

文章编号:0258-7106(2001)04-0307-06

# 矿产勘查的双控论与合理域模型\*

裴荣富 梅燕雄

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

**摘要** 金属成矿省等级体制成矿研究保证程度与技术-经济条件研究保证程度双因素控制的和对其保证程度相对优选的合理区域,是深化认识矿产勘查-开发客观规律和合理进行评价的新发展,也是把以往仅按在一定地质构造背景基础上,研究不同类型矿床特征及其勘查类型的传统方法,变革为按“景、场、相、床”4个等级体制成矿序次及其随成矿史演化进程的耦合程度,以及有机地结合经济-技术条件进行勘查评价的新方法。重点阐述了等级体制成矿概念的形成、意义和研究内容,提出了地质-技术经济和合理投资的矿产勘查评价三原则,建立了以保证等级体制成矿研究程度和技术-经济条件研究程度双因素控制,以及研究程度相对合理优选区域的矿产勘查模型。

**关键词** 金属成矿省 等级体制成矿 矿产勘查评价

**中图分类号**: P62

**文献标识码**: A

## 1 金属成矿省等级体制成矿概念的形成和意义

### 1.1 概念的形成

在 70 年代以前金属成矿省被定义为:由成矿作用形成的,具有一定矿物组成、一定形态、类型和一定年代的地体;还定义为:由相对丰富的、同一类型矿化为主的成矿区域 (Bate man,1954)。

由于在世界上的一些特殊地区,明显地集中着某些金属及其组合或某些类型矿床及其系列组合 (裴荣富,1997),自然地反映了地壳组份演化的不均一,形成不同地球化学省或块体 (Doe,1991)。它不仅是某种金属成矿的供应源,也是研究矿化分布规律的客观存在。通过对陆壳和洋壳大量金属元素及不同类型矿床时、空分布的深入研究,发现矿床分布和成矿大多数与三大岩类有亲缘关系,甚至无例外的一定类型矿床专属一定构造环境、一定岩石组合和一定地质时代,并偏爱产于受特定地质构造和地质时代双重限定的地壳演化过程的构造动力作用“足迹”中 (Guilbert et al.,1986),尤其是特大型矿床常存在成矿偏在性 (裴荣富等,1993)。实际上,矿床是在地质历史造壳过程中出现的有经济意义的特殊

岩类,它和地层中出现的化石一样,完全可以作为地壳演化的标记。因此,第 28 届国际地质大会开始把成矿作用地质历史演化和矿床形成作为地壳形成、演化特殊标志列为讨论专题 (Hutchinson,1992)。

第 29 届国际地质大会进一步促进了金属成矿省地质历史演化和成矿类比学的发展。任何不同区域和构造背景的不同金属成矿省,在其成矿史演化过程中,都具有同一内部组成及不同层次的成矿演化,即均需经过宏观-中观-微观的成矿进程。首先开始的是孕育在宏观成矿地质构造背景中的成矿场地准备,其次是在背景中出现中观的有利控矿因素的控矿场,可称之为成矿构造聚敛场 (裴荣富等,1998);再次是在场中发生有利制约成矿相的物理、化学作用,可称之为金属成矿相;最后是在一定成矿相中堆积一定结构-构造的矿床 (微观),即“景”、“场”、“相”、“床”4个等级体制及其耦合规律的成矿历程。第 30 届国际地质大会,在由笔者与国际成矿图分委员会主席 Dawson 共同主持的“金属成矿省演化和成矿年代学”讨论会上,重点讨论了金属成矿省等级体制成矿问题 (Pei et al.,1996),从而使之跨入国际,并形成了以等级体制概念研究成矿学的国际氛围。

### 1.2 意义

早在 20 世纪 70~80 年代有人就已开始应用等

\* 本文受国土资源大调查项目“中国成矿体系与区域成矿评价”(编号:K1.4)资助

第一作者简介 裴荣富,男,1930年生,中国工程院院士,研究员,长期从事成矿学和矿产勘查地质学研究。

收稿日期 2001-08-02;改回日期 2001-09-12。张绮玲编辑。

级体制概念研究岩石学和地层学。英、美地质学家已开始建立不同构造环境中分布的不同花岗岩岩基内部都由特定的几个岩石类型单元组成的概念,即按具有一定亲缘关系的花岗岩组合的一定序次出现的同源岩浆演化序列划分出单元、超单元和岩基段3个等级体制(洪大卫,1991),并成功地模拟了科迪勒拉、内华达山脉等岩基的成岩演化。我国对华南花岗岩类深成岩的构造填图也从等级体制研究中获得了显著成绩;又如地层学与沉积学相结合的新学科——层序地层学,也同样是按有等级的沉积层序及全球海平面变化旋回的控制划分为巨、大、中、正、亚和小层6个体制。地层学的等级体制研究不仅是全球水圈相应于天体运动周期的沉积记录,也是对全球和区域地层划分与对比研究的新发展(王鸿祯等,1998)。

