

隐伏金矿定位预测

沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵, 李光明, 杨金中

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

[摘 要] 隐伏金矿定位预测是一项科学系统工程, 包括科学找矿的理论、技术与方法。科学找矿理论主要有相似类比理论、地质异常理论、矿床成矿系列理论及矿床成因模式理论等, 科学找矿的技术有地球物理技术如 CSAMT、TEM、浅层地震和伽玛能谱测量技术等, 非常规地球化学技术如地电化学参数法、铈法、测汞法等, 在理论指导下, 这些技术与传统的方法相结合, 是隐伏金矿定位预测的重要发展趋势。

[关键词] 定位预测 隐伏金矿 科学找矿理论 科学找矿技术

[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)01-0001-06

地质 矿床

成矿预测是在成矿预测的基本理论指导下, 根据一定的成矿地质理论、成矿地质环境、成矿条件、控矿条件和找矿标志对还没有而将来可能或应当发现的矿床作出推断解释和评价, 提出潜在矿床发现的途径, 导致矿床的提早发现和评价^[1~3]。

传统的成矿预测是应用地质人员掌握的地质理论和找矿经验在成矿规律图上圈出不同的成矿远景区作为预测的成果。目前成矿预测是在传统预测的基础上发展起来的预测工作, 它有自己的预测理论、技术方法。可归纳为 3 个方面: 就矿找矿; 按成矿理论和模式找矿; 应用新技术、新方法综合找矿。隐伏金矿预测是一个复杂的科学系统工程, 其关键是寻找隐伏金矿预测的理论和技术的研究, 其预测的对象是矿体。隐伏金矿床预测与一般成矿预测差别在于其预测对象的差异, 隐伏金矿预测的对象是具体的, 是隐伏的矿体。而一般成矿预测的对象则是笼统的、模糊的和抽象的。因此预测的理论和技術方法并不完全相同。隐伏金矿预测工作的难度更大。

1 隐伏金矿定位预测的科学找矿理论

隐伏金矿预测是一项复杂的系统工程, 指导预测的理论有多种, 构成科学的找矿理论体系。在隐伏金矿定位预测工作中, 既需要传统的理论, 也需要在工作中不断发展创立新的预测理论, 只有如此才能促进定位预测工作的深入开展。

1.1 相似类比理论

相似类比理论是赵鹏大院士提出的^[4], 是成矿预测的重要理论之一, 主要内容是: 在一定的地质条件下产出一定类型的矿床, 相似地质条件下赋存有相似的矿床, 同类矿床之间可以进行类比, 将与已知矿床的地质背景相似的地区(段)认为是成矿远景区或圈定为找矿靶区。其内涵是: 在相似的地质环境下, 应该有相似的成矿系列或矿床产出; 在相同的(足够大)地壳体积内应有等同或相似的矿产资源量。模式找矿是这一理论的进一步发展和具体化。

运用这一理论可以预测和寻找类似的矿床, 但对新类型矿床的预测和寻找有一定的局限性, 尤其是对发现那些有点型分布的大型、超大型矿床和难识别的矿床。

1.2 地质异常理论

这一理论也是由赵鹏大等提出的^[5~8], 其主要内容是: 地质异常是在成分结构、构造或成因序次上与周围环境有明显差异的地质体或地质组合。大型、超大型矿床从地质角度讲, 共性是分布在大小不同级别的地质异常中, 综合地质、物探、化探、遥感等成果的异常, 称之为综合异常。不同矿种、不同矿床类型所需的成矿地质环境不同, 这些环境所形成的地质异常, 无论是规模或性质也各异。按分布范围的大小分成 5 级: 全球性地质异常; 区域性地质异常; 局部性地质异常; 小型地质异常; 显微地质异常。

近年来赵鹏大等(1998)^[9]又提出了地质异常矿体定位预测方法, 主要内容为: 在地质异常致矿理论指导下, 运用多学科信息, 以非线性科学和高新技术

[收稿日期] 2000-11-20; [修定日期] 2000-12-01; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 中国科学院创新工程项目(KZCX1-Y-03-01)和“九五”重大黄金项目(KZ951-A1-404-02)资助。

