

地震勘探技术在煤炭勘查中的应用与展望

许崇宝,王晶,曾爱平

(山东省煤田地质局物探测量队,山东泰安 271021)

摘要:地震勘探技术为一种重要的勘探方法,可以经济、有效的发现资源和解决资源开采过程中遇到的构造、地层、岩性等问题。煤炭地震勘探发展过程中地震野外数据采集、地震数据处理和地震解释都取得了重大成就,目前煤炭地震勘探正进一步向高信噪比、高分辨率、高保真度、高清晰度、高精度、定量分析的方向发展,未来也必将在煤炭资源发现和矿井隐蔽致灾因素的探测中发挥重要作用。

关键词:地震勘探;技术现状;野外采集;数据处理;地震解释;未来发展

中图分类号:P631.4 **文献标识码:**B

引文格式:许崇宝,王晶,曾爱平.地震勘探技术在煤炭勘查中的应用与展望[J].山东国土资源,2016,32(1):1-8.
XU Chongbao, WANG Jing, ZENG Aiping. Application and Prospect of Seismic Exploration Technology In Coal Exploration[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(1): 1-8.

地震勘探是利用地壳岩石的弹性差异,通用人工激发引起地壳岩体振动产生地震波,当地震波向下传播遇到弹性不同的分界面时,就会发生反射、透射和折射,然后用专门的精密仪器记录地表各点振动信息,对获取的数据信息进行处理、分析解释,寻找资源、查明地下构造的一种地球物理方法。地震勘探具有勘探精度高、探测深度大、分辨率高、勘探效率高、勘探成本低、能直观地表现地下地质形态等特点,是目前查明地下地质构造和地质岩性最经济、最有效的勘探方法^[1-2]。地震勘探经过近一个世纪的技术发展,取得了辉煌的成就,被应用于越来越多的勘探领域。

1 煤炭地震勘探发展历程

地震勘探包括地震采集、处理和解释3大部分,20世纪20年代地震勘探技术开始出现,1818年,从柯西(cauchy)关于波传播的论文面世开始,1845年,R.马利特利用人工激发的地震波来测量弹性波在地壳中的传播速度,到1921年,J.C.卡伯将反射法地震勘探实际投入地质勘探应用中去,拉开了地震勘探历史的序幕。我国第一个地震勘查队是在地球物理勘探专家翁文波的指导下1949年筹办的,并

于1951年在上海成立后开赴陕北地区进行工作^[1-2]。1955年,我国煤炭工业上开始采用地震勘探技术,并在华东组建了全国第一支地震勘探队伍,以此开启了我国地震勘探之旅。

1.1 野外数据采集

地震野外数据采集是通过野外地震采集系统获取反映地下地质体真实信息的反射波数据的过程。电子技术、信息技术、计算机技术共同推动了地震数据采集技术的发展,尤其是地震采集仪器的不断更新换代。地震仪器的发展主要经历了光点记录仪器、模拟磁带记录仪器和数字磁带记录仪器3个阶段^[3-4],王文良将数字地震仪又划分为3个时代,分别为数字磁带记录地震仪、早期遥测地震仪和24位遥测地震仪,目前有线遥测地震仪仍占市场主导地位,无线遥测地震仪仅仅在特殊地表条件下采用^[5]。

20世纪70年代中期,以DFS-V和SN338为代表的数字地震仪出现,把地震勘探带入了一个崭新高效的数字化时代。24位多道地震仪在20世纪末取得了突破性进展,野外采集道数大幅度增加,21世纪以后,主要代表性地震仪器是法国Sercel公司生产408和428地震仪器,为有线遥测地震仪,具有

收稿日期:2016-01-22;修订日期:2016-01-24;编辑:曹丽丽

作者简介:许崇宝(1968—),男,山东宁阳人,研究员,主要从事煤炭地震勘探技术研究工作;E-mail:xchb1968@163.com

强大的网络化数据管理能力,使得野外数据采集方式将更加灵活^[4]。地震仪器的改进使野外覆盖次数不断提高,大大改善了地震资料的信噪比,动态范围也从最早的约 20 dB 提高到目前的 100 dB 以上,解决地质问题的能力也得到了质的提升。同时,随着采集震源的多样化,在原来的单一炸药震源基础上创新了非炸药震源,大大节约了成本和提高了地震勘探震源的安全性。

我国地震仪器及相关软件的自主开发相对较滞后,虽然有多个型号的国产工程勘查地震仪投入使用,但大型地震仪器基本靠国外引进,垄断性很强。近年情况有所改变,东方地球物理公司 2010 年 3 月并购美国 ION 公司陆上物探装备制造,成立 INOVA 合资公司。2011 年 10 月 G3i 仪器研发成功,经过软件版本升级和野外勘探项目实际检验,其综合技术性能日趋完善,先后在乍得、沙特、哈萨克斯坦、俄罗斯、阿尔及利亚、土库曼斯坦、巴基斯坦等国家使用,技术性能达到国际先进水平。

