

中国煤矿物探研究

陈民振 主编



中国煤矿物探研究

陈民振 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了地球物理勘探相关理论和技术在煤矿生产建设中的成功经验,包括地震勘探、重力勘探、磁法勘探、电法勘探及测绘等方面内容,辑录 80 篇文章,实例众多,资料详实,可操作性强;集中展示了物探专家及科研人员理论联系实际,经过深入细致的研究,所取得的丰硕成果。

本书对指导煤矿建设、安全生产有重要参考价值,也可供从事煤矿物探工作的相关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤矿物探研究 / 陈民振主编. —北京:地质出版社, 2006.4

ISBN 7-116-04833-2

I. 中… II. 陈… III. ①煤矿开采—地球物理勘探—研究—中国 IV. P618.110.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 037635 号

ZHONGGUO MEIKUANG WUTAN YANJIU

责任编辑:刘亚军 祁向雷 杨永强

责任编辑:关凤云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324578 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 品: 北京地大彩印

开 本: 787mm × 1092mm^{1/16}

印 张: 37.25

字 数: 905 千字

印 数: 1 2500 册

版 次: 2006 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 300.00 元

ISBN 7-116-04833-2 P 2677

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

本书编委会

主 编：陈民振

副 主 编：高 远 龚远武 陈 昕

编 委：（按姓氏笔画为序）

王斌成 关仁祥 刘海忠 陈民振 陈 昕

吴有信 高 远 徐 林 龚远武

编 务：柳义明 韩 铁

序

我国是世界上以煤炭为主要能源的少数大国之一。煤炭是我国的主要能源，是能源安全的基石。煤炭在一次性能源生产和消费结构中占70%以上，这一格局将在今后相当长时期内不会发生大的改变。煤炭作为不可再生的战略资源，对保障国民经济稳定和发展起着关键性的作用。我国煤炭资源丰富，位居世界前列，但资源赋存、开采技术条件特别是地质构造相对复杂，成为制约煤炭工业可持续发展的重要因素。如何提高构造等重要地质条件的探明精度及对高产高效现代化矿井的地质保障程度，已成为我国煤田地质工作者长期孜孜以求的奋斗目标。煤矿地球物理勘探，作为煤田地质领域不可或缺的重要组成部分，发挥了不可替代的重大作用。

新中国成立后，特别是改革开放以来，各煤田物探单位，始终坚持依靠科技进步，应用新理论、新技术、新方法，引进消化当代国际先进水平的物探设备、技术和处理解释软件，促进了煤田物探事业的飞速发展。从光点到模拟、从模拟到数字、从二维到三维，从构造勘探到岩性勘探，从平原到山区、河湖沼泽、沙漠戈壁，大幅度提高了解决地质问题和适应我国不同地形、地貌的能力，这些成果都在《中国煤矿物探研究》中得到客观、真实的体现。

金三维集团（安徽煤田地质局物探测量队），是我国最早组建的为数不多的煤田物探队伍之一。半个世纪以来，他们辗转南北，栉风沐雨，在安徽乃至全国各地完成了数百个煤田物探和综合勘探的优质地质报告。近十年来，该队物探技术、专业人才、现代管理同步提升发展，多次获得国家与原煤炭工业部的科技进步奖，在全国煤田物探事业中做出了许多开先河的工作。

《中国煤矿物探研究》中的文章，全部由该集团物探测量专业技术人员撰写（个别论文由该集团专家主撰，同时吸收国内专家编写），

是他们始终坚持野外勘探与室内研究相结合，敬业工作、苦心钻研、勇于创新结出的硕果。《中国煤矿物探研究》集中体现了几代物探人的辛劳和智慧，也是全国煤矿物探事业成长、发展、壮大的缩影。

回顾过去，令人振奋，展望未来，前程似锦，任重道远。衷心祝愿安徽金三维集团（安徽煤田地质局物探测量队）继续勇攀高峰，百尺竿头，更进一步，谱写更为壮丽恢弘的新篇章！

倪 斌

2006年4月于北京

Preface

China is one of the few countries where coal is the main energy resource. As a main energy resource, coal is also the cornerstone of energy security of our country. Coal occupies over 70% of the nation's primary energy production and resumption and this percentage will not undergo big change in quite a long period. Coal, as a non-renewable strategic resource, plays a decisive role in the steady development of the nation's economy. Our country is abundant of coal resources and its reserves ranks high in the world, but the storage and mining conditions, particularly the geological structure of coal resource, are relatively complex, which has severely hindered the sustainable development of coal industry. How to improve the precision of survey of important geologic conditions such as the structure, and to geologically safeguard the highly productive and high-efficiency modern coal mine, have become a long-term goal our coalfield prospectors strive to achieve. The geophysical prospecting of coalfields, an inevitable component of geologic prospecting of coalfields, has played an irreplaceable important role.

