

西部优势矿产资源潜力评价成矿系列 综合信息评价方法研究*

肖克炎 张晓华 陈郑辉 朱裕生

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 文章介绍了对中国西部优势矿产资源潜力评价示范技术总体框架的研究思路。将较成熟的成矿理论模型与区域综合勘查信息资源评价技术结合, 可能使未发现矿产资源潜力评价既有可靠的地质依据, 又能代表目前勘查资料信息利用水平。文章最后还论述了“三三”西部矿产资源潜力评价的方法体系。

关键词 矿产资源 成矿系列 综合信息 数据库 定量评价 资源量 中国西部

随着人类社会人口不断增加, 以及为了提高人们生活水平而进行的社会工业化、现代化建设, 世界对矿产资源的需求在不断增加。对陆地近地表未发现矿产资源潜力的区位、数量和质量的评价既是国家矿业政策宏观决策重要的技术支撑, 也是一项非常困难的工作。因为人们需要弄清近地表的所有地质情况, 但又不能亲身对地下每个地方进行直接观察, 只能通过有限的地质勘查工作获取信息。那么对固体矿产资源潜力评价的一个根本问题是: 对近地表 1 km 内的未发现矿产资源能不能估计出来? 用怎样的方法体系去估计? 估计的结果能否为广大的地质矿产专家和政策制定者认可? 首先这种估计只能停留在概率意义上, 评价不可能百分之百精确。但长期的地质勘查工作和大量的矿床学研究使我们能够对这个问题的科学回答。那么用什么样的科学方法, 来估计地下哪儿有经济价值的矿床和其资源潜力呢? 美国科学家 (Allais, 1957) 从 20 世纪 50 年代就开始资源潜力评价工作, 20 世纪 90 年代美国本土的资源潜力评价开始全面使用 3 部式资源评价方法体系。尽管该方法体系是开放的, 它可以容纳一切为资源评价服务的方法, 如矿床统计定量预测最普遍使用的特征分析矿床模型法 (Mc Cammon et al., 1983) 等, 但其核心部分是他们长期研究积累的矿床模型, 包括矿床地质描述模型和品位吨位模型 (Cox et al., 1986; Cox, 1993)。矿床模式不仅能为具体的矿床勘探评价提供一个可参考的模型, 同时也是区域中小比例尺资源潜力评价的基础。美国地质学家根据不同类型的矿床成矿地质环境, 在地质图上圈定这些类型矿床的可能地段, 并根据地球物理信息对小于 1 km 的隐伏地质体进行推测, 从而扩大了可能地段的范围, 然后根据可能地段的勘探历史和已有经验对未发现的矿床个数进行估计。该评价方法体系的特色是对地质矿床模型的应用, 评价的专家是矿床地质学家, 评价的结果相对来说容易为地质人员接受。但评价信息主要是地质信息, 物化遥信息提取分析少, 特别是没有全国性的地球化学信息, 这样圈定的可能地段范围大, 如在内华州圈定的可能地段 1 就占全州面积的 47%, 这对区域潜力评价来说, 虽然能够保证不漏矿, 然而对战略性矿产勘查部署却作用不大。中国矿产资源潜力评价工作开展了 20 余年, 形成了综合信息矿产资源评价方法体系、地质异常矿产资源统计预测方法和地球化学矿产资源评价方法, 但中国资源评价方法总体侧重于信息的提取, 使用了能够使用的数学方法模型对物化遥等信息不断进行挖掘, 许多预测工作较少考虑矿床模型问题, 而矿床学家则侧重于成矿规律总结, 较少根据区域综合信息、成矿模型和实际勘探资料圈定成矿远景区。所以造成了矿床学家总结了许多矿床模型, 而评价人员却很少根据这些模型去进行预测评价矿产潜力。