20 世纪 80 年代后期 DFS-V 和 SN338 数字地震仪引入煤炭地震勘探领域,基本以寻找煤炭资源为目的的二维地震勘探为主,1988 年,在山东省济宁煤田唐口勘探区由山东省煤田地质局实施了第二个中日合作勘探项目,采用该仪器进行高分辨地震勘探工作,取得了很好的地质成果。1989 年和 1993 年山东省煤田地质局物探测量队与煤炭科学研究总院西安分院采用该仪器进行了最早的煤田数字三维地震勘探工作。从 90 年代中后期开始全国主要煤炭物探队伍纷纷引进德国 DMT 公司 Summit、美国 I/O 公司 Image 等新一代数字地震仪,煤炭采区三维地震勘探技术得到迅速推广应用,成为煤矿安全高效生产地质保障技术最有效地勘探手段。目前主要煤炭物探队伍使用地震仪器基本与石油地震勘探仪器同步。

相对于地震仪器的研发,地震检波器一直未得到应有的重视,更新换代相对较慢,随着地震勘探技术的深入发展,逐渐达成共识,即地震仪器发展到目前技术水平地震采集工作的质量在很大程度上取决于地震检波器的性能。近年来国内外仪器厂商相继开发研究了基于微机电系统(MEMS)的数字检波器。目前在煤田地震勘探领域全数字高密度高覆盖地震勘探技术已经应用于矿井小尺度隐蔽致灾构造异常的探测,在地震地质条件较好的地区落差 2 m

以上的断层准确率可以达到 80% 以上。

1.2 地震资料处理

地震数据处理是地震勘探的重要组成部分,地震数据处理的过程是对野外地震采集数据做人工干预的计算机处理过程。以便于地震资料后期人工解释和实际地质应用。20 世纪 20 年代初期,光点记录是不经过任何处理就能直接进行解释地震资料,之后到了 20 世纪 50-60 年代的模拟磁带记录处理上虽然有进步,但也难以获取大规模和高精度的地震勘探资料。目前,随着计算机硬件和软件的发展,地震成像技术从二维到三维、从叠后到叠前、从时间域到深度域、从射线追踪到波场延拓、从声波近似到弹性波方程、从各向同性到各向异性,发展非常迅速^[3]。第三代以后的地震仪采用数字形式记录地震信号,可以进行声阻抗剖面、亮点剖面、三瞬剖面(瞬时振幅、相位、频率)等特殊项目高精度的处理,大大提高了地震数据处理技术水平,为高精度地震解释奠定了基础。

1.3 地震资料解释

地震解释是利用地震反射波的分析解释寻找资源和查清勘探区地质构造,为后续的钻探验证及开发开采提供地质依据。在地震资料解释的发展史上大致可以分为 3 个阶段,即构造解释、地层岩性解释和开发地震解释。20 世纪 60 年代的地震资料解释工作只局限于传统的地震构造解释,而且完全以人工的方法进行。20 世纪 70 年后出现了地震资料岩性解释,对资料勘探起了很大的识别作用,20 世纪 80 年代解释系统中开始使用自动拾取和自动追踪功能,同时各种解释手段不断丰富,大大提高了解释速度和精度。目前在地震资料解释方面,正由单一的地震解释向多学科综合解释方向发展,而且地震解释工作日趋人工智能化,综合利用地质、地震和测井资料,采用地震模拟技术,进行人机连作,在计算机上作正、反演模型与现实资料对比,力求达到地震资料的最佳地质解释^[6]。此外以三维可视化解释为代表的现代化地震解释技术使地震解释工作从手段到技术观念上发生了巨大变化。

目前煤炭地震勘探领域使用的成熟的资料处理及解释软件基本上为国外的商业软件,如 CGG, Focus, Landmark 等,国内东方地球物理公司开发的 GeoEast 等软件还没有在国内煤炭地震勘探领域得

到应用。

2 煤炭地震勘探技术典型应用

经过几十年的发展,煤炭地震技术越来越先进,解决的地质问题也越来越广泛。煤炭地震勘探技术可以查明目的层褶曲形态、断裂构造发育情况、煤层隐伏露头、火烧区、陷落柱、岩浆岩影响等地质问题,成为寻求发现煤炭资源,为煤矿安全高效生产提供翔实准确地质资料最有效的勘探手段。

2.1 地震勘探技术可以查明煤层褶曲形态

传统的钻探手段仅仅是“一孔之见”,即使钻孔网度再密,钻孔之间的构造形态也需要地质技术人员根据所掌握的地质资料进行主观推断,在构造复杂地区或煤层对比难度大的地区难免失之偏颇,局部发育的小幅度褶曲或挠曲更是无法查明,而地震勘探技术则可以得到地下地质体褶曲形态的直观反映。在空间速度横向变化不大的情况下,地震偏移时间剖面、水平切片上真实反映了时空域中的背斜和向斜形态,根据地震波旅行时间,经时深转换即可获得地层真实的褶曲形态,如图 1 中部显示了煤层局部产状急剧变化引起的典型褶曲形态,图 2 显示了新疆某中生代陆相聚煤盆地煤层局部褶曲形态,中部下伏古生代地层的局部隆起造成的古潜山和同沉积作用使古潜山附近煤层和地层沉积厚度迅速变薄。

