

成矿多样性与矿床谱系

赵鹏大 陈建平 陈建国

(国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室, 武汉 430074)

摘要: 成矿多样性是成矿事件的根本表现, 它不仅表现为一个矿床在成因、形态、尺度、矿石类型、矿石组合、有利及不利组分上的多样性, 还表现在矿床、矿田、矿带、成矿省、成矿区域及成矿时期上的多样性。成矿多样性在成矿物质基础上受矿源地质异常控制, 在成矿物质运移上受运矿地质异常控制, 在聚矿作用上受赋存环境地质异常控制, 在成矿后的变化上受保矿与毁矿地质异常控制。因此, 可以通过地质异常背景的研究来揭示成矿多样性的具体特征。矿床谱系在时间、空间及成因上与成矿多样性密切相关, 它在评价与预测新类型矿床中起着极其重要的作用。因此, 了解成矿多样性与矿床谱系, 对研究超大型矿床、成矿流体、区域矿化以及揭示成矿规律, 具有十分重要的指导意义。

关键词: 成矿多样性; 矿床谱系; 地质异常。

中图分类号: P612 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)02-0111-07

作者简介: 赵鹏大, 男, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 1931 年生, 1952 年毕业于北京大学地质系, 1957 年获莫斯科地质勘探学院副博士学位, 现从事矿产普查与勘探和数学地质的教学和科研工作。

1 成矿多样性问题

多样性是复杂系统中客观事物外在表现的基本特征, 它是系统内部各种因素自身演化与外部环境影响相结合的结果。生态环境恶化使生物多样性受到严重威胁已成为当今人们关注的热点, 对于无机界的矿床同样由于成矿物质自身的演化与外在地质环境的影响相结合而有多样性表现。

长期以来, 人们更多关注“成矿专属性”问题, 例如, 岩浆岩成矿专属性的研究曾在指导找矿中发挥了重要作用。然而, 成矿专属性只是成矿多样性的一种特例或表现形式之一, 成矿多样性则具有更普遍和更基本的意义。尽管如此, 人们对成矿多样性的研究是很少的。美国学者 J. C. 格里菲思(1978, 1980, 1984) 在进行矿产资源单位区域价值估计研究中提出了“矿产多样性”和“地质多样性”的概念, 而且认为两者之间存在着相关联系(据文献[1])。De Caprariis^[2] 在研究物种多样性的估计方法时, 认为物种丰度是多样性最简单的度量。格里菲思的“地质

多样性”是指某地区的时代岩性类型数减 1(即丰度 $S-1$), 而“矿产多样性”则为地区矿种数减 1。Gill 等^[3] 研究了以色列矿产资源的区域价值, 根据研究程度较高地区所建立的地质多样性与矿产多样性之间线性回归模型估计, 以色列的地质变异度(多样性)为 10, 可以预测存在有 31 种不同的矿产。因为只有 19 种进行了开采, 故还期望有 12 种矿产可以开采, 这种类型的区域价值估计, 格里菲思等在美国本土也进行过, 并作为矿产资源总量估计的 6 种方法之一而加以推广(据文献[1])。

从地质异常致矿理论出发, 地质异常是矿床形成的前提条件。控制成矿的地质异常是由多种成矿必要因素各自异常的有机组合或耦合而成的综合地质异常, 如: (1) 矿源、水源及热源异常的组合与匹配提供成矿的物质基础和动力基础; (2) 导矿、散矿与运矿构造异常的组合与匹配提供成矿物质运移和动力传输的途径; (3) 含矿、聚矿和成矿构造异常的组合与匹配提供成矿物质的聚集和赋存空间; (4) 成矿前、成矿时和成矿后构造异常的组合与匹配提供矿床形成必要的时间和保存条件。所有上述异常的产生皆是成矿过程中与地质构造和成矿物质相关联的物理、化学、生物及地质环境发生失常、失稳和

表 1 成矿多样性在不同成矿尺度的表现

Table 1 Representation of mineralization diversity in different metallogenetic scales

