数据采集

却勒地区是库车坳陷西部地震地质条件最为复杂的地区之一，是油气勘探的重点区域。该区的地震资料信噪比很低，而且地下速度场纵、横向变化复杂，影响解释的精度。不但涉及到提高深层资料信噪比，而且要求得到以往资料没有得到的中浅层反射，确保资料处理的速度分析精度与资料解释精度。2003 年在该区应用高密度空间采样地震勘探技术，资料品质得到了明显改善，以往资料没有得到的浅层及盐顶反射，在高密度空间采样剖面中见到清楚显示（图 1）。

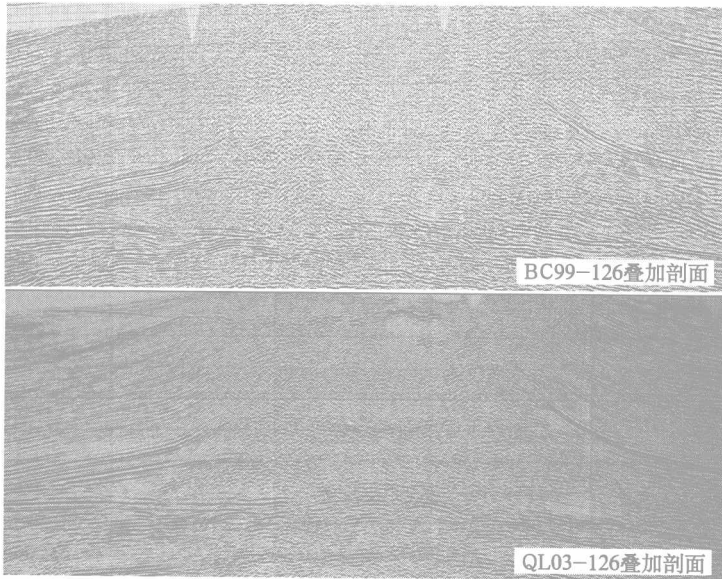


图 1 却勒地区高密度空间采样采集剖面与以往剖面对比

2. 复杂山地宽线地震采集实例

克拉苏构造带是库车坳陷油气最为富集的区域，位于该构造带的克拉 1 构造，由于地震波场复杂，各种散射干扰严重，造成二维地震资料构造特征不清楚。针对这一问题，2005 年进行了宽线地震数据采集，采用 4 线 5 炮宽线观测系统，剖面效果明显改善（图 2），不但进一步落实了克拉 1 构造，也确定了克深 1 构造的存在。

3. 复杂山地三维地震采集实例

库车坳陷大北山地三维是塔里木盆地 2005 年的重点项目，位于吐北构造带。大北气田已发现并投入开采，但是由于复杂的地震地质条件，以往的二维资料地层特征不清晰，限制了气田的进一步开发。本次三维地震勘探在认真总结以往山地三维经验的基础上，针对大北 1 号构造的地震地质特征，采用小面元、小滚动距、较高覆盖次数、较窄方位、适宜排列长度的非正交观测系统；同时实现 100% 高速层激发，确保了单炮品质，使大北山地三维地震剖面信噪比明显提高，构造特征与地质特征清楚（图 3）。

