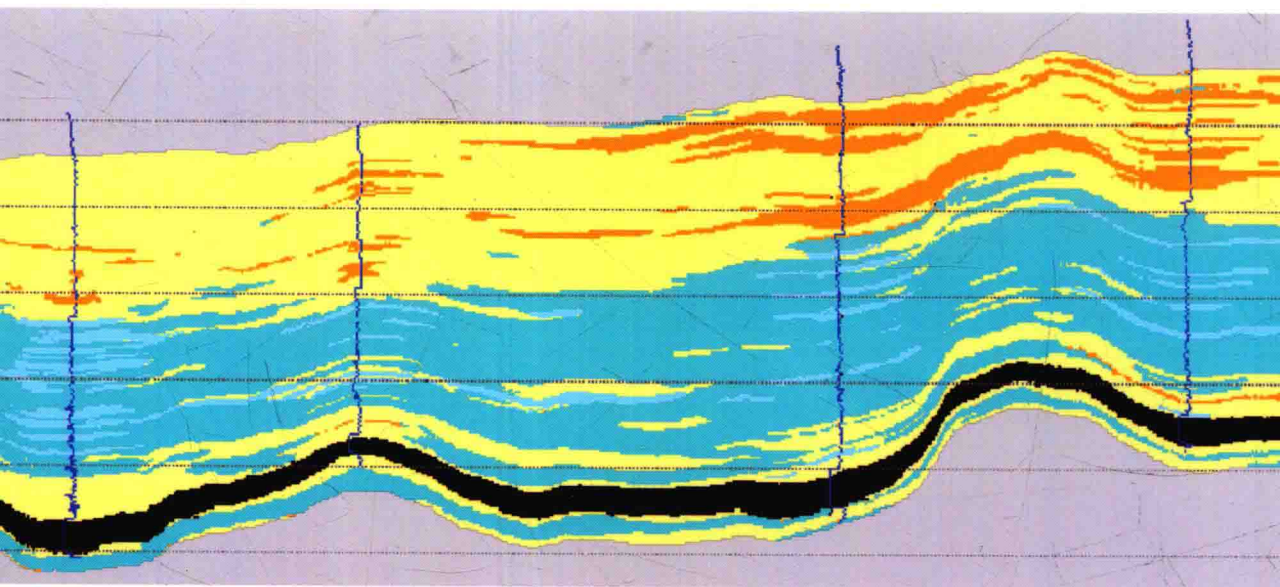


黄土塬煤矿采区 三维地震勘探技术

冯西会 马丽 高阳 王中锋 唐建益 著



科学出版社



陕西省科技资源开放共享平台项目 (2016FWPT-16) 资助

国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室重点资助项目 (ZZ2016-2) 资助

黄土塬煤矿采区三维地震勘探技术

冯西会 马 丽 高 阳 王中锋 唐建益 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了黄土塬煤矿采区三维地震勘探现状和勘探技术的研究进展,内容包括黄土塬煤矿采区三维地震数据采集、处理和精细解释方法,从应用角度结合实例讨论了该技术在解决黄土塬区煤矿开采中各领域不同地质问题的应用效果。

本书的实用性较强,对从事煤炭地震勘探的技术人员和管理人员具有一定的参考价值,也可供煤矿地质、采矿等有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土塬煤矿采区三维地震勘探技术/冯西会等著. —北京:科学出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-03-051965-8

I. ①黄… II. ①冯… III. ①黄土高原-煤矿开采-采区-三维地震法
IV. ①P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 043167 号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2017 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张:16 1/2

字数:391 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

煤矿采区三维地震技术是在油气三维地震勘探技术理论与方法的基础上,针对煤矿开采的地质保障需求发展而来,并逐渐形成专门为煤矿采区采前勘探服务的一种高精度三维地震勘探技术。从历史上讲,它是1989年在原煤炭工业部地质局根据我国煤炭工业中广泛推广采用综合机械化采煤技术对地质保障的需求,瞄准地震勘探世界先进水平,组织完成山东省济宁煤田唐口井田首采区三维地震勘探和1993年在安徽淮南矿区谢桥煤矿东一、西一采区三维地震勘探示范工程的基础上,于1995年以后逐步发展起来。回顾我国煤炭地震勘探近60年的历史,早期(1955~1985年)主要用于煤炭资源勘探,近年(1985年至今)除了用于煤炭资源勘探外,更主要是用于煤矿的开发勘探(采前勘探)。三维地震是我国煤炭地球物理行业中发展最快的一个领域,这主要是由于它具有分辨率高、穿透力强、能够得到清晰且精度高的地质目标图像的特点。近20多年的勘探实践证明:三维地震可为优化矿井设计(包括井筒位置)提供可靠的地质资料;有助于准确规划采区、综采块段、炮采块段及构造复杂区,从而合理设计采区巷道;有助于确定采煤方法和配采方案,同时,对工作面的方向、长度及走向长度的合理确定也具有重要作用。与其他地球物理方法相比,三维地震勘探的数据采集、处理及解释的成本费用较高,但在不断地实践应用中,人们逐渐认识到它在煤矿开发中的重要作用和应用价值,现今全国每年都有100多个煤矿采区投入实施三维地震勘探工程,均获得较高的投资回报率。

