

* 可控震源在新疆准东煤田地震勘探中的应用

赵环金, 王炳华, 范永杰

(山东省地质测绘院, 山东 济南 250002)

摘要:以新疆准东煤田库兰喀孜干地区煤炭资源地震勘探为例,介绍了2年来通过可控震源进行煤炭资源勘探的实践,认为利用可控震源在沙漠地区进行煤炭资源地震勘探,可解决沙漠成孔难,找不到理想的放炮激发层位问题,取得更为满意的勘探效果。

关键词:地震勘探;可控震源;沙漠地区;新疆准东煤田

中图分类号:P631.4

文献标识码:A

0 引言

地震勘探是地球物理勘探方法之一,在查找深部石油及煤炭资源方面具有独特的效果。它是通过人工产生的地震波向地下传播遇到不同介质的界面时,产生反射、折射及传播波速的变化等,通过地表安置的检测系统接收记录信号对地下的结构进行推断解释,从而获得矿产资源有关的信息^[1]。

地震波反映的波阻面为地层中的等时面,这就为地层面的追索提供了有效的方法,波阻面被有规律地切错正是断层构造的反映,因此,在煤炭勘探中追索煤层的空间分布及被构造的切错情况,地震勘探成为最经济有效的手段^[2]。

2006年5月,山东省地质测绘院接受了在新疆准东煤田库兰喀孜干地区煤炭资源地震勘探任务。根据其地震地质条件,项目组最终确定了可控震源作为此次工作的地震波激发源。通过近2年来在沙漠戈壁地区采用可控震源进行煤炭资源勘探的实践,认为利用可控震源在沙漠地区进行煤炭资源地震勘探,可解决沙漠成孔难,找不到理想的放炮激发层位问题,同时可以节省工作成本,又能取得较好的勘探效果,具有较广阔的应用前景。

1 项目区现状

项目区位于昌吉回族自治州木垒哈萨克自治县

老君庙西部,属戈壁和半沙漠地带,地势较平坦,海拔750~840 m,植物稀少,无地表水,风沙较大,第四纪地层广泛分布,以砂、砾为主,厚度变化较大,厚者可达数十米。在沙漠里进行地震勘探找煤炭资源的例子并不多,而且效果大都不是很理想。一是沙漠松散成炮孔难,影响工作效率;二是在一定深度内很难找到理想的放炮激发层位,三是松散的第四系对地震波的高频成分有严重的吸收衰减作用;四是风沙大,干扰强。近几年来为了适应开发大西北的形势,地震工作者们都在尝试改用可控震源。

可控震源作为一种新型的人工地震波激发方法,其特点是:不需要成孔;对环境影响小,安全;激震不是在瞬间完成,而是持续数秒至数十秒,增强了瞬间及随机干扰的抵抗能力;需要具备通行条件的地形;频带受设备的限制,相对较窄^[3]。因此,一般多使用在一些特殊的环境中,例如用于人口密集的城市、工业区以及对放炮有限制的区域内,解决一些特殊地质任务^[4]。

2 可控震源参数选择与质量控制

2.1 参数的选择

该次地震勘探采用SUMMIT II PLUS二维地震仪,激发源决定采用可控震源,震源车为28 t美国产Merts可控震源车,另有一台备用。施工的各项参数

* 收稿日期:2008-10-23;修订日期:2009-12-25;编辑:陶卫卫

作者简介:赵环金(1959—),男,山东胶南人,高级工程师,主要从事地质工程及测量工作;E-mail:wbh9035@sina.com。

是通过施工前的试验工作来确定的,通过试验工作,详细了解该区的地震地质条件并获得有效地震反射波,并在此基础上选取最佳参数,确定合理的施工方案^[5]。

2.1.1 震动参数

为了确定合理的震动参数,在施工前进行了试验工作。考虑到此次工作勘探目的层的深度多在1 000 m以内,通过试验证明均能满足深度要求,当终止频率超过100 Hz时波形出现不稳及失真现象,所以采用终止频率为100 Hz,这样即可满足勘探深度的要求又能使分辨率达到尽可能好的效果。