为手段,以研究和圈定不同尺度和不同类型的地质异常为基本途径,逐渐逼近工业矿体的一种定量成矿预测方法。

1.3 矿床成矿系列理论

这一理论是由陈毓川院士等提出^[10~11],矿床成矿系列是由有成因联系的矿床所组成的自然体,亦就是在形成各特定的地质环境过程中形成的有成因联系的矿床所组成的自然体。其定义为:在一定的地质构造单元和一定的地质构造运动阶段内与一定地质作用有关形成的在成因上有联系的各种矿种、各种成因类型及在不同地质位置产出的矿床组合。该理论是我国矿产预测的重要基础理论之一,其主要特点如下:(1)概括性:高度概括了矿床成群成组出现所制约的主导因素。掌握了它就能推断一定地质构造单元内和一定地质历史阶段可能出现的矿床类型。(2)联系性:无论任何矿带、矿田内矿床成矿系列在空间分布上、时间演化上与矿物共生关系上都具有相互联系,组成纵横交错的网络结构,形式多样,内容丰富,受一种主导成矿因素制约。成矿系列阐明了成矿作用的继承性,即成矿作用的发生、发展、演化和消亡的规律。(3)有序性:成矿系列从高层次到低层次的有序排列,由大区域成矿区带—矿带—矿田组成3个层次的自然系统。相应地由成矿系列组合—成矿系列—成矿亚系列(包括矿床类型)。(4)过渡性:同一成矿期内成矿作用由渐变到突变演化,矿床类型随地质环境的变化而发生递变。成矿系列内端员矿床之间常出现过渡型矿床。(5)互补性:在一个成矿区带中,成矿物质有两个特点:一是成矿物质的常量性;二是成矿作用强度的不平衡性。由于成矿作用受构造、岩浆、变质作用和围岩等因素控制,各地区主要控矿因素的差异,造成各矿床类型之间元素成矿的地域性特点,即一类矿床中某些元素富集,而另一类矿床中另一类元素富集。它们互为消长,互为补充。(6)预见性:成矿系列反映成矿作用的主导因素,掌握了成矿主导因素与矿床地质特征,就能建立接近实际的成矿模式,利用这一模式找矿就会取得重大突破。

成矿系列研究的关键是控矿因素研究,根据控矿因素就可推断一定条件下一定环境内可能出现的矿床类型。因此,用成矿系列理论预测隐伏矿床具有重要的实际意义。

1.4 矿床成因模式理论

80年代以来,国际上兴起了以矿床成因模式进行成矿预测和找矿的热潮,国际地科联(IUGS)于

1984年设立一个国际的《矿床模式项目》(1985~1994),目的是交流矿床模式,用于矿产资源的勘查、评价和开发,促进矿床模式专门技能的系统化,已取得了较好的效果。国际上,以D P Cox和D A Singer(1987)为代表,国内以陈毓川(1987,1989,1993)、张贻侠(1993)、裴荣富(1994)等为代表,他们都对矿床模式进行了系统论述^[12~14]。

矿床成矿模式,即矿床形成过程的模式。确切地说,它是对矿床赋存的地质环境、矿化作用随时间空间变化显示的各类特征(包括地质、地球物理、地球化学和遥感地质)以及成矿物质来源、迁移富集机理等矿床要素进行概括、描述和解释,是成矿规律的表达形式(陈毓川,1993)。

在研究山东乳山蓬家金矿及其周边地区金矿时,我们确定了一种新类型的金矿,该类型金矿主要特点为:(1)矿床赋存于盆地周边特定的层位中,特别是在晚元古代变质岩系的软弱层中,如大理岩、含石墨片岩层中;(2)矿床产于区域性拉张盆地的形成过程中,矿体的产出严格受盆地边缘层间滑脱构造带这一特定构造环境的控制;(3)控矿构造具有多期活动的特点,如乳山蓬家金矿区滑脱构造带具有先拉、后张、再横切的独特演化过程,每期构造都具有特定的成矿学意义;(4)矿体的形成和定位受控于区域性拉张—挤压—走滑应力场,在平面上和剖面上呈轴向协调、大小不一的各种透镜体,如蓬家金矿矿体构造为角砾状构造,角砾多呈棱角状,矿体形态为大小不等的透镜体状,且常被晚期断层斜切;(5)矿体具有浅埋藏、低品位、大矿量、易采选的特点。如蓬家金矿矿体出露地表或近地表,矿体深度一般小于300 m。我们将这种类型金矿称之为“层间滑动角砾岩型金矿”^[15]。

