

从金属矿地震方法的试验效果探讨其应用前景

徐明才 高景华 荣立新 刘建勋

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 由于金属矿区地质构造的复杂性, 金属矿勘查中的地震方法技术还处于试验应用研究阶段。几年来的深入试验研究不但使地震方法技术取得了较大进展, 而且在利用地震方法探测控矿构造和寻找与隐伏金属矿有关的局部不均匀体等方面也取得了明显的地质效果。笔者就近几年在金属矿地震试验研究中取得的一些地震地质试验结果进行了总结, 认为反射波地震方法在探测沉积层控矿床和控矿构造方面效果较好, 利用散射波地震方法可探测与矿体有关的地下局部不均匀体, 进而, 确定隐伏矿体的位置。在此基础上, 探讨了地震方法寻找深部隐伏金属矿的应用前景。

关键词: 地震方法; 金属矿勘查; 控矿构造; 局部不均匀体

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)01-0108-05

在国内外的地震勘探中, 人工源地震反射方法主要用于层控矿产资源勘查, 世界各地的各大油田和煤田大多是由地震勘探发现的。能源地震勘探的目的层是油气和煤系地层, 能源地震勘探的区域大多为沉积盆地, 所采用的地震方法技术满足层状介质构造的理论。而金属矿勘查所涉及到的区域要比能源地震勘探复杂的多。

人工源地震方法技术虽发展很快, 但在不同勘探领域的发展很不平衡。能源地震在不同勘探阶段发挥了不可替代的重要作用, 非能源地震, 特别是金属矿地震在地质勘探中的作用还不明显, 应用研究程度较低。

在前苏联, 开展了大量的金属矿地震方法技术研究和勘查工作, 取得了明显的地质找矿效果^[1]; 近几年, 在加拿大和澳大利亚等国家也十分重视金属矿地震的方法技术研究, 在钾盐、铀矿及金属矿勘探方面也得到了不同程度的应用研究, 较好地解决了沉积矿产勘查中的地质问题及非沉积矿产勘查中的地质构造、岩性填图、侵入体和蚀变带的圈定等地质问题, 取得了较好的地质效果。在金属矿勘查中, 地震方法的应用研究已越来越多。在 2000 年出版的第 65 卷第 6 期, *Geophysics* 杂志上, 报道了多篇利用地震方法寻找隐伏金属矿的实例。中国地质科学院矿产资源研究所在承担国土资源部科技司项目“大型矿集区深部精细结构与巨量金属富集”研究中, 利用了地震方法技术。中国科学院地质与地球物理

研究所采用地震 CT 方法, 对金川龙首铜镍矿区的超基性侵入岩体进行了预测, 并得到了证实^[2]。近几年, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所在利用散射波地震方法寻找块状硫化物矿床、利用反射波地震方法探测控矿构造等研究中, 取得了突破性的进展^[3,4]。

由于综合地震方法技术的探测深度范围较大, 且分辨率较高, 并可获得从浅至深的地质构造信息, 能够对地下精细结构进行探测, 达到多目标深度勘探的目的, 特别适合于在厚覆盖地区或者荒漠戈壁区开展工作, 以解决覆盖区下的控矿构造、与矿体有关的局部不均匀体和隐伏岩体分布等地质问题。

1 金属矿勘查中地震方法的应用研究

在金属矿勘查中, 地震方法的应用研究可分为以下几个方面:

1.1 探测沉积层控矿床

对于金属矿地震的应用研究而言, 探测层控沉积金属矿床相对简单, 其方法技术类似于油气地震勘探, 所不同的是由于勘探的地质目标物较浅, 地震观测系统的几何尺度需按比例缩小而已。例如: 使用地震方法探测砂金矿床^①、砂锡矿床^[5]等沉积金属矿床和采用地震反射方法在美国怀俄明州探测与古河道有关的沉积铀矿床^[6]。

收稿日期: 2002-07-08; 改回日期: 2003-07-26

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(F2.1.7)资助。

作者简介: 徐明才, 男, 1955 年生, 硕士, 教授级高工, 主要从事复杂条件下地震方法技术研究工作; E-mail: iggemcxu@heinfo.net。

① Mike Graul, Mark Bronston, Cheri Williams. High resolution seismic exploration for gold, Texseis Inc. 1989.