多样性 尺度	矿种		成因类型		形态类型		规模		品位		产状	
	常见	少见	常见	少见	常见	少见	常见	少见	常见	少见	常见	少见
矿体尺度	单矿种	多矿石 类型	单成因		单一		单大矿体或 单小矿体		单或多种 矿石品级		单一 多种	
矿床尺度	单矿种、多 矿石类型	多矿种	单或多种成因		单一	多种	多小矿体、单大矿 体加多小矿体	多大矿体	多矿石品级	单矿石 品级	多种	单一
矿田尺度	多矿种、 单矿种		多或单成因		单一或 多种		多小矿床、单大矿 床加多小矿床	多大矿床	多矿石品级		多种	
矿区(带) 尺度	多矿种	单矿种	多成因	单成因	多种		单大矿田、 多小矿田	多大矿田	多种		多种	

表 2 非传统矿产资源的成矿多样性

Table 2 Mineralization diversity of nontraditional mineral resources

类别	表现形式	矿产举例
尚未被发现的矿床	新类型	黑色页岩中的 Pt、Pd 矿, 石油中的金属矿产
	新领域	海洋矿产资源, 铁锰结核、富钴结壳
	新深度	无机成因天然气藏
尚未被利用的矿床	新工艺	难选金属、非金属矿石、人工矿床
	新用途	药用矿物及岩石、环保矿物及岩石
	新要求	新型产业要求的具有光、电、磁、声、热等特殊性能的矿物与岩石

失衡变异的结果^[4]。正因为控制矿床形成的地质异常因素多种多样, 而且即使同样的因素其异常强度和广度也各异, 加之地质异常的组合各式各样, 演化过程复杂, 这就决定了成矿的多样性^[5]。成矿多样性在不同成矿尺度下的表现概括于表 1。

成矿多样性问题不仅要从目前已知的或已被利用的矿种和矿床类型出发, 而且还应从目前尚未被发现或尚未被利用的“非传统矿产资源”角度来考虑(表 2)。

2 矿床谱系问题

成矿多样性的某种规律性序列表现就是矿床的一种谱系, 矿床的规律性序列可以表现在成因上、规模上、成分上、数量上和质上, 以及它们的组合上, 但最基本的是表现在成矿时间上和成矿空间上的“有序性”和“成套性”^[6]。

2.1 矿床的时间谱系

矿床的时间谱系可以从不同尺度加以研究。前苏联著名矿床学家 B.И. 斯米尔诺夫院士从地槽学说出发, 分析了整个地球历史过程中的成矿时间, 他将整个地质时期划分为时间间隔不等、等级不同的

成矿时间段落, 即划分为成矿时期、成矿时代及成矿阶段三级, 他将地球成矿史划分为 6 大成矿时期。俄著名大地构造学家 B. E. 哈茵院士等从板块学说出发, 将地球划分为 5 大成矿期(据文献^[7])。

从以上资料可以看出: 何种成矿物质在何时、何地以何种方式富集成矿是与地球发展演化历史, 特别是与构造—岩浆—沉积—变质等作用的发展演化分不开的。矿床是地球历史的产物, 它的“时序性”十分明显。了解矿床形成的时间谱系, 对评价不同时代的成矿作用, 预测各地质时代最可能发生的矿床, 特别是超大型矿床具有十分重要的指导意义(表 3)^[7]。

2.2 矿床的空间谱系

矿床空间分布的规律序列构成矿床的空间谱系。从宏观上, 矿床空间分布受大地构造特征的控制。B.И. 斯培罗什金等^[7]认为: 全球大地构造环境决定了岩浆、沉积及成矿特征, 它控制着成矿省、成矿区的位置及性质, 反映大地构造环境的地壳类型很多, 如主动和被动大陆边缘、毕鸟夫带、洋中脊、岛弧、深海沟、造山区带、构造岩浆活化区、边缘及地台内盆地及线性体等。由于这些构造在空间的分布是有序的, 因此, 不同构造所制约的矿床分布也是有规律的。例如, 世界上已知 20 余个 P₂O₅ 储量超过 1 亿吨的含磷盆地, 它们分属于 6 大磷块岩省而且几乎都分布在靠近现代或古代大陆边缘处, 另据 H. M. 斯特拉霍夫对沉积矿产空间分布规律的研究, 从大陆向海洋方向随沉积环境的变化而发生铝、铁和锰矿床的有规律的交替(据文献^[7])。这种空间分带性是这些金属胶体颗粒在淡水和盐水溶液中活动性不同的结果。