目前,煤矿采区三维地震勘探已广泛用于我国的平原、城镇、水网、丘陵、沙漠和山区等煤矿区。由于黄土层具有强反射面的能量屏蔽作用,巨厚疏松的黄土层可对地震能量和高频成分进行强烈吸收,导致面波、次生干扰波、浅层折射波等干扰波十分发育,以至于在黄土区容易出现干扰强、地震信噪比低的问题,而且地形起伏大、静校正问题突出,因此复杂地震地质条件下的黄土塬煤矿区一直是煤田地震勘探的禁区,勘探难度较大。经过20世纪90年代较长时期的技术攻关,直至1998年才在陕西省韩城矿区黄土塬的二维直线地震勘探中取得突破。21世纪初至今才逐步建立起一套适用于黄土塬煤矿采区的三维地震勘探技术体系,并取得了非常好的地质效果,为在我国黄土塬区煤矿建设高效、安全、集约化的发展模式,提供了一种采前勘探的重要手段。

本书汲取了陕西省煤田地质集团公司、陕西省煤田物探测绘有限公司(原名“陕西省煤田地质局物探测量队”)广大技术人员近年来在黄土塬地区开展的煤矿采区三维地震技术研究的成果,在陕西省科技资源开放共享平台项目(2016FWPT-16)资助的地震数据处理与解释高性能平台的硬件支撑和国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室重点资助项目(ZZ2016-2)等多个科研课题的支持下,参考了大量的国内外相关文献以及专著,结合丰富的勘探实践经验编著而成。希望本书能为从事煤炭资源勘探和煤矿开采的矿

业、地质、物探工作的领导和技术研究人员提供一本黄土塬煤矿三维地震技术最基本的应用工具书及参考指南。考虑到只有理解地震勘探采集、处理、解释方面的有关原理，才能判断所用数据是否有效，才能判断解释中观察到的某种地震图像是否由采集或处理过程中的人为因素引起，因此在有关章节中介绍了一些地震勘探采集、处理、解释等三大环节中必要的基本原理。从基本原理入手，力求只对涉及的十分必要的数学关系引用有关文献作系统介绍，而对于一些十分冗长、数学要求较高的推导，本书仅提供建议的参考文献，以便读者查阅。在内容和结构安排上，本书力求强调实用性和连贯性，尽可能使用人们已习惯的术语和符号，尽可能适应不同读者选择不同章节阅读的需求。

全书共分为7章：第1章为绪论；第2章为三维地震勘探采集；第3章为三维地震资料处理；第4章为地质构造地震精细解释；第5章为煤层厚度地震预测；第6章为煤层瓦斯富集带 AVO 预测；第7章为煤层顶板富水带地震预测。书后附图展示了利用上述技术得到的一些地质效果图。

本书是集体智慧的结晶，除几位主编外，陕西省煤田物探测绘有限公司很多技术人员也参与了主要技术的实施：孙文华、袁峰等参与了地震数据的采集工作；汶小岗、郭强在地震数据处理部分做了大量工作；薛海军、李米田、徐换霞等对地震构造解释、煤层瓦斯富集带和砂岩富水带预测等技术实施方面做了很多工作；陈娟、侯丁根、杜磊等参与了图文编辑等，在此一并表示感谢！

本书涵盖了对陕西北部、甘肃东部、宁夏南部和山西中西部等典型黄土塬区地震勘探工作经验的总结，在黄土塬区地震勘探相关技术的研究、开发、应用及编写过程中，始终得到了陕西省煤田地质集团公司各位领导和国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室段中会主任、张育平副主任的大力支持与帮助，得到了重点实验室首席专家朱芳香教授级高级工程师和王兴教授级高级工程师的指导，得到了重点实验室学术委员范立民教授级高级工程师的指导，研究应用中还得到了陕西陕煤彬长矿业有限公司、陕西陕煤澄合矿业有限公司、陕西陕煤黄陵矿业集团有限公司等各大矿业公司的大力支持，我们在此一并表示衷心感谢！