成矿系列理论是中国矿床学家发展的一种区域成矿理论, 在中国区域成矿规律研究和成矿远景区划

* 本文得到国家科技攻关项目 (2003BA612A-01) 的资助

第一作者简介 肖克炎, 男, 1964 年生, 研究员, 从事矿产资源评价工作。

中发挥了重要作用。成矿系列总结的是区域成矿规律,如何将这种理论成因高度概括性的研究成果和从实际勘查资料出发的资源潜力评价结合是待研究的问题。首先可以肯定,应用成矿系列理论可以解决资源潜力的关键地质问题,它使矿产资源潜力评价是建立在地质模型基础上的,能在理论上保证其合理性。美国地质调查局在本土矿产资源潜力评价中使用了矿床模型,但他们在圈定成矿可能地段时碰到了一个技术问题:由于评价比例尺是国家层次的(1/100 万、1/50 万),许多金属矿种中金、银、铜、铅、锌等往往同时出现在同一地区,这样圈定出的不同类型、不同矿种的可能地段出现重复的现象。按照成矿系列理论,它们可能是统一区域构造演化和同一关键地质作用的结果。这样,在区域中小比例尺潜力评价中使用成矿系列来圈定成矿远景区可能较应用矿床模型更有优势,因为建立起成矿系列模型就可能抓住了区域评价的关键地质因素,这样就可以圈定成矿可能地段。

在方法体系研究中,中国矿产资源潜力评价和美国资源潜力评价的重大差别是:中国积累多元地物化遥勘查信息,而且这些信息是基本覆盖全疆域的。这样在潜力评价中,中国科学家做的成果可能比美国科学家更细致些,如中国科学家不仅可以根据成矿系列圈定成矿可能地段,还可以根据地质勘查综合信息圈定成矿的有利地段,并可以对成矿有利地段进行靶区优选。因此,应该继续发挥综合信息矿产资源潜力评价的优势。

1 西部固体优势矿产资源评价方法体系

要使矿产资源评价形成客观一致的科学成果,评价方法体系首先应该以地质矿床模型为基础,因为矿床模型是经济地质学的核心部分,也是各种地质矿产专家的共同语言。地质矿产勘查获取的各种综合信息是进行区域资源潜力评价的数据基础,如何充分利用这些勘查信息,最大限度地挖掘找矿信息是资源评价的重要任务。运用现代计算机空间数据库分析 GIS 技术进行矿产资源潜力定量评价,快速灵活地进行空间数据查询、管理和资源量定量分析是当前矿产资源评价的趋势。西部固体优势矿产资源潜力评价方法体系如图 1,简单归纳为“三三”矿产资源评价方法。包括 3 个评价理论方法技术部分、3 个工作流程和 3 个评价结果。

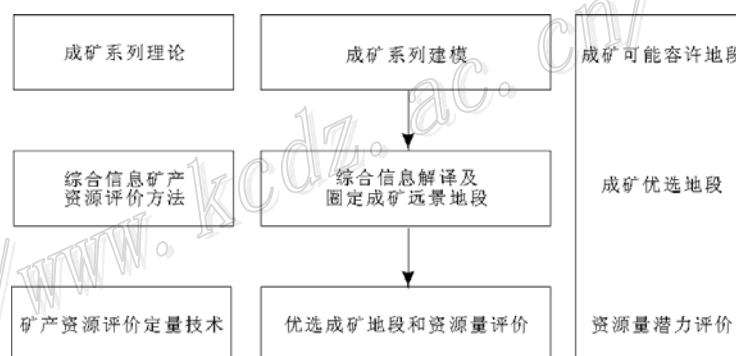


图 1 西部固体优势矿产资源潜力评价技术框架

左边表示 3 个技术方法理论,中间表示评价的 3 个流程,右边为评价的 3 个结果

Fig. 1 Technical frames for assessment of predominant mineral resource potentials in western China

The left 3 frames show 3 technical methods and theories, the middle ones show 3 processes of assessment, the right ones show 3 results of assessment

2 西部固体优势矿产资源潜力评价的 3 个技术方法理论

2.1 成矿系列理论

矿床是在当前技术水平条件下其品位、吨位足够有经济价值的矿物集合体。成矿系列是指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,形成在成因上有联系的各矿种、各种成因类型,在不同的地质位置产出的矿床组合。在区域中矿床或矿化之间的关系一直是矿床学界关注和重视的一个问题(图 2)。1979 年程裕淇等(1979)发表了题为“初论矿床的成矿系列问题”的文章,正式提出成矿系列的概念,并提出了 19 个矿床成矿系列。1983 年研究集体又发表了题为“再论矿床的