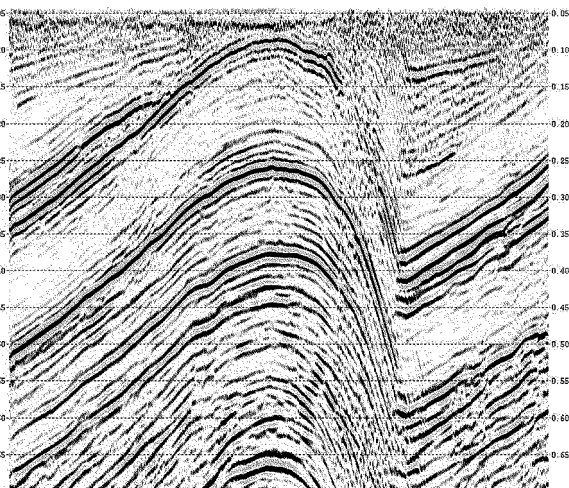


图 1 煤层褶曲形态在地震时间剖面上的反映

2.2 煤炭地震勘探技术可以查明煤层断裂构造发育情况

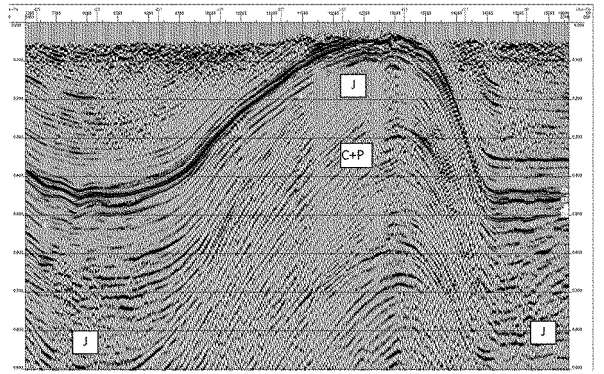


图 2 新疆某陆相聚煤盆地煤层局部褶曲形态在时间剖面上的反映

煤炭地震勘探技术可以查明目的层断裂构造发育情况,尤其在采区三维地震勘探中,断裂构造的解释一般都是首要地质任务和解释工作的重中之重。断裂构造的解释依据为地震反射波同相轴的错断、迭掩、扭曲、强相位转换、断点绕射波和断面波等。通过地震反射波波组、波系的对比,结合分析断点的不同显示特征,在纵向上控制断点的倾向、落差及倾角,同时结合水平切片以及各种地震属性技术的显示与运用,解译断层的性质、落差、倾角及位置,分析研究勘探区断裂构造形态。如图 3 中显示 2 条断层错断多个反射波组,据此可以准确解释断层平面位置、倾角、落差,图 4 中复杂断裂构造在水平时间切片可以一目了然。目前煤炭三维地震勘探在地震地质条件较好的地区落差 5 m 以上的断层解释准确率可以达到 70% 以上,采用高密度全数字高覆盖三维地震勘探技术,落差 2 m 以上断层解释准确率可以达到 80% 以上。

2.3 煤炭地震勘探技术可以查明煤矿开采中陷落柱地质问题

陷落柱是由于煤系地层下部奥陶系灰岩在地下水的物理化学作用下形成岩溶空洞,其上覆岩层受重力作用塌陷而形成的塌陷体。陷落柱内往往混杂堆积着破碎岩块,排列紊乱,胶结程度不一,一般空间尺度较小,个别直径甚至仅有几米,形态大致呈不规则圆形。陷落柱与周围岩层的密度、速度存在较大差异,在地震时间剖面上主要表现为反射杂乱,煤层及辅助反射波消失,甚至出现绕射波,沿层无法连续追踪等特征。在煤炭资源开采过程中,陷落柱往往是重大安全隐患之一,煤炭地震勘探技术是陷落