1.2 探测控矿构造

探测控矿构造是金属矿地震的重要应用领域,目前发现的大多数金属矿与地质构造有关,沉积层控金属矿床较少,非沉积型金属矿床较多。

1.2.1 探测控矿断层

一些金属矿床与断层有关,使用地震方法能有效进行探测。如,在加拿大纽芬兰岛巴肯斯矿区采用反射地震测量,成功地对断层进行了成像,而硫化物-重晶石矿产则大量出现在逆掩断层中^[7]。

1.2.2 探测有利于矿体存在的接触带

使用反射地震方法在马达加米地区填绘出火山地层与构造。由于大多数块状硫化物矿床位于沃森湖群和沃巴西群地层之间的接触带内,通过调查凝灰岩接触带,可达到寻找隐伏块状硫化物矿床的目的^[8]。

1.2.3 探测隐伏岩体、侵入岩体和喷发岩筒

地震方法探测侵入岩体和喷发岩筒是根据围岩反射地震波组的中断与消失、侵入岩体的波组特征等来判断侵入岩体的。

有些金属矿床与隐伏岩体的形态有关,如内蒙古布敦化金鸡岭铜矿床,在岩体隆起或凹陷部位,铜矿床富集。由于隐伏岩体与上覆地层之间往往具有较明显的波阻抗差,笔者使用地震反射方法,有效地查明了隐伏岩体的构造形态(图 1),根据测区矿体分布与隐伏岩体分布之间的关系,圈定了有利的成矿部位。

寻找隐伏岩体的另外一个例子是在山东邹平地区,采用地震方法勘查破火山口。从地质资料分析,铜矿就赋存在破火山口内。由于破火山口主要赋矿岩石石英正长闪长岩与火山围岩之间具有一定速度、密度差,反映在地震记录上,两者具有不同的频率成分和波组振幅特征,因此,使用反射地震方法,能有效地探测破火山口的位置(图 2)。

1.3 探测与金属矿有关的不均匀体

当地下地质体几何尺度较小且形态极不规则时,这些不均匀地质体常产生具有一定强度的散射波。从复杂的地震波场中提取和利用这些与局部不均匀体有关的散射波可对隐伏金属矿进行空间定位预测。

由于赋存于破火山口内铜矿的存在,使得破火山口内的岩性出现局部不均匀。理论上,该局部不均匀体将产生一定强度的地震散射波场被记录下来,地震记录上散射波的强度与地下局部不均匀体的不均匀性有关,不均匀性越强,产生的散射波振幅就越强,反之,产生的散射波振幅就越弱。在油气地震勘探中,所探测的目的层为沉积地层,局部不均匀体产生的散射波常被作为干扰被压制掉;而在金属矿勘查中,含矿地层大多为非沉积地层,金属矿体极不规则,且几何尺度相对较小,该金属矿常产生具有一定强度的散射波,研究和利用这些散射波场,是地震方法勘查金属矿的一个重要方面。

为研究地下局部不均匀体产生的散射波,并用其对地下

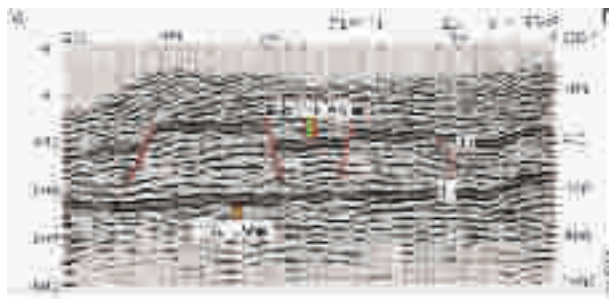


图 1 内蒙古布敦化铜矿床地震时间剖面

Fig. 1 Seismic time section for detecting the Budunhua Cu deposits, Inner Mongolia

