

矿床类型模型的地质构造背景、 成矿环境和容矿岩石组合

裴荣富 梅燕雄 瞿泓滢 王浩琳

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:每一矿床模型类似人们“指纹”各自不同。根据中国哲学的“白马是马而非马(类)”的概念,本文提出应深入研究同一类的矿床总体特征的普适性矿床模型。据此,普适性矿床模型(马类)将包括该类矿床中的矿床(白马),从而增强其对未知矿床比对的整体性。其次,本文又对矿床普适性模型提出成矿系列的新概念。即按各类矿床产出的不同环境,作者等根据一定地质构造背景、一定成矿环境和一定容矿岩石组合提出“中国矿床普适性模型分类”和与每类成矿环境相适应的 74 个矿床模型(表 1)。据此,人们可从地质环境分类中发现相应的矿床模型,反之,一定的矿床模型也能反应其产出的成矿环境。

关键词:矿床类型模型;构造背景;成矿环境;容矿岩石组合

中图分类号:P618 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)01-0031-12

1 引言

每一个矿床有如人们的指纹一样,都是彼此不尽相同的。本文从“白马是马而非马(类)”的哲学概念出发,提出加强研究一个类型或一组相似矿床的综合地质表征,建立具有普适性的矿床类型模型,使一个矿床的特殊属性(白马)包含在普适性的矿床模型(马类)中,同时,使每一类矿床在一定构造背景和一定成矿环境中模式化(modeling),使矿床模型既见模式之“树”,模型本身,又见模式产出之“林”,模型背景和环境,从而扩大矿床模型类比的区域可比性,发挥其在矿产资源评价、矿产勘查和矿业开发工作中对不尽相同矿床类比的效应。

矿床模型是一组相似(或同一类型)矿床特征的综合地质表征^[1,2]型的每一个矿床基本地质特征的系统整理,并归纳出具有一定理性认识的、反映该类型矿床共性的标准样式,为矿产地质工作者辨认该类型矿床的全貌、发现该类型矿床中同宗“兄弟”矿床

提供类比模式^[3]。

目前,矿床模型已不限于认识矿床本身,而且还成为矿产资源评价、勘查的有效工具。特别是在当代全球找矿难度日益增加的情况下,矿床模型能够提供有关成矿作用的完整概念,有助于从复杂成矿作用中揭示其本质,提高对成矿的理性认识;为开展矿床地质类比、找矿方向和有利靶区优选提供思路;为制定合理的勘查部署提供最佳勘查技术方法组合,有效地进行勘查。因此,大力开展矿床模型研究,对指导矿产地质工作具有十分重要的理论和实际意义^[4,5]。

2 矿床模型研究的现状

矿床模型这一概念的建立是由矿床分类学长期研究而发展起来的。大家知道,自然界各种事物的分类是科学家最感兴趣的问题之一,因为同属一类事物具有共同的性质;分类就是为认识其共性和从共性中发现个体而提供的有效方法。矿床的分类学,最初是根据矿产品(铜矿、铁矿等等)及其形态特征进

行的。这对经济学家和采矿工程师评估和开采一个矿山是有用的,但是仅把众多的、复杂的,甚至重复的矿床形态特征归纳在一起,显然地对矿床学家和矿产勘查工作者就不够用了。因而随着开发矿业的兴盛,矿床分类亦逐渐发展为成因分类。1913年Lindgren提出了历史上最有影响的矿床成因分类方案,许多矿床学家,特别是在讨论岩浆热液矿床时,至今仍在采用。矿床成因分类研究,虽然已近一个世纪了,但它往往因涉及矿床成因的许多不确定性因素而引起种种困难,特别是近年来新的实验和测试数据的增补,致使对矿床成因认识几经改变,许多原有的分类过时了,新的分类也存在不少争议。因而,很多矿床学家开始强调矿床形成的地质背景和成矿环境,并把矿床分类转向为以成矿构造背景、成矿堆积环境和矿床主岩岩石组合的分类(Stanton,1972)。这种分类方案虽然也要体现矿床成因,但不因成因的改变而影响矿床构造-岩石组合分类的实质。例如,1984年加拿大地质调查所出版的《加拿大矿床类型:地质概要》就是按矿床的岩石亲缘关系分类的。随着矿床地质研究和矿产勘查工作的发展,在20世纪60年代初开始提出矿床模型的概念,即把已划分出的矿床类型的地质特征进行模式化(deposit modeling),至70年代中期演变为与矿床类型的地质环境和成矿地质特征相结合的标准样式。例如,1988年加拿大地质调查所汇编的讲座《矿床模型》,就是在对世界上重要矿床类型:太古宙绿岩带金矿、浸染(卡林)型金矿、浅成低温金银矿、斑岩铜钼矿、亲花岗岩类矿床、沉积型似层状矿床、密西西比型铅锌矿、不整合型铀矿、岩浆分异矿床、火山块状硫化物矿床的综合地质特征全面研究的基础上,进行模式化而编就的^[6]。

