浅层地震勘探方法在金矿深部预测中的应用

梁光河 ,蔡新平 ,张宝林 ,徐兴旺
(中国科学院地质与地球物理研究所 ,北京 100029)

[摘 要]地震勘探技术在石油、煤田和工程地质中得到了广泛应用 ,但在金矿和其它金属矿床中则有一系列的问题限制了它的应用。在分析了石油地震与金属矿地震不同点的基础上 ,简介了地震勘探方法的基本原理。然后给出了在金矿和其它金属矿区应用地震勘探方法的过程中各个环节所应该注意的问题 ,包括仪器的装备、野外施工方法和资料处理的流程及地质解释等 ,并通过在黑龙江乌拉嘎金矿的实际应用 ,得到了理想的效果。为隐伏矿床的精确定位预测提供了十分重要的地球物理资料。

[关键词]地震勘探 隐伏金矿 预测
[中图分类号]P618.51 ;P631.4 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2001)06 - 0029 - 05

技术·方法

地震勘探方法最初用于油气勘查 ,目前仍是该领域的主导方法。从 20 世纪 20 年代至今 ,随着电子技术的日新月异的发展 ,地震勘探仪器也经历了 3 个阶段 ,即从最初的光电地震仪 ,发展到模拟地震仪 ,进而在 80 年代初数字地震仪得到广泛应用。与此同时 ,电子计算机技术的发展则推动了地震资料处理技术的不断完善 ,至今地震勘探已逐渐形成了一套包括野外采集、室内处理、地质解释的较为完整的系统。同时随着地震仪器的不断小型化和仪器精度的不断提高 ,野外操作十分方便灵活 ,使地震勘探这一方法在煤田勘查、工程地质方面也得到广泛应用。但在金属矿勘查方面地震勘探这一方法则没有发挥应有的作用 ,国外在 60～70 年代即在金属矿区进行了地震勘探试验 ,并在一些地区零星地进行了勘探 ,但没有将这一方法推广开。在我国 ,虽然一些研究机构和生产单位也在金属矿区进行了试验 ,但效果欠佳。主要原因是 :整个勘探方法和处理流程甚至解释方法都套用了石油地震勘探方法 ,石油和金属矿无论从其成矿规律和所处的地质环境都有极大的差异 ,这样作显然是有问题的。事实上 ,地震勘探是一项系统工程 ,从野外地震资料的采集方法、仪器装备、资料处理和结合实际地质背景的地质解释 ,每一个环节都需要认真对待 ,都需要解决其中存在的与石油物探不同的新课题。

陆基孟和钱绍瑚对地震勘探在石油物探中的应用进行了详细的探讨[3,4] ,覃政教和钟小群等对浅层地震勘探在工程地质特别是岩溶勘探中的应用做了一些有益的试验工作[1] ,国际地球物理著名刊物 GEOPHYSICS 也以专刊形式对浅层地震勘探在工程地质中的应用进行了报道[6～11]。这些研究内容虽然没有直接涉足金属矿勘探 ,但都从不同的方面为我们提供了可以借鉴的经验。

我们知道 ,金属矿通常所处的地质背景相对油气和煤田较为复杂 ,主要表现在 :一是地下地质结构复杂 ,在地质历史时期内多次发生大的构造运动和热事件 ,使得地下地质结构变得十分复杂 ,而且地下的岩性也变化较大 ,火成岩、变质岩、沉积岩都有可能存在。二是地形复杂 ,金属矿所处的地区大多为高山峻岭 ,这就使得地震勘探野外施工十分困难 ,有时不得不沿着山沟或小道进行施工。这种施工必然是沿弯线进行 ,从而为后一步的资料处理提出了新的研究课题。

另外 ,在金属矿区进行地震勘探 ,要求地震采集仪器必须小型化。因为在地表条件复杂的山区施工 ,大的车辆难以进入 ,大多数情况下只能依靠人工抬扛。石油勘探中的大型仪器通常难以满足要求 ,而工程地质中所用的浅层地震仪一般非常轻巧 ,而且动态范围也不小 ,在野外施工参数选择适宜的条件下 ,勘探深度同样可达数千米 ,完全可以满足金属矿勘探的要求。