金属成矿省等级体制成矿是笔者在国际地质大会多次重点讨论金属成矿省演化的基础上首次提出的。它和岩石学、地层学等级体制有序次地研究成岩演化和沉积旋回的概念是类似的。金属成矿省成矿的内部组成都具有“景”、“场”、“相”、“床”4个从宏观到微观的不同层次。因而,有层次地研究成矿演化规律,特别是对4个等级的最佳偶合机制的研究,不仅可以强化区域的和全球的成矿对比,发展成矿学理论,更重要的是能有序次地从宏观到微观认识矿产的形成规律,对合理地进行矿产勘查评价具有重要实用意义。

## 2 金属成矿省等级体制成矿研究内容

金属成矿省等级体制成矿研究的目标是把一个世纪以来的、仅以在一定成矿构造背景基础上,圈定不同类型矿床而标定成矿区带的固定论,发展为随地质历史推移,按成矿构造背“景”、成矿构造聚敛“场”、金属成矿“相”和结构-构造矿“床”4个等级逐次演进和最佳偶合成矿的活动论概念。这一成矿概念研究的内容包括以下几个方面。

### 2.1 成矿构造背“景”研究

成矿构造背景是宏观上的可能成矿环境。通常,把有利成矿构造背景都看作为两个地质构造单元交接的过渡带或是其地球物理或地球化学显示的各项参数急变带,但是,这些过渡或急变带出现的范围广袤,一般长达上百至上千公里,为此,必须深入研究其延展的不同构造样式,特别应结合矿化传导

不连续性,进一步从成矿背景中提取有利成矿堆积环境。矿化传导不连续性反映区域矿化频率的新概念。矿化频率及其形式是对认识一般构造背景可能出现成矿堆积环境的深化。在裴荣富主编的《中国矿床模式》一书中划分了前寒武纪地块、古亚洲、秦祁昆、特提斯-喜马拉雅和滨西太平洋5大成矿构造域的28个成矿堆积环境,91个矿床类型模式,使具体矿床既见模式之“木”,又见成矿环境之“林”(裴荣富等,1994)。这是从成矿构造背景、环境和矿床的逐级研究,反映宏观与微观不同等级成矿的实例。成矿构造背景、环境研究的保证程度仅能用于矿产地质工作的战略部署。

### 2.2 成矿构造聚敛“场”研究

成矿构造背景、环境是成矿场地的准备(包括地球化学场),它仅反映成矿的大构造环境和物源供应的可能。只有在有利空间和物源基础上进一步发生控矿作用聚敛,即形成成矿构造聚敛场,才有成矿的可能。成矿构造一词引自Laffitte(1986),是指地质的、地球物理的和地球化学的综合控矿因素。综合控矿因素形成的成矿构造聚敛场是在地质历史演化的动态过程中,向某一定点有机汇聚的综合控矿效果,尤其是当聚敛场受特殊构造热事件作用,形成的异常成矿构造聚敛时常是特大型矿床成矿“温床”。作者在对“中国特大型矿床形成的地质背景和预测研究”中,按地质历史演化提出:①太古宙-古元古代同剪形变异常成矿构造聚敛场;②元古宙-古生代三同一异常成矿构造聚敛场;③中生代构造-岩浆“行”、“列”、“汇”异常成矿构造聚敛场;④新生代多阶湖汇流异常成矿、构造聚敛场(裴荣富等,1998)。成矿构造聚敛场研究的保证程度,可作为成矿远景区的勘查评价。