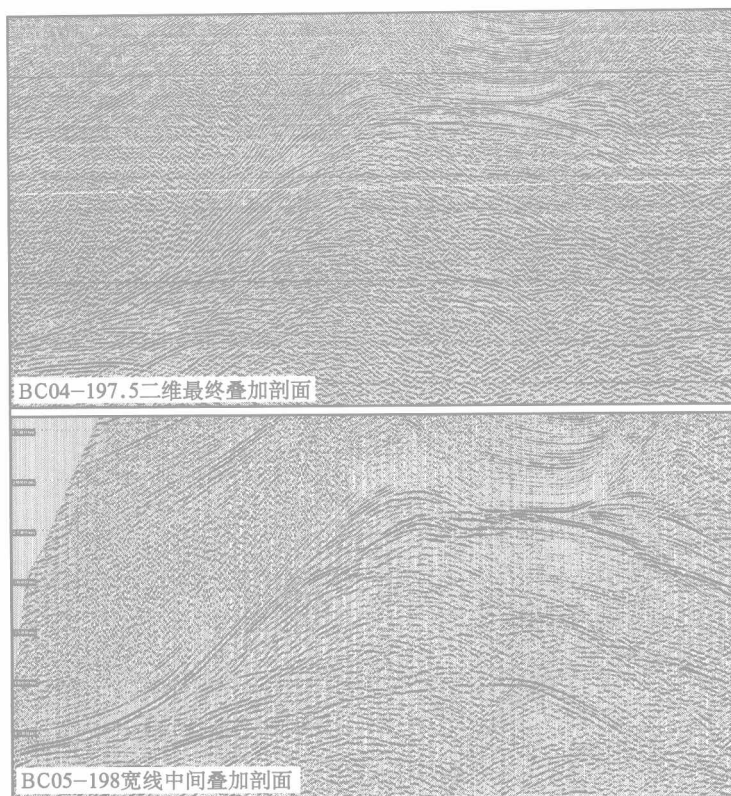


图2 克拉1构造宽线采集剖面与以往剖面对比

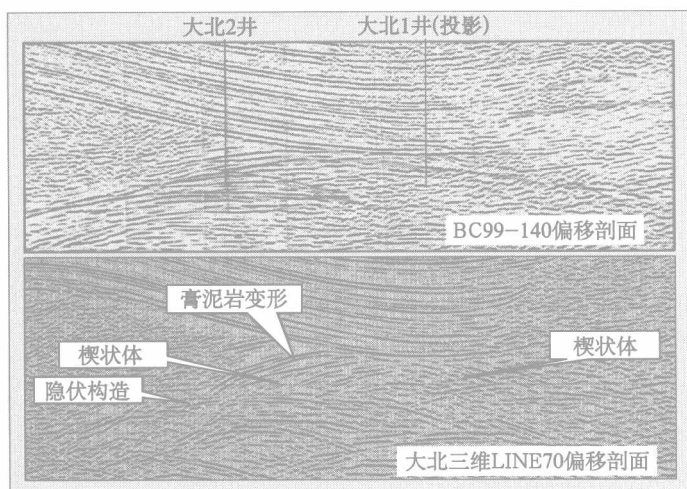


图3 大北山地三维剖面与以往剖面对比

四、下一步研究方向

- ①进行大吨位可控震源与深井钻机的研制，提高激发效果。
- ②深化静校正新方法的研究。

③深化采集方法的研究。

五、结 束 语

在西部地区复杂山地油气勘探中，通过多年的地震数据采集实践，东方地球物理公司进行了大量的技术研究，形成了针对性的复杂山地地震数据采集配套技术系列，解决了大量影响资料品质的难题，使剖面品质有了显著的提高，为加快西部油气勘探进程发挥了重要作用。但是随着西部油气勘探、开发的不断深入，复杂山地地震勘探面临着许多新的技术需求，复杂山地地震勘探数据采集技术需要不断创新、持续研究，解决新的技术问题，为我国油气勘探事业的持续发展作出新的贡献。

参 考 文 献

- 陆基孟. 1993. 地震勘探原理. 东营: 石油大学出版社
阎世信等. 2000. 山地地球物理勘探技术. 北京: 石油工业出版社
熊翥. 1999. 复杂地区油气地球物理勘探技术(数据采集). 北京: 石油工业出版社
熊翥. 2002. 复杂地区地震数据处理思路. 北京: 石油工业出版社

西部地区复杂山地地震采集技术进展

张晓斌 王勤耕 陈江力 罗卫东 吴晓华 唐涛

(四川石油管理局地球物理勘探公司山地分公司)

摘要 西部复杂山地是油气勘探重点区带之一。该区的地震地质条件复杂,表现为地形起伏大、山前巨厚砾石堆积、表层结构和地下构造变化大的特点。在该区采集的地震资料普遍存在信噪比低,造成构造主体部位成像不清的问题。提高地震原始资料的信噪比是该区地震工作的最大难点。采用建立表层调查控制点密度测试标准,“循环迭代式”的表层结构调查流程,通过循环调查、迭代建模的方法有效地提高表层结构模型的精度;根据表层结构模型逐点设计激发、接收参数,重点保证高速层激发以及检波器与岩层的良好耦合;在厚黄土、巨厚砾石、表层风化严重等地区,采用宽线采集技术,应用这些技术在该区进行地震攻关,使地震原始资料的信噪比和关键构造部位的成像质量较以前有明显的提高。