Since China's Liberation, particularly the reform and adoption of the opening-up policy, the coalfield prospecting companies have firmly adhered to science and technology as the impetus of development. They have adopted new theories, new techniques and new methods, and have introduced advanced geophysical prospecting devices, techniques and processing and interpretation software to promote the rapid development of geophysical prospecting. The prospecting technique has developed from spot method to simulating method and then to digital method, and from two-dimensional to three-dimensional method, from structure to lithology prospecting. The prospecting areas have extended from plains to the mountainous area, rivers, lakes, swampland, deserts and the Gobi. Our coalfield prospecting teams have greatly improved the ability to solve the geologic problems and to conduct explorations in areas with various topography and physiognomy within our country. All this has been demonstrated objectively and authentically in *STUDY OF COALFIELD GEOPHYSICAL PROSPECTING TECHNOLOGIES IN CHINA*.

The Jinsanwei Group (formerly Geophysical Prospecting and Survey-

ing Company of Anhui Coal Field Geology Bureau) is one of the few early-founded coalfield geophysical prospecting teams of China. For half a century, they have worked everywhere in the country and have weathered various difficulties, completing hundreds of excellent geologic report of coalfield geophysical prospecting and comprehensive prospecting. During the latest decade, the company has experienced improvement in its prospecting technique, in the expertise of its professional staff, and in the management of the company. It has been awarded for several times the Prize of Scientific and Technical Advance both from the Ministry of Coal Industry and from the state, and has taken lead in quite a few aspects of the country's coalfield prospecting industry.

The articles in *STUDY OF COALFIELD GEOPHYSICAL PROSPECTING TECHNOLOGIES IN CHINA* are all written by the prospecting and surveying professional staff of the Jinsanwei Group (a few articles are written by the Group's experts with joint effort of other experts of the country). This is the fruit of their constant effort to combine field exploration and indoor research, and of their devoted work and innovative spirit. *STUDY OF COALFIELD GEOPHYSICAL PROSPECTING TECHNOLOGIES IN CHINA* is the concentration of the sweat and wisdom of several generations of geophysical prospectors, epitomizing the growth, development and burgeoning of the China's coalfield geophysical prospecting industry.

We are heartened when reviewing the past and inspired by the long, painstaking but wonderful travel on the road ahead. I sincerely hope that the Jinsanwei Group (Geophysical Prospecting and Surveying Company of Anhui Coal Field Geology Bureau) will surmount courageously higher mountains, accomplish even greater achievements and write a magnificent chapter in its future career!