### 2.3 金属成矿相研究

主要研究上述成矿构造背景、环境和成矿构造聚敛场耦合部位的成矿物理化学条件,尤其应该重点注意控矿构造动力机制左右下的成矿化学动力学的实验研究。在成矿作用非平衡态演化过程中提出相对平衡态的条件,即金属淀积的平衡相物理化学参数。例如Anderson(1977)在研究热动力学与硫化物溶解度的实验工作中,提出在80℃与方铅矿平衡流体水的铅离子浓度 $[m_{Pb^{2+}} = m(H_2S)]$ 和 $H_2S$ 浓度(无络离子情况下),只有在 $pH \approx 0.3$ 时,才能出现金属淀积的物理化学条件平衡相。但是这样极酸性的流体是很难存在的。实验结果只有当流体与碳

酸盐岩相接触,发生岩石蚀变,消耗氢离子,使 pH 值接近中性,并将出现方铅矿金属相时,方可使金属沉积成矿(Anderson,1977)。除研究成矿温度、金属离子浓度和流体酸碱度的化学动力学成矿参数外,还需研究氧逸度、盐度、压力等多种物理化学参数。最近张荣华(Zhang et al.,1991)在研究地球内部流体实验工作中,观测了高温高压下的 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系,并提出新水热系统溶液性质的矿床分类,划分出稀溶液型[ $w(\text{NaCl})_{\text{eq}} = 3\%$ ],卤水型[ $w(\text{NaCl})_{\text{eq}} = 3\% \sim 8\%$ ]和超浓卤水型[ $w(\text{NaCl})_{\text{eq}} > 50\%$ ]三类,其中卤水型又按临界温度( $< 374\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $> 374\text{ }^\circ\text{C}$ )划分为两期。这一分类反映了温度、压力、流体浓度等化学动力学的不同参数促成一定类型矿床成矿相的形成。金属成矿相研究是深化认识成矿机理的重要内容,其研究保证程度可作为成矿靶区的勘查评价。

## 2.4 结构-构造矿床研究

这是在上述“景”、“场”、“相”研究的基础上,对已发现矿床(点)本身成矿结构及其空间配置规律的研究,包括组成矿床最基本单元的矿物共生组合、蚀变分带、矿体垂向、侧向变化和成矿期次等。建立矿床结构-构造模式,如西华山-大吉山钨矿床“五层楼”结构,九瑞地区铜金矿“三位一体”结构和美国科罗拉多 Climax 和 Henderson 世界级钼矿床的上、下部矿体的扣钟结构等(Wallace,1978)。矿床结构-构造研究是深化认识矿床变化性的主要内容,其研究保证程度可布置勘查工程。

上述等级体制成矿研究的关键问题是解决成矿省内部组成的四维演化和“景”、“场”、“相”、“床”4个成矿等级体制在地质历史进程中的耦合规律。为此,要密切结合成矿年代和成矿地质热事件,研究其发生和发展及成矿流体的驱动、成矿物质的传输和堆积作用(裴荣富,1997),尤其应以“时间维”造就“空间维”的成矿新思维,重点研究成矿事件过程及传导不连续性和4个等级体制成矿的动态组合、聚敛机制和耦合梯度。若其耦合梯度较陡,即4个等级体制密切叠置,将可能形成大矿,否则梯度缓,等级体制不叠置或互相配置不密切,则成矿不佳。

## 3 矿产勘查评价

### 3.1 原则的确立

矿产勘查评价是欧美国家通用的术语。在我国,它应包括区域成矿远景评价、矿产普查评价、矿

产勘探评价和矿产开发评价4个不同阶段(层次)。矿产勘查评价工作虽然是以符合矿产经济技术条件要求为主,但是,在勘查过程中,必须建立在金属成矿省等级体制成矿研究的基础上。很难想象没有对一个成矿区带及其赋存矿床进行过详细的等级体制成矿研究,而能够取得科学的矿产勘查评价,也就是说矿产勘查评价必须科学地掌握不同层次成矿全过程的客观规律,才能圆满地实现合理的矿产勘查评价。当然,还要强调经济投入的合理性,否则将难于进入市场经济。但是由于矿产勘查工作具有很大不确定性和风险投资极高而不同于其他工业的工作性质。因此,除市场经济调剂外,还要根据国家矿产资源特殊需要,深入研究矿产勘查工作高风险投资政策,以刺激矿产勘查评价的发展。据此,作者提出矿产勘查三项原则:

(1) 必须反映从成矿区带等级体制成矿到勘查工作全过程的客观规律;

(2) 必须以成矿等级体制研究和技术-经济条件研究保证程度的双控因素,以及以其控制的相对性和优选性作为合理评价准则;