最后 ,在资料处理和地质解释方面 ,要有一套新的方法和观点。在资料处理方面 ,由于野外施工条件的限制所得到的资料一般覆盖次数较低、噪音较强 ,更重要的是勘探线很难是直线 ,因此 ,必须发展一套专门针对弯线的处理系统。而且由于地质结构复杂 ,因此适于陡倾角的处理流程也十分重要。在资料解释方面 ,必须结合工区的地质背景和已知矿区的特点

[收稿日期]2001 - 01 - 10 ;[责任编辑]余大良。
[基金项目]中科院知识创新工程(KZCX1 - Y - 03)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进行。只有这样,才能得到较为理想的结果。

1 反射波法地震勘探的基本原理

地震波在地下传播过程中遇到不同介质的分界面时,在界面上将产生波的反射和透射。通过震源(炸药震源、锤击等)向地下发送地震波,径向传播的地震波在遇到波阻抗(即地震波速度与岩石密度之积)界面后被反射,反射波传播到地表时被检波器所接收。利用反射波来解决地质问题的方法称为反射波法。

在反射波法地震勘探中,最常用的观测系统是多次覆盖观测系统。多次覆盖观测系统是一种野外施工方法,其核心是共反射点(CRP)或共深度点(CDP)多次叠加。它是把不同点激发、不同接受点接收到的来自同一反射点的地震记录进行叠加,这样可以压制多次波和各种随机干扰波,从而大大提高了地震记录的信噪比和地震剖面的质量,并且可以提取速度等重要参数。

反射地震资料处理是为了消除各种干扰波,得到可靠的反射地震剖面。处理内容主要包括:(1)道编辑(即去除记录中干扰严重或无意义的记录或工作不正常的地震道);(2)静校正(对地形起伏和表层速度变化引起的时差的校正);(3)滤波和去噪(压制干扰、突出有效波);(4)速度分析;(5)抽道集(CDP选排)、动校正、水平叠加;(6)偏移;(7)时深转换等等。地震资料处理是地震勘探中十分重要的一个环节,在金矿和金属矿区进行地震勘探,还要考虑针对弯线的处理方法。总之,在金属矿区的地震资料处理要强调 3 个环节:(1)针对复杂地形的精校正;(2)针对干扰记录的去噪方法;(3)针对复杂构造的适于陡倾角的偏移方法。

经过资料处理后得到的主要成果是作了水平叠加并经偏移以后的时间剖面或深度剖面,它是反射波法进行地质解释的基础。这种剖面反映的是地下不同岩性的分界面,在反射界面两侧,波阻抗差异越大,反射波越强,反之则越弱。在一般情况下,通过时间剖面上波的对比和识别,可以确定反射层的构造形态、接触关系以及断层的分布情况等。但是,这种地质解释的准确程度往往受多种因素的影响,如数据采集质量、数据处理中方法与参数的选择等。

2 在黑龙江乌拉嘎金矿的应用

2.1 矿区地震地质条件

工区位于黑龙江北部,地震勘探施工区为植被覆盖的次生林和部分原岩出露的丘陵地区,地表施工条件十分困难,地下岩性主要为变质岩及侵入岩,地震反射条件较差,但只要地表条件适宜,经过精心施工,是能够得到理想的反射记录的。原设计的两条可选地震测线中有一条穿越东露天采坑,由于陡坡及水坑条件所限,施工极为困难,最后选择在条件较好的西露天剥离坑实施地震勘探。在野外施工中,由于受地表地形条件和植被覆盖的限制,使得地震施工非常困难,乌拉嘎金矿为了配合这次勘探,专门利用推土机进行地表的整理,开出了一条通道,并且从钻机到人员都给予了有力的配合,最终得到了一条穿越西露天剥离坑测线的有效反射记录。