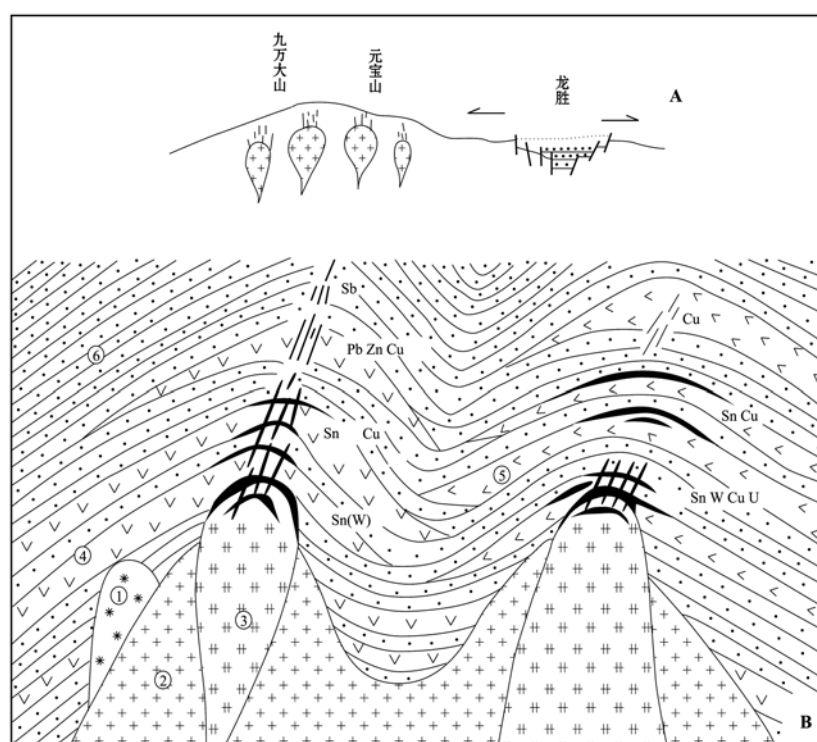


图 2 桂北雪峰期锡铜多金属矿床成矿系列的成矿模式图 (据陈毓川等, 1995)

①片麻状花岗岩; ②片麻似斑状花岗岩; ③中细粒黑云母花岗岩; ④镁铁质-超镁铁质岩(含类科马提岩); ⑤准科马提岩; ⑥四堡群变质岩

Fig. 2 Metallogenic model for Xuefengian Sn-Cu polymetallic metallogenic series

系列, 具有一定的演变规律, 同时具有一定的继承性。

(5) 在经受多期地质构造活动、成矿作用的地质单元中, 早期形成的矿床成矿系列常受到后期的地质作用或成矿作用的不同程度的叠加、改造或再造。

在区域成矿资源评价中, 通过成矿系列建模, 可以总结出区域成矿控制各矿床共同的地质环境, 从而掌握区域成矿的关键因素, 形成区域评价标志组合。成矿系列的相似性说明可以通过成矿系列建模预测相似的成矿未知系列。

2.2 综合信息矿产资源评价方法

该方法是原长春地质学院王世称教授为首的科研集体于 20 世纪 80 年代中期发展的一种矿产资源评价方法, 后经地矿部门推广在区域矿产资源评价中广泛应用。区域多学科地质勘查获取的地质、物探、化探、矿产、遥感等多元信息是区域地质历史演化和成矿综合在不同侧面的反映, 可以通过区域多学科信息资料的综合解释来认识和深化区域地质演化和成矿规律。综合信息矿产资源评价方法的基本原理是: 以地质为先验前提, 全面对区域地质、地球物理、地球化学、遥感、矿产等多元信息进行综合解译, 研究区域成矿规律, 建立区域综合信息找矿模型, 应用计算机手段进行资源潜力定量评价。在多学科资料综合解译过程中, 一方面要以区域地质构造演化发展和成矿作用特征为基本前提; 另一方面又要遵守各学科的基本原理, 应用地质、地球物理信息和遥感信息研究近地表三维隐伏立体地质信息, 应用地质、地球化学、矿产等信息研究成矿物质的表现。综合信息矿产资源评价包括的几个关键步骤为: 综合信息解译和成矿规律图编制、综合信息找矿模型建立和靶区圈定定量预测等。

2.3 矿产资源定量评价

矿产资源定量评价是以计算机信息处理技术为工具, 分析研究矿产勘查过程中获得的各种资料的成矿信息, 通过统计分析, 建立多源地学信息与矿产资源潜力的关系模型, 达到对未知区的定位、定量评