NI BIN

2006.04 , Beijing

目 录

地 震 篇

煤岩层裂隙填充物性质预测研究	高 远, 王 赞	(3)
三维三分量采区地震勘探应用效果	高 远, 刘海忠, 陆大华等	(10)
强反射层屏蔽下薄煤层三维地震勘探应用研究	高 远, 张清华, 陈昌武等	(15)
煤系地层裂缝裂隙发育带的预测	王 赞, 高 远, 接铭训等	(23)
3D3C 地震资料在煤系地层岩性预测中的应用	杨德义, 高 远, 王 赞等	(27)
煤矿采区地质小构造的三维地震勘探技术	唐建益, 汤英侠, 高 远	(30)
煤炭高分辨率地震勘探技术	龚远武, 唐建益, 杨奎等	(40)
西部地区煤炭采区三维地震勘探数据采集技术与实践	吴有信	(132)
煤田地震勘探中的可变线元采集技术及其应用	吴有信	(139)
地球物理勘探在矿井地质灾害防治中的应用	吴有信, 方含珍, 徐 爽等	(146)
煤矿采区三维地震资料解释中的切片技术及其应用	吴有信	(152)
煤田地震资料的高分辨率处理	徐 林, 姚 磊	(160)
薄层的检测与分辨的理论研究	徐 林	(165)
煤厚反演方法的研究	徐 林, 方庆水	(176)
强反射层屏蔽下薄煤层弱反射波的精细处理与分析	刘海忠, 张清华	(185)
复杂地形条件下地震勘探工作方法研究	曹利民, 潘启章	(189)
可控震源技术在宁夏煤矿山地地震勘探中的应用	曹利民, 陈昌武	(197)
济宁二号煤矿复杂地质条件下三维地震勘探方法及效果	王 云, 方庆水	(205)
地震勘探在解决南坪复杂地质构造上的运用及效果	王 云, 徐成明	(210)
煤层分叉合并在鹿洼煤矿三维地震资料中的研究与应用	王 云, 徐成明	(216)
三维地震在淮南煤田采区勘探中的应用效果	王 云, 张冬梅	(223)
利用地面三维地震资料圈定陷落柱等地质异常体	王 云, 胡绍龙, 郭 磊	(229)
利用三维地震资料圈定煤层结构变化范围	王 云, 桂 杉	(237)
陆地与水体共存的三维地震勘探方法	王 云, 徐亚兵	(241)
地表复杂地区煤田地震勘探方法及效果	徐成明, 王 云	(246)
西部复杂地表条件下煤矿采空区综合勘探方法	徐成明	(253)
三维地震勘探在湖泊沼泽地区的应用	徐成明, 徐 爽	(258)
煤田三维地震勘探野外施工方法的设计	徐成明, 王 云, 徐 爽	(264)
板集三维地震勘探效果	徐成明, 胡绍龙, 黄 璇	(272)
南方山区 V 字型地层地震勘探应用研究	陆大华	(275)
应用井约束反演技术预测煤层厚度	李 红, 姚 磊	(284)

山地三维地震勘探技术在新疆淮南煤田硫磺沟井田采区地质灾害防治中的应用	方含珍, 吴有信, 马克娜	(287)
可控震源在贺兰山煤田地震勘探中的应用及效果	方含珍, 邓朱根, 潘启章等	(292)
黄泛区采区三维地震勘探及地质效果	邓朱根, 潘启章, 方含珍等	(297)
波阻抗反演技术在地震勘探岩性解释中的应用	潘启章, 方含珍, 邓朱根等	(304)
地震低速异常体揭示陷落柱构造	陈昌武, 陈双庆, 曹利民	(310)
强多次波和低信噪比资料处理研究	陈昌武, 陈双庆, 曹利民	(315)
实现两大解释系统间数据转载的基本思路	陈双庆, 曹利民, 陈昌武	(322)
小断层的分辨识别与反射波特征	陈双庆, 陈昌武, 曹利民	(325)
速度参数在煤田地震勘探中的应用探讨	徐 爽	(331)
在复杂地形及大倾角矿井地区的三维地震勘探	徐 爽, 张安徽	(336)
西部山区煤田三维地震勘探应用效果分析	徐 爽, 武磊彬	(343)
山地黄土塬区的三维地震勘探技术	关继荣, 桂 杉, 关仁祥	(349)
三维地震资料构造解释程序的初步探析	武磊彬, 徐 爽, 赵显宗	(356)
表浅层复杂条件下的三维地震勘探方法	吕进英, 李 红	(362)
高分辨率地震资料的解释与应用	王宏友, 李 红	(367)
制作地震图件方法改革之研究	黄安岭	(371)
自组织神经网络在煤矿地质异常横向预测中的应用	刘兆国	(378)
山地大倾角地层探区三维地震资料处理研究	马社坤, 徐 爽, 夏 青	(383)
三维地震勘探在复杂逆掩断层地区的应用及效果	吴 博, 王玉珏, 吴有信等	(390)
巷道的检测与识别及其在潘东二号煤矿中的应用	桂 杉, 王佐强	(397)
Surfer 绘图软件及其在煤田物探中的应用	李献龙, 邓朱根, 潘启章等	(401)
AutoCAD 的二次开发应用于数字地图	史春玲, 赵喜彬	(408)