(3) 必须以风险投资的市场经济性和特殊政策要求作为合理矿产勘查评价的尺度。

### 3.2 矿产勘查模型的设想

矿产勘查模型西方国家称之为“勘查艺术(逻辑)”,东方国家则称之为“规范”、“规程”。把“识别每种地质环境,并建立相应环境有关地质模式和寻找某种环境中特定矿产的有效勘查方法”称为“完整勘查程序”(裴荣富,1998)。Hutson(1980)在其“太古宙金矿的勘查模式”一文中进一步探讨了“完整勘查程序”的理论,并强调了环境(成矿构造背景)、模型(成矿特征)和方法(勘查评价和经济投入)的有机联系。Reedman(1979)在他论述矿产勘查技术的基础上,进一步提出勘查风险与投资理论值,反映了合理风险投资问题。前苏联 Каждан(1980)还提出矿产勘查评价的矿产储量必须保证满足矿产开发利用的技术经济要求。Milos 和 Miloslov(1978)也提出勘查评价投资百分比和评价周期的可能年限等等。综合上述的论断明显地反映了矿产勘查评价必须建立在成矿地质背景、矿产地质特征的基础上,合理地使用矿床成矿理论、勘查程序、方法和技术经济评价以及风险投资等问题。

作者根据矿产勘查评价的发展形势和我国多年矿产勘查实践经验,特别是结合近年形成的金属成

矿省等级体制成矿新概念和上述矿产勘查三原则提出矿产勘查评价模型设想(图1)。

从图中可以看出这个模型设想是在区域地质调查和成矿远景区划基础上,由等级体制成矿研究保证程度(纵坐标)和技术经济条件研究保证程度(横坐标)构成。在图1上,双因素控制的一条勘查评价与开发程序曲线(粗线),我们称之为矿产勘探评价“双控论”曲线。

这条曲线在坐标图上的斜率是按等级体制成矿研究保证程度(a)与技术-经济条件研究保证程度(b)双控因素在勘查过程中各自投入多少的不同比例计算的,按曲线由初始到终结 a/b = 5, 3, 2, 1, 0, 3, 5 不同斜率的比例不同,划分为 I、II、III、IV、V、VI、VII 这 7 个勘查评价层序, 8 个不同评价程度的矿床(1—8)和 5 个不同评价的矿山(9—13), 使矿产勘查评价不仅建立在成矿等级体制不同层次研究程度的基础上,而且达到技术-经济条件可行程度的要求。技术-经济条件包括矿区水文地质、矿山开采技术、矿石加工技术和矿山建设的可行性研究等。VI、VII阶段又强调提高地质研究程度的目的,在于发现新矿体和延长矿山寿命。另外,图1中标出的普查勘探与开

发阶段的界限带(阴影)和最优界限(实线)是反映合理勘查评价相对性和优选性的。因为矿产勘查评价在理论上存在最优界限,但必须投入费用极大。因而在界限带内,按成矿等级体制、技术-经济条件研究保证程度达到投入经费相对合理时,从中优选不同勘查阶段的界限,使之既满足研究保证程度的要求,又能为经济条件的允许。我们把该界限带称之为“合理域”。即在“合理域”内优选的保证程度是最经济合理的。另外,图1中不同评价阶段标定的评价阶段工作周期(分子)以年为单位和占全部勘查过程的投资百分比(分母)是根据国外大量勘查资料统计的,是评估勘查效益的重要参考指标。在国内尚缺乏系统研究数据。这些数据也是促进勘查评价成果走向市场、合理进行风险投资和刺激找矿工作发展的重要研究内容。

### 3.3 矿产勘查工作决策支持系统

在上述矿产勘查原则和勘查模型的基础上,建立矿产勘查决策支持系统是合理进行勘查工作的重要举措,勘查工作决策支持系统应考虑勘查工作的不同勘查阶段、不同矿床地质复杂程度以及勘查技术的经济条件、工作目的任务、勘查范围等决策其勘