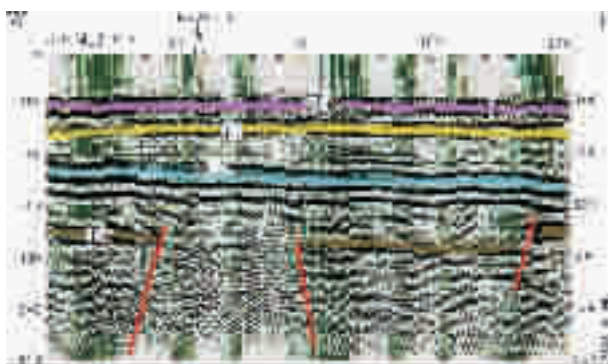


图 2 探测破火山口的反射地震时间剖面

Fig. 2 Seismic reflection time section for detecting the caldera

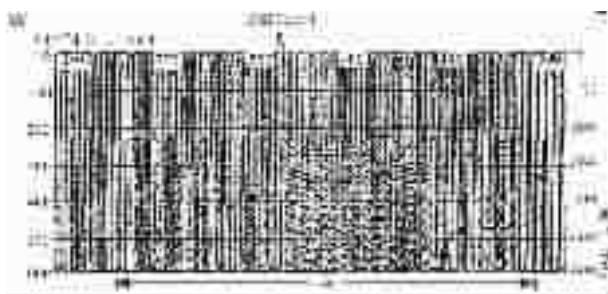


图 3 散射波地震时间剖面

Fig. 3 Scattering wave time section

隐伏金属矿进行定位,1994年,笔者首次对采用地震散射波探测与金属矿有关的不均匀体的方法技术进行了尝试。

在山东邹平金属矿地震勘查中,得到的散射波剖面如图 3 所示。把散射波剖面与反射地震剖面(图 2)对比后可知,散射波剖面上反映的地下不均匀体的位置在破火山口内部。在地震方法试验前打的 ZK92E3-1 钻孔见到了矿化,但未见矿。

蔡家营矿床是华北地台北缘的一处特大型铅锌银矿床。区域内下元古界变质岩系构成基底构造层,其中角闪斜长变粒岩为矿源层;其上不整合地覆盖着上侏罗统火山碎屑沉积岩和中酸性火山岩地层,在一些地段,分布有厚度不等的第

四系疏松堆积物。根据物性研究结果可知,试验区的闪锌矿型矿石为高密度、弱-微磁性、高电阻、弱极化;多金属型矿石呈高密度、微磁性、中电阻、高极化;围岩(变粒岩)属中高密度、微-弱磁性、高阻、微极化^[4]。该区团块状、团斑状矿石相对围岩具有低波速、低振幅和声波主频率低的特征,而细脉浸染状矿石与围岩无明显差异;在这3种声学参数中,波速特征最为明显,它在岩、矿(富矿)间的差异十分明显。

在蔡家营多金属矿试验区得到的散射波地震剖面(图4—b),该剖面较好地反映了与地下局部不均匀体有关的散射波,通过与已知地质剖面(图4—a)进行对比,得知这些散射波有的是与地下矿体有关,有的则与石英斑岩岩脉有关。通过其他物化探资料的综合解释,能够对隐伏金属矿进行空间定位预测。

另外,为使地震剖面更好地反映与矿体有关的局部不均匀体产生的散射波,对原地震记录上由第四系底界面和延伸长度较大的石英斑岩产生的反射波进行了压制。

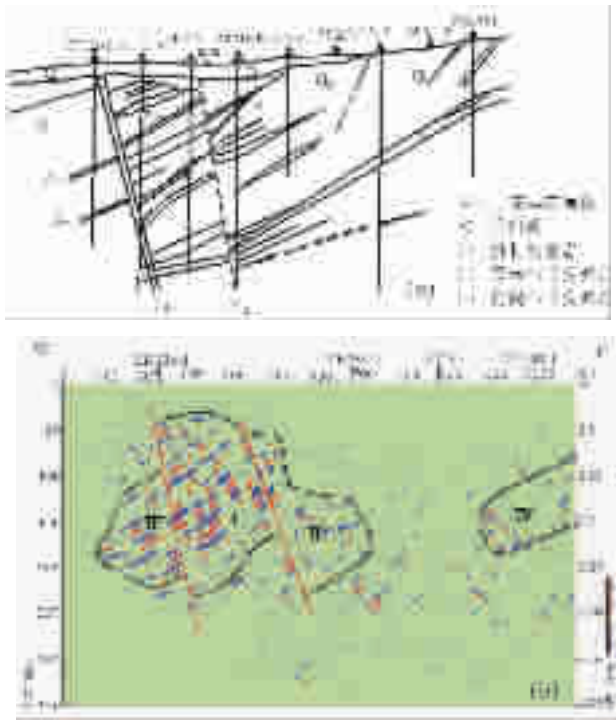


图4 315垂直勘探线地质剖面(a)和散射波地震剖面(b)
Fig. 4 Geological section (a) and scattering wave section (b) along No.315 ⊥ survey line