重力、磁法、电法篇

山东郭屯煤矿井筒水文地质条件分析	王玉珏	(417)
高密度电阻率法在工程勘察中的应用	王玉珏, 吴有信	(422)
多电性参数评价第四系含水层的富弱水性	王玉珏, 吴有信	(427)
地质雷达在工程勘察中的应用	王玉珏, 吴有信	(436)
断层及其含、导水性的直流电法勘察实例	吴有信	(441)
运用电测深方法研究水文地质参数	吴有信	(452)
直流电法数据处理及解释系统	吴有信	(458)
V8 多功能数字电法仪及其应用	吴有信, 王玉珏	(464)
综合物探方法在煤矿采区及其含水性勘察中的应用	吴有信	(472)
瞬变电磁法及其在煤矿水文物探中的应用	吴有信, 庄建平, 王玉珏	(479)

淮北平原第四系松散层的电性特征吴有信, 潘启章, 王玉珏等 (487)

浅谈磁法勘探邓朱根 (497)

浅谈重力勘探技术在地质勘探中的应用方含珍, 王长顺 (507)

乌兰矿北二采区采空区及含水性的电磁法探测方法及效果
.....陈占海, 程久龙, 徐成明 (513)

运用水文物探方法测定地下水流速流向王玉珏, 吴有信, 于联盟等 (518)

测 绘 篇

测绘技术与市场的共同发展朱宏平 (525)

三维地震测线定测方法的研究与实践朱宏平, 陈双庆, 曹利民 (530)

地面数字化地形测量工作浅议朱宏平, 马平华 (534)

fx-4500 计算器在地震测线定测中的应用孙志刚 (540)

RTK 技术在三维地震勘探中的应用孙志刚, 马春秋 (542)

GPS 测量与导线网的应用与分析李兴民, 朱宏平 (547)

CASIO fx-4800P 计算器地震定线编程及使用新方法李晓东, 朱宏平 (550)

J6 型光学经纬仪光路故障简析陈毅民 (554)

浅谈三维地震勘探中的测量工作王立国, 朱宏平 (557)

其 他 篇

深层搅拌桩复合地基承载力模糊可靠度分析王佳峰, 张大巍 (565)

高掺量粉煤灰混凝土的强度试验研究马志霞, 王佳峰 (571)

火灾自动报警技术在电力系统中的应用薛荣兴 (576)

跋陈民振 (581)

地震篇

煤岩层裂隙填充物性质预测研究

高 远, 王 赞

摘 要: 利用 Schoenberg 线性滑移裂隙介质理论的特定情况和含裂隙煤层波场数值模拟结论, 计算出三维三分量 (3D3C) 地震勘探中的纵波和转换横波速度比, 对钱家营煤矿煤岩层裂隙中的瓦斯和水进行了研究预测, 经井下验证, 效果较好, 为今后煤矿瓦斯和水患综合治理提供了有效手段。

关键词: 三维三分量; 转换横波; 速度比; 裂隙; 填充物

目前对煤矿生产构成重大安全威胁的仍是瓦斯和水害, 而这两种威胁又和煤岩层中的裂隙所含物质性质有关。多年来, 地球物理学家一直试图用纵波解决这些问题, 但收效甚微。现在三维三分量 (简称 3D3C) 地震勘探技术为解决这些问题提供了可能。首先利用 3D3C 技术中的转换横波分裂现象, 预测煤岩层中的裂隙发育方向、分布范围和密度; 再利用 3D3C 技术中的纵横波速度比, 预测裂隙的填充物性质。3D3C 资料的采集和处理十分复杂, 限于篇幅, 本文只使用其结论和结果。笔者利用该技术对钱家营煤矿煤岩层裂隙填充物进行了研究预测, 并得到了生产上的较好验证。

1 煤层岩层裂缝、裂隙的基本特征

煤岩层中的裂缝、裂隙分为割理 (原生裂缝) 和外生裂缝 (次生裂缝)。割理是煤变质作用的结果, 外生裂缝经过地应力作用, 在煤岩层中产生的没有显著错动或位移的破裂。这两种裂缝、裂隙既能为瓦斯和水提供运移通道, 又能储存。所以, 应用 3D3C 地震勘探技术, 对裂缝、裂隙发育带及其所含物质性质的预测, 对井下瓦斯突出和透水治理具有重要意义。