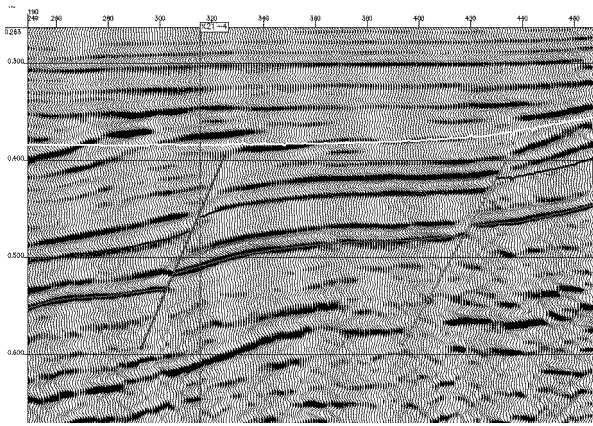


图 3 典型断裂构造在时间剖面上的反映

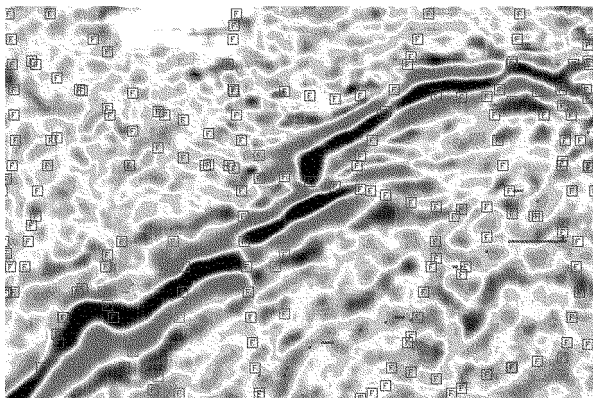


图 4 复杂构造在局部水平时间切片上的显示

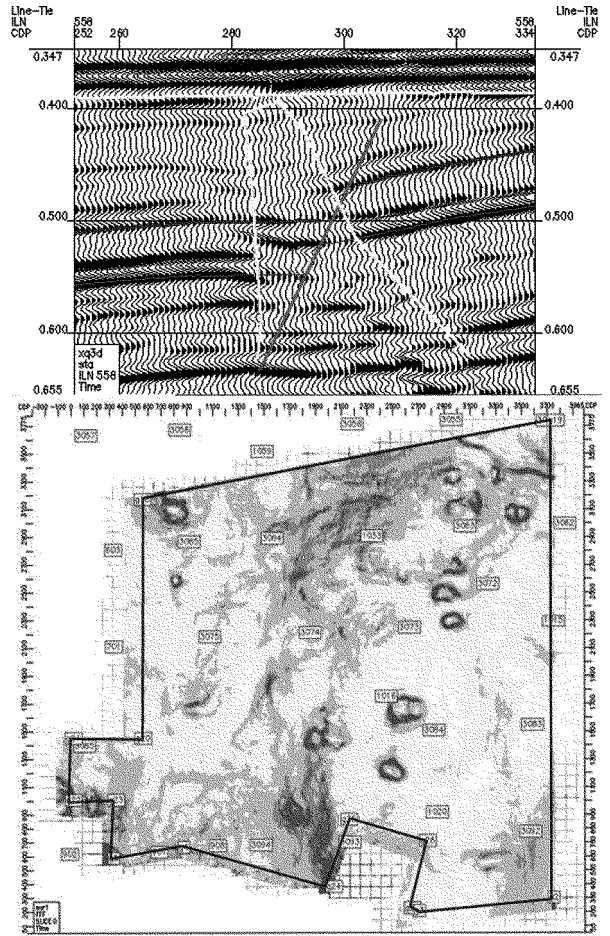


图 5 陷落柱在时间剖面 and 方差数据体沿层切片上的反映

柱勘查中最有效的勘查技术^[7]。山东省煤炭地质局物探测量队曾在新桥、李庄、王楼等多个地震勘查项目中成功解译并圈定了陷落柱的发育位置、空间形态、陷落层位。图 5 左侧图中部显示了一个经巷道验证的不规则长圆形陷落柱,沿断层为长轴方向,长度约 210 m,右侧图中若干个颜色较重的近圆形异常区为陷落柱。

2.4 煤炭地震勘探技术可以查明煤层剥蚀、冲刷、沉缺、采空、火烧、吞蚀、变焦等地质问题

煤炭地震勘探技术可以查明煤层赋存边界,当存在煤层隐伏露头时,煤层依次呈角度不整合接触于上部覆盖层之下(图 6)。同时可以解决矿井建设非常关心的盖层厚度变化问题,尤其是我国东部新生界松散盖层厚度较大时,通常会通过煤田地震勘探技术寻找盖层较薄的古隆起位置作为矿井位置(图 7)。地震反射波中含有大量的地质信息,煤层厚度变化、沉积缺失、受古河道冲刷缺失或变薄、煤

层火烧或采空、岩浆岩侵入引起的煤层被吞蚀或变焦等均会引起煤层及其围岩密度、速度及其他弹性参量的差异,这些差异导致了地震波在传播时间、振幅、相位、频率等方面的变化。通过识别分析相应煤层反射波的反映,可以对相应地质现象予以解释,通过地震属性和波阻抗反演等解释新技术可以提高这些煤层异常解释精度和解释效率^[8-13]。图 7 左图显示中部 3 煤层冲刷造成相应煤层反射波变弱、消失,下部反射波由于屏蔽作用的减弱适当增强,图 7 右图显示上部煤层沉积缺失,同样下部煤层反射波增强。

老窑采空区、火烧区会造成相应煤层反射波消失,当上覆地层塌落、裂隙发育时,则采空区反射波凌乱、一定范围内的反射波同相轴向下扭曲错动,同时由于改变了反射波传播路径,对下部反射波屏蔽作用加强,当上部岩层由于地层塌落有离层现象时,会局部增强上部相应反射波^[14]。图 8 左图断层层左