成矿系列问题”的文章, 进一步完善了矿床成矿系列的概念, 并新建了 6 个矿床成矿系列, 提出成矿系列序次的划分(程裕淇等, 1983)。成矿系列内涵特征如下:

(1) 矿化与矿床是地质环境中的一个组成部分, 其成矿作用与各地区地质历史发展阶段的地质构造环境相关, 亦是形成地质环境的地质作用中的一个组成部分。

(2) 在一个矿床成矿系列中成矿作用具有一定的时空演化规律及分布规律, 形成的各种不同成因类型的矿床在时空分布上相互有不同程度的制约, 在成因上具有内在的联系。

(3) 在不同地区或不同时代的相似地质历史构造环境中形成的矿床成矿系列具有相似性, 但同时具有时代与地区性的各自特性。

(4) 在全球及各地区地质历史演化过程中形成的各矿床成矿

价。在这方面,一些代表性的成果有:20 世纪 80 年代加拿大学者 Agterberg (1992) 提出的证据权模型,美国 McCammon 等 (1983) 发展的一套矿产资源经济评价方法体系,赵鹏大 (1999) 院士提出的以“求异理论”为代表的科学找矿评价理论方法体系。当前国际上矿产资源定量评价方法有以美国地质调查局 Singer (1993) 为代表的 3 部式定量评价方法,该方法是一种标准的已矿床模型为出发点的区域小比例尺评价方法,适合国家资源战略分析和区划工作。另外是以证据权为代表的所谓勘查模拟模型 (prospect modeling), 适合中大比例尺的数据综合和评价。

3 “三三”矿产资源评价工作流程分析

3.1 资源评价中成矿系列建模

矿床模型是综合各种地质信息、矿点、地球化学、地球物理信息和资源评价的桥梁。矿床模型是一组相似矿床地质要素特征的综合表征 (裴荣富, 1995), 是对识别该类矿床的指纹特征描述和成因关系的总结。矿床系列则是对区域成矿模式的总结深化, 它是区域一定地质单元在某特定时间内形成的有成因联系的一组矿床 (各种成因类型) 的要素特征的综合表征。区域成矿系列建模对矿产资源潜力评价具有重要的指导作用:

区域成矿系列研究为矿产资源评价综合信息解译和编图提供了地质先验前提。成矿系列是对一定的地质单元中各种固体矿产的分布特征的高度概括, 通过成矿系列建模, 能够了解区域大地构造演化及成矿地质背景, 能够对区域成矿作用时空演化和成因联系有一个总体框架的认识。这些先验知识一方面能够指导对综合成矿信息的提取和分析, 使信息提取有地质时间空间演化的解译; 另一方面又能够有针对性地对辅助综合信息进行有目的的重点解译。如某地区不同类型铜矿床是与中生代壳幔混源中酸性岩浆岩有关, 在综合解译时就要重点对隐伏交代岩体进行分析。

从成矿的整体地质环境及地质作用出发, 揭示矿床之间在空间上、时间上的相互关系, 从而抓住主导的关键控矿因素, 将区域成矿作用与区域地质条件密切联系起来, 从而形成可预测的评价因素, 用主导控矿因素推断、解释成矿容许可行地段, 解决资源评价的主要问题, 为区域成矿容许可行地段的圈定提供依据。

建立成矿系列-矿床模型符合矿产勘查评价的层次原则, 矿产资源评价通常从大区域成矿区带 (二、三级) → 区域矿带 (四级) → 矿田 (五级), 反映到成矿系列上则是: 成矿系列 → 成矿亚系列 → 矿床模型。在国家战略性资源评价的小尺度上, 如美国 1/100 万本土资源评价, 可以根据成矿系列模型圈定成矿容许可行地段。在成矿系列容许可行地段, 再根据矿床模型, 逐步将注意力集中到成矿有利靶区上, 这样就能够有效地指导矿产勘查工作的开展。

3.2 成矿系列建模方法

成矿系列建模的基础资料是区域大地构造图件、区域地质图和矿产地数据库。建模核心是矿床成矿精确定年和成矿环境的识别。建模方法步骤可概括如下 (陈毓川等, 1993):