根据这种类型金矿的地质特征,提出了这种类型金矿的形成机理:中国东部在中生代侏罗纪时由前侏罗纪的古亚蒙古洋构造域和古特提斯洋构造域转变为环太平洋构造域,成为欧亚板块的一部分(东部边缘),在早侏罗纪时期,大洋板块向欧亚板块俯冲、碰撞,形成一系列NE向构造—岩浆岩带。在1.2亿年左右,由于大洋板块俯冲作用消失,发生弹性回弹,地壳深部拉开、东移,形成日本列岛和朝鲜半岛,在我国形成莱阳盆地等。在盆地周边由于薄弱面(不整合面及软弱层)存在而产生层间滑动,为成矿作用提供了良好的成矿空间,层间滑动带即是成矿的通道,也是成矿的空间。

根据确定的成矿标志和成矿机理,开展了层间

滑动角砾岩型金矿成矿预测工作,取得了很好的效果,成功地预测了蓬家芥金矿床,使其由一个只有2.5 t的小型金矿床增储为20 t的大型金矿床。而且还有良好的资源前景。同时,这一新类型金矿的确立,已引起周边地区黄金产业部门的高度重视,在相应的层间滑动成矿带上相继开展了金矿成矿预测工作,也已取得明显的效果,目前在山东牟平、海阳两地区,已在同一成矿带(层间滑动带)上找到多处矿床(点)。同样,该认识对我国东部存在的层间滑动带的找矿具有重大的指导意义。

2 隐伏金矿定位预测的科学找矿技术与方法

隐伏金矿床定位预测是一复杂的系统工程,需要一套完整且又实际的技术方法,包括地质、地球物理、地球化学、3S及CP等技术,它们的完整组合构成了隐伏金矿定位预测的科学找矿技术体系。

隐伏矿的定位预测一直是矿产资源预测中的一项急迫而又艰难的课题,目前所有技术方法都是间接找矿,近年来发展了一系列寻找隐伏矿的新方法,如酶浸提取法^[16]、元素有机态法(MPF)^[17]、活动金属离子法(MMI)^[18]、金属活动态法(MOMEO)^[19]、地气法(geogas)^[20,21]、生物地球化学法^[22]、离子晕法^[23]等。这些方法均设定有某种机制将矿体及其原生晕中的物质带入近地表带,通过地表采样分析(通常为土壤样),分析信息量大的某种部分(部分提取)来强化与深部矿化有关的异常。这些方法在操作上均在地表取样,适用于地表厚层土壤覆盖区,并且需要一系列高精度的分析手段,虽然都取得一定的应用效果,但总体上来说,成本较高,不能广泛采用。通过实际工作,我们总结出一套适用、快速的技术方法。

2.1 理论预测法

以成矿预测的理论直接指导找矿。如层间滑动成矿理论,该理论是在山东乳山地区金矿研究工作中总结出来的,并直接应用到找矿实际中,根据这一理论确定了层间滑动角砾岩型金矿这一新的金矿类型,并进行隐伏矿体的预测,预测取得了成功。同样,这一理论对指导在我国东部中生代盆地周边寻找层间滑动断层中层间滑动角砾岩型金矿具有重要的理论和实际意义。

2.2 经验类比法

经验类比法是一种常规的预测方法,经常贯穿于成矿预测工作的始终,是其它方法的基础。运用

这一方法应遵循以下基本要求^[2,3]:要准确理解和掌握普查预测准则,研究相似的地质环境下,可能产出相似的矿床成矿系列或矿床类型,同一类型的矿床易于类比,矿床类型不同,成矿环境差异较大,不能类比;控矿因素和成矿条件类似的矿床可以类比,控矿因素不清,成矿条件复杂的矿床不能类比;成因类型简单的矿床易于类比,成因类型复杂的矿床难于类比,若不能类比,应寻找新的方法进行研究;对于找矿标志不明显的矿床,应利用其它技术方法,寻找新的找矿标志,只要找矿标志的地质意义大,就能找到隐伏矿床(体)。类比矿床既要考虑国内矿床,也要考虑国外类似矿床。

2.3 构造解析法

通过构造解析建立矿体三维模型进行立体找矿,是一种有效的隐伏金矿定位预测方法。矿床的形成需要多方面的有利因素的综合,构造是最重要的因素,在具有成矿物质和含矿流体的前提下,构造是成矿的关键因素。因此它可以成为隐伏金矿定位预测的重要依据,从而成为一种重要的预测方法。