侧中部 3 煤层采空,时间剖面显示“挂帘子”现象,上部反射波增强;右图方差体顺层切片上右下侧条带状紊乱矩形区域为采空区。图 9 右上部为煤层火烧区。图 10 左图左侧上部煤层被岩浆岩吞蚀,吞蚀边界距图中显示的 4806 号钻孔很近;右图显示了岩浆岩呈脉状从下向上侵入多层煤层,造成多层煤层局部被吞蚀。

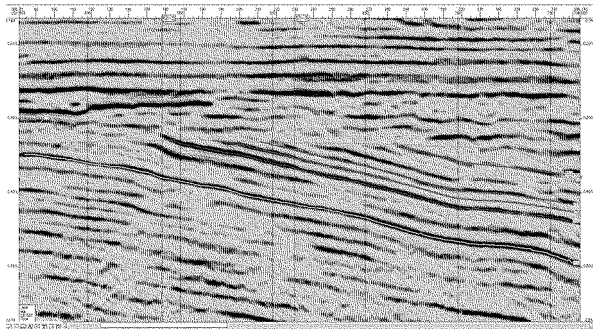


图 6 煤层隐伏露头在时间剖面上的反映

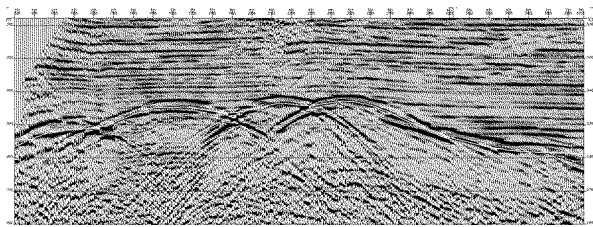


图 7 松散盖层底界面起伏在时间剖面上的反映
(据马玉生等郟城县祝桥煤炭普查资料)

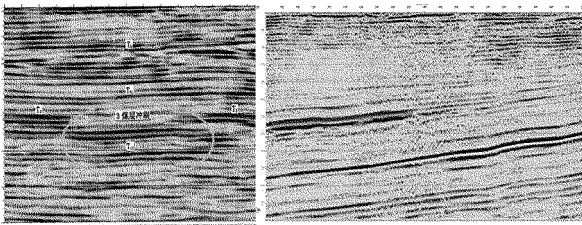


图 8 煤层冲刷(左)、沉缺(右)在时间剖面上的反映

2.5 地震勘探技术可以解决煤层结构及多煤层对比问题

煤层分叉、合并等宏观结构变化会引起相应煤层反射波运动学和动力学特征发生变化,分析识别这些变化可以解释煤层分叉、合并^[14],图 11 中部 3 煤层分叉合并显示非常清楚,利用地震属性、波阻抗反演等技术可以提高煤层分叉、合并边界平面位置解释精度。

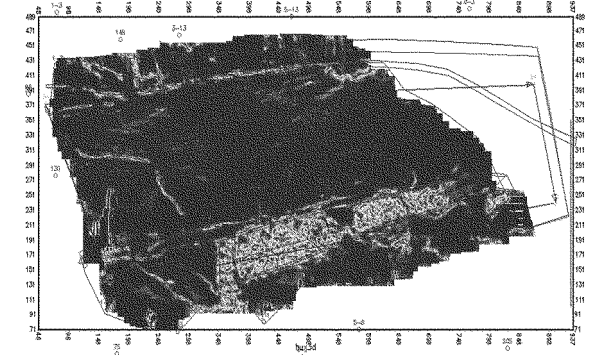
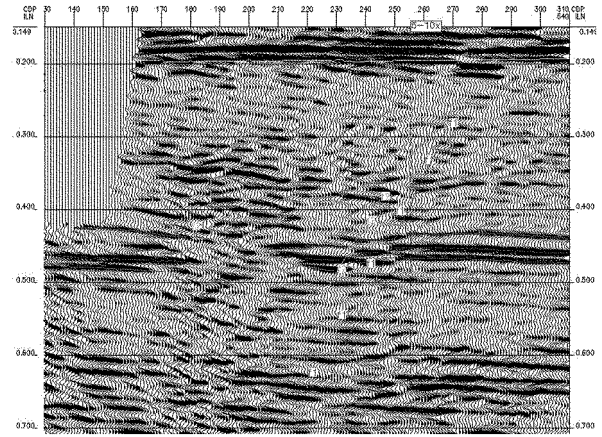


图 9 采空区在时间剖面(左)及顺层切片(右)上的反映

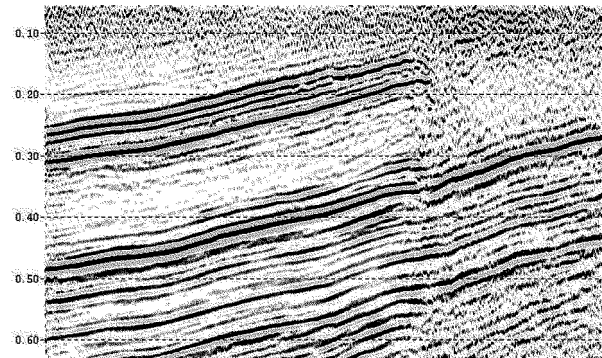


图 10 火烧区在时间剖面上的反映

在新疆、内蒙等多煤层发育地区采用地震波阻抗反演技术结合钻探、测井资料可以进行复杂煤层的对比解释工作。当煤层为巨厚煤层时,利用测井曲线制作合成地震记录,标定煤层顶底板反射波,利用其时差定量解释煤层厚度。当煤层为多层复杂煤层时,首先采用正演模拟技术标定复杂煤层结构及其波形特征的变化^[16-18],然后采用波阻抗反演技术反演解释复煤层结构。波阻抗反演技术是岩性地震勘探的重要手段之一,利用测井数据纵向分辨率高