为了确定扫描长度和速率对地震效果的影响,设计了不同的速率和扫描长度的试验,通过试验发现,速率的增大,相关子波的时间跨度变小,提高分辨率;扫描长度的增加,激发能量增强,信噪比提高。考虑到信噪比还可通过增加激震次数来得到补偿,结合场地的地震地质条件及工作目的要求,确定震动的基本参数:起始频率30 Hz,终止频率100 Hz,速率14 Hz/s,扫描长度5 s。

为确定合理的激震次数,试验震次从2次到20次依次进行。通过试验发现,激震次数的增加使地震信号相互叠加而增强,是增强有用信号、抑制随机干扰信号的有效手段;但激震次数的增加也成倍地增加了工作量及工作时间,因此通过试验确定在能满足勘探要求的前提下选择激震次数尽可能少的方案^[6]。通过试验确定了4震次为合理的激震次数。

2.1.2 偏移距试验

通过该项试验确定合理的偏移距,保证近炮点接收道检波器的接收信号质量。当偏移距过小时,近炮点接收道的接收信号会严重地受到震源的影响而无法使用;当偏移距过大时,近地表的土层反射信息受到影响或接收不到。合理的偏移距应使近炮点接收道的接收信号在可以用的前提下尽量小,另外为了便于施工,通常情况下偏移距还应是道间距的整数倍。通过试验对比,确定合理偏移距为30 m。

2.2 施工方案的确

施工方案要根据场地的地震地质条件、设备条件、目的任务、自然条件等因素,并通过多次反复试验来确定,在地震勘探中采用了如下方案:

接收道数72道;备用道数34道;道间距15 m;炮间距30 m;偏移距30 m;覆盖次数18次;激发方式单端激发;最大炮检距1 095 m;采样间隔1 ms;采

样长度1.5 s;起始频率30 Hz;速率14 Hz/s;扫描时间5 s;终止频率100 Hz;激震次数4次;检波器组合为每组4个检波器,2串2并,按1.5 m×1.0 m矩形布设;震源采用美国产28 t Merts 18可控震源车台。

2.3 各环节的质量控制

2.3.1 一致性控制

一致性是指震源底板的震动信号与编码器产生的标准信号的一致性,是评价震源的震动信号是否合格有效的重要指标^[7]。也是指2个信号的频率变化一致,同时相位始终保持一致,只有这样采集到的地震数字信号才有效^[8]。在该次地震信号采集过程中,将上述2个信号接在多路示波器上,对信号的波形进行全过程监控,发现畸变波形立即对震源进行调试并重新采集,确保采集的地震数字信号准确无误。

2.3.2 单炮质量控制

单炮记录的质量是整个采集工作质量的基础,采集中必须保证每个单炮记录的质量。在单炮质量控制过程中,采取了以下措施:

首先进行的是单震次的监视,当出现无信号(只有噪声)、缺道、震源发射能量不足等现象时,立即停止采集并查找原因,排除故障后重新进行采集。

当各震次采集完成后均未发现明显问题时,对该炮点各震次记录进行叠加并进行相关处理,然后打印单炮记录进行单炮记录分析,对于出现目的层反射信号不明显、噪声信号过大等现象均进行重新采集^[9]。

2.3.3 震源质量控制

震源质量控制包括震源信号及震源就位。震源信号的质量控制除采用示波器监视之外还对震源的发射能量(震幅)、震源的底板与地表的接触状态、扫描中的能量分布等进行控制;震源就位控制主要是由于地形的原因而无法到达预定的点位时,根据现场实际情况在不影响采集结果的前提下进行相应的移位,重新确定炮点位置,并实际丈量、记录有关偏移参数。激振前对每一炮点均要进行桩位桩号核对,以防出现错、漏炮^[10]。

2.3.4 布线排列质量控制

布线排列质量控制主要内容为采集站的排列、检波器固定及接入。由于此次地震工作采用的是组合法,采集站的排列是依据站的编号进行的,施工中为了确保采集站的排列准确无误,对采集站进行了

分组装箱,并对其编号进行了放大标注,对排列人员进行了分工负责的方法,最后通过仪器检测来观测采集站的排列是否完好。

检波器固定的质量直接影响着采集结果的质量,当地表土质松散检波器只固定在松散土层中时,有用信号的强度不但明显降低,凸显噪声,而且信号的高频部分会被强烈地吸收,使信号的分辨率大大下降。因此,在该次施工中对于地表土层松散的部位采用清除并压实的方法。