1.4 探测似层状金属矿

当隐伏金属矿在地质剖面上为似层状分布且矿体与围岩之间地层的波阻抗差异较大时,沿剖面方向布置地震勘探线可对该金属矿进行探测。

内蒙古大井多金属矿区是中国一个重要的大型锡铜铅

锌银多金属成矿区。矿区出露的地层主要是上二叠统林西组,该地层是一套淡水湖泊相正常沉积碎屑岩夹有泥灰岩、磷质结核和条带;全区广布第四系沙砾岩夹亚砂土层。

从矿区的物性资料可知,该矿区的围岩密度为2.70 g/cm³,矿体平均密度为3.2 g/cm³,富矿体密度为4.0 g/cm³。由于该试验区的岩石和矿石的密度差异较大,且地层倾角不是很大,适合于开展地震综合方法技术的实验研究。

从内蒙古林西大井多金属矿区55勘探线的地质剖面(图5—a)可以看出,在地质剖面上的矿体呈似层状分布。沿该剖面得到的综合地震剖面(图5—b)所示。分析对比图(5— a、5—b)可知,地震剖面较好地反映了矿体的产状和地质构造,在地质剖面(图5—a)上的大部分矿体在地震剖面上都得到了较好反映。根据该地震剖面上地震波组能量的强度,推断在ZK001和ZK002之间的较深部位和ZK55-4和ZK55-1之间的较深部位(标字母C处),地震波能量较强,推断在该部位有可能分布有较富集的矿体。

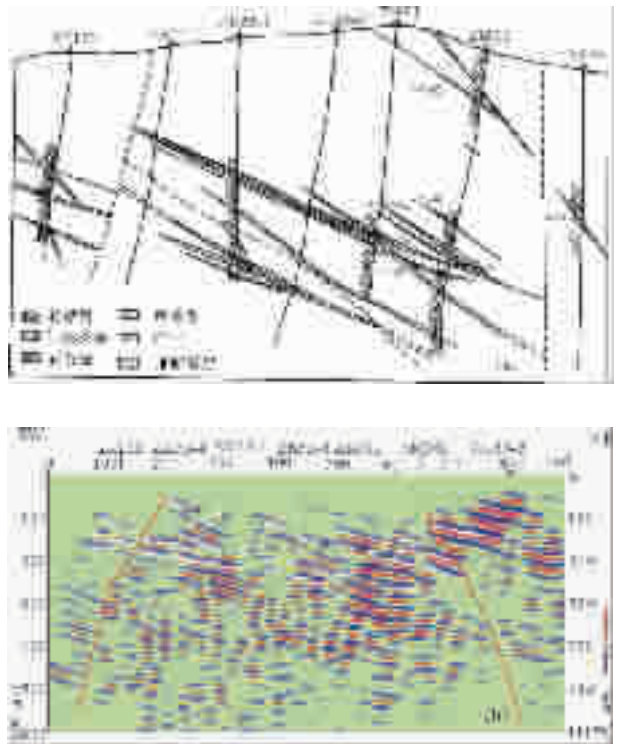


图5 55勘探线地质剖面(a)和地震剖面(b)
Fig. 5 Geological section (a) and seismic section (b) along No. 55 survey line

2 在金属矿勘查中地震方法的应用前景

根据金属矿地震方法的一些试验效果和地震方法在非能源勘查中的发展趋势,笔者认为在非能源勘查中,地震方法具

有较好的应用前景,可较好地解决以下几方面的地质问题。

2.1 大尺度成矿构造调查

20世纪70年代末,在美国计划实施深部反射地震初期,便证实美国东部 Appalachia 山脉是基岩推覆在寒武纪—奥陶纪碳酸盐岩上的叠瓦构造,推覆距离达 260km。因出露在该山脉西缘的同时代碳酸盐岩中含有油气,在 Appalachia 山脉前寒武纪地层下覆盖这套含有油气地层,意味着整个 Appalachia 山脉可能找到油气。在笔者开展的叶县—南漳深反射剖面中,南秦岭壳内有一强反射界面^[9],在深约 10km 处穿越青峰—房县断裂进入江汉平原,表明秦岭造山带前陆已深入江汉,由此推测长江中下游金属成矿区有可能是大别山的前陆。若能证实上述推测,将对寻找深部隐伏金属矿带来新的契机。