具体到每一个含矿盆地, 铝、铁、锰的富集也服从于一定的沉积条件。例如, 铁矿床, 随离海岸线距离的增加有如下的分带性: 氧化物型(褐色)→氧化

表 3 地球与成矿演化

Table 3 The Earth and mineralizing evolution

基本地质 成矿期	成矿时代 (B. H. 卡 米尔斯诺夫) 杰林科)	对流发展 旋回/Ma	构造活跃度 ($\tau \sim 10^{16}$) W	大陆壳体积/ 及增长速度/ ($\text{km}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	岩石圈板块运 动平均速度/ ($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$)	形成 成矿省速度	形成超大型矿 时间/Ma	形成矿床的主要时代/Ma				
								成矿省 矿床举例	Fe- 石英岩	金	锡	伟晶岩
据 O. I. 乌沙科夫												
V. 深部地幔 分异, 板块回 造机制旋回 功能化	阿尔卑斯 基米里 海西 加里东	潘基亚	4 5	0.28 3% 0.5	8	成矿省和矿床 的形成仅仅开 始加速机制	325~370 450~550 800~1000	楚基卡木图 乌拉尔, 北高加索 斯基第纳维亚, 阿帕拉 契黄铁矿型铜矿	0~0.1 370~ 410 550~ 600		220~ 400	
IV. 初始地壳 的多次改造, 微弱的成矿 活动	贝加尔 格林威尔 哥特	冈瓦那 470 410 大基亚	7 8	1.0	10~11 30		1800~ 2000	霍洛多尼, 加列夫 Pb - Zn 肖德贝里, 彼钦格 Cu - Ni 布罗肯希尔	1800~ 1900	1000~ 1100 1800~ 2050	1500~ 1550	
III. 初始泛大 陆(板块构造 机制活动开 始)	卡列里 白海	380 单基亚	10 21	2.0	50 200	在短时间的 高速构造变动 中形成矿床	2285~ 2300	马翁特爱孔黄铁矿型 Cu 矿, 霍姆斯提克 Au 布什维尔德 Cr-Pt, 乌德坎 Cu	1800~ 2400 2300~ 2800		1900~ 2000	
II. 形成陆壳 的基础	科拉	38~26 亿 a 期间 有 16 个旋回, 开 始为第 20~50 Ma, 最后为 200 Ma, 小板块尺寸 为几百 km, 厚度 <30 km, 存在时 间 <16 Ma	15 25	50% 7.1	120 270	裂谷、钾质花岗 岩类形成的机 制加快	2600~ 3000	维特瓦特兰德 科拉尔 卡尔古里 Au	2800~ 2950			
I. 薄层岩石 圈板块、绿岩 带褶皱及隆 起期	格陵兰		7 10	3.3~3.2 15% 3.6~3.3	5 50	在地台板块很 低的拉张速度	2900~ 3500 3700~ 3800	阿纳巴尔云母及稀有 金属伟晶岩 伊苏阿、艾比蒂比 Fe	2950~ 3700		3380~ 3420	

此表引自 B. H. Старостин [7].

表 4 矿床谱系分类

Table 4 Spectrum classification of ore deposits

分类	类型	矿床举例
矿床成因谱系	地表次生、地下原生矿床系列谱系	Au,Sn等砂矿与原生矿
	岩浆期后高、中、低温热液矿床系列谱系	Au,Ag,Pb,Zn,Hg,Sb系列
	岩浆分异矿床系列谱系	Cr,Cu-Ni底部、中间及浸染型
	岩浆岩体内、外接触带矿床系列谱系	斑岩型Cu,Mo,矽卡岩型Cu
	风化壳矿床系列谱系	赤铁、富铁矿与含铁石英岩型
	火山、次火山矿床系列谱系	玢岩铁矿系列、块状硫化物矿床系列
	沉积矿床系列谱系	沉积Fe,Mn,P,Al矿床系列
	变质矿床系列谱系	前寒武结晶基底绿(片)岩建造系列
	矿床空间谱系	成矿温度分带谱系
含矿岩相分带谱系		沉积Al,Fe,Mn矿床
含矿构造单元分带谱系		环太平洋W,Sn,Ag,Au,Pb-Zn-Mo
成矿深度分带谱系		地表、浅成、深成、超深成矿床
次生变化分带谱系		硫化矿床铁帽、淋滤带、次生富集带、原生矿
矿床时间谱系	不同含矿层位矿床谱系	不同时代地层油气储集层、沉积矿床
	不同成矿阶段矿床谱系	氧化物-硫化物-碳酸盐阶段矿床
	不同构造旋回矿床谱系	燕山早、中、晚期矿床
	不同成矿时代矿床谱系	喜马拉雅、燕山、海西、加里东期矿床
	不同成矿阶段矿床谱系	格陵兰、科拉等成矿期矿床