构造解析的内容包括:控矿构造样式、特征、活动序列、构造应力场特征及演化、构造对成矿的控制作用等。与隐伏金矿有关的构造主要有:

(1) 矿体侧伏构造 金矿床矿体在三维空间上产状变化的规律,矿体的侧伏受成矿前与成矿期构造控制,部分矿体由于侵蚀作用而出露地表,但主要为隐伏矿体。因此,对矿体侧伏构造的研究有助于隐伏矿体的发现。乳山地区石英脉型金矿矿体产出受侧伏构造控制,据矿体侧伏规律进行的成矿预测已取得初步成效^[24]。

(2) 火山机构构造 与隐伏金矿预测有关的火山机构构造主要为隐爆角砾岩筒构造、次火山岩体构造、环状、放射状断裂构造。

隐爆角砾岩筒(带)构造是火山机构中最重要的一种控矿构造类型,如福建紫金山金矿^[25]、山东七宝山金铜矿^[26]、平邑归来庄金矿^[27]、平邑卓家庄金矿^[28]、河南祁雨沟金矿^[29]等,它们均是受隐爆角砾岩型金(铜)矿床。隐爆角砾岩筒(带)常位于次火山岩边部或浅部,是一种与次火山作用或超浅成岩浆侵入作用有关的地质体,又是一种特殊的构造形式,形成于近地表条件下,往往与次火山岩或斑岩体有关,其形成既与岩浆蒸气爆破作用有关,更与流体化作用有关。如黑龙江团结沟金矿、山东七宝山金铜矿、江西洋鸡山金矿、山东平邑卓家庄金矿等。

次火山岩体也是火山机构中一种重要的控矿构造,次火山岩体形态不一,层状、似层状、环状、放射状等,常为岩脉、岩株、岩颈等,其成矿有利部位是围岩接触带、顶部及边缘环状或放射状裂隙。如山东平邑铜石地区磨房沟金矿、梨坊沟金矿等层状灰岩中浸染型金矿形成与斑岩体作用有关,均位于斑岩体与灰岩接触带附近^[30]。

(3) 复式侵入体构造 复式侵入体产出受区域构造控制,一般有两期以上的岩浆侵入活动,晚期岩体常隐伏于地下深部,而成矿往往与晚期岩浆活动有关。因此,对与复式侵入体有关的金矿床(体)的预测重点是研究其晚期岩体形成的构造空间,特别是晚期岩体与围岩的接触带构造,查明其控矿构造的样式,更好地进行成矿预测。如山东沂南铜井金矿田、金场金矿田,金矿形成分别与铜石杂岩体和金场杂岩体有关,夕卡岩型矿体形成主要与杂岩体晚期岩浆活动的产物——石英闪长玢岩有关,其矿体产出的有利构造部位是闪长玢岩与寒武系灰岩接触带部位,特别是岩盖(舌)构造发育部位。

(4) 断层扩容带构造 断层扩容带构造是一种重要的控矿构造类型,特别是石英脉型金矿床矿体就位的主要构造类型^[31,32]。该构造是在构造作用过程中,多期构造活动的结果,一般早期活动形成舒缓波状的压性结构面,晚期活动构造应力场发生变化,以张(张剪)性构造活动为主,在一些局部构造部位,产生大的拉张空间——扩容带,这些扩容带是金矿脉(体)就位的最有利空间,扩容带规模大可形成规模较大的单脉型矿体。扩容带不仅在平面上存在,在剖面上(地下深部)同样存在扩容带。地表扩容带易于识别,而深部隐伏扩容带识别则需要认真研究综合地质、矿床特征等,才能查明。只有查明了地表及隐伏构造扩容带的特征、分布以及对矿体(脉)的控制作用,才能指导找矿勘探工作,进行隐伏矿体的预测。

(5) (现代)沉积物覆盖层之下的含矿构造(带)

这种构造也是隐伏矿体定位预测的一种重要构造类型。含矿构造(带)在地表有时被沉积物覆盖,且有时覆盖的范围较大,而地表并无明显的迹象表明构造仍然延伸,实际上该构造可能仍然延伸且是有利的含矿地段,因此需要将此识别出来。另一种隐伏构造是在早期构造作用中形成,被后期沉积物覆盖,但在后期沉积物沉积过程中,该构造仍然活动,只是其表现形式不同,称之为生长断层,生长断层之下的原生构造可能是主要的容矿空间。因此,在生