(1) 首先建立各典型矿床的成矿模式, 确定各类矿床的成矿时代、矿化类型、控矿因素和成矿地质背景。

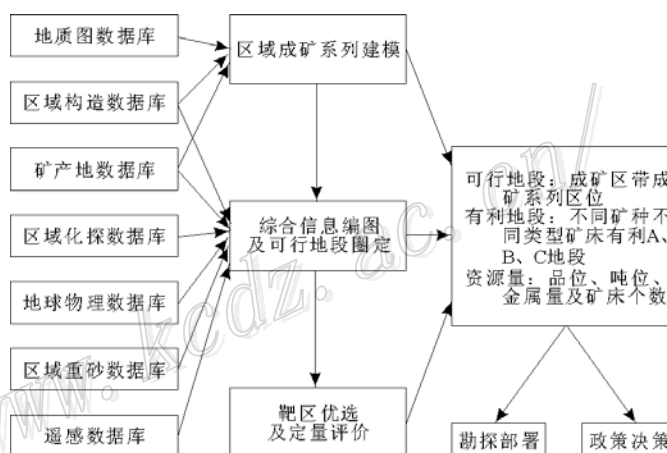


图3 “三三”矿产资源评价工作流程

Fig. 3 Flow chart of “Three Three” mineral resource assessment

(2) 编制和收集区域大地构造背景图。

(3) 研究各类矿产与区域构造地质作用的生成关系,将矿床按成矿地质事件系列化,形成有成因意义的区域成矿系列,总结各矿床系列的组成要素模型。

成矿系列建模研究的主要内容有:①典型矿床成矿系统研究,主要包括研究成矿控矿因素、成矿要素、成矿作用过程和成矿产物(翟裕生等,1999);②区域成矿系列研究,包括区域地质环境及建造对各类矿产的控制作用,区域主要成矿事件和期次及其与各类矿产的关系,成矿系列识别和划分依据等。

成矿系列模型表达内容主要有:①矿床成矿模式内容,包括区域地质背景、容矿岩石类型及结构构造、成矿时代、成矿过程、伴生矿床、矿物组合及结构、围岩蚀变、控矿条件、风化、地球化学标志等。②成矿系列模式内容,包括区域大地构造 成矿建造类型及特征、成矿时代、成矿过程、矿床组合、成矿系列圈定依据、区域地球化学特征等。

3.3 矿产资源评价综合信息解译和远景地段圈定

综合信息矿产资源解译编图是在地质先验前提下,对各种物探、化探、重砂和遥感等资料,在遵循各个学科的基本理论和方法的前提下进行综合地质解译工作,以地质体为研究对象,对各种综合信息进行关联,提取那些与研究对象有关的有用信息(王世称等,2000)。综合信息解译编图原则是:①地质先验前提原则,以区域成矿系列模型和区域基础地质成果为基础,提取和解译相关信息;②以地质体为基本单元原则,各种综合信息是地质体及其作用的不同侧面反映,各个学科的找矿信息在理论上存在与地质体复杂关系,有一种多解性,以地质体为研究对象可以发现它们的内在联系;③遵循各学科的基本原理;④典型解剖原则。

综合信息解译与编图一方面可以对区域隐伏地质建造、控矿构造位置、规模、产状进行识别研究;另一方面又可以对各学科成矿信息进行深化认识,如确定地球化学异常的性质、判别地球化学异常来源等。研究的重要内容如下:

(1) 地质地球物理综合解译。区域地质地球物理综合解译主要利用地球物理的深透视特征,对区域隐伏成矿岩石建造、岩体和构造的三维形态、产状和分布进行识别和推断,从而指导隐伏矿产评价。研究的主要内容有:①重磁资料的定性解译,包括重磁区域场划分、重磁异常体识别及相互关系研究、重磁异常体组合和地质体推测与关联等。②重磁数据处理和定量分析,利用重磁延拓滤波导数等处理和解译,形成三维异常和构造格架,并对重点异常体进行三维反演。③重磁解译成果的综合关联分析,包括水平关联和纵向关联,水平关联确定异常体的性质,纵向关联确定异常的规模和三维分布。

(2) 地质化探矿化信息综合解译。区域化探资料是区域地质和地表景观地球化学的综合物质表现,地质化探信息的综合解译研究化探异常与地质单元、地质体和成矿建造的关系。研究的主要内容有:①使用合理的技术方法圈定和表达地球化学异常和重砂异常,如使用汇水盆地象限图表达重砂异常,使用泛克里格圈定地球化学异常等。②确定异常的性质和追溯异常源,确定地球化学异常是原生异常还是人工表生异常,是隐伏矿异常还是剥蚀剩余异常,是哪种成矿系列和矿床类型异常。研究这些异常可能的来源,如通过汇水盆地跟踪重砂的可能来源。