为了编好本书，我们尽了最大努力，但书中难免有不完善之处，敬请读者批评指正。

作 者

2016 年 9 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 什么是煤矿采区三维地震	1
1.2 煤矿采区三维地震勘探历史回顾	2
1.3 黄土塬煤矿区的地震地质特点	4
1.3.1 地貌特点	4
1.3.2 表层结构剖面特征	6
1.3.3 主要煤层反射波	8
第2章 三维地震勘探采集	15
2.1 黄土塬区的地震噪声及分析	15
2.1.1 地震噪声及分布规律	15
2.1.2 黄土塬区地震噪声	19
2.2 地震检波器的选择	25
2.3 地震激发方法和炸药量的选择	28
2.3.1 地震激发井深	31
2.3.2 炸药量大小问题	34
2.3.3 地震井组合爆炸	35
2.4 井中爆炸垂直叠加试验	40
2.5 三维地震观测系统	42
2.5.1 三维地震观测系统设计的一般原则	42
2.5.2 常规三维地震观测系统	43
2.5.3 半束状三维地震观测系统	44
2.5.4 三维地震观测系统设计参数	45
2.5.5 三维地震观测系统表述	47
2.6 黄土塬煤矿采区三维地震勘探野外数据采集常用参数	48
第3章 三维地震资料处理	49
3.1 处理思路及资料分析	49
3.1.1 处理思路	49
3.1.2 资料分析	50
3.2 处理难点及对策	55

3.2.1	处理难点	55
3.2.2	处理对策	56
3.2.3	处理流程	56
3.3	主要处理技术	58
3.3.1	静校正技术	58
3.3.2	提高信噪比处理技术	61
3.3.3	振幅处理技术	64
3.3.4	提高分辨率处理技术	67
3.3.5	精细的速度分析和地表一致性反射波剩余静校正	71
3.3.6	叠前时间偏移处理技术	73
3.4	小结	78
第4章	地质构造地震精细解释	79
4.1	解释流程	81
4.2	地震属性精细识别断层技术	83
4.3	相干体分析技术识别断层	88
4.3.1	方法原理	89
4.3.2	相干体分析解释断层的步骤	92
4.4	谱分解技术	96
4.5	地震曲率识别断层技术	99
4.5.1	曲率属性一般特性	99
4.5.2	地震层位的曲率属性计算	100
4.5.3	举例	102
4.6	小结	104
第5章	煤层厚度地震预测	106
5.1	模拟	106
5.1.1	楔形煤层模型	107
5.1.2	煤层变薄带模型	109
5.2	地震反演预测煤层厚度	111
5.2.1	测井数据预处理	112
5.2.2	约束稀疏脉冲地震反演	114
5.2.3	随机模拟地震波阻抗反演	121
5.2.4	效果	127
5.3	多参数岩性地震反演预测煤层厚度	127
5.3.1	一般概述	127
5.3.2	基本原理	128
5.3.3	应用中的几个问题	131

5.3.4 典型剖面	132
5.3.5 效果	134
5.4 地震多属性预测煤层厚度	136
5.4.1 煤层厚度地震属性提取与分析	136
5.4.2 多元统计预测煤层厚度	138
5.4.3 BP 人工神经网络预测煤层厚度	139
5.4.4 效果	140
第 6 章 煤层瓦斯富集带 AVO 预测	144
6.1 AVO 分析的理论基础	145
6.1.1 AVO 常用弹性系数	145
6.1.2 Zoeppritz 方程	148
6.1.3 AVO 分析的岩石物基础	152
6.1.4 煤层气 AVO 技术的地震波理论基础	154
6.2 AVO 处理	158
6.2.1 一般讨论	158
6.2.2 叠前处理	160
6.2.3 叠后处理	165
6.3 AVO 正演模型	165
6.3.1 薄煤层调谐效应的 AVO 分析	166
6.3.2 多个煤层调谐效应的 AVO 分析	172
6.3.3 裂隙瓦斯煤层气储层的 AVO 分析	176
6.3.4 不同煤体结构 AVO 正演模拟	179
6.4 二维楔形煤层模型	181
6.4.1 模型正演	181
6.4.2 AVO 处理	183
6.4.3 AVO 反演	185
6.5 AVO 属性分析与解释	195
6.6 黄土塬区 AVO 预测煤层瓦斯富集带应用实例	201
6.6.1 陕西省 HL 煤矿煤层瓦斯富集带预测	201
6.6.2 山西省 ZJFQ 煤矿煤层瓦斯富集带预测	206
第 7 章 煤层顶板富水带地震预测	213
7.1 地质统计学岩性反演	214
7.1.1 地质统计学反演原理及反演过程	214
7.1.2 地质统计学反演参数试验及岩性显示	216
7.1.3 煤层顶板砂体含水性影响因素	222
7.2 概率神经网络岩性反演	223

7.2.1	概率神经网络概述	224
7.2.2	孔隙度概率神经网络反演孔隙度	226
7.2.3	概率神经网络反演岩体视电阻率	229
7.3	煤层顶板岩层富水带预测实例	231
7.3.1	陕西 WC 煤矿煤层顶板砂体及富水带预测	231
7.3.2	山西 ZHAOJIA 煤矿煤层顶板灰岩及富水带预测	236
参考文献		241
附图		