物及水硅酸盐型(烟草色)→氧化物含菱铁矿、硬石英及锰的水氧化物型(鱼子色)菱铁矿型,黄铁矿—白铁矿型.对于锰矿也有类似的分带变化,这些都是受矿床形成环境的有序变化而造成的矿床有序变化,从而构成不同尺度的矿床空间谱系.形成于不同深度的矿床也构成一种空间谱系,B.И.斯塔罗斯金对成矿深度做出划分:(1)近地表带(0.0~1.5 km);(2)浅成带(1.5~3.5 km);(3)深成带(3.5~10 km);(4)超深成带(>10 km)(据文献[7]).

除大地构造、沉积环境、成矿深度控制矿床空间分布的有序性外,具体含矿构造特征的变化、成矿温度压力的变化、成矿阶段的序次演化,以及成矿后的次生变化等都可以造成矿床的水平或垂直分带.这种分带有时表现为不同矿种或不同矿种组合的交替,有时为不同成矿元素或矿物组合及矿石类型的变换,或可能是不同成因类型和不同形态类型的分带.这种分带性一般存在于矿田、矿床或矿体范围内,查明由此形成的矿床空间谱系对于大比例尺的局部预测往往具有重要的指导意义.

И.В.隆德克维斯特(1986)在分析矿石建造时将其划分为空间序列、时间序列及成因序列(演化序

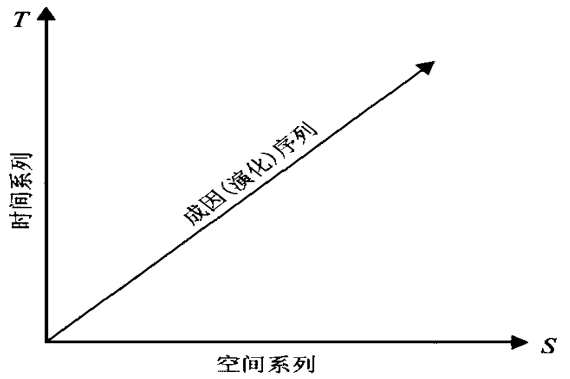


图 1 在时空坐标系中矿物集合体(岩石、矿石、矿石构造)的时间、空间及成因(演化)序列的相互关系(据文献[7])

Fig. 1 Relationship between space, time and origin of mineral aggregation (rock, ore, structure)

列)三类,它们三者之间的关系如图1所示(据文献[7]).从成矿角度分析,在同一成矿时期,矿床可以形成于不同空间部位;反之,也可以在同一空间部位有不同时期形成的矿床叠加或改造.但更多地是不同时期形成的矿床产于不同的空间部位.所以,在一个地区进行成矿预测及评价时,应该注意分析

它们的时间、空间和成因序列, 建立矿床的时间谱系、空间谱系及与两者相关的成因谱系. 这种序列和谱系分析可以在不同的尺度水平上进行, 如矿区、矿田、矿床和矿体的水平上进行. 这种分析应以对不同尺度和不同类型的地质异常分析为基础, 从而找出制约成矿多样性与成矿谱系的地质动力—结构构造—物质组分—成因序次方面的原因, 为地区成矿的科学预测与全面评价提供必要信息.

矿床谱系分类初步概括于表 4.

3 成矿多样性分析实例

成矿事件本身是一个典型的“地质异常”现象, 成矿多样性是成矿事件的根本表现和客观存在. 区域成矿作用总是以不同方式表现为某种矿化现象, 成矿多样性具体反映出成矿谱系特征的不同方面和细节, 是建立区域成矿谱系的重要基础^[8].