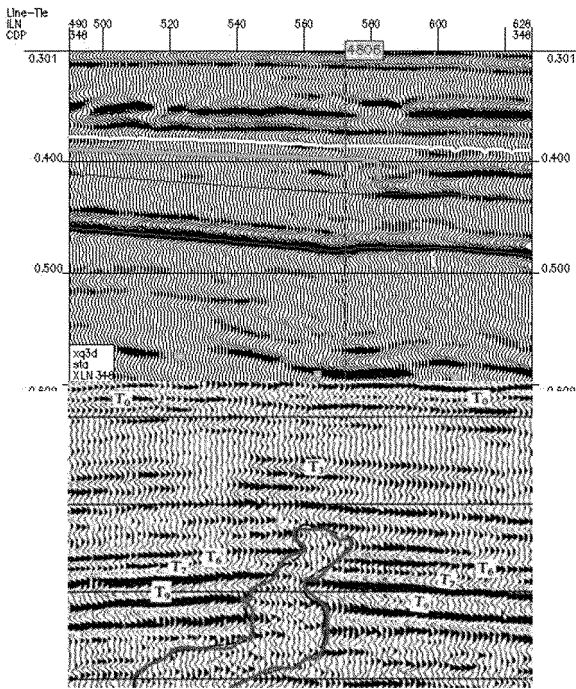


图 11 煤层被岩浆岩吞蚀在时间剖面上的反映

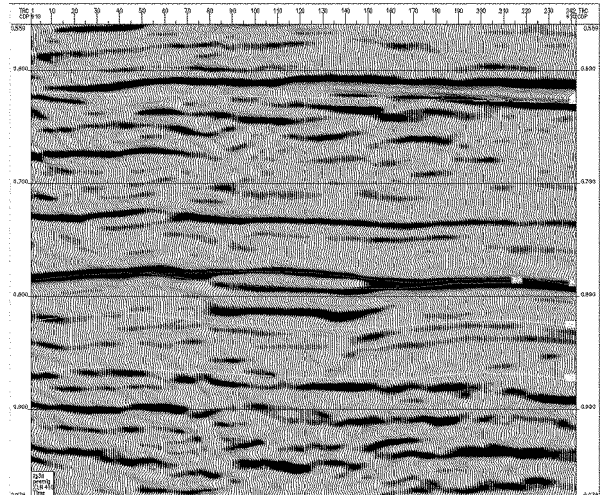


图 12 山东巨野煤田某矿区 3 煤层小范围分叉合并的时间剖面上的反映

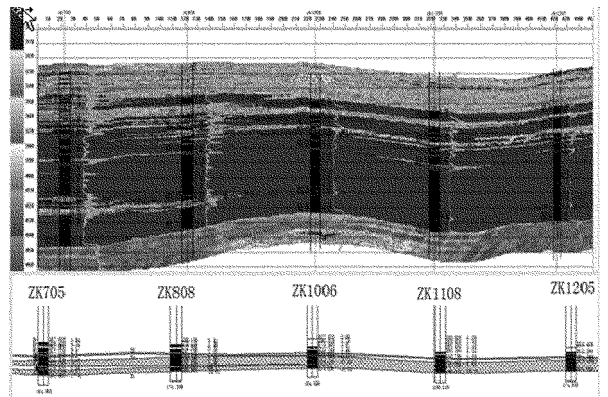


图 13 新疆某勘查区测井约束波阻抗反演及煤层对比

的有利条件,对井旁地震资料进行约束反演,不仅补充了地震数据中缺失的低频成分,也利用了测井资料的高频成分,使得反演结果的分辨率可以突破 $\lambda/4$ 的薄层分辨率限制^[19-20]。该技术能够把地震资料与测井资料有机地结合起来,充分发挥地震横向分辨率高、测井在纵向上分辨率高的优势,将一般意义上的地震资料转换成与地层岩性信息密切相关的岩性地质剖面,便于进行储层预测^[21-25]。山东省煤炭地质物探测量队 2005 年在新疆准东某勘查区地震勘探中,首先对地震资料进行拓频处理,然后进行测井约束波阻抗反演,解决了单一钻探技术多煤层对比难题,提高了勘探效果。图 12 是山东省煤田地质局物探测量队在新疆某勘查区测井约束波阻抗反演剖面,反映了钻孔间煤层结构变化情况,对于煤层分叉、沉缺及厚度变化反应较清楚,具有代表性^[22]。