长断层发育区,注意寻找原生含矿断层,确定原生断层的空间定位特征,进行隐伏矿体的定位预测。

2.4 地球物理技术方法

2.4.1 浅层地震技术

高精度地震勘探是近年来地震勘探领域中发展起来的新技术,高分辨率地震勘探是用高信噪比、宽频带数字地震勘探仪器进行野外资料采集,并用相应的手段进行资料处理,从而对地下构造作出精细的地质评价。在当前地质找矿目标由浅至深,地质条件越来越复杂的情况下,地震勘探方法是解决深部构造不可缺少的方法。该方法能探测深度在近地表到 3000 m 左右,比一般方法探测深度大,它可以经图像处理得到地下较为精细的二维结构构造,提供地下构造的形态和分布情况。

常规地震勘探中,地震波主频一般为 20 Hz 左右,当地震波的传播速度为 3000 m/s,勘探埋藏深度为 500 m 时,可分辨的地质体垂直方向必须大于 1/4 波长即 25 m;水平方向必须大于地震波菲涅耳带(与地质体埋藏深有关)的直径 316 m。由于地震波的高频成分随传播距离的增加迅速衰减,所以上述分辨率还将随地质体埋藏深度的增加而降低,这样的分辨率远远满足不了找寻隐伏金属矿的详探要求。高分辨地震勘探所采用的地震数据采集系统具有高信噪比、宽频带的特点,地震波主频可达几百以至上千赫兹,当地震波的传播速度同样为 3000 m/s,地质体的埋藏深度为 500 m 时,采用 300 Hz 地震波主频计算则垂直分辨率达 2.5 m,水平方向分辨率可达 50 m,因此可以对矿区构造作出精细描述。

采用高分辨浅层地震勘探方法,在金矿进行隐伏矿(构造蚀变带)的探测研究工作时,进一步了解了深部地质界面和地质结构的变化,提供了有用的找矿信息,为深部找矿预测提供了较准确的地球物理资料。在此基础上通过先进的数据处理手段,结合地质、化探等综合信息,进行完善的地质解释,提供较详实的深部地质构造解释,为找金提供了基础性、实用性的可靠资料。

2.4.2 CSAMT 与 TEM 技术

可控源音频大地电磁法(CSAMT)、地面时间域电磁法(TEM)属于两种地面电磁法,是 80 年代以来发展起来的一种寻找金属矿的电法勘探高新技术,具有穿透能力强、勘探深度大、分辨率高的特点。这

刘洪臣. 山东乳山蓬家矿金矿高分辨率地震勘探寻找含金隐伏构造的研究工作设计书, 1999。

些方法在国内外找矿工作中已取得的一定成效。前者适用于寻找和圈定与金矿化有关的蚀变作用引起的电阻率异常带;后者适用于寻找良导类型的金矿床(金矿化蚀变带或富集带)。

CSAMT 法基于电磁波传播理论,当地表电阻率固定时,电磁波的传播深度(或探测深度)与频率成反比,高频时,探测深度浅,低频时,探测深度深。人们可以通过改变发射频率来改变探测深度,达到频率测深的目的。在实际应用工作中已取得了较好的效果。

2.4.3 伽玛能谱测量法

实践表明,伽玛能谱测量法是一种简便、快速、有效的寻找隐伏金矿床的方法^[33],通过工作,总结出不同类型金矿具有不同的伽玛能谱特征^[34,35],进而反映了成矿物质的来源不同。其中与碱性斑岩岩浆活动有关的金矿床具有明显的伽玛能谱铀、钍、钾及 F 参数正异常;与中基性岩浆活动有关的夕卡岩型、斑岩型金矿床具有明显的伽玛能谱 U/K (K/U) 参数正异常;与中基性脉岩活动有关的石英脉型金矿床具有一致的伽玛能谱 K/U 参数正异常;与层间滑动作用有关的层间滑动角砾岩型金矿伽玛能谱特征则是 F 参数正异常。这些不同类型金矿的不同的伽玛能谱特征对寻找不同类型的金矿具有重要的指导意义。