在成矿构造理论方面,矿床学家通过对矿床成因的构造控制因素进行研究,从不同构造尺度探讨深部结构、构造与成矿过程的关系,并取得了一些进展:(1)从岩石圈构造层次上,发现地幔不连续面的起伏、地幔对流系统、地幔不均匀性等对地壳中金属富集有一定的控制作用。(2)从地壳金属分布不均匀性角度,有研究(如 Kesler 等)认为地壳本身的金属含量存在很大的不均匀性,地壳中金属丰度高的地区是形成大型矿的矿源层,在一定的构造环境下,便可富集成矿。(3)从地球动力学观点出发,有研究(J.F.H Thompson 等)认为斑岩铜矿的形成与构造动力学环境的变化关系密切。

从矿床学家的成矿构造理论不难看到,矿床的形成与深部构造关系密切,而深反射地震是查明深部精细地质构造的一种十分有效的方法技术。

大尺度成矿构造地震勘查可在重要的造山带、有远景的成矿带等地区开展,如:在新疆东天山地区开展大尺度成矿构造地震调查工作。

2.2 成矿区带勘查

地震方法在金属矿勘查中具有的高分辨率、大探测深度、多解性少等技术优势已被许多地质和地球物理勘探界专家所认同,且由于地震方法的不断深入发展,该方法在金属矿勘查中正在成为一种不可忽视的勘查方法技术。

在金属矿勘查的中深部地震勘探中,利用具有高分辨率、大探测深度和准确可靠的地震方法技术可探测不同尺度的地质结构和构造,查清浅、深层地质构造之间的关系,划分地层和岩性构造单元、确定盖层内主要控矿构造的空间形态、圈定深部隐伏岩体、查明地表岩体的深部形态及向深部的延伸。该探测结果对于研究测区的控矿构造、研究测区矿产资源的源—运—储之间的关系,进而结合测区其他物化探资料进行综合解释,有效缩小找矿靶区具有十分重要的意义。

利用中深部地震勘查研究矿床的浅部精细结构,探讨浅部断裂系统和构造—岩浆对矿床富集就位控制作用,不同时代的岩层界面的空间形态与成矿制约作用是成矿区带地震勘探的主要任务。此外,成矿区带地震勘探还可为测区立体地质填图提供分辨率高、准确度高的控制性的

地质资料,为测区重、磁、电等数据的反演解释提供必要的约束条件。

成矿区带地震勘探可以在重要的矿集区等地区开展,以了解这些地区中深部的控矿构造、研究测区矿产资源的源—运—储之间的关系,为这些地区的中深部找矿突破提供科学依据。

2.3 矿区勘探

由于体积效应,以往在金属矿勘查中比较成熟的大多非地震勘探方法得到的地面物化探异常往往是地下多个异常体形成的多个异常的叠加,且随着地下异常体埋深的增加,这种叠加结果越严重。由此根据该地面异常布置验证孔具有很大的不确定性,当验证孔恰好布置在异常体的正上方时,才能取得预期的验证效果,反之,则不能。而地震方法受体积效应的影响明显小于其他非地震物化探方法。

近几年,笔者在利用地震方法技术寻找与块状硫化物矿体有关的局部不均匀体和探测地质构造等方面取得了突破性的进展。根据地震探测结果,能对该矿床的分布进行研究。

采用地震方法探测地下异常体(局部不均匀体)的精度较高,为提高验证异常钻孔的命中率,在矿区勘查阶段,有必要深入开展矿区综合地震方法技术的应用研究。

在非能源勘查中,矿区地震勘查可以在钾盐、铀矿、沙金矿等沉积性矿床上开展,也可以在块状硫化物矿床上开展地震勘查工作,以探测与矿体有关的局部不均匀体的分布。

2.4 危机矿山地震勘探

在危机矿山寻找新的接替资源关系到矿山稳定和再就业的问题。这类地区工作程度虽高,但各种电磁和其他干扰十分严重,妨碍了磁法、电法、化探等方法的应用。针对测区实际情况和要解决的地质问题,在危机矿山地区可利用地震方法进一步查清该地区及其外围的中深部精细地质结构、控矿构造和局部不均匀体,为这些地区的中深部和外围找矿突破提供科学依据、进而解决这些地区的矿产资源接替问题。