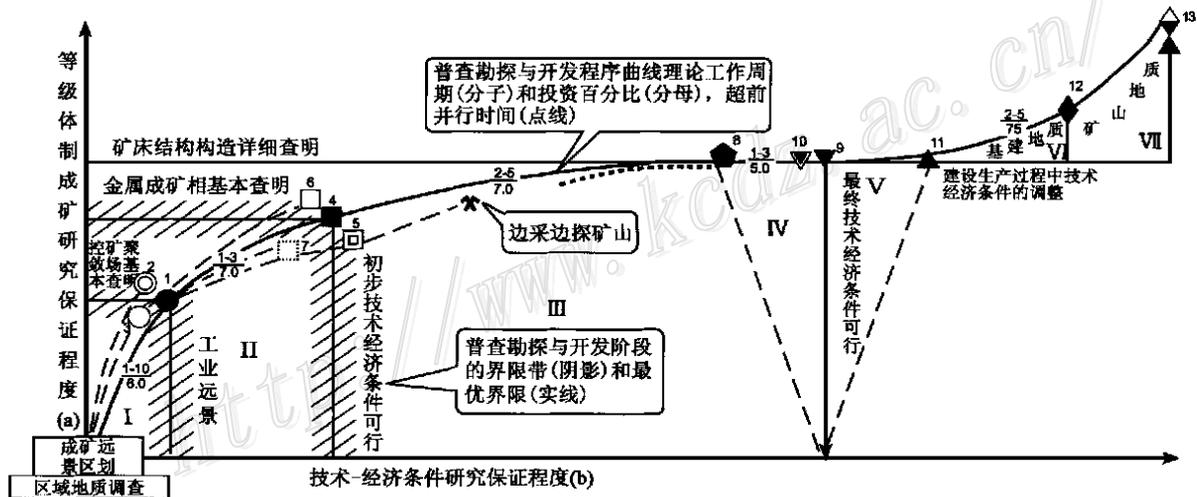


图1 矿产勘查评价模型设想

I—矿产普查; II—矿床勘探(初步); III—矿床勘探(详细); IV—矿山建设可行性研究; V—矿山建设; VI—矿山基础建设矿床地质研究; VII—矿山生产矿床地质研究; 1—可进行勘探(初步)矿床; 2—工业远景不明矿床; 3—无地质和工业远景矿床; 4—可进行勘探(详细)矿床; 5—成矿复杂但具开采技术经济条件初步可行矿床; 6—成矿基本查明但具未来开采技术经济条件可行矿床; 7—成矿复杂不具开采技术经济条件可行矿床; 8—可进行初步矿山建设设计矿床; 9—按计划任务进行建设设计矿床; 10—达到最终开采技术经济条件可行研究的技术储备矿山(暂不建设); 11—投资单位基建矿山; 12—已建成矿山; 13—已投产和持续扩大远景矿山;图中粗实线为普查勘探与开发程序曲线,连接的1,4,8,9,11,12,13为可行勘查和开发矿床,断续连接的2,3,5,6,10为不具现行勘查矿床,点线为超前并行勘查时间,曲线中的分数为理论工作周期(分子)和投资百分比(分母)

Fig. 1 Conceptual model of mineral exploration assessment

查成果、周期、投资大小和风险比例(图 2)。从图 2 中可以看出,普查阶段以成矿地质构造背景和成矿堆积环境和简要的经济-技术条件试验研究为主,勘查任务是回答何处找矿和哪里有矿,目的是圈出有利成矿远景区。例如大-中等范围的小-中比例尺工作,数月数年,投入小,以不足总勘查费的 10% 为限,风险可允许大到 100%。矿床评价勘查阶段则以进入成矿构造聚敛场和金属成矿相详细的及经济技术条件初步的研究为主,勘查任务是回答勘查对象是否具工业意义,目的是提供现时工业意义矿床或仅具将来意义或具边采边探或予以否定的矿床,工作范围小于几平方公里,采用中-大比例尺工作年到数年,投入中等,最长达总勘查费用的 25%,风险小于 50%;矿床工业勘探阶段则以进行矿床结构-构造

的详细研究,回答矿山如何开发或暂不设计供技术储备的矿床的研究为主,采用大比例尺,工作范围小于 1 km<sup>2</sup>,一般 1~2 年完成。

### 4 结 语

金属成矿省等级体制成矿概念是继岩石学的花岗岩单元-超单元等级体制成岩和地层学的等级体制层序地层学之后,提出的研究成矿学的新问题,是对有层次地研究成矿区带成矿的新发展。这一问题在 30 届国际地质大会上提出后,已开始迈入国际讨论的范围,尤其是把这一概念应用在矿产勘查评价工作中,预期将有新的突破。今后,希望在成矿省等级体制成矿研究基础上,有序地开展矿产勘查评价,