2.5 非常规地球化学方法

(1) 地电化学参数测量法^[36]。地电化学参数法是以岩石、矿石电化学活动性而产生的天然电场为基础的一种方法,而自然电场的分布往往与某些导电型的金属硫化物(如黄铁矿、黄铜矿等)、金属氧化物赋存有密切关系,在这些矿化赋存的地方,自然电场往往十分明显和强烈。金矿的围岩蚀变常发生黄铁矿化,尤其是浸染状黄铁矿,黄铁矿氧化时产生诸如 K^+ 、 Na^+ 、 Fe^{3+} 、 NH^+ 、 H^+ 、 Li^+ 、 Au^+ 、 SO_4^{2-} 、 OH^- 、 Cl^- 等离子。在地下水的作用下,生成的离子经过漫长的时间,从蚀变岩和矿体向四周扩散,形成了一个离子晕。电导率异常是多种离子成晕的产物,是一个示矿较强的物理化学综合指标,反映矿化信息远比单元素反映的要强。并且,地电化学参数法具有简便、快速、现场化的特点。

(2) 铀地球化学异常法^[37,38]。铀与金都是亲硫元素,二者在氧化状态、离子半径(U^{+} 为 0.147 nm; Au^+ 为 0.137 nm)、化学稳定性方面十分相似,近年来的研究发现,许多大型、超大型金矿和一些多金属矿都有铀的异常显示,特别是卡林金矿、麦克劳林

金矿、赫姆洛金矿以及我国即将成为超大型的烂泥沟卡林型金矿等。尽管这些矿床成矿地质条件不同,但都表现出金与铀密切的地球化学联系,这就使得铀成为找金的重要指示元素。铀的指示作用,一方面表现在铀与金异常一起可以确定找金及其他有色和贵金属的有利标志;另一方面表现在铀属于垂向分带序列的较靠上部位置,因而可以通过研究铀及其他元素的分带特征,确定蚀铀深度、贵金属和有色金属矿体可能赋存的空间位置和寻找深部盲矿体。

另外,构造地球化学方法、找矿矿物学方法、遥感方法及其它非常规地球化学技术方法还有野外 X 荧光光谱测量法、地电化学提取法、汞气法、红外光谱法、植物地球化学法、卤族元素法等等也为许多单位应用,并取得了较好的效果^[39~46]。总之,隐伏矿体定位预测是一项科学系统工程,它有自己的科学找矿理论和技术,在工作中不断深化和发展这些理论和技术,探索矿体空间定位机制、定位规律、多源预测信息的有效提取、隐伏矿体定位预测的有效技术方法组合将是今后隐伏矿定位预测的发展趋势。

[参考文献]

- [1] 朱裕生,李纯杰编著.成矿地质背景分析[M].北京:地质出版社,1997,1~143.
- [2] 胡惠民编著.大比例尺成矿预测方法[M].北京:地质出版社,1995,1~175.
- [3] 朱裕生,金丕兴,等.金银矿预测[M].北京:地质出版社,1997,1~106.
- [4] 胡旺亮,吕瑞英,高怀忠,等.矿床统计预测预测方法流程[J].地球科学-中国地质大学学报,1995,20(2):128~132.
- [5] 赵鹏大,王景贵,饶明辉,等.中国地质异常[J].地球科学-中国地质大学学报,1995,20(2):117~127.
- [6] 赵鹏大,孟宪国.地质异常与矿产预测[J].地球科学-中国地质大学学报,1993,18(1):39~47.
- [7] 赵鹏大,池顺都.初论地质异常[J].地球科学-中国地质大学学报,1991,16(3):241~238.
- [8] 赵鹏大,池顺都.当今矿产勘探问题的思考[J].地球科学-中国地质大学学报,1998,23(1):70~74.
- [9] 赵鹏大,陈永清.地质异常矿体定位的基本途径[J].地球科学-中国地质大学学报,1998,23(2):112~119.
- [10] 陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列初论[M].北京:地质出版社,1998,1~104.
- [11] 陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列[A].见:第五届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社,1993,89~90.
- [12] Dennis P, Cox and Donald A. Singer, Editors. Mineral Deposit Models, U. S[J]. Geological Survey Bulletin 1987, 1693.

吴其斌,金矿勘查中的某些新方法.金矿物探.地质矿产信息院,1991,1~6.