3 地震勘探未来展望

在未来,地震勘探方法在煤炭地质勘探中主要将逐渐向更高分辨率的地震数据采集、二维多分量、高密度全数字三维三分量地震勘探、多波 VSP 技术资料处理、复杂构造成像、复杂山区、黄土塬区及巨厚岩浆岩覆盖区地震技术等新技术新方法领域进军。

3.1 高密度全数字三维地震勘探技术会得到进一步推广应用

近几年由于地震仪器和计算机能力的发展,高密度三维地震技术发展很快。该技术首先应用于海洋勘探,国内油田勘探对陆地高密度空间采样地震技术的研究也历时多年,主要技术特征是减小道距、大幅度增加接收道数,提高覆盖次数等,通过减小地震勘探的面元尺度,提高空间采样率,达到提高分辨率目的。

在煤炭地震勘探中,由于目的层埋藏相对较浅,目前常用的空间采样间隔为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$,一般都会满足空间假频对采样间隔的要求,但是据统计直径大于 30 m 的陷落柱准确率仍较低^[7]。对煤炭地震勘探来说,高密度三维地震勘探一般要求空间采样间隔远远高于空间假频的限制要求,力求小尺度构

造异常能够得到更好的反映,如直径较小的陷落柱、落差 3 m 左右的断层等。国内煤田地震勘探方面,在地震地质条件较好的淮南矿区高密度精细三维地震勘探应用较早。2007 年,淮南矿业集团与中石油东方地球物理公司合作,在丁集煤矿采用覆盖次数 64 次和 5 m×5 m CMP 面元,取得了较高品质的地震资料,解释成果验证率达 85.71%。2009 年以来,淮南矿区先后有 5 家煤矿进行了全数字高密度的三维地震勘探,永城煤业集团和晋城煤业集团分别于 2011 年和 2012 年开展了全数字高密度的三维地震勘探工作。该技术应用前景良好,可以检测到 2~3 m 的断层,落差 5 m 以上的断层准确率大为提升。同时三分量数字检波器的应用可以使地震勘探技术解决更多复杂岩性地质问题。将来随着仪器装备能力的进一步提高,野外数据采集成本会逐渐降低,必将进一步得到推广应用。

3.2 地震属性、多参数联合反演等新技术的进一步发展

随着计算机和信息技术的发展,地震勘探解释工作将实行剖面、平面和立体解释相结合的综合解释办法,充分利用切片解释技术、地震属性解释技术、断层模式识别技术、三维可视化技术、相干体及方差体断层解释技术来缩短解释周期,充分利用地震波丰富的运动学和动力学信息,提高解释精度。地震反演将突破波阻抗反演的限制,开展多参数联合反演,尝试解决含隔水层划分、煤层顶底板稳定性、瓦斯富集区的划分等更多岩性地质问题。诸多解释新技术的逐步推广应用将使煤炭地震勘探逐步由定性转向定量,大大降低地质勘探成本,提高地质勘探效率。

3.3 数字处理成像技术进一步提高

叠前时间域及深度域偏移技术在石油地震勘探领域已经得到比较广泛的应用,随着计算机硬件和软件的发展,在煤炭地震勘探领域也会逐步得到推广和应用,高陡、倒转、推覆地质体偏移成像质量和精度进一步提高。复杂山区静校正处理、低信噪比资料处理等复杂地震地质条件资料处理技术会进一步提高,真正实现地震资料的高信噪比、高保真度、高分辨率,为高精度地震解释奠定基础。

3.4 更多运用综合物探技术

虽然随着地震勘探的不断发展,煤炭地震勘探

技术解决地质问题的能力得到了大幅度提高,但其毕竟是一种间接的勘探手段,同其他任何物探技术手段一样,都有多解性,多种物探手段的综合运用,各种手段取长补短,综合分析越来越成为共识。煤炭地震勘探技术与地面和井下的电磁法勘探技术结合在煤矿勘查区富水性及断层导水富水性探测、老窑采空区探测中取得了很好的勘探效果。由于反射波法勘探技术的限制,煤炭地震勘探技术对于埋藏深度较浅(一般浅于 150 m,地震地质条件好时浅于 100 m)的煤层露头、断层、老窑采空区等探测精度较差,需要联合高密度电法、氦气浓度测量法等物探技术手段进行综合物探。因煤炭安全生产需要,井下超前探工作越来越受重视,目前井下超前探物探技术手段主要以井下电磁法为主,随着井下地震勘探技术及装备的改进,井下综合物探应用中也会越来越多地出现地震勘探技术的力量。

4 结语

地震勘探技术经过近一个世纪的发展,技术日趋成熟,今后地震数据野外采集将会向着遥控遥测、无线野外数据采集发展。利用计算机模拟人工智能,对地震资料处理和地震资料解释方法也将进一步提高。目前的地震勘探已经形成了一个多学科包括新兴学科紧密结合的学科体系。CT 技术、三维 VSP、井间地震、多波地震技术,分形技术、模式识别技术、小波变换、神经网络、非线性反演等新理论也不断渗透到该领域,地震勘探技术正以前所未有的速度向前发展。