80年代以来,矿床模型的研究,在矿产地质领域已获得空前发展,其中对世界级典型矿床,如斑岩铜、钼矿床、黑矿矿床、热泉型金矿床、密西西比型铅锌矿床等等,建立了完整的矿床模型并出版了专著。继加拿大地质调查所出版的矿床类型和矿床模式专著之后,美国地质调查所也出版了《矿床模型》^[7,8]。该书是根据世界上111个国家,4000个矿床(其中中国18个,包括台湾1个)提出了85个矿床模型,并按岩性-构造环境作了矿床模型分类。该书在第8届国际矿床成因协会(IAGOD)会议上取得较好反映(Boyle,1989),但它尚未完全反映中国的矿床面

貌。此外,应该提出的是:1984年1月,国际地科联和联合国教科文组织确立了为期10年(1985—1994)的“矿床模式化项目”(deposit modeling program),其目的是交流矿床模型先进的地质科学知识,促进矿床模型专门技能的系统化,建立适合发展中国家特定地区的矿床模型,更广泛地促进全世界推广矿床模型的模式化研究。执行8年多来,该项目在8个国家召开了研讨会,按矿床类型研究了蛇绿岩中铬铁矿,铁建造中金矿,火成岩中浅成热液金矿,层控铜矿,剪切带中金矿,蛇绿岩中金矿等矿床模型以及发展了海洋矿床模型和模式化定量研究,提出了矿床模型在资源评价、矿床发现和勘查工作部署诸方面的有效应用,如对美国内华达完成1500个矿床(点)的资源评价(D.P.Cox),澳大利亚Nifty铜矿及其附近铅锌矿的发现,加拿大诺兰地区成功的勘查部署等均取得有效的实际应用。

中国对矿床分类研究也具久远历史,特别是在50—60年代对中国铁矿类型、铜矿类型、铅锌矿类型等作了很多研究,并提出了矿床类型式,如鞍山式铁矿、大冶式铁矿、铜宫山式铜矿、关门山式铅锌矿等等;随着国际上对矿床类型模式化研究的进展,70年代开始,中国提出南岭钨矿“五层楼”模型(西华山和大吉山矿床类型模式化),长江中下游“玢岩铁矿”模型(南山、凹山等矿床类型的模式化),江西九瑞地区“三位一体铜矿”模型等等。80年代以来,全国广泛开展了矿床模型及模式化的研究,并提出了不同矿种的矿床模型(有的称成矿模式),据不完全统计将近200余个。中国地质科学院成矿区划研究室内部出版了“矿床成矿模式选编”并主持和完成了“矿床成矿模式化研究”项目,其中有些模式在某些成矿区带的找矿工作中取得成效。但是中国目前建立的矿床模型,除区域成矿模型外,多是在单个或少数几个矿床研究基础上提出的,基本上局限于一个具体矿床的描述,未能综合国内乃至世界同类矿床的地质特征,把一组相似或同一类型矿床进行地质构造背景和成矿环境的模式化,进而建立中国矿床模型及其分类,使模型发挥更大的找矿效果。另外,对于“矿床成因模式”、“区域成矿模式”、“地质—地球物理模型”、“地质—数学模型”、“综合技术方法找矿模型”,以及矿床模式定量和矿床模式计算系统等,也都开展了研究,但是,这些研究在其“矿床模型”研究基础上的科学组合还有待深化。近年来,在长江中下

游九瑞成矿区开展了“四维成矿模式”研究^[9,10],称之为成矿作用 $3D_t_{0-y}$,即在开放系统非平衡状态下,成矿作用在三维空间,随时间由老到新推移的成矿演化。这项研究将是“时间维造就空间维”的动态矿床模式化研究的新方向。近年又出版了“中国矿床模型概论”^[6],按不同大构造背景和不同成矿类型建立了 72 个矿床模型。这是从成矿构造环境和不同矿床类型模式化的新进展。