- [13] 陈毓川,朱裕生,等. 中国矿床成矿模式[M]. 北京:地质出版社,1993,1~33.
- [14] 张贻侠主编. 矿床模型导论[M]. 北京:地震出版社,1993,1~227.
- [15] 沈远超,谢宏远,李光明,等. 山东蓬家芥金矿基本地质特征及其找矿方向[J]. 地质与勘探,1998,34(5).
- [16] Clarke J R, Meier A L. Enzyme leaching of surficial geochemical samples for detecting hydromorphic trace - element anomalies associated with precious metal mineralized bedrock buried beneath glacial overburden in northern Minnesota[A]. In: GOLD '90, 1990.
- [17] Alpers C N, Dettman D L, et al. Stable isotopes of carbon diopside in soil gas over massive sulfide mineralization at Grandon, Wisconsin[J]. J. Geochem. Explor., 1990, 38(1-3):69~86.
- [18] Mann A. W, et al. Application of the mobile metal ion technique to routine[J]. J. Geochem. Explor., 1998, vol. 61(1-3):87~102.
- [19] 谢学锦. 战术性和战略性的深穿透地球化学方法[J]. 地学前缘,1998,5(1-2):171~185.
- [20] Malmqvist L, Kristiansson K. Experiment evidence for an ascending micro - flow of geogas in the ground[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1984, 70: 407~416.
- [21] 林存山. 一种新型的气体测量方法[J]. 中国地质,1994(10):27~28.
- [22] 沈远超,杨金中,李慎之. 生物地球化学方法与金矿找矿 - 以新疆西准噶尔安齐成矿断裂为例[J]. 地质科技情报,1999,18(3):55~59.
- [23] 吴传璧. "离子晕法"及其方法学意义[J]. 地质与勘探,1997(5):35~39.
- [24] 沈远超,曾庆栋,谢宏远,等. 山东乳山地区石英脉型金矿矿体侧伏规律及找矿方向[J]. 黄金地质,1999,5(3):1~5.
- [25] 陈景河. 紫金山金铜矿床——一种独特的矿床类型[J]. 甘肃地质科技情报,1990(3):4~7.
- [26] 周炳煜. 山东五连七宝山金铜矿特征及与隐爆角砾岩筒关系的探讨[J]. 地质找矿论丛,1986,1(3):23~28.
- [27] 林景仟,谭东娟,于学峰,等. 鲁西归来庄金矿成因[M]. 济南:山东科学技术出版社,1997,1~45.
- [28] 曾庆栋,沈远超,李光明,等. 山东省平邑铜石地区金矿的构造控制及找矿方向[J]. 矿床地质,1998(增刊):427~430.
- [29] 李世华,韩军,柴春新. 河南祁雨沟金矿四号角砾岩筒地质地球化学特征及成因[J]. 黄金,1998,19(7):9~12.
- [30] 曾庆栋,沈远超,刘铁兵. 山东平邑磨房沟金矿控矿因素及找矿方向[J]. 黄金科学技术,1999,7(2):27~30.
- [31] 曾庆栋,沈远超,杨金中,等. 山东省乳山金矿隐伏矿体成矿预测[J]. 地质与勘探,1999,35(2):3~5.
- [32] 曾庆栋,沈远超,戴新义. 吉林省海沟金矿隐伏矿体定位预测[J]. 黄金科学技术,1998,6(5):19~23.
- [33] 王续伦,李善芳,齐文秀,等. 中国物探、化探方法技术的研究与应用[M]. 北京:地质出版社,1997,20~24.
- [34] 曾庆栋,沈远超,张启锐,等. 伽玛能谱测量与隐伏金矿体预测[J]. 黄金,1999,20(1):4~7.
- [35] 曾庆栋,沈远超,张启锐,等. 伽玛能谱参数与金矿找矿[J]. 华东地质学院学报,1999(1):47~53.
- [36] 沈远超,李光明,刘铁兵,等. 地电化学参数法在金矿深部定位预测中的应用[J]. 地质科技情报,2000,(1).
- [37] 侯嘉丽,杨密云. 用铀作探途元素寻找金矿[J]. 有色金属矿产与勘查,1995,4(4):223~227.
- [38] 曾庆栋,沈远超,杨金中,等. 山东省乳山金矿铀地球化学特征研究[J]. 黄金科学技术,1998,6(4):8~13.
- [39] 罗先熔. 地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996,1~221.
- [40] 邵跃著. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京:地质出版社,1997,1~143.
- [41] 张保民. 红外光谱方法在找金中的应用[J]. 地质科技情报,1994,13(4):98~102.
- [42] 刘树田,连长云. 快速评价金矿脉的壤中气汞量测量方法[J]. 黄金,1998,19(1):10~13.
- [43] 魏俊浩,候光久,吴淦国. 汞汞在金矿床深部含矿性评价中的应用[J]. 地质科技情报,1994,13(2):87~90.
- [44] 张湘炳,李志纯,谭克仁,等. 构造与金矿成矿规律[M]. 北京:地质出版社,1994,1~103.
- [45] A K 列别杰夫,等. 用 X 射线放射性测量法找隐伏矿和埋藏矿[J]. 国外地质科技,1996,(4):12~16.
- [46] 沈远超,杨金中,李慎之. 植物地球化学找矿[J]. 地质科技情报,1999,(1).