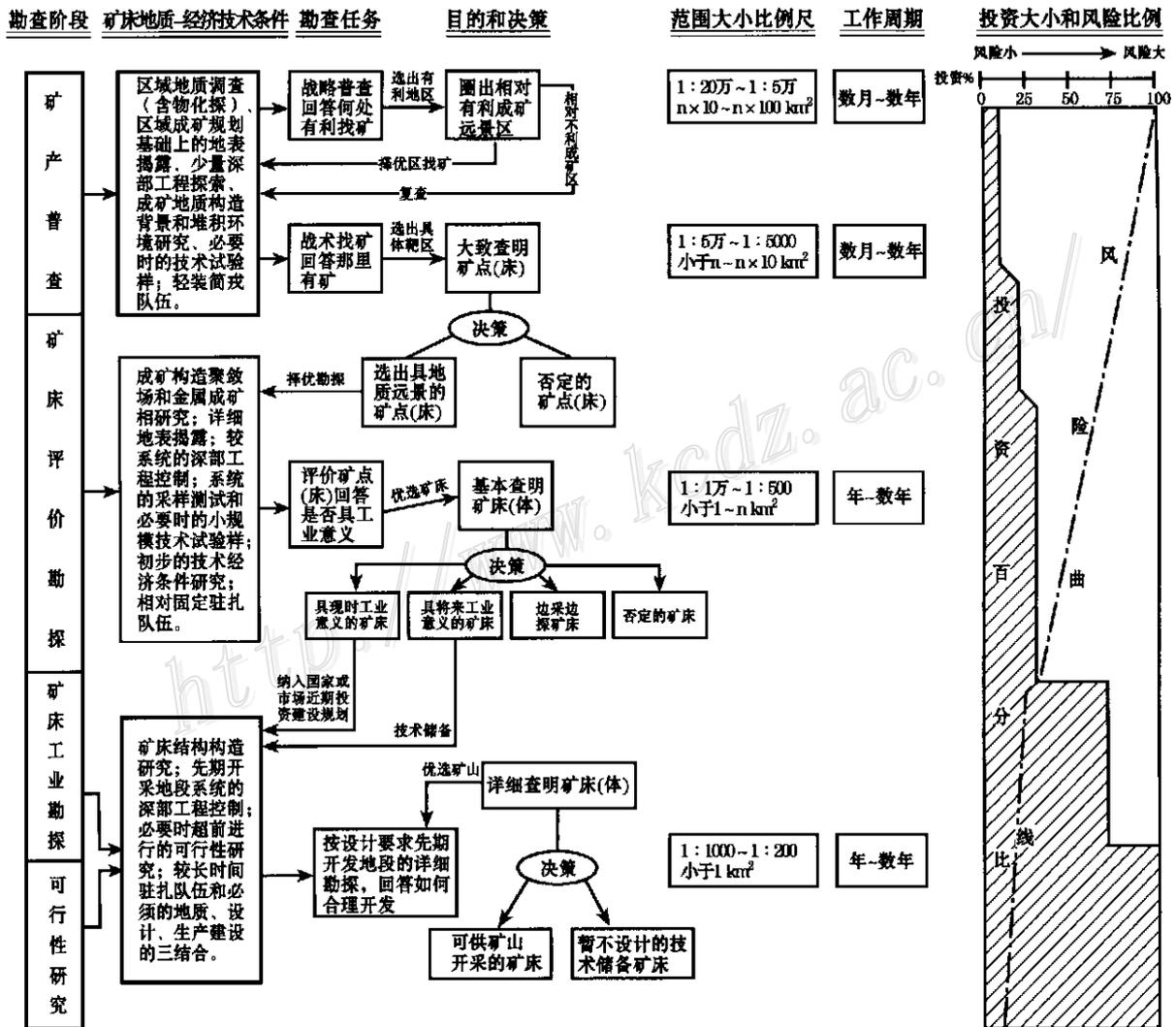


图 2 矿产地质工作不同勘查阶段决策支持系统

Fig. 2 Geological decision supporting system at various exploration stages

建立典型成矿区带的研究实例,以便从理论上和实际应用上进行推广。矿产勘查评价的“双控论”和“合理域”是结合矿产勘查实际,正确认识评价工作的重要论断。矿产地质工作不同勘查阶段决策支持系统是提高勘查工作效率和合理进行勘查投入的重要举措。