3.1 时间谱系分析

时间谱系分析主要是通过挖掘研究区地质演化历史的地层信息, 特别是对主要成矿时代地层信息的有效提取, 进而确定研究区的主成矿期、成矿作用的叠加与改造, 成矿时间与成矿时代多样性特征^[9]. 图 2 是对研究区单位面积内地层种类数多少的统计结果, 由此反映出研究区的地层主体受北西—南东向构造的控制, 经受构造变动强烈的局部表现为地层多样性的高值部位. 对比已有区域成矿资料反映出与成矿有关的地层主要有: 中三叠统上兰组、上三叠统三合洞组和挖鲁八组、下侏罗统漾江组、中侏罗统花开佐组、下白垩统井星组和南新组, 以及下第三系的宝相寺组. 主要的已知矿床(点)限定在中部(华昌山断裂)和西部(澜沧江断裂带)之间. 地层多样性

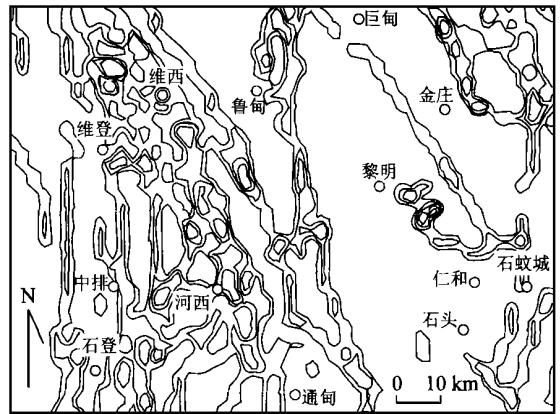


图 3 构造复杂度等值线

Fig. 3 Isoline of structure complexity

的高值部位多受区域构造控制, 构造变动强烈的局部地段往往也是地层出露复杂地段, 同时也是受到与成矿有关地层影响的有利部位, 因此, 区域成矿作用在燕山期开始发生, 晚三叠世是区域成矿物质富集的主要时期.

3.2 空间谱系分析

空间谱系分析是通过挖掘研究区构造、岩浆、沉积等信息, 分析构造形迹、岩浆与沉积建造等空间展布和成因机制的多样性与复杂度, 探讨构造、岩浆、沉积异常与成矿作用相互关系, 由此建立研究区矿床的空间谱系^[3]. 本研究区构造复杂度(图 3)是单位面积内的构造规模与强度的统计结果, 由图中可以看到图幅中部(华昌山断裂)和西部(澜沧江断裂带)之间构造的复杂特征, 近于南北向的构造与北西—南东向构造的活动强度大致相当, 因而表现为以华昌山断裂为界两侧陆块的明显不同, 由西部澜沧江断裂带和中部华昌山断裂分隔出来的 3 个不同地块的构造差异. 兰坪盆地这样一个大型叠合盆地, 经历了复杂的演化历程, 喜山期陆内造山运动是区域构造多样性的根本原因, 也是控制区域成矿最为重要的地质事件. 兰坪盆地由于构造多样性和盆地演化的多阶段性, 导致了盆地成矿流体“多层次、多方位、多来源、多运移模式”的“四多”特征, 另一方面也反映出区域成矿多样性的成因机制.

3.3 成矿地质异常分析

根据区域成矿谱系结构, 对区域矿产资源的可能矿种、成因类型、分布和规模等方面做出总体评价, 进一步深化综合地质异常的成矿特征, 在成矿地质异常“耦合分布”基础上开展研究区的成矿预测与评价^[2]. 图 4 是研究区主要成矿元素异常度分析, 结