2 Schoenberg 线性滑移裂隙介质理论

Schoenberg 等人 (1995) 认为, 可把裂隙看作一个被二维有限面所包围的薄层, 与裂隙附近未扰动的岩石相比, 跨过裂隙的应变是非常大的, 至少要大过一个量级, 甚至达到 10^3 的纵横比。这样的裂隙在理想情况下可看作一个平面 (零厚度)。跨越裂隙的非常大的应变可以看作是位移不连续 (无限应变), 跨越裂隙面的位移不连续与作用在裂隙面上的最小应力呈线性关系, 可认为跨越裂隙面的应力是连续的, 这个应力与通过裂隙的弹性波有关。在这种假设下, 通过解各向异性弹性介质的波动方程可得到如下关系式:

$$\frac{E_N}{E_T} = \frac{3 - 2r^2}{r^2(1 - r^2)} \quad (1)$$

式中: E_N 和 E_T 分别是法向和切向弱度, $r=V_S/V_P$, V_P 和 V_S 分别为纵波和横波速度。

由 (1) 式可见, E_N/E_T 只与速度比有关, 图 1 为弱度比与速度比的关系图。

由图 1 可见, 在常见的速度比范围内, 速度比很小的变化就可以引起弱度比很大的变化。特别是在速度比小于 0.5 的范围内, 弱度比的变化幅度是速度比的几十倍。因此, 可以认为弱度比对速度比极为敏感。

由有关裂隙弱度的理论分析, 含气时则速度比 (V_S/V_P) 升高。速度比 (V_S/V_P) 越高, 弱度比越低, 反之亦然。这对于裂隙型煤层气 (瓦斯) 的研究是很有意义的。在速度比接近 1 时, 弱度比有一极限值, 对于实际的转换波资料, 这段曲线无实际的物理意义。

有关文献认为, E_N 、 E_T 是反映裂隙状态的两个参数, 对于部分饱和的裂隙或与孔隙有水力联系的裂隙, E_T 值不变, 而 E_N 值位于 $0 \sim E_N$ (干裂隙) 之间。当裂隙充水时 $E_N=0$, 即, $E_N/E_T=0$; 当裂隙部分含水 (或含气) 时, E_N 变化而 E_T 不变。与裂隙含水时相同, 假设裂隙含瓦斯, 则会影响法向弱度的大小, 而不影响切向弱度, 从而可以通过求取 E_N/E_T 来鉴别裂隙含瓦斯的情况。

如果将干裂隙和含饱和流体时的弱度比划分为若干区域, 则可以用此表示裂隙含流体的相对程度。

如果定义速度比 $r_0 = V_{P0}/V_{S0}$, 通过推导可得用转换波 t_0 时间比表示的弱度比, 即

$$\frac{E_N}{E_T} = \frac{3(2r_{ct} - 1)^2 - 2(2r_{ct} - 1)^2}{(2r_{ct} - 1)^2 - 1} \quad (2)$$

式中: $r_{ct} = \frac{t_{c0}}{2t_{p0}}$, $2t_{p0}$ 和 t_{c0} 分别为 P 波和转换波的 t_0 时以及用转换波叠加速度比 $r_{cn} = V_{pn}/V_{cn}$ 表示的弱度比

$$\frac{E_N}{E_T} = \frac{3r_{cn}^8 - 2r_{cn}^4}{r_{cn}^4 - 1} \quad (3)$$

在转换波勘探中, 我们得到的是 P 波和 PS 波资料, 速度和时间易于得到。以上两式的意义就在于, 用 P 波和转换波的叠加速度比、时间比、垂直速度比等均可求取弱度比。

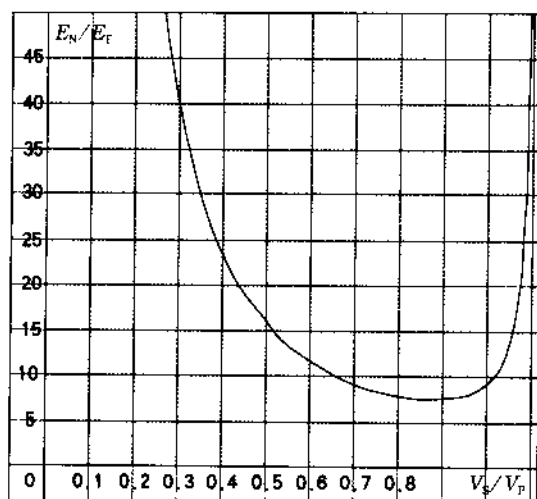


图 1 弱度比与速度比的关系

3 含裂隙煤层波场模拟

如图2所示, $X=1000\text{m}$, $Z=1000\text{m}$ 的均匀各向同性介质中, 插入垂向的旋转不变性裂隙, 炮点 S 位于区域中央, 其坐标为 $(500, 500)$; 采用的震源为 Z 方向集中力源; 有限元单元长度和宽度为 $5\text{m} \times 5\text{m}$, 介质的弹性参数为: $\lambda=1.5552 \times 10^9 \text{N/m}^2$, $\mu=0.7776 \times 10^9 \text{N/m}^2$, $\rho=2400 \text{kg/m}^3$ 。子波为高斯子波, 子波主频 40Hz , 采样率为 1ms 。