2.2 野外施工及观测系统

野外施工中使用了由中科院武汉岩土力学所研制的 FD - E24 型浅层浮点地震仪。测线方向基本上沿南北方向进行,略有弯曲,测线全长约 2 km,其中有效反射剖面长度 1520 m。施工中,经野外噪音监测试验,所选取的观测系统为单边放炮,偏移距 380 m,道间距 5 m。共放了 73 炮,每炮 24 道,炮间距 20 m,满覆盖次数为 3 次。从原始资料来看,前 50 炮资料质量较好,后 23 炮由于受野外施工条件的影响,在露天采坑和矿渣上施工,资料质量较差,废炮、废道较多,其中有 5 炮属废炮。

2.3 数据处理流程和处理结果

在地震勘探中,叠加次数只有 3 次的地震记录是极少见的,更何况还有许多废炮和废道,叠加次数少的另一个缺点是做速度分析十分困难,这直接影响了资料的处理。但受到施工条件的限制,野外只采集了这些数据。

针对这种资料,我们采用的处理流程如图 1。

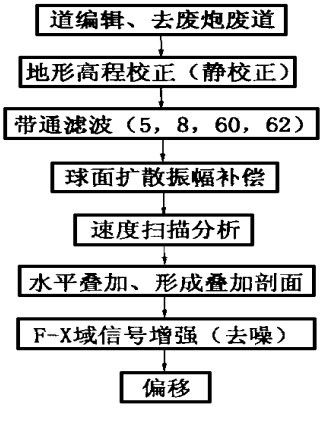


图 1 数据处理流程图

其中关键点之一是进行了仔细的道编辑,有效地去除了废炮废道并保留了有效信号。例如图 2(a)是质量好的原始炮集记录;图 2(b)为质量差的

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

炮集记录,这种记录在金属矿勘探中并非罕见,按传统的石油勘探中的作法,就会将其定为废炮而完全去掉。这样会损失掉极为珍贵的信息。我们在处理中灵活地改变了处理流程,先对原始资料进行了频谱分析并实施带通滤波(图 2(c))。从该图可以看到在几乎看不到有效信号的炮集记录上,通过带通滤波,一方面更容易进行废道去除,另一方面也为后一步处理提供了更多有效原始信号。