LOCATION PROGNOSIS OF THE CONCEALED GOLD ORE

SHEN Yuan - chao, ZENG Qing - dong, LIU Tie - bing, LI Guang - ming, YANG Jin - zhong

Abstract Location prognosis of the concealed gold ore is a scientific systematic project, it includes theories, techniques and methods of the scientific exploration ore. The theories of the scientific exploration ore include similar - analogy theory, geo - anomaly theory, deposit metallogenic series theory, inter - layer slip metallogenic theory, etc.. The techniques include non - routine geo - chemical techniques such as electrogeochemical parameter method, TI method, etc., and geophysical techniques such as shallow layer earthquake technique, CSAMT technique, gamma energy spectrum measure, etc.. Under the direction of the theories, the combination between the new techniques and traditional methods is the important development trend of the location prognosis of the concealed gold ore.

Key words: location prognosis, concealed gold ore, scientific exploration ore, theory scientific exploration ore technique

本期作者简介



沈远超(1943 年 -),男,研究员(博士生导师),岩石学及矿床学专业,主要从事成矿岩石学、矿床学及金矿成矿预测工作,现为中国科学院知识创新工程黄金项目首席科学家。



李光明(1964 年 -),男,博士,助研,1986 年毕业于成都地质学院地勘系,1996 年毕业于莫斯科地质勘探学院矿床学专业,获博士学位,现就职于中国科学院地质与地球物理研究所,主要从事矿床学及成矿预测方面的工作。



张连昌(1959 年 -),男,博士,副教授,1983 年毕业于西安地质学院地质系,并于 1988 年获矿床专业硕士学位,1999 年获中国地质大学地球化学专业博士学位,现在中国科学院地质与地球物理研究所博士后流动站工作,主要从事地球化学和矿床地质学的研究。



李厚民(1962 年 -),男,1983 年毕业于西北大学地质系,1989 年毕业于西安地质学院(现西安工程学院),获硕士学位,现为西安工程学院地球科学系副教授,中国科学院地质与地球物理研究所在读博士,主要从事矿床学的教学及科研工作。



刘铁兵(1950 年 -),男,1981 年获中国科技大学硕士学位,1988 年获美国辛辛那提大学博士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所副研究员,矿床学专业,主要从事金矿成矿预测工作。



张启锐(1939 年 -),男,研究员,1964 年毕业于北京大学,1968 年研究生毕业于中国科学院,专业为地层学、数学地质,目前从事金矿地质及震旦系冰川地层研究工作。



邹为雷(1971 年 -),男,1995 年毕业于长春科技大学地球科学系,1998 年获长春科技大学矿床地质学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士生,主要从事岩浆岩石学及金矿成矿预测研究。



石昆法(1939 年 -),男,现任中国科学院地球物理研究所研究员,研究方向为浅层地球物理,研究专业为电法勘探。



杨金中(1970 年 -),男,1994 年毕业于长春地质学院地质系,1997 年在长春科技大学获矿床学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士研究生,主要从事大地构造与成矿、矿体定位预测等方面的研究工作。



荆林海(1971 年 -),男,1994 年 7 月毕业于山东矿业学院地质系,1997 年 7 月在中国科学院遥感应用研究所获地图学与遥感专业硕士学位,现攻读博士学位,主要从事遥感图像处理及遥感地质应用研究。



曾庆栋(1964 年 -),男,1986 年毕业于长春地质学院地质系,1989 年、1997 年在长春地质学院先后获得构造地质学硕士学位、矿床学博士学位,1997 - 1999 年中国科学院地质研究所博士后,现为中国科学院地质与地球物理研究所助理研究员,主要从事金矿成矿预测工作。

通讯地址:北京德外祁家豁子

中国科学院地质与地球物理研究所

邮政编码:100029