第 1 章 绪 论

地震勘探是利用人工方法激发的弹性波来定位矿藏（包括油气、煤、水、地热资源等）、确定考古位置、获得工程地质信息的地球物理勘探方法。地震勘探所获得的资料与其他的地球物理资料、测井资料及地质资料联合使用，并根据相应的物理与地质概念，能够得到有关的构造及岩石类型分布的信息^[1]。地震勘探的基本环节主要包括三个方面，即地震数据采集、地震数据处理、地震资料解释。地震勘探方法主要分为折射波法和反射波法，其中反射波法又分为二维地震勘探反射法和三维地震勘探反射法。根据观测波型地震勘探又分为纵波、横波和纵横波多分量联合勘探。在我国煤炭工业中主要采用二维、三维纵波反射地震勘探方法。

1.1 什么是煤矿采区三维地震

开采煤炭资源有两类方式：一类是露天开采，另一类是井工开采。露天开采也就是把开采煤层的上覆地层剥离后，直接用机采或炮采开采煤层，这种方式只适合于煤层埋藏较浅的矿区，一般其近似的深部境界剥采比（ m^3/t ）小于 10（大型矿）或 8（中型矿）^[1]，用露天开采方式采煤是比较经济合算的；在煤层埋藏较深且大于上述剥采比的矿区，则普遍采用井工开采。我国的煤炭生产以井工开采为主，现今个别煤矿开采煤层的最大埋深已达 1000m。井工开采的大中型、特大型煤矿普遍以综合机械化采煤为主。当前，随着采煤机械化、自动化的发展，对了解煤矿安全生产的各种地质影响因素的要求程度越来越高，要求更细微、准确地掌握矿井井下地质规律，以保障采煤工作面的安全、稳产、高产，以避免对地质情况不清而造成重大经济损失。然而，从我国各主要矿区的总体地质情况来看，煤层埋藏深，地质条件复杂，断层、褶曲、煤层尖灭、火成岩、岩浆侵入、陷落柱等地质因素普遍存在，直接影响到煤矿的安全生产。在我国煤矿建设和生产中，传统的勘探方法主要是依据钻孔采取岩心和地球物理测井来确定地质构造及煤炭储量，制作出与实际地质情况类似的地质模型。如果模型做得好，就可以准确回答煤炭建设和生产部门所提出的那些难以解决的问题；如果模拟精度差，甚至相反，就会给综采工作造成巨大损失，浪费大量掘进巷道，这在我国煤矿建井和生产多年历史中是屡见不鲜的^[2]。20 世纪 50 年代后期发展的二维地震与钻探相结合的综合勘探技术，特别是 20 世纪 80 年代发展的高分辨率二维地震与钻探相结合的综合勘探技术，对落差 20m 以上的断层和幅度较大的小褶曲的控制精度有了显著提高，但对落差 20m 以下，特别是对影响工作面 and 采区设计的落差在 5m 左右的小断层的控制情况不理想。直到 20 世纪 90 年代初，逐步发展起来的专为煤矿

采前勘探服务的煤矿采区三维地震勘探技术才使小断层的地面探测问题得以解决。

煤矿采区三维地震勘探技术是指专为探查煤矿地质构造,特别是地质小构造,为煤矿建设和生产优化采区布设和采煤工作面、巷道、井筒位置,以及辅助工程位置设计服务的一种高分辨率、高精度地震技术。三维地震勘探的基本原理在一些文献^[3-7]中已作阐述,概括地讲,这种技术就是在地表布设地震检波点和地震激发点,在地面通过人工激发地震波和接收地下反射回地面的地震波,研究地震波在地层中的传播情况以探测地下地质情况的一种物探方法。三维地震勘探系统能产生一个基本等距的地下数据点组成的地震网三维数据体,每个数据也称共深度点 CDP (共反射点 CRP),均为多道叠加而成,从而提高地震信噪比。煤矿采区三维地震勘探主要由地震数据采集、处理、解释三个环节构成。现代煤矿采区三维地震勘探技术的主要特点和勘探功能是:

- 1) 野外地震数据采集的 CDP 面元小 ($5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $5\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $10\text{m} \times 10\text{m}$); 道距小 (10m 、 15m 、 20m); 覆盖次数高 (30 ~ 60 次)。
- 2) 普遍采用先进的多道数地震数据遥测 (电缆或无线) 采集系统 (1000 ~ 5000 道)。
- 3) 勘探深度跨度大 (200 ~ 2000m)。
- 4) 分辨率高 (较高信噪比区地震反射波主频 70 ~ 90Hz; 低信噪比区地震反射波主频 40 ~ 60Hz)。
- 5) 直接勘探煤层 (煤层埋深、煤层地质构造、煤层厚度、煤层宏观结构等)。
- 6) 要求查出的断层空间位置精度高 (其平面位置误差 15 ~ 30m)。
- 7) 可查出落差 5m 左右的断层,地震地质条件较好的东部平原煤矿区可查出落差 2 ~ 3m 的断层。
- 8) 可查出直径为 30m 左右的陷落柱。
- 9) 圈定主要煤层受古河道、古隆起、岩浆岩的影响范围。
- 10) 预测主要含水层、富水块段。
- 11) 预测煤层瓦斯富集带。