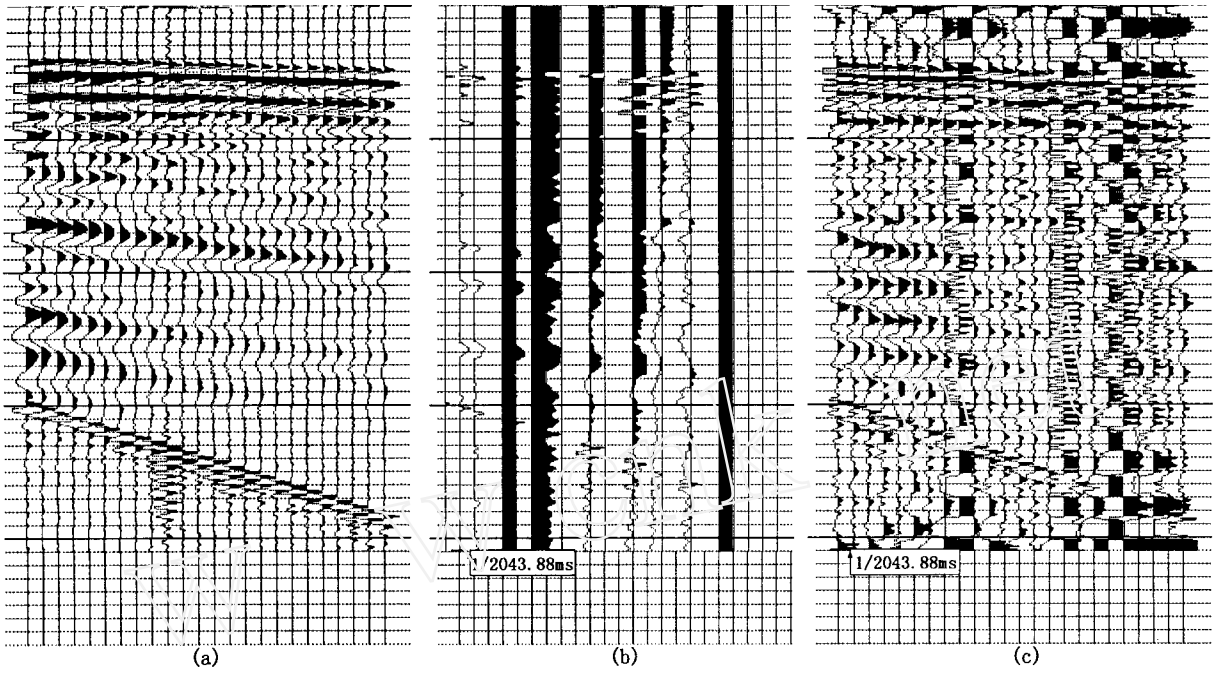


图 2　不同质量炮集记录及经带通滤波后炮集记录

(a) —质量好的原始炮集记录;(b) —质量差的炮集记录(几乎看不到有效信号);(c) —经带通滤波后该炮集记录(有效信号清晰可见)

经过精细的处理,包括专门设计的针对弯线的面元叠加方法的处理等步骤,最终得到了如图 3 和图 4 的处理结果。图 3 为水平叠加时间剖面,水平刻度为 CDP 号,每个 CDP 点间距为 2.5 m,垂直刻度为双程反射时间,单位为毫秒。该剖面上下反射都得到了清楚反映,而且信噪比较高。图 4 为该测线经偏移后的深度剖面,剖面的有效反射范围为:第一炮到该炮第一个检波器的中点为剖面的起始点,最后一炮到该炮的最后一个检波器的中点为剖面的终点。水平刻度为 CDP 号,CDP 点距为 2.5 m,地下有效反射长度为 608 个 CDP 点,反射剖面长度为 1520 m。垂直刻度为 m,该剖面反映了地下 3000 m 以上的反射情况。

2.4　地质解释

从图 3 来看,在剖面的中部(CDP 点 320～420 之间,反射时间 700 ms 以下)存在一个明显的构造破碎带,反映在地震剖面上是一组高频的反射波组,它在剖面上与周围的反射存在明显的差别。该破碎带将整个剖面分为左右两个区域,即南区和北区。

图 4 从深度域反映了地下的构造情况,从整体上来看,测区范围内主要存在变质岩和火成岩两类岩性,由于变质岩主要为黑龙江群构造片岩,它的反射特征是反射层较为清晰,而火成岩反射成层性不好,难以形成清晰的反射。因此从地震反射特征上还是能够区别二者的。该剖面从构造和反射特征上可以分为浅表部、上部、下部 3 部分:浅表部约为海拔 0 m 以上,由于施工中偏移距较大而没有反射,不能用于解释。上部主要在海拔 - 300 m 至海拔 0 m,它为较完整的层状反射,总体为褶皱构造,发育了多条断层,且以逆冲断层为主。从反射层结构来看,应为构造片岩。下部在海拔 - 200 m 至 - 300 m 以下,剖面可分为左右两个部分:左边(即南部)反射清楚,从其反射特征和该区的岩性特征来看,主体为黑龙江群构造片岩,岩体中有复杂的褶皱、断裂和构造破碎带,深部伴有侵入构造。

剖面的右边整体原始资料质量相对较差,主要原因是受地表条件的限制,检波器难以接收到很好的反射,但我们利用新研制的处理软件经过系统的道编辑、滤波、动静校正、信号增强等处理,还是可以较为清楚地看出深部的结构。其特点是:与剖面左边(南部)相比,相对振幅较弱(即反射强度弱)的地质体占据了剖面的大部分区域,推测它主要为侵入岩体,中间的一些在反射特征上与剖面左边相似的较强、较连续反射可解释为侵入岩体所切割或包裹