2.3.5 成果数据的质量控制

为了确保采集的地震数据能够满足勘探的要求,在初期取得了能够供进行计算处理的一部分数据后,及时对部分数据进行了数据计算处理并成图,检验分析数据的有效性和可利用性。通过计算分析,所采集的地震数据基本可以满足勘探的需要。

3 可控震源地震勘探的资料处理

可控震源地震勘探的资料处理与井炮法大体相同,但也存在着差异,主要表现在各阶段的侧重点不同,可控震源由于激震能量不是瞬时产生的,而是经过数秒的持续过程,接收的信号与标准信号进行相关处理后给出单炮记录,具有很好的抗干扰能力,故去噪过程可根据实际情况选择较简单的方法能满足要求即可;但面波干扰不可忽视,由于可控震源较井炮其频率范围窄,分辨率以及表层信息一般不如井炮好,因此提高分辨率和静校正时的参数测定是资料处理的重点。

3.1 提高分辨率

分辨率有两层意思,一是在纵向上能分辨岩层的最小厚度,二是在横向上确定地质体边界的精确程度^[11]。除在采样过程中进行严格的质量控制外,在资料处理过程中主要强调反滤波处理,以提高频带的宽度,突出高频信号,提高分辨率。这样无论在纵向上还是在横向上能最大限度的提高分辨率。

3.2 表层参数测定

由于可控震源表层信息一般不如井炮好,因此表层参数的确定难度较大。一般采用浅层折射法测定,采用多点取值和统计的方法来确定及其代表值可靠程度。当变化较大时,需划分不同的区域取值。

3.3 同井炮震源取得的资料对比

2005年10月,中煤物探公司在该区曾用井炮震源做过M₁和M₂2条地震剖面。为验证该次可控震源激发取得资料的质量。将2次时间剖面作一比较,发现可控震源取得的资料具有以下特点:对主要目的层的反射波比较清晰,完全能反映该区煤层的赋存状况;反射波的能量比较强,甚至强过井炮激发;对勘探区的主要构造形态也反映的比较直观,便于解释;对浅(表)层的层面的反射波不够理想,比井炮效果差;由于震源频率的限制(其终止频率为100 Hz),加之表层及浅层的松散层对高频成分的吸收作用,其总能量虽强,但其分辨率较井炮略低。

4 资料解释及其效果

该次地震勘探是在2007年中煤物探总公司所作2条南北测线(M₁,M₂)的基础上,另外布设南北7条测线,东西2条测线,构成一个2 km × 4 km的勘测网。因此,资料解释把M₁和M₂测线包含在内一并加以解释,同时也适当引用上次地震勘探的一些成果(图1)。

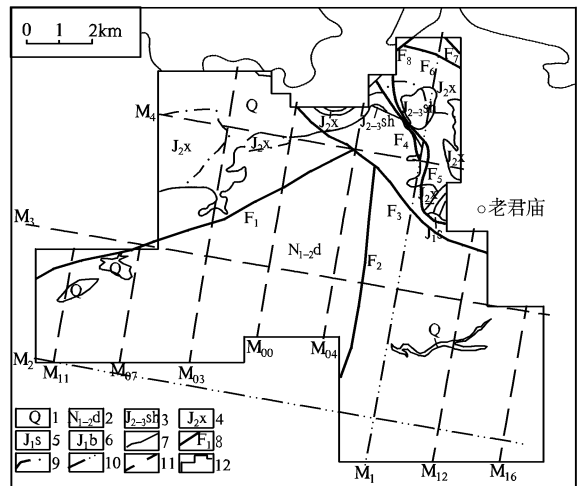


图1 新疆老君庙测网布置图

1—第四系;2—新近纪独山子组;3—中—晚侏罗世石树沟群;4—中侏罗世西山窑组;5—早侏罗世三工河组;6—早侏罗世八道湾组;7—地界线;8—断层及编号;9—火烧区边界;10—以前测线;11—新布测线;12—勘探区边界