1.2 煤矿采区三维地震勘探历史回顾

地震技术在我国煤炭工业中的应用已有 50 多年历史,地震勘探前期主要采用二维地震技术找煤和配合钻探对煤炭资源进行普查、详查和精查。直到 1978 年才在内蒙古自治区伊敏煤田进行了三维地震试验,勘探面积 7.3km^2 。野外采集使用两台 TYDZ-24 型模拟磁带地震仪、48 道接收、6 次覆盖,CDP 网格 $15\text{m} \times 15\text{m}$,资料处理采用 TQ-16 计算机系统和自编软件完成。本次试验工作历时 3 年,于 1981 年编制出煤炭地质系统的第一份三维地震勘探试验研究报告,为其后开展三维地震勘探进行了积极的探索。1989 年,在山东省济宁煤田唐口矿区中日合作的精查勘探项目中,采用法国产的 SN338 数字地震仪、96 道接收、12 次覆盖、CDP 网格 $10\text{m} \times 15\text{m}$,资料处理在日本东京地下勘探信息中心用 CYBER173 及 176 计算机系统和 Geoplan 软件包处理完成,解释工作由中国煤炭工业部地质局地球物理研究院解释中心采用 Land mark 地震解释软件完成。本次三维地震勘探面积

5.4km², 查明了区内落差大于10m的断层和幅度大于10m的褶曲, 积累了一些宝贵经验。

煤矿采区三维地震勘探始于1993年, 在淮南矿区谢桥煤矿东一、西一采区进行, 三维地震面积5.07km²。该项目是在淮南矿区刘庄井田二维高分辨率地震技术的基础上, 通过试验总结出了一套“三高二小一中”方法, 即100Hz高频检波器接收, 1ms时间采样率, 前放高频低截滤波, 小组内距组合检波, 小道间距, 中等炸药量的三维地震野外采集方法。CDP网格10m×10m、12次叠加, 所获主要煤层的反射波主频达70~80Hz, 信噪比高、连续性好、波形特征突出。本次勘探查出区内断层78条, 首次用三维地震查出埋深400~700m、落差3~5m断层52条, 5~10m断层21条, 10m以上断层5条。三维地震勘探成果与二维地震成果相比, 勘探精度大幅度提高, 二者查出的落差大于10m断层的数量虽有较大差距, 但基本方向是吻合的, 查出的落差小于10m的断层却面目全非。三维地震成果为优化西一采区西翼和东一采区的开采布局提供了可靠精细的地质依据, 从根本上避免了该区段内因地质构造不清而可能造成的布局失误。之后, 1994年、1995年又相继在淮南矿区潘三煤矿东一、东二采区和西二、西三采区及山东省枣庄煤矿完成三块三维地震勘探区域, 总面积约10km², 均获得显著效果^[2,8]。至此, 人们开始注意到地面高分辨率三维地震勘探技术的能力与潜力, 以及给煤矿开发所带来的显著经济效益。中国煤炭地质总局于1995年10月在安徽省宿州市举办了煤矿采区三维地震勘探技术研讨班; 1998年10月中国煤炭地质总局和国家开发银行联合在成都召开了全国煤矿采区地震勘探经验交流会暨成果发布会, 总结了已完成的三维地震勘探项目的经验, 提出了今后一个时期的技术发展方向。之后, 在中国煤炭地质总局的组织协调、国家开发银行和各省(区)煤炭工业局(厅), 以及广大煤炭企业、有关学校、科研院所的配合支持与市场经济需求的推动下, 经过近20年来各物探专业队伍的不懈努力, 从我国东部到西部, 从平原到山区, 从陆地到湖上、海上, 从国有大中型、特大型矿井到地方煤矿, 三维地震勘探得到了迅速推广应用, 几乎所有三维地震勘探项目, 无一例外都得到了较高地投资回报率。实践表明, 煤矿采区三维地震技术地推广应用可以优化矿井建设的初步设计, 减少无效巷道, 降低矿井万吨掘进率、吨煤成本, 增加回采工作面走向长度, 从而提高了回采率, 减少资源浪费, 延长矿井服务年限及减少地质风险, 是煤矿高产、高效、安全的矿井建设和生产中不可缺失的重要技术手段。