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

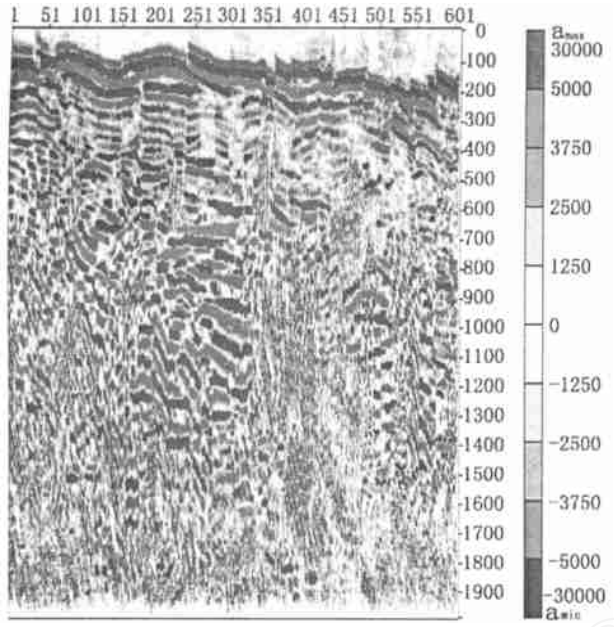


图 3　原始水平叠加剖面(2000 ms 以上)

的构造片岩。在海拔 - 300 m 至海拔 - 800 m 这个范围内,为缓倾斜岩体,推测为多层岩体侵入,内夹有残余的片岩岩层;下部为陡倾斜岩体侵入,深部似有更大的侵入体。在海拔 - 600 m 至 - 1400 m 处为一明显向上拱起的半球状反射,推测为一受侵入岩体挤压变形的变质岩体的反射,在该拱起反射的左、右边各发育一条产状很陡的破碎带,该破碎带延伸较深,大约从海拔 - 500 m 延伸到海拔 - 2000 m 以下,推测为构造薄弱带,是岩浆活动的侵入通道或热液活动的强蚀变构造破碎带。图 5 为深度剖面的初步解释结果。