4.1 波组特征及反射波的对比

4.1.1 地质层位及其波组特征

从各测线地震时间剖面图上看,反射层的内部反射结构多表现为平行与亚平行反射结构,反射层呈平直或缓波状,反映了以湖沼为主均匀沉降的沉

积环境^[12]。此外还有相当一部分区域表现为空白或无反射结构,是由缺乏反射界面造成的,表明地层或地质体是均质体。

从反射层面的连续性上看,区内不同的反射层面具有较大的差别,有的连续极好,有的中等,有的差,还有的无连续性,这就为波组划分提供了依据。

振幅与反射界面上、下岩性的物性差异、岩层厚度等有关^[13]。从地震时间剖面上看,不同的反射层面具有明显的差异,有的相邻地震道振幅值重叠在一起,连成一条线,无法分辨波形,构成强反射层面,即强振幅;有的相邻地震道部分重叠,波形可分辨,形成明显的反射层,即中振幅;还有的相邻地震道相互分离,波形弱而不稳,反射层隐约难辨,即弱振幅。振幅的不同也为波组划分提供了依据。

频率(波长)和地层厚度有关,从地震时间剖面上看,不同的反射层面具有不同的频率特征,在反射层面不明显的不同区域也有不同的频率特征。也为波组划分提供了辅助作用。

根据上述特点结合区内已知地质资料,地震工作所划分的波组及其特征分析,该区含煤地层有5~7层,结构较简单,多为单一煤层,极少夹层。其中A₇、A₅、A₄3层较厚。其波组特征为:

T₇波(红色):A₇煤层最厚(从老君东L₂₃号探槽中可见38.6m)且埋藏最浅。为地震工作的主要目的层。来自A₇煤层的反射波特征明显,振幅强,能量大,连续性好,可全区追踪,是解释A₇煤层构造及赋存状况的主要依据。

T₅波(蓝色):A₅煤层位于A₇煤层下部,该煤层厚度变化较大(0~30m),A₅煤层产生的反射波,其反射波能量存在较大差异,但可全区连续追踪。

T₄波(绿色):A₄煤层位于A₅煤层下部,由于受到上覆地层的屏蔽作用,来自该层的反射波局部能量较弱,但连续性尚可。

T_N波(桔黄色):来自新近系底界的反射波,是解释该地层厚度的依据。

新近系反射区:内部反射结构多表现为平行反射结构,反射层面连续性较差且不均匀,振幅中等偏高,频率偏低且变化较大。

火烧区:高能量反射波均出现不同程度的能量变弱、消失等现象,变为无反射区,无反射层面,振幅中等,频率偏低。

4.1.2 反射波对比

标准波:将能量较强,可全区连续追踪,且地质意义明确的T_N、T₇反射波作为对比解释的标准波,将T₅、T₄波作为对比解释的辅助波。

波的对比:T_N波主要采用强相位追踪,结合该地层与下伏地层的不整合接触关系进行对比。T₇波的对比则采用强相位追踪与波组(T₇波与T₅、T₄波)对比相结合的方法。

4.2 时深转换速度

在老君庙勘探区内已完成钻孔3个:分别是位于M₃测线与M₁测线交汇处的ZK₈₋₂、M₁₂测线最北端的ZK₁₂₋₁,以及位于M₁测线北端的ZK₈₋₃。这些钻孔的完成,不仅可以验证标志层的解释是否正确,而且也为直接获取时深转换速度提供了依据。

为了完成时深速度转换工作,从二维叠加时间剖面上钻孔所在位置地层对应的反射时间 t ,结合从钻探资料所获取地层的真实深度 h 。可以大致计算出地震波在煤系地层及新近系的平均速度($2h/t$)。由此,得出新近系的平均速度约为2000m/s,在煤系地层的平均速度大约为2600m/s。并可以推断出时深转换系数约为1.35。

4.3 地震资料解释

4.3.1 褶皱解释

由于该区第四纪地层较薄,且速度横向变化不大,故时间剖面上T₇波的起伏形态可直观地反映出煤系地层的褶皱形态。

4.3.2 断层的解释

正断层的解释:落差较大的正断层在时间剖面上表现为反射波同相轴明显错断,纵向上则表现为多组反射波的错断,上盘沿断面明显下降。在该区可见走向近NNE向的老君庙SW正断层。**逆断层的解释:**落差较大的逆断层在时间剖面上表现为反射波同相轴明显错断,纵向上则表现为多组反射波的错断,上盘沿断面明显上升。除了上述特征之外,逆断层还呈现两盘反射波的叠掩现象。在该区发育2条较大逆断层,一条NE向,另一条NW向,在老君庙西北交会。这2条断层被称之为老君庙南断层。