早期的煤矿采区三维地震勘探主要用于我国东部平原、丘陵地区, 中西部地区的应用规模较小, 主要难点是中、西部地区地形起伏剧烈、相对高差大, 浅表岩性多变, 低速层厚度变化大, 表层结构十分复杂, 地震数据信噪比低, 地震数据的成像和归位问题突出。随着我国煤炭工业布局, 即稳定东部、发展西部战略布局的逐步实施, 煤炭建设和生产的市场经济需求加快促进了各有关物探单位科技攻关的步伐, 围绕以下四方面技术取得了实质性的突破: ①地表、地形复杂条件下的煤矿采区三维地震数据采集方法和技术; ②复杂表层结构和地形复杂矿区的静校正技术; ③复杂地区地震采集和处理中的压制噪声技术; ④复杂地区三维地震叠加偏移地震成像处理技术。从21世纪初起, 我国煤矿采区三维地震技术在沙漠区、戈壁区、山地区获得广泛地推广应用。黄土塬区煤矿采区三维地震勘探是在1998年黄土塬区直线二维地震技术取得突破性进展后, 直到2004年才完成第一个薄黄土塬区煤矿采区三维地震项目, 2005年完成第一个厚黄土塬区煤矿采区三维地震项目,

如表 1-1 所示。由表 1-1 可见，黄土塬区煤矿采区三维地震勘探晚于平原区、山区 7 ~ 11 年，其原因主要有两个：①黄土塬区潜水面很深（一般为 100 ~ 200m），黄土本身属于弱弹性介质，疏松干燥，干扰波十分发育，常规爆炸方法不能激发出信噪比较高的反射波；②地形复杂区表层速度纵横向变化剧烈，静校正问题十分突出。早期的黄土塬煤矿采区三维地震勘探仅在陕西彬长、山西大同、河南义马等矿区应用，经过近十多年的发展，至今已经先后在陕西韩城、澄合，甘肃庆阳，以及山西河东、沁水煤田，河南义马等煤矿区应用并取得良好的地质效果。

表 1-1 煤矿采区三维地震勘探首次应用矿区一览表

地区类别	煤矿采区三维地震勘探矿区名称	勘探时间	勘探面积/km ²
平原区	安徽省淮南谢桥煤矿	1993 年	5. 07
湖泊区	山东省泗河煤矿	1999 年	4. 07
城镇工矿、房屋建筑区	辽宁省铁煤集团大隆煤矿东三采区	2002 年	1. 23
浅海区	山东省黄县矿区柳海煤矿	2004 年	31. 70
水库区	辽宁省铁煤集团大平煤矿三采区	2004 年	4. 30
半沙漠	宁夏自治区宁东矿区梅花井煤矿	2003 年	12. 00
全沙漠	内蒙古上海庙矿区鹰骏一号煤矿	2011 年	37. 38
戈壁区	新疆哈密大南湖	2005 年	7. 41
山地区	山西省阳泉矿区	1997 年	1. 35
黄土塬区：薄黄土层	陕西省咸家坡煤矿	2004 年	5. 10
黄土塬区：厚黄土层	陕西省彬长矿区大佛寺煤矿	2005 年	4. 40

黄土塬区煤炭资源主要分布在鄂尔多斯盆地东、西、南缘地带，即陕西中部、甘肃东部、山西中西部及河南西部。例如，韩城、澄合、铜川、黄陵、彬长矿区及即将开发的环县、庆阳等矿区，以及鄂尔多斯盆地以东的山西省境内的大同、平朔、左权、汾西、霍县矿区和河南省境内的陕浍、义马、新安等矿区。

1.3 黄土塬煤矿区的地震地质特点

1.3.1 地貌特点

黄土塬区的地貌十分复杂，黄土塬的形成在很多文献中都有详细论述^[9-11]。黄土十分疏松、易被侵蚀，黄土塬上的黄土经过长期雨水冲刷、切割、侵蚀，在黄土塬区形成复杂的树枝状水系，典型的特殊地形如图 1-1 所示。通常把黄土塬地貌分别称为黄土塬、黄土梁、黄土峁、黄土沟等。黄土塬地表较平，高差不大，可大面种植农作物；黄土梁形似两翼为陡峭山坡的山梁，呈条带状，山梁较平地段可种植农作物，山梁两侧多为野生植被；

黄土峁形似蘑菇状，顶部较平而四周为陡坡，较平地段可种植农作物。



(a)



(b)



(c)