(3) 综合信息成矿规律图编制。将综合地质重磁、遥感解译的地质构造图与地球化学异常、重砂、矿产综合,形成成矿评价的底图。

(4) 综合信息找矿模型建立。综合信息找矿模型是成矿模型的信息化和资料化,是成矿系列模型向评价模型的信息转换。它具有层次性、统计性、完整性和模式特点,同样有与成矿系列、矿床模式相对应的不同级别模型。模型包括的主要内容有:矿床大地构造背景、矿床地质控矿因素、矿床地球化学找矿标志、矿床地球物理找矿标志和重砂异常找矿标志。

(5) 成矿远景区圈定。在成矿系列模型和综合信息解译基础上圈定成矿容许可行地段和有利优选地段。主要工作有:①利用地质成矿系列和矿床模型圈定区域成矿容许可行地段,如在综合解译含有隐伏岩体的评价图基础上,圈定出与中酸性浅成侵入岩有关的成矿系列远景区,并在成矿系列区域根据矿床地质模型圈定不同类型的矿床远景区;②利用综合信息找矿模型圈定区域成矿有利地段。通过地质、

地球物理、地球化学、矿产地等综合信息的最佳耦合,对成矿容许可行地段进行靶区优选,分出A、B、C类有利地段。靶区优选也可以使用资源定量评价方法进行对比。

3.4 矿产资源定量评价

资源定量评价是应用计算机数学模型对矿产资源潜力进行定量的科学评价,包括评价未发现矿床的个数、资源量及其潜在的地质经济价值。定量评价原则是:

(1) 评价要以成矿模型和综合解译为基础,定量评价首先要解决是评价哪种矿产、哪种类型的资源,其次是评价的基础应是通过综合分析圈定的远景区并使用相应的指标。

(2) 评价是在一定的概率意义下的结果,对地下未发现矿产资源规律的有限性决定了对资源潜力分析有许多不确定性,因此只能用一定统计意义下的评价结果。

(3) 矿床组合因素控矿规律(赵鹏大等,1999),矿床资源潜力因素组合控矿使得我们可以使用多元定量模型建立资源潜力与地质变量多参数评价模型。

(4) 使用GIS高新技术完成资源定量评价,提高评价效率和质量。

矿产资源定量评价研究的主要内容有:

(1) 资源评价地质问题向数学模型转换。使用GIS下的矿产资源评价系统(MRAS),在综合信息找矿模型基础上,从多元地学空间数据库中提取相关的信息,完成变量赋值、转换和选择等工作。

(2) 使用基于矿床模型法的特征分析和神经网络模型进行靶区优选。

(3) 应用逻辑信息法、地球化学异常金属量法、地壳丰度体积法建立有序变量与资源潜力个数、资源量关系模型,或者使用非线性资源量判别模型进行资源量评价。

(4) 建立和识别该地区不同类型矿床的品位、吨位模型,进行蒙特卡罗多参数模拟,形成关于未发现矿产资源潜力的地质经济模型成果。

4 成果表达及结论

“三三”未发现矿产资源评价最终成果表达如图4所示:

(1) 成矿容许可行地段。应用成矿系列模型在综合信息解译成果图上圈定出成矿系列范围,并应用

矿床地质模型在成矿系列范围内圈定不同类型矿床的可行地段。根据大地构造环境和成矿系列可行地段划分成矿区带。

(2) 成矿有利地段。在可行地段范围内运用综合信息找矿模型圈定成矿有利地段,它们是地质、地球物理、地球化学等最佳耦合区域,并进行地段成矿有利性分级。

(3) 各有利地段成矿有利性和成矿概率、矿床个数、未发现资源量及地质经济品位、吨位模型。在可能条件下给出不同类型矿床远景区的普查找矿工作方法和开采条件。

“三三”固体矿产资源评价方法试图将成矿系列理论与

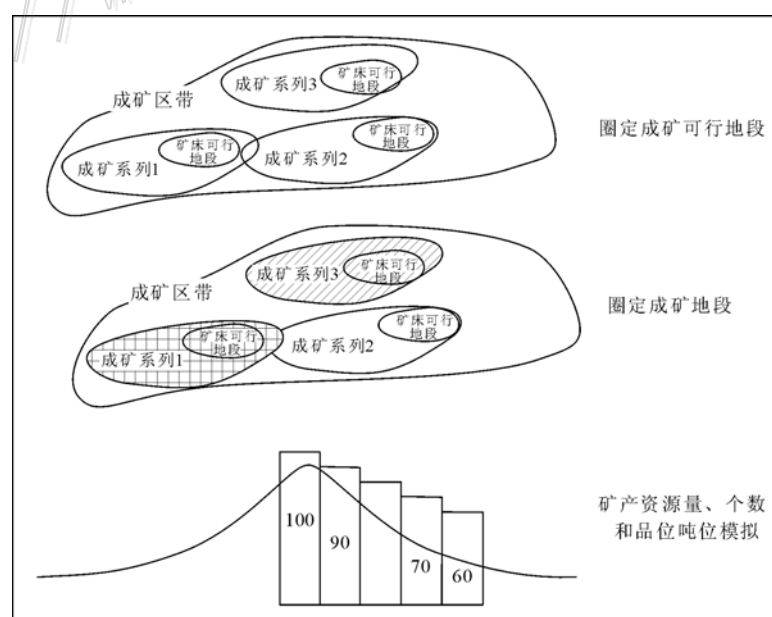


图4 “三三”资源评价成果表达

Fig. 4 The expression of “Three Three” mineral resource potential assessment

综合信息矿产资源评价方法结合起来，它包括成矿系列理论、综合信息矿产资源预测方法和资源定量评价工具等 3 个理论技术支撑；也包括成矿系列建模、综合信息编图和靶区圈定及资源潜力定量评价 3 个工作步骤；还包括成矿可行地段、成矿有利地段和资源潜力定量分析等 3 个评价成果。目前该方法仅是中国西部优势矿产资源潜力评估的项目评价工作框架性成果，期望在西部区域资源潜力评价中得到应用。

致 谢 本文成文中就有关问题与毛景文研究员、王登红研究员及美国地质调查局 Singer 进行了有益的探讨，论文得到陈毓川院士、王世称教授的指导，在此表示谢意！

参考文献

- 陈毓川, 朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 毛景文, 等. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹[M]. 南宁: 广西科学技术出版社. 216
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, (1): 32~58.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1983. 再论矿床成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, (6): 1~64.
- 裴荣富. 1995. 中国成矿模式[M]. 北京: 地质出版社.
- 王世称, 陈永良, 夏立显. 2000. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 翟裕生. 1999. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵鹏大, 陈永清, 刘吉平, 等. 1999. 地质异常成矿预测理论与实践[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- Agterberg F P. 1992. Combining indicator patterns in weights of evidence modeling for resource evaluation[J]. Nonrenewable Resources, 1 (1): 39~50.
- Allais M. 1957. Method of appraising economic prospects of mining exploration over large territories [J]. Management Sci., 3(4): 285~347.
- Cox D P and Singer D A. 1986. Mineral deposit models[J]. U. S Geological Survey Bulletin, 1693: 379p.
- Cox D P. 1993. Estimation of undiscovered deposits in quantitative mineral resource assessments[J]. Nonrenewable Resources, 3(2): 82~91.
- McCammon R B, Botbal J M and Larsen R S. 1983. Characteristic analysis-1981: Final program and a possible discovery[J]. Math. Geol., 15(1): 59~84.
- Singer D A. 1993. Basic concepts in three-part quantitative assessments of undiscovered mineral resources[J]. Nonrenewable Resources, 2(2).

Assessment of Predominant Mineral Resource Potentials and Assessment Method for Metallogenic Series and Integrated Information in Western China

Xiao Keyan, Zhang Xiaohua, Chen Zhenghui and Zhu Yusheng
(Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing, 100037)

Abstract

This paper mainly describes the train of thought for studying the general frames concerning the demonstration technique for the assessment of predominant mineral resource potentials in western China. Combined with the most mature metallogenic theoretical model and the resource assessment technique for regional integrated exploration information, it can not only provide credible geological foundation for the assessment of potentials of mineral resources which have not yet been found, but also represent the utilization level of current exploration information. The methodological system of “Three Three ” mineral resource potential assessment in western China is also discussed in this paper.

Key words: mineral resource, metallogenic series, integrated information, database, quantification assessment, resource quantity, western China