4.3.3 煤层解释

根据地震资料反映,当煤层厚度较大时(≥ 40 m)理论上可以依据煤层顶、底板反射波时差解释煤层厚度^[14]。当煤层厚度较小时根据煤层反射波振

幅等动力学参数并结合钻孔资料来解释煤层厚度。在叠加时间剖面上, A_7 煤层主要表现为:地震波能量强,顶、底板反射信号清晰,在全区可连续追踪; A_6 煤层较薄,在叠加时间剖面上不予标注。 A_5 、 A_4 二煤层因其厚度变化较大,地震波的主要表现为信号总体上虽可连续追踪,但反射波经常出现重叠及分叉现象,给该层位的标定增加了难度。

已有钻孔资料: ZK_{12-1} 位于 M_{12} 测线的北端,钻孔深度 460 m,发现可采煤层 4 层。第 1 层 231 ~ 260 m,第 2 层 301 ~ 303 m,第 3 层 318 ~ 325 m,第四层 346 ~ 355 m。

ZK_{8-2} 位于 M_3 与 M_1 测线的交汇处,钻孔深度 600 m,发现可采煤层 4 层。第 1 层 370 ~ 397 m,第 2 层 426 ~ 429 m,第 3 层 460 ~ 463 m,第 4 层 492 ~ 495 m。

ZK_{8-4} :位于 M_1 测线距最北端 1 100 m 处,钻孔深度 280 m,发现可采煤层 1 层。厚度 189.6 ~ 200.6m;其余皆为不成层的散煤。

根据以上钻孔(ZK_{8-4} 位于火烧区内,暂除外)资料中各煤层的厚度及其相应关系,结合已知地质资料分析。该区主要赋存煤层有 4 层,分别对应 A_7 、 A_6 、 A_5 、 A_4 煤层。 A_7 煤层的厚度比较稳定,大都在 30 m 左右;原在 L_{23} 探槽中 A_6 煤层全部自燃成灰并不是一普遍现象,在其他地区 A_6 煤层依然存在,但较薄,只有约 2 ~ 3 m 左右; A_5 、 A_4 煤层从 2 m 到十多米,厚度变化较大。据此可以验证各层地震波标注的正确性并加以修正。

对照以上钻孔资料,从时间剖面上可看出,除极个别地段外,地震波对各层位的相对关系都有比较清晰的反映,基本上可以反映出老君庙地区煤层的赋存状况。

4.3.4 火烧区的解释

测区北部煤层露头附近, T_7 、 T_5 、 T_4 波均出现不同程度的能量变弱、反射波消失等现象。根据以往的解释经验,上述现象主要是冲刷、剥蚀、沉缺、岩浆岩吞蚀等致使煤层缺失而造成的。而依据区域地质资料分析,上述几种因素基本可以排除。另据区内煤层露头附近大部分已自燃的现象基本可以判定上述煤层反射波变弱、消失现象是煤层自燃后造成的。在时间剖面上,从反射波突然消失到沿构造形态一直延伸到地表的这段区域,称为火烧区,并以此作为火烧区的边界。在此之外没有反射信号的区域,称

之为空白区(无煤区)。在 M_4 测线的西部, M_3 测线的北端就存在这样一片空白区。

在火烧区内,并不是所有地段都没有反射信号,在老君庙北部, M_1 测线的北端就出现过这种情况。在距 M_1 测线北端点以南 1 100 m 处布设 ZK_{8-4} 钻孔,经过钻探,在 189.6 m 深处见一厚度达 11 m 的煤层,再往下除零星散煤外,不见可采煤层。因此推断该区域可能为上覆煤层(A_7 、 A_6 、 A_5)自燃后剩余的 A_4 煤层。

5 地质成果

由于该次地震勘探施工震源参数选择合理,数据处理方法得当,因此取得了较高质量的原始数据和处理成果,通过对资料的认真分析和解释,取得了比较理想的地质成果。

5.1 新近系底界面的控制

从所测 9 条地震地质剖面上,结合中煤物探所作 M_1 及 M_2 剖面看,区内新近系底界自西向东呈浅—深—浅—深的变化规律;自南向北至老君庙南断层,呈深—浅的变化趋势,受老君庙南断层的影响,该断层以北,新近纪地层全部或大部剥蚀。 M_2 线中部最厚处约 200 m, M_1 线中部最薄处仅约 50 m。