图 1-1 鄂尔多斯盆地南缘煤矿区典型黄土源地貌

(a) 黄土梁、树枝状冲沟；(b) 黄土塬冲沟；(c) 黄土塬、冲沟、黄土峁

黄土塬、黄土梁、黄土峁与黄土沟纵横交错，构成了黄土塬区十分复杂的树枝状水系。在黄土塬煤矿区沟与峁、梁、塬之间的高差最大可达 150 ~ 250m，甘肃环县、庆阳一带最大，铜川、彬长、韩城一带次之。按沟的规模和相对高差，将黄土沟分为四级^[12-14]。一级主沟：沟长 100km 以上，沟谷宽达数百米至上千米，有平坦阶地，沟底有基岩出露，长年流水，多为河床地带；二级大沟：沟长 50 ~ 100km，宽度达数十米至数百米，沟沿阶地较宽，沟底基岩出露，长年流水；三级支沟：短而窄，一般 5 ~ 50km，沟两壁陡峭，基岩很少出露，常年干涸；四级毛沟：一般小于 5km，沟宽几米至上百米。鄂尔多斯盆地南缘黄土塬区树枝状水系分布示意图如图 1-2 所示，图 1-3 为陕甘宁晋豫一带黄土分布示意图。



图 1-2 鄂尔多斯盆地南缘黄土塬区树枝状水系分布示意图

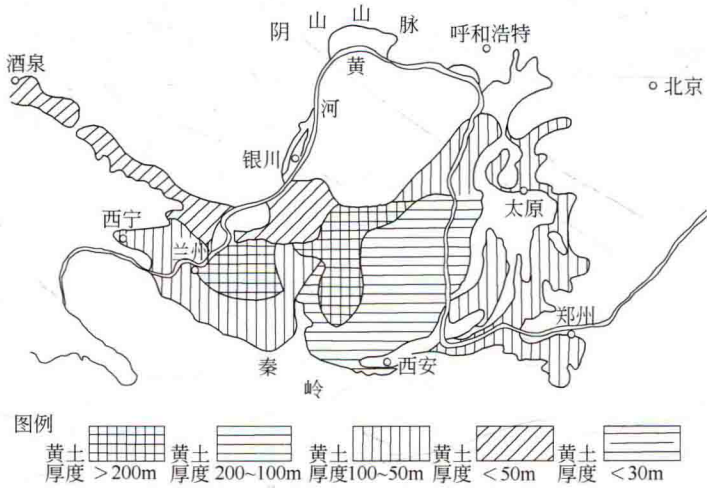


图 1-3 陕甘宁晋豫一带黄土分布示意图^[13]

1.3.2 表层结构剖面特征

通过对文献^[9-14]分析,认为黄土塬是在内陆干燥气候条件下的风力形成后又经雨水、河流切割和地面径流冲刷侵蚀,形成现今黄土塬地表奇特的塬、梁、坡、峁、沟交替的特征地貌。黄土主要成分为第四系亚黏土、亚砂土、亚粉砂、亚细砂等,砂粒为石英质成

分。黄土又分原生黄土和次生黄土两种类型。原生黄土较致密，但总体上仍较疏松，具有成层性，多易成形。次生黄土是经过风、雨水、河流的再次侵蚀、搬运而在异地又形成，结构十分疏松且多孔。黄土成分在纵向上分布也十分不均匀，常夹多层砾石层、盐碱层和红胶泥层等，其厚度各地不一，最大可达 250m 以上，典型剖面如图 1-4 所示。