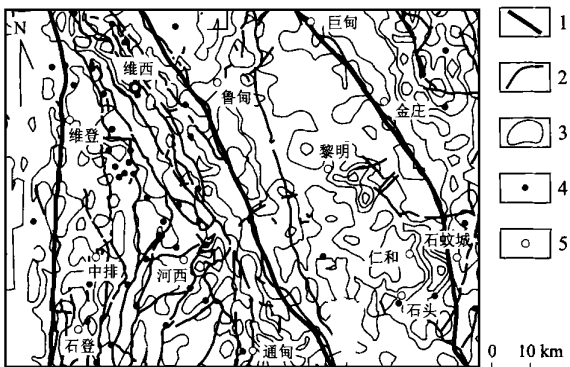


图 2 地层多样性等值线

Fig. 2 Isoline of stratum diversity

1. 大地构造分区; 2. 断裂构造; 3. 地层多样性; 4. 矿点; 5. 地名

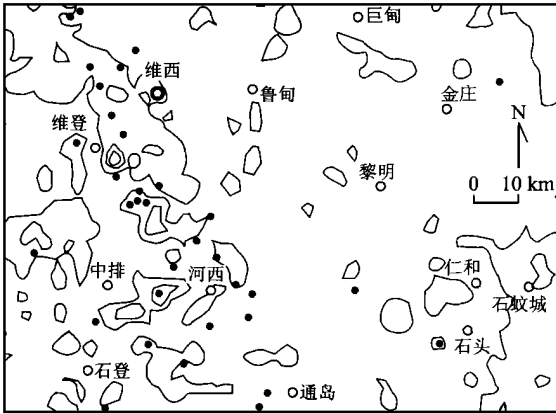


图 4 成矿元素异常度等值线

Fig. 4 Anomaly isoline of ore-forming element

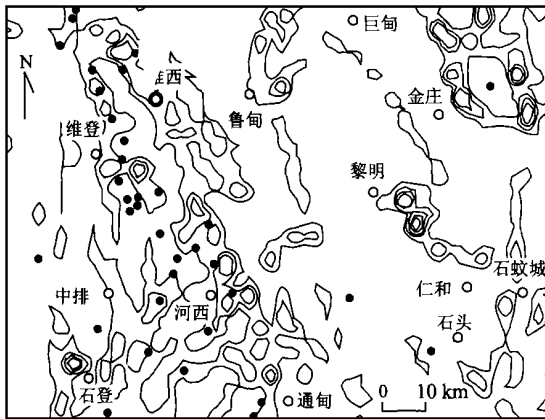


图 5 地质复杂度等值线

Fig. 5 Isolines of geological complexity

合地质复杂度(图 5)分析的综合信息,表明已知矿床(点)均分布在地质复杂度的高值分布区近旁,

西部澜沧江断裂带和中部华昌山断裂之间的区域成矿元素异常集中,具有良好的找矿前景。

参考文献:

- [1] Walder K. Additive models in mining and exploration [J]. *Nonrenewable Resources*, 1997, 6(1): 11~25.
- [2] De Capranis P. Estimating species diversity: comparison of two algorithms [J]. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 1984, 16(3): 237~249.
- [3] Gill D, Griffiths J C. Areal value assessment of mineral resources endowment of Israel [J]. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 1984, 16(1): 37~91.
- [4] Zhao P D, Chen J P. The model of digital prospecting system — establishing a subsystem of the Digital Earth [A]. *International symposium on Digital Earth [C]*. Beijing: [s. n.], 1999. 821~825.
- [5] Seifert D, Jensen J L. Using indicator simulation as a tool in reservoir description: issues and uncertainties [J]. *Math Geology*, 1999, 31(5): 527~550.
- [6] Brauning M. An approach to the integration of spatial data and systems for a 3D geo-information system [J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25(1): 39~48.
- [7] Старостин В И, Иванов П А. Геология полезных ископаемых [M]. М: И.З.Д., 1997.
- [8] Costa J F, Koppe J C. Assessing uncertainty associated with the delineation of geochemical anomalies [J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(1): 59~67.
- [9] Olea R A. *Geostatistics for engineers and earth scientists [M]*. U. S. A: Kluwer Academic Publishers, 1999.