#### 参考文献

- 洪大卫. 1991. 有关花岗岩等级体制的分歧和争论[J]. 地质科技通报, (7): 55~62.
- 裴荣富. 1997. 成矿学和成矿年代学研究的新进展[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 第1号.
- 裴荣富, 吴良士, 熊群尧. 1993. 矿床作为大构造标志研究的意义, “亚洲的增生”[M]. 北京: 地震出版社. 95~100.
- 裴荣富主编. 1994. 中国矿床模式[M]. 北京: 地质出版社.
- 裴荣富, 吴良士, 熊群尧, 等. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性和成矿构造聚敛场[M]. 北京: 地质出版社, 262~284.
- 裴荣富. 1998. 试论固体矿产普查勘探与开发的合理程序[J]. 中国地质科学院院报, 第五号: 1~16.
- 王鸿祯, 史晓颖. 1998. 沉积层序及海平面旋回的分类级别[J]. 现代地质, 12(1): 1~16.
- Anderson G M. 1977. Thermodynamics and sulfide solubilities [A]. In: Greenwood H. J. ed. Application of thermodynamics to petrology and ore deposits mineralogical association of Canada, Toronto [C].
- Bateman A M. 1954. Economic Mineral Deposits [M]. New York: Wiley. 316~325.
- Doe B R. 1991. Source rocks and the genesis of metallic mineral deposits [M], Global Tectonics and Metallogeny, 4(1 & 2): 25~30.
- Guilbert J M and Parks J C F. 1986. The Geology of ore deposits [M]. W H. Freeman and Company, 67~78, 935~946.
- Hutchinson R W. 1992. Some broad processes and effects of evolutionary metallogeny [A]. Abstracts of 29th IGC, 1.
- Hutson R J. 1980. Exploration models for gold in the Archean [J]. Canadian Mining Journals, April: 20~28.
- Laffitte P and Permingeat F R. 1986. Cartographie metallogenique, metalotect et geochemie regionale [J]. Soc. Franc. Miner. Bril, 88: 3~6.
- Milos K and Miloslov B. 1978. Prospecting and exploration of mineral deposits [M], Amsterdam, Elsevier, 58~69, 101~120.
- Pei R F and Dawson K M. 1996. Symposium I-4 “Evolution of Metallogenic Province Through Geological Time and Ore Forming Geochronology” [A]. Proceedings of 30th IGC [C]. Beijing. 6~61.
- Reedman J H. 1979. Techniques in mineral exploration [M]. London: Applied Science Publishers Ltd. 35~45, 56~69.
- Wallace S R. 1978. Geology of the Urad and Henderson molybdenite deposits [J]. Econ. Geol., 73: 325~68.
- Zhang R H and Hu S M. 1999. Experimental observation of the ore-forming fluid NaCl-H<sub>2</sub>O system in the earth Interior [J]. Acta Geologica Sinica, 73(1): 47~64.
- Каждн А Б. 1980. Лринпы к л сификаций за л сов, Твердых По лзных Ископаемых Советская Геология [M]. 35~45.

## Mineral Exploration Model of Double Control and Reasonable Area

Pei Rongfu Mei Yanxiong

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

#### Abstract

Hierarchy systematic metallogeny in a metallogenetic province is based on the principle that a coupling regularity of metallogeny is formed by a dynamic ore-forming process of four metallogenetic levels of “tectonic setting”, “metallotect convergence”, “metallogenetic phase”, and “ore deposits” through geological time in a metallogenetic province. The concept of hierarchy systematic metallogeny in a metallogenetic province has been proposed which aims at deepening the cognition for evolution of metallogenetic province through geological time and developing the reasonable assessment of mineral exploration. It also greatly reforms the conventional assessment method of mineral exploration based only on delineating the temporal and spatial distribution of different types of ore deposits in a certain tectonic setting. This paper has elucidated the formation of hierarchy systematic metallogeny as well as its geological significance and research contents, proposed three principles of geological economic technique and reasonable investment for assessment of mineral exploration, established a conceptual exploration model according to the double controlling factors both of the research extent of hierarchy systematic metallogeny and of the economic technique condition, and also set up a “reasonable assessed area” of relativity and optimization of exploration stage with economic investments.

**Key words:** metallogenetic province, hierarchy systematic metallogeny, mineral exploration assessment