关键词 西部 复杂山地地震采集 表层结构调查 宽线采集

引言

西部地区复杂山地的地震地质条件主要有两个特点:一是地形起伏大,表层结构复杂,构造的关键部位在地表一般为巨厚砾石堆积。复杂的地形地貌和表层条件,使激发、接收条件变化剧烈,地震子波一致性差,静校正问题突出。二是地下构造复杂、褶皱强烈、断裂发育,导致地震波场十分复杂,叠加偏移成像困难;主要勘探目的层上覆的膏盐岩体巨厚且厚度变化大,对地震波能量形成屏蔽作用,主要目的层反射能量弱,速度场剧烈变化,构造形态的准确落实难度非常大。

由于这些地震地质特点,该区的地震资料品质普遍较低,构造主体部位成像不清。

通过连续十几年以提高原始资料信噪比为目标的采集技术攻关研究,在复杂地表表层结构精细建模、高速层激发、宽线采集等复杂山地地震采集技术方面取得较大进展,有效地提高了单炮记录信噪比,从而较大幅度地改善地震剖面品质。

一、复杂山地采集技术进展

1. 复杂地表表层结构精细建模技术

1) 建立表层调查控制点密度测试标准

根据工区岩性出露不同划分出不同岩性分布区,同一种岩性分布区风化程度等物性基本接近。首先开展等间距的高密度表层调查,建立高精度的表层模型作为基值线,然后剔除部分控制点,逐渐降低密度,直到不能建立准确模型为止,这样就能够得到各种岩性合理的控制点密度和方法。

以库车坳陷阳北构造带 2004 年施工为例，绘制出不同控制点密度的高速顶模型（高速层 $\geq 1800\text{m/s}$ ），以 500m 间隔模型作为基线开展表层结构控制点密度测试。

比较图 1 和图 2 的高速顶模型，上第三系康村组和吉迪克组基岩 500m 和 1km 两种密度的高速顶界面基本重合，而在山前砾石区出现了微小的差值（2.8m）。进一步抽稀控制点，比较高速顶模型，确定出差值最小的控制点密度。



图 1 500m 控制密度表层模型

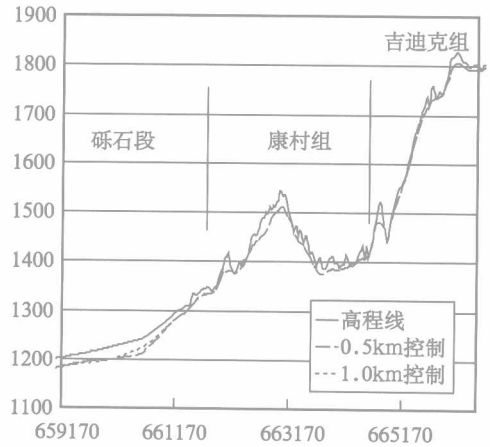


图 2 1000m 控制密度表层模型

在地表变化剧烈的地区，采用表层调查资料内插解释模型方法，针对不同的岩性分布区进行相似系数值测试，使非控制点的结构更趋于合理。

2) “循环迭代”法表层结构调查工作流程

针对表层结构复杂的特点，为建立高精度的表层结构模型，采用“循环迭代”式的表层结构调查流程（图 3）。该流程是以平均密度布设控制点调查建立的初步表层模型为基础，对低降速层厚度突变段、地表岩性变化段、地形起伏剧烈地段加密控制点进行循环调查，有效地提高了表层结构模型的精度。