在危机矿山开展地震勘查工作,可在地面开展,也可在巷道内开展。

3 结 语

通过地震方法在金属矿勘查中的试验应用研究,可不断完善金属矿勘查中的地震方法技术,逐渐使该方法成为一种在矿产资源勘查中有效、实用的新方法技术。

在金属矿勘查中,地震方法可在较大的深度范围内,精确地查清浅、深层地质构造之间的关系,圈定深部隐伏岩体、探讨测区断裂系统和构造—岩浆对矿床富集就位的控制作用,不同时代的岩层界面的空间形态与成矿制约作用,在有利的条件下,利用综合地震资料,探测与矿体有关的局部不均匀体,对隐伏矿体进行空间定位。在隐伏金属矿的勘查过程中,该探测结果对于提高钻孔命中率和地质找矿效果、减少钻孔“白眼”造成的经济损失意义重大。

参考文献 (References):

- [1] 籍同冰, 徐明才. 俄罗斯金属矿地震勘探[J]. 物化探译丛, 1995, (4):25~34.
Ji Tongbing, Xu Mingcai. Seismic method in basemetal exploration in Russia[J]. Geophysical & Geochemical Exploration Abroad, 1995, (4):25~34 (in Chinese).
- [2] Zhao Yonggui, Wang Chaofan, Chen Yanmin, et al. Seismic tomography and its application in mining [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1996, 39(4):585~592.
- [3] 徐明才, 高景华, 柴铭涛, 等. 寻找隐伏金属矿的地震方法技术研究[J]. 物探与化探, 1997, 21(6):468~474.
Xu Mingcai, Gao Jinghua, Chai Mingtao, et al. A study of seismic method for detecting concealed metallic deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1997, 21(6):468~474 (in Chinese).
- [4] Xu Mingcai, Hu Zhenyuan, Gao Jinghua, et al. Research of Seismic Methods in Base-metal Ore Exploration, In: Proceedings of the 30th International Geological Congress, Geophysics [M]. VSP Utrecht, the Netherlands, 1997, 20:158~166.
- [5] Surendra. A study of shallow reflection seismics for placer-tin reserve evaluation and mining [J]. Geoexploration. 1983, 21:105~135.
- [6] James K A, David A E, Edwin B N, et al. High-resolution seismic study in the Gas Hills Uranium district, Wyoming [J]. Geophysics, 1982, 7(10):1355~1374.
- [7] Nelson R. G. Seismic reflection and mineral prospecting [J]. Exploration Geophysics, 1984, 15:229~250.
- [8] Milkereit B. An application of reflection seismology to mineral exploration in the Matagami area, Abitibi Belt, Quebec [M]. Current Research, Part C 1992, 13~18.
- [9] 袁学诚, 任纪舜, 徐明才, 等. 东秦岭邓县—南漳反射地震剖面及其构造意义[J]. 中国地质, 2002, 29(1):14~19.
Yuan Xuecheng, Ren jishun, Xu Mingcai, et al. Reflection seismic profile from Dengxian to Nanzhang, eastern Qinling and its tectonic implication [J]. Geology in China, 2002, 29(1):14~19 (in Chinese with English abstract).

Application prospects of the seismic method as discussed from the experimental effects of the method for metal exploration

XU Ming-cai, GAO Jing-hua, RONG Li-xin, LIU Jian-xun

(Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Due to the complexity of geological structures in metallic ore areas, seismic techniques applied in metal exploration are still in the experimental stage. Through several years of deep-going experiments, not only major progress in seismic techniques have been made, but pronounced positive geological results have also been obtained in using the seismic method to detect ore-controlling structures and look for local inhomogeneous bodies related to buried metallic ore deposits. The authors summarize some results of seismic and geological experiments obtained in the seismic experimental study of metal exploration and consider that the seismic reflection method can yield good results in the exploration for sedimentary stratabound ore deposits and ore-controlling structure and that the scattering wave method is useful for the study of subsurface local inhomogeneous bodies related to orebodies and the determination of the location of hidden orebodies as well. On that basis, the prospects of application of seismic methods in looking for buried metal deposits at depth are discussed.

Key words: seismic method; metallic mineral exploration; ore-controlling structure; local inhomogeneous body