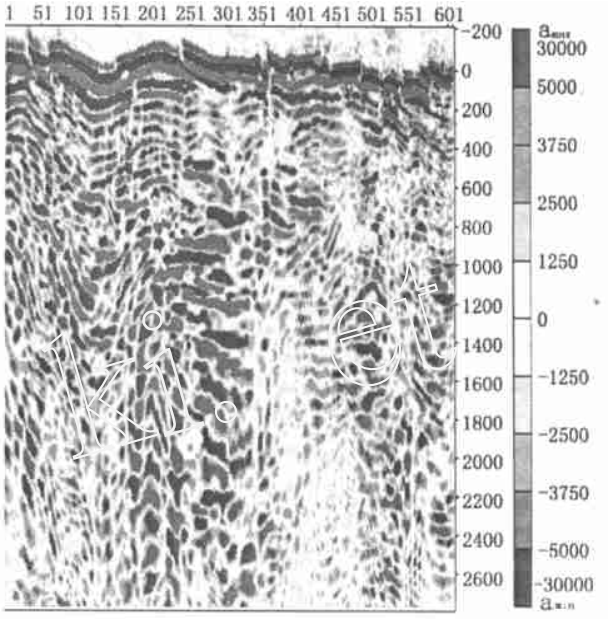


图 4　地震反射深度剖面

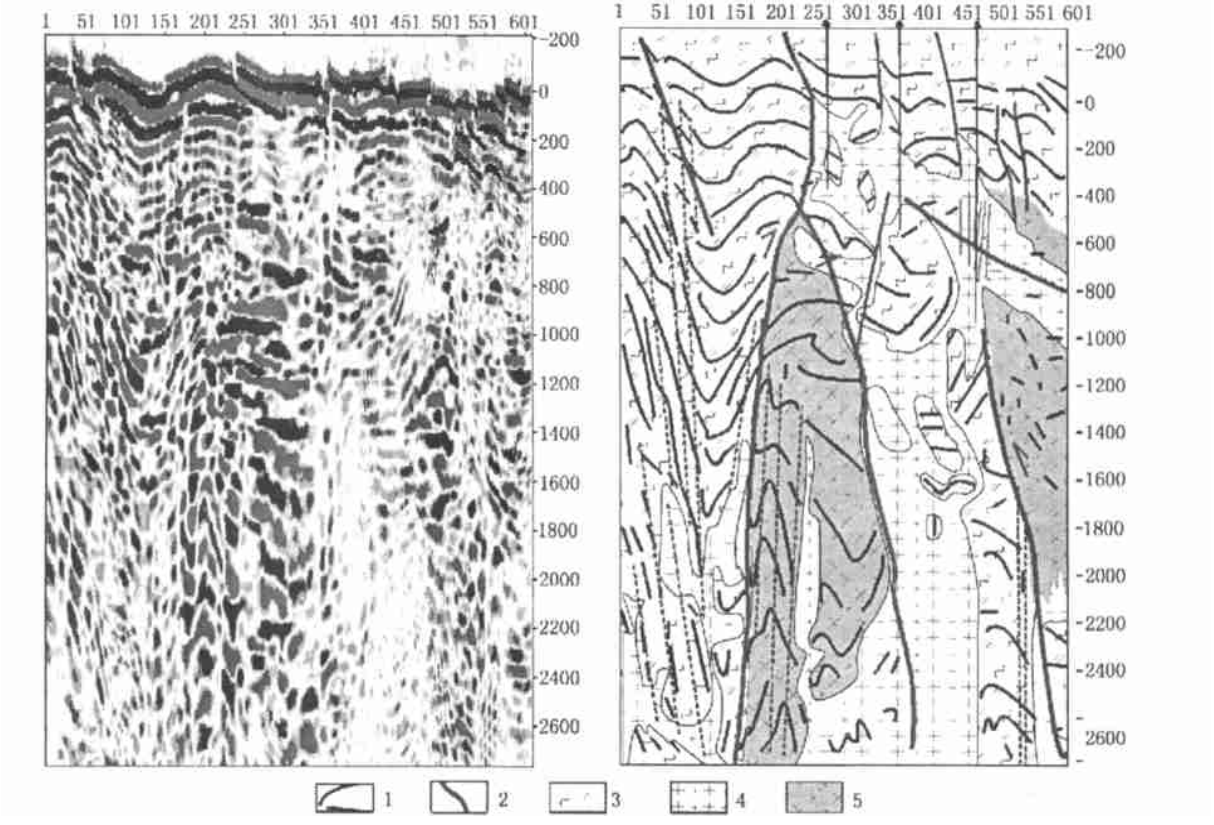


图 5　乌拉嘎地震勘探深度剖面及整体地质结构剖面解释图

1 —地震反射界面;2 —断裂构造;3 —元古宙片麻岩;4 —晚期花岗斑岩;5 —早期花岗斑岩

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3　结论与建议

从总体来看,本次地震勘探是比较成功的,它反映了地下 3000 m 深度以上的构造情况,断层和破碎带清楚,能够较可靠地区分侵入体和构造片岩。通常情况下,如此低的叠加次数很难保证得到较好的地震记录,但在本次资料的处理中,我们突出了去废道和废炮、信号增强和高精度速度分析,使最终的结果能用于地质解释,为该区深部找矿提供了极为重要的资料。通过这次工作发现,有以下几个方面值得我们在以后的工作中加以注意:

1) 在金矿区进行地震勘探时,应在可能的条件下,首先在已知矿的上部布置一条地震测线,目的是查明已知矿体在地震剖面上的反映特征,同时了解地下地质结构与成矿规律的关系。这对利用地震资料进行地质解释和金矿的深部预测极为重要。但往往已知矿床已被开采或正在开采,地表和地下结构已遭到不同程度的破坏。所以选取地震测线的位置十分重要,既要考虑到地下的地质目标,又要兼顾地表的施工条件。