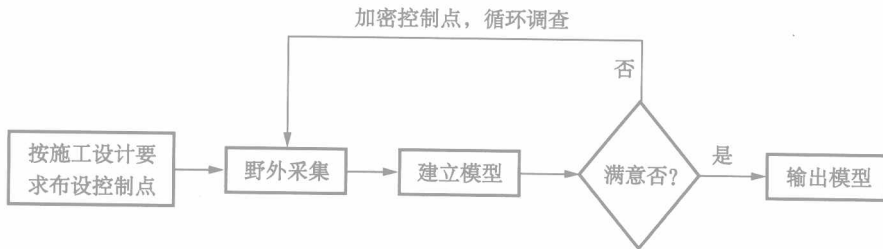


图 3 循环迭代表层结构调查流程图

3) 采用多种表层结构调查新技术

以小折射、微测井、超深微测井为主，发展了表层结构调查实用新技术——微 VSP、层析调查、大炮初至层析反演等新技术，采用多种有效技术手段提高建模精度。

2. 高速层激发技术

一是逐点设计激发井深，它是保证高速层激发的关键。由于不同激发点低、降速层厚度、激发药量可能存在差异，根据表层结构调查建立的表层模型逐点设计激发井深参数。

二是高速层界面的确定，有潜水面以潜水面作为高速层顶界面，无潜水面的地区以统一一个速度如 2500m/s 作为高速进行近地表建模确定高速层顶界面，表层结构调查则应尽量保证该速度界面沿地震测线方向的相对稳定性，以提高地震子波的稳定性和单炮品质的均一性。

激发介质的密度、孔隙度、孔隙填充物、速度等属性是影响激发效果的主要因素。以双微测井方法进行不同速度层品质因素、吸收衰减系数、激发频谱、能量的测试，确定最佳激发速度和激发岩层。

在工区选有代表性的岩层点，利用双微测井进行观测（图 4）。分别在地面 A 点、井中 H_0 、 H_1 、 H_2 点激发，另一井内接收。激发药量相同，闷井方式相同。A 点激发时，对比分析各速度层对地震波的衰减和吸收作用，计算各层的吸收和衰减系数；井中 H_0 、 H_1 、 H_2 点激发时，利用同层接收信号，提取各层激发的近似子波，分析在不同激发介质中激发子波的频谱变化情况和能量大小，实现建立吸收、衰减模型的研究目的。

3. 宽线采集技术

在厚黄土、巨厚砾石、表层风化严重等地区，采用宽线采集的剖面地震成像效果明显。宽线采集主要优点：一是增加有效覆盖次数。二是提高了对横向干扰的压制能力。还可使用宽线进行二维采集参数的野外测试。

宽线采集主要技术：一是采用三维表层结构建模技术进行宽线精细表层结构建模，对宽线的每一条激发、接收线进行表层结构调查，用三维静校正方法解释成图。二是观测系统设计时用三维设计理念，单线有较高覆盖次数（至少 100 次以上），面元要求同三维。可通过一条测线进行参数测试，确定最佳的采集参数。三是激发、接收上，以表层调查结果逐点设计激发深度和逐点设计检波器组合高差，组合接收是压制干扰波、提高原始资料信噪比的有效手段。

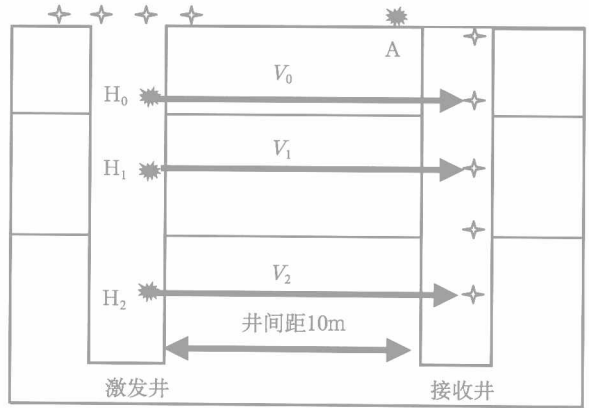


图 4 分层激发能量变化观测方式

二、应用效果

采用建立表层调查控制点密度测试标准，“循环迭代”法表层结构调查工作流程精细地查清了工区低降速带的分布规律，并建立了该区的低降速带资料数据库。在此基础上，逐点设计激发井深（以保证高速层中激发）和组合高差。

图 5、图 6 是研究地区同一激发点在高速层和降速层内激发的单炮记录，由此可以看出：高速层内的激发效果明显优于降速层内激发效果。