5.2 煤层形态的控制

该区总体呈现为一单斜形态。在勘测区内,由南向北煤层由深到浅,地层倾角较缓,一般 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。到测区中北部遇老君庙南逆断层切割北部产状变陡,迅速抬升出露地表;由西向东整个煤层由浅变深,最深处煤层埋深可达 1 200 m。到测区中部被老君庙 SW 向正断层切割,断层东部骤然抬升变浅,最浅埋深不到 400 m。老君庙 SW 向正断层以东,煤层总趋势由西向东依然是由浅变深,但产状趋于平缓。

5.3 煤层赋存状况控制

据地震资料反映,除测区西北部煤层露头附近的火烧区和空白区以及 M_1 测线北端火烧区外,全区均有煤层赋存,着重解释了厚度较大、反射波能量强、特征明显的 A_7 、 A_5 、 A_4 煤层。煤系地层东部和西部埋藏较浅,中部埋藏较深。中部发育次一级的褶皱。经统计,全区 A_7 煤层埋藏深度为 0 ~ 1 250 m,整个储煤地层面积约 100 km^2 。其中国家规定可

采深度 800 m 以浅的面积约为 60 km²。

6 结语

利用新型的可控震源取代了以往的炸药震源, 在新疆戈壁沙漠炸药震源难以施工的环境中, 成功地进行了二维地震勘探, 地震勘探费用较炸药震源节省了 30% 左右, 取得了同类地区比用炸药震源更为理想的地震勘探效果。为勘探钻孔的布设提供了可靠的依据, 减少了盲目性, 经过钻孔验证, 煤层及各种地质要素吻合较好。

利用可控震源地震在沙漠地区进行煤炭资源的普查与勘探, 可解决沙漠成孔难, 找不到理想的放炮激发层位问题, 同时可以节省工作成本, 并取得更为满意的勘探成果。更为重要的是, 利用可控震源地震安全环保, 不仅避免了在边疆地区从申请、运输到保管炸药的繁杂环节, 而且保护了沙漠戈壁地区脆弱的生态环境。因此, 在沙漠地区采用该方法进行煤炭资源勘查具有较广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 东营: 石油大学出版社, 2005.

- [2] 栗洁. 山东巨野煤田正邦井田薄煤层区地震勘探效果[J]. 山东国土资源, 2007, 23(6-7): 71-74.
- [3] 冯义德, 李建设. 可控震源在古汉山厚层砾石区的地震勘探效果[J]. 中国煤田地质, 1997, 9(3): 62-64.
- [4] 郑金宝, 赵展, 李运肖. 可控震源在古汉山井田地震勘探中的应用[J]. 西部探矿工程, 2009, 2: 93-94.
- [5] 刘金中, 马铁荣. 可控震源的发展状况[J]. 石油科技论坛, 2008, 5: 38-42.
- [6] 马丽, 孙黄利, 贺正东, 等. 可控震源在山区地震勘探中的应用[J]. 山西煤炭, 2007, 5: 50-52.
- [7] 牟永光. 地质勘探资料数字处理方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1982.
- [8] 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [9] 丁华. 可控震源技术在地震地质条件复杂区的应用[J]. 河北煤炭, 2007, 3: 21-22.
- [10] 何樵登. 地震勘探原理和方法[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [11] 周绪文. 反射波地震勘探方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [12] 冯德益. 地震波理论与应用[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [13] 何樵登. 地震波理论[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [14] 李正文, 赵志超. 地球勘探资料解释[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

Application of Vibrator in Seismic Exploration of Zhundong Coal Mine in Xinjiang Uygur Autonomous Region

ZHAO Huanjin, WANG Binghua, FAN Yongjie

(Shandong Geological Surveying and Mapping Institute, Shandong Jinan 250002, China)

Abstract: Setting seismic exploration of coal resource of Zhundong coal mine in kulankazgan area of Xinjiang Uygur Autonomous Region as an example, practices of coal mine exploration by using vibrator in recent two years are introduced in this paper. It is regarded that the use of vibrator in coal resources exploration in desert areas can resolve the the difficulties of hard pore-forming and hard ideal excitation blasting horizon finding. It can obtain more satisfied exploration results.

Key words: Seismic exploration; vibrator; desert regions; Zhundong coal mine in Xinjiang Uygur Autonomous Region