2) 在金矿区和其它金属矿区,利用地震勘探方法,在大部分条件下是可以得到良好的地下反射结构信息的。但在施工过程中,要在野外采集、坐标测量、资料处理和地质解释几个方面都做到一丝不苟,以十分敬业的精神对待这项工作,只有这样才有可能得到较好的效果。

3) 对于金矿区的地震资料处理工作和野外施工方法,还有很多工作要做。我们也在不断的完善这项工作,使之能够在我国的金矿和金属矿勘探中发挥应有的作用,为我国的资源勘探做出新的贡献。

[参考文献]

[1] 覃政教,钟小群,陈滋康,等. 浅层地震反射法探测伏土、溶洞的初步效果[J]. 中国岩溶,1992,11(1):56～62.

[2] 傅旦丹,何樵登. 地形大起伏地区精校正[J]. 石油物探,1997,36(3).

[3] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油大学出版社,1990.

[4] 钱绍瑚. 实用高分辨率地震勘探数据采集技术[M]. 北京:中国地质大学出版社,1998.

[5] Doll W E,Miler R D,Xia J. A noninvasive shallow seismic source comparison on the Oak Ridge Reservation, Tennessee[J]. Geophysics, 1998,63(4):1318.

[6] Steeples D W,Miller R D. Avoiding pitfills in shallow seismic reflection surveys[J]. Geophysics,1998,63(4):1213.

[7] Buhneman J, Holligetr K. Comparison of high - frequency seismic sources at the Grimsel test site, Central Alps, Switzerland[J]. Geophysics,1998,63(4):1363.

[8] Jefferson R D,Steeples D W,Black R A,Carr T. Effects of soil - moisture content on shallow seismic data[J]. Geophysics,1998,63(4):1357.

[9] Wielderhold H,Buness H A,Bram K. Glacial structures in northern Germany revealed by a high - resolution reflection seismic survey[J]. Geophysics,1998,63(4):1265.

[10] Miller K C,Harder S H,Adams P C,O'Donnell T Jr. Integrating high - resolution reflection data into near - surface seismic reflection data processing and interpretation[J]. Geophysics 1998,63(4):1339.

[11] Buker F,Green A G,Horstmeyer H. Shallow seismic reflection study of a glaciated vallay[J]. Geophysics,1998,63(4):1395.

THE APPLICATION OF SEISMIC EXPLORATION METHOD IN DEEP PREDICTION OF GOLD DEPOSITS

LIANG Guang - he, CAI Xin - ping, ZHANG Bao - lin, XU Xing - wang

Abstract: Seismic prospecting technique has been widely used in exploration of petroleum, coal and geological engineering, but it is a rare thing in exploration of gold and other kind of metal deposit because of many problems encountered in application. Based on a brief introduction of seismic prospecting method and the difference between seismic prospecting for petroleum and that for gold, the keypoints in every stage which should be pay attention to, was presented in applying seismic exploration in gold deposit and other metal mining area, which include equipment, field work methods and technological process of data processing and geologic explanation and so on. Through actual application at Wulaga gold deposit in Heilongjiang province, a perfect result was gotten. The final profiles provide us very important geological data for the accurate orientation of concealed deposits.

Key words: seismic prospecting, concealed gold deposits, prediction



[第一作者简介]

梁光河(1965 年 -),男,1984 年毕业于西南石油学院地质系地球物理勘探专业,1987 年在长春地质学院应用地球物理系获硕士学位,1997 年于石油大学地球科学系获博士学位,1997 年至 1999 年在中国科学院地质与地球物理研究所博士后流动站工作,主攻地震勘探方法在金矿勘探中的应用研究,现在中科院地质与地球物理研究所从事复杂地震地质条件下地震勘探方法与隐伏矿床定位预测的研究。

通讯地址:北京市德外祁家豁子　中国科学院地质与地球物理研究所三室　邮政编码:100029

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net