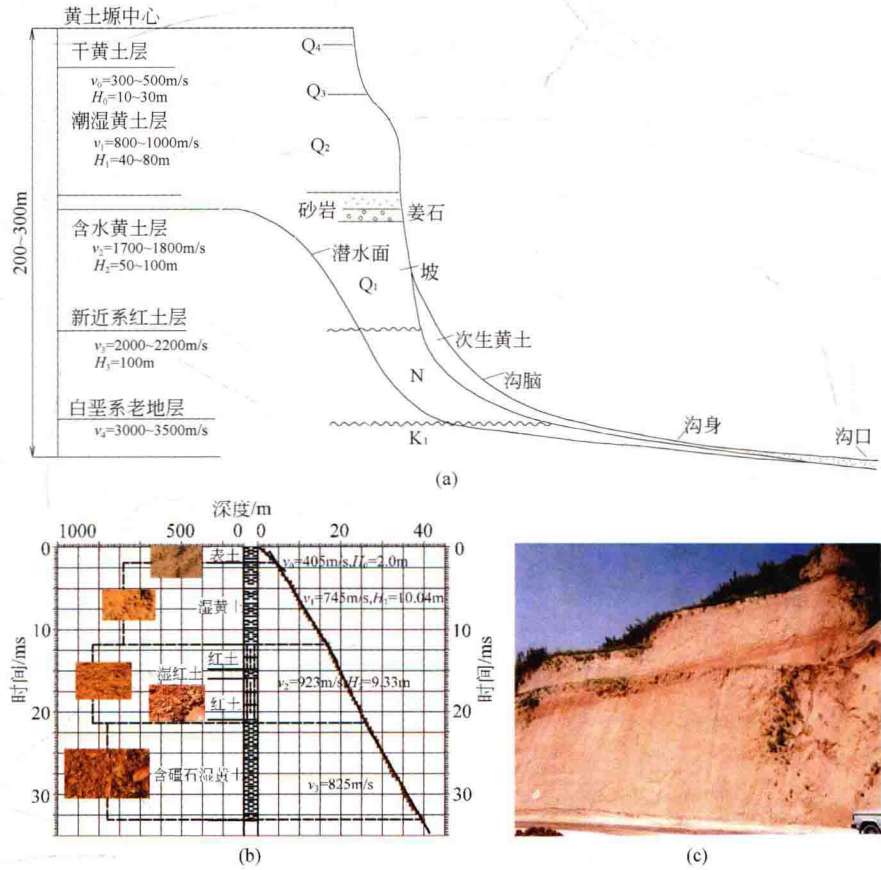


图 1-4 黄土层剖面

(a) 黄土层剖面^[13]；(b) 典型的微测井曲线；(c) 典型黄土塬地层实拍照片

大部分区块黄土层分层性不是很明显，但有一个共同特点是埋深越深潮湿程度越大，胶结性更好。地层速度随深度变化为一连续性介质特征，如图 1-4 (b)、图 1-4 (c) 所示。浅部速度仅 300 ~ 400m/s，雨水可使黄土的黏结性增强。黄土层还有一个特点是黄土层在空间上并非构造均质体，各种溶缝、溶孔、柱状节理、裂缝及其他构造裂隙在有的区域较为发育，因此它就成为很强的散射干扰源。

1. 根据含水程度及速度划分

如图 1-4 (a) 所示，根据含水程度与地层速度，黄土层自上而下大致可分为四层。上层：干黄土层，性质干燥疏松、不含水、厚度 10 ~ 30m，层速度 300 ~ 500m/s。中层：潮湿黄土层，厚度 40 ~ 80m、层速度 800 ~ 1000m/s。

下层：含水黄土层，厚度 50 ~ 100m、层速度 1700 ~ 1800m/s。
最下层：新近系红土层，厚度 0 ~ 100m、层速度 2000 ~ 2200m/s。

2. 根据黄土塬表层结构划分

根据黄土塬表层结构，夏竹^[15]将其划分为三层结构，见表 1-2。

表 1-2 黄土塬表层结构参数特征统计表^[15]

地区/结构参数	低速层		降速层			高速层
	$v_0/(m/s)$	H_0/m	$v_1/(m/s)$	H_1/m	$v_g/(m/s)$	H_g/m
陕甘宁盆地南部	350 ~ 500	10 ~ 30	800 ~ 1000 (潮湿黄土层) 1700 ~ 1800 (含水黄土层)	100 ~ 150	2000 ~ 3000	>3000
宁夏 六盘山盆地	250 ~ 340	1 ~ 5	400 ~ 800	几十米到 近百米	1800	>1800
塔里木盆地西南缘 甫沙地区	350 ~ 500	10	700 ~ 1300	几十米到 数百米	2400 ~ 3500	3500

1.3.3 主要煤层反射波

我国主要黄土塬区的煤炭资源，赋存于石炭系—二叠系和侏罗系。从可开采含煤（垂深 1500m 以浅）面积来看，侏罗系含煤面积大于石炭系—二叠系含煤面积。从开采煤炭资源历史上看，最早规模化开采的是石炭系—二叠系煤炭资源，并在 30 年前就已形成著名的韩城、澄合、铜川、霍西、平朔、西山等矿区。开发侏罗系煤田最大的矿区是大同矿区，近年来各地越来越重视侏罗系煤田的开发，并形成和即将形成一批大型、特大型煤矿区，如彬长矿区、宁中矿区、黄陵矿区、河东矿区等。

1. 石炭系—二叠系煤田的主要煤层和煤层反射波

石炭系—二叠系由老到新分别为本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组，太原组和山西组为主要含煤地层，本溪组和下石盒子组基本不含可采煤层，石千峰组不含煤。

太原组：为海陆交互含煤地层，岩性与华北其他地区如河北峰峰、邢台、唐山等地区，河南焦作、平顶山等地区，山东济宁、兖州、肥城等地区，安徽两淮等地区基本相似，以泥岩，粉砂岩为主的细碎屑岩，夹灰岩和煤，但灰岩层数差别大，一般夹 3 ~ 8 层。大同、河曲等地夹灰岩 1 ~ 2 层，韩城、澄合等地夹灰岩 2 ~ 3 层。太原组在西山矿区，自下而上分为晋祠段、西山段和山圪段，共含煤 10 余层，可采 3 ~ 4 层。韩城矿区含煤 9 层，可采煤层 2 层；澄合矿区含煤 6 层，可采煤层 2 层。如表 1-3 所示。