表1为裂隙含饱和水、裂隙含部分饱和水或裂隙与孔隙有水力联系、裂隙不含水(干裂隙)三种情况下的各向异性弹性参数表, 表中 ρ 为介质密度, e 为裂隙密度。

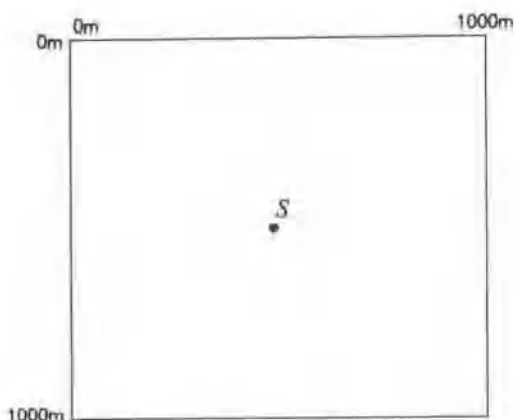


图2 含裂隙煤层模型

表1 裂隙含水模型弹性参数表

裂隙模型	弹性参数					
	$\lambda / 10^9 \text{N/m}^2$	$\mu / 10^9 \text{N/m}^2$	$\rho / \text{kg/m}^3$	e	$\lambda / 10^9 \text{N/m}^2$	$\mu / 10^9 \text{N/m}^2$
裂隙含饱和水	1.5552	0.7776	0	0.32	2400	0.15
裂隙含部分饱和水			0.4			
干裂隙			0.8			