煤炭地震技术对岩浆岩侵入影响、煤层冲刷、沉缺、老窑采空区等煤层异常解释精度会进一步提高;对落差小于 5 m 的断层、直径 10 m 以上的陷落柱等矿井小尺度隐蔽致灾构造异常的探测能力和探测精度将会进一步得到提升;地震属性、波阻抗反演、多参数联合反演等新技术的推广应用,对地质体导富水性、煤层顶底板稳定性、瓦斯富集区探测等解释能力也将逐渐被发掘。

参考文献:

- [1] 张明学.地震勘探原理与解释[M].北京:石油工业出版社,2010.
- [2] 陆基孟,王永刚.地震勘探原理(第三版)[M].东营:中国石油大学出版社,2009.

- [3] 程建远.中国煤矿采区地震勘探技术的回顾与展望[J].《煤田地质与勘探》,2004,32(增刊):30-35.
- [4] 刘振武等.地震数据采集核心装备现状及发展方向[J].石油地球物理勘探,2013,48(4):665.
- [5] 王文良.地震勘探仪器的发展、时代划分及其技术特征[J].石油仪器,2004,18(1):4-6.
- [6] 孙家振,李兰斌.地震地质综合解释教程[M].武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [7] 张时元,程建远等.三维地震在陷落柱探测中的应用[J].中国煤田地质,1997,9(增刊):29-31.
- [8] Adam P. Koesoemadinata and George A. McMechan. Petro ~ seismic inversion for sandstone properties []. Geophysics. 2003, 68 (5) : 1611 - 1625.
- [9] 张永刚.地震波阻抗反演技术的现状和发展[J].石油物探,2002,41(4):385-390.
- [10] 刘百红,李建华.测井和地震资料宽带约束反演的应用[J].石油物探,2004,43(1):76-79.
- [11] 张晓玲,钱运生.基于模型的测井约束反演及应用[J].勘探地球物理进展,2004,27(5):343-346.
- [12] 许升辉,马劲风.波阻抗反演中多井条件下的子波提取方法[J].地球物理学,2003,18(4):623-627.
- [13] 李仁海,崔若飞,毛欣荣,高级,刘伍.利用岩性解释方法圈定岩浆岩侵入煤层范围[J].物探化探计算技术,2008,30(2), 242-248.
- [14] 王晶,张建洲等.综合物探技术在整合煤矿复杂采空区勘探中的应用[J].煤矿开采,2012,17(107):21-23.
- [15] 朱华荣,杨奎.唐口区 3 煤层宏观结构的综合解释[J].煤田地质与勘探,1992,20(增刊):9-22.
- [16] 王晶,姜飞等.合成记录及正反演技术在将军庙多煤层勘探区的应用[J].煤矿开采,2015,10(262):
- [17] 赵丽.合成地震记录在煤炭地震勘探中的应用[J].中国煤炭地质,2004,16(B05):94-95,115.
- [18] 宋建国,李辉,刘垒,等.合成地震记录制作中的质量控制方法研究[J].地球物理学进展,2009,24(1):176-182.
- [19] 张爱印,李学文,董守华,等.地震波形反演综述[J].黑龙江大学自然科学学报,2012,29(3):299-301.
- [20] 张爱印,李学文,董守华,等.测井约束反演技术在煤田三维地震岩性勘探中的应用[J].地球物理学进展,2004,19(3):4-6.
- [21] 黄亚平,束荣华,董守华,等.波阻抗反演技术在煤田地震岩性勘探中的应用[J].煤田地质与勘探,2008,36(5):62-64.
- [22] 许崇宝,刘东源.小波边缘分析建模波阻抗反演方法在煤层解释中的应用[J].中国煤炭地质,2008,20(2):43-45.
- [23] 张明振.对测井约束地震波阻抗反演的理解与应用[J].油气地球物理,2006,4(3):1-4,8.
- [24] 王昭晖,李新光,许平等.岌岌湖西煤矿西山窑组层序地层划分及沉积环境演化特征浅析[J].新疆地质,2010,28(3):334-338.
- [25] 曹振国.波阻抗反演在东胜煤田勘探中的应用[J].中国煤炭地质,2010,22(2):54-58.

Application and Prospect of Seismic Exploration Technology In Coal Exploration

XU Chongbao ,WANG Jing, ZENG Aiping

(Shandong Coalfield Geophysical Prospecting and Surveying team, Taian, Shandong 271021)

Abstract: Seismic exploration can be economically and effectively find resources and solve structure, stratigraphy, lithology and other problems encountered in the process of resources exploitation as an important technology for the exploration methods. Seismic field data acquisition, seismic data processing and seismic interpretation has made significant achievements in development of coal seismic exploration. The high signal to noise ratio, high resolution, high - fidelity, high - resolution, high - precision and quantitative analysis of the direction for development are current coal seismic exploration. It will also play an important role for discover and mine detecting hidden causal factors in coal resources in the future.

Key words: Seismic Exploration; Technique Actuality; Data processing ;data acquisition; seismic interpretation; future development