ON DIVERSITY OF MINERALIZATION AND THE SPECTRUM OF ORE DEPOSITS

Zhao Pengda Chen Jianping Chen Jianguo

(The Open Laboratory of Quantitative Prediction and Exploration Assessment of Mineral Resources, the Ministry of Land and Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Diversity of mineralization is an essential phenomenon in ore-forming process. It is represented not only in genesis, morphology, attitude, dimensions, ore types, ore combination, useful and damaging elements within one deposit, but also in ore deposits, ore fields, ore belts, ore provinces, mineralized district and metallogenic epoch. It is subject to geo-anomalies of ore source in the origin of ore materials, to geo-anomalies of ore fluid in the carrier of ore medium, to geo-anomalies of ore transformation in energy, to geo-anomalies

of reservoir environment in ore accumulation, and to geo-anomalies of preservation or destruction in post-met-allogenic diversification. Therefore, the characteristics and attribution of diversity of mineralization may be determined by the geo-anomaly background. The spectrum of ore deposits is related genetically with the diver-sity of mineralization, which may play an important role in appraising and forecasting new types of mineral de-posits. So the research of diversity of mineralization and its spectrum of ore deposits is of great significance in discovering regional rules of mineralization as well as research of super-large ore deposits, ore fluid and regional mineralization on a large scale.

Key words: diversity of mineralization; spectrum of ore deposit; geo-anomaly.

* * * * *

宝石学计算机多媒体教学系统开发

陈 源¹ 袁 伟¹ 杨明星²

(1. 中国地质大学网络中心, 武汉 430074; 2. 中国地质大学珠宝学院, 武汉 430074)

1 系统总体设计

(1) 系统设计的指导思想和原则. 宝石学是一门实践性较强的课程, 教学内容的掌握涉及到大量的图片、标本. 软件的一个重要设计思想就是在光盘中建立一套品种齐全、现象完整、有较高的教学意义和观赏价值的图片资料库. 搜集、建立完整的样品体系, 在计算机中按教学目的进行比较查询、浏览, 既可提高教学效率、降低教学成本, 又可发挥计算机优势, 实现普通教学方式难以达到的效果. 珍贵资料(包括名品)是珠宝从业人员积累经验、扩大视野的重要素材. 学习宝石学包括宝石的内部特征到外在特性(如款式、加工); 珍贵资料的采集、加工和展示也是软件价值的重要体现, 它能弥补课堂教学的不足, 解决教学机构缺少珍贵标本的问题. 科学有效地利用计算机多媒体技术, 研制适用于该课程的教学软件系统, 是本软件设计的技术保障. 通过多媒体 CAI 的交互性、集成性设计, 是实现因材施教, 调动学生的学习积极性和主动性, 从而达到提高教学效果和教学效率的重要技术原则. 系统设计要求该 CAI 软件主要适用于大学本科、专科珠宝专业学习宝石学基础知识, 以及非珠宝专业学生和珠宝行业在岗人员学习宝石学.

(2) 系统内容设计. 宝石学系统属于多媒体计算

机辅助教学(CAI)软件, 系统的内容组成, 既要反映宝石学课程的体系结构, 又不能面面俱到而成为书本搬家. 为了突出课程重点、难点, 加强软件的针对性, 在内容设计中对课堂上难以讲清楚的概念或过程, 通过计算机模拟和动态显示, 使教学内容形象化、具体化; 而对于教学中的大量论述文字, 在软件中应进行合理的回避, 交给学生通过传统学习模式进行学习. 按照系统设计指导思想, 通过对课程的分析, 考虑学生学习的重点、难点和多媒体软件的表达优势, 本系统软件的功能模块作如下划分: ①宝石学概念; ②宝石特征; ③合成宝石; ④宝石优化; ⑤宝石资源; ⑥宝石综合知识.

2 系统研制过程

(1) 脚本编写是多媒体软件设计的第一步; (2) 表达设计是多媒体系统研制过程的关键, 本系统的表达设计和构思经过了以下几个步骤: ①视听表达设计, 包括视听表达的心理策略; ②构图和配色; ③各种交互变化合理运用; ④图形和动画的表达; ⑤视听信息量. (3) 多媒体信息处理. 多媒体软件的制作重点是需要完成繁琐的数据处理工作, 此项工作占用系统研制过程中 2/3 的工作量^[1]. 处理内容包括: ①文本. 用纯文本做内容, 用 RTF 格式表达宝石矿物的分子结构; ②图片. 大小、亮度对比度、颜色、边界等; ③声音. WAVE 作为解说, MIDI 作为背景

收稿日期: 2000-06-30

基金项目: 原地质矿产部“九五”重点科技项目(No. 96162008).

(下转 128 页)