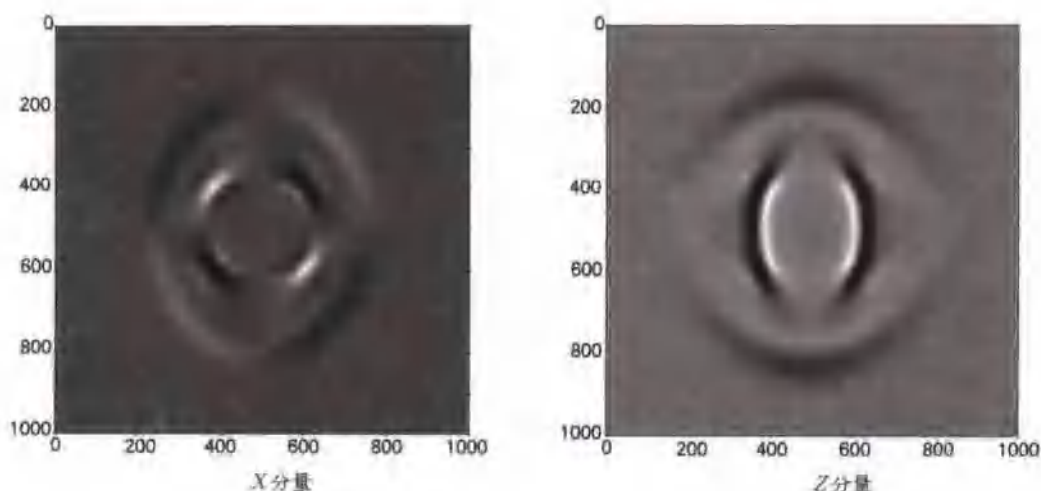


图3(a) 裂隙含饱和水时的瞬时波场

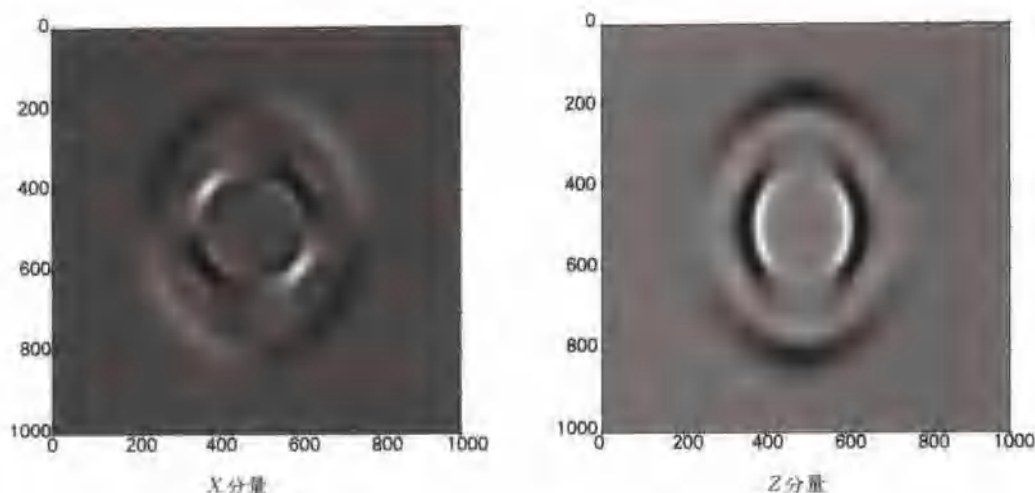


图 3(b) 裂隙含部分饱和水时的瞬时波场

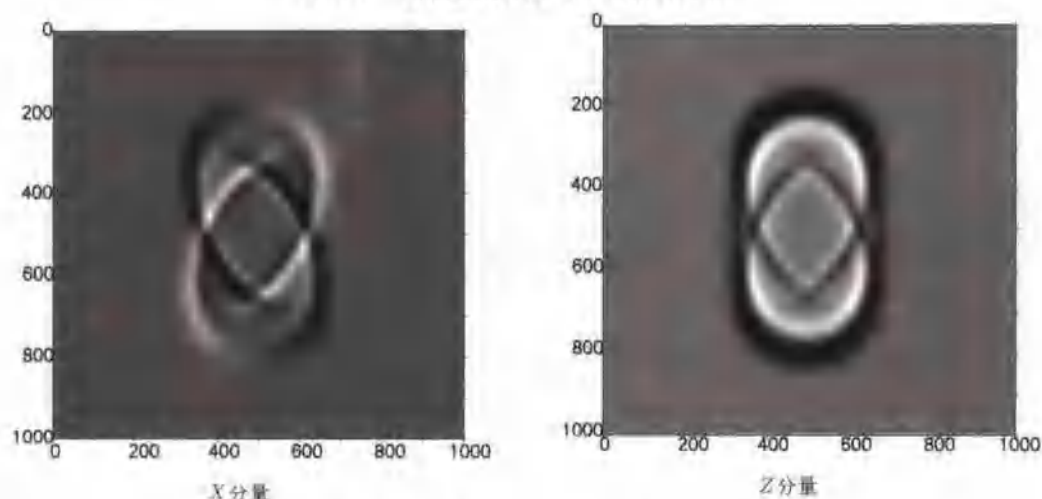


图 3(c) 干裂隙时的瞬时波场

图 3 为表 1 所列的裂隙在三种情况下 120ms 时的瞬时波场图。

图 3(a) 为裂隙含饱和水时的波场情况，由 X 分量和 Z 分量的图中可见，椭圆长短轴差别不大，快波(qP 波)几乎为圆形，慢波(qS)的形状近似矩形，在矩形四角有明显的三叉区现象。

当裂隙含部分饱和水(图 3(b))时，快波(qP 波)具有明显的各向异性，近似椭圆，对称轴方向 qP 波速度变慢。与裂隙含饱和水的情况相比，慢波形状变化不大，三叉区现象仍然明显。

当裂隙变为干裂隙(不含水或含气)(图 3(c))时，X 分量上的快波变为哑铃形(此波前可称之为哑铃形波前)，Z 分量上的快波变为不规则的跑道形。从能量上看，Z 分量的快波能量明显高于 X 分量。X 分量中的慢波和 Z 分量中的慢波形状均为菱形，并有三叉区现象。另外，在对称轴方向，X 分量和 Z 分量中已不能区分快波和慢波。

纵观图 3，随着裂隙的含水程度减小，快波的各向异性程度快速增强，快波的能量