3 普适性矿床模型举例

前文已述,矿床模型是同一类型矿床或一组相似(有成因联系)矿床模式化的标准样式,即对该类型矿床普适性的综合地质表征的高度概括。普适性综合地质特征可以反映人们从感性到理性、从个别到一般、从实践到理论再到实践的认识过程,是找矿哲学在类比分析方法更高一阶段的运用。因而从普适性的一类矿床的综合地质表征去发现特殊属性的

一个具体矿床的综合类比研究,已是当代建立矿床模型研究的必然趋势。普适性矿床模型在美国、加拿大和国际地科联矿床模式化项目中(IUGSMDP)已有较深入的研究,并出版有专著。中国在对一类矿床成矿模式化研究的基础上,也开展了普适性的同一类型矿床模式化的建立。本文因篇幅所限,仅以国内、外广泛分布的与花岗岩类有关矿床模式化的代表性矿床模型为例。与花岗岩类有关的矿床是指与具有花岗结构或为显晶质的闪长岩—花岗岩及其斑岩有关的岩浆浸染型、伟晶岩型、矽卡岩—热液交代型、脉型、斑岩型的 Nb、Ta、W、Sn、Mo、Bi、Be、Pb、Zn、Au、Ag、Hg、Sb、As 和 Fe、Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 矿床。这类型矿床是两类型(同熔和重熔)花岗岩在地壳的不同深度、不同构造部位形成和演化的过程中,发生不同成矿作用形成的。现列举国际上与花岗岩类分类有关的区域矿床模型(图 1)。该模型应是经高度抽象概括并模式化不同温、压成岩条件下的

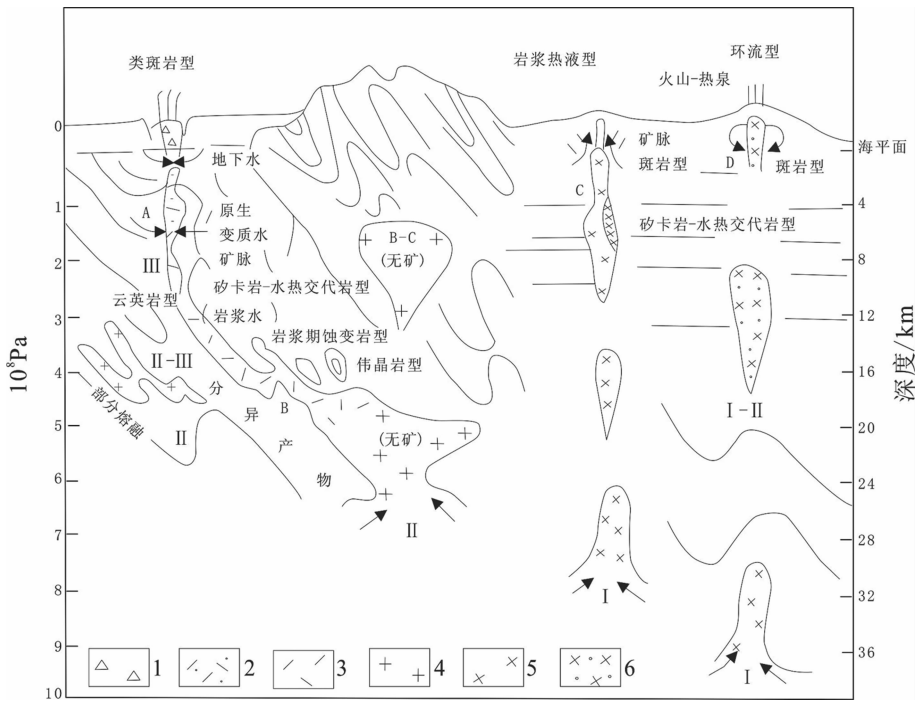


图 1 与花岗岩类分类有关的矿床模型(根据 D.F.Strong 修改)

1—角砾岩;2—富 Be、B、Li、P 花岗岩;3—白云母(黑云母)花岗岩;4—黑云母花岗岩;5—角闪石花岗岩;
6—角闪石(黑云母)花岗岩; I—同熔型花岗岩; II—重熔型花岗岩; III—流体饱和型花岗岩; II—III 过渡型;

A、B、C、D—各类花岗岩固相深度

图示成岩、成矿深度和不同类型矿床空间定位的相互配置关系

Fig.1 Mineral deposits model related to granitoids

1—Breccia; 2—Be, B, Li, P enriched granite; 3—Muscovite granite; 4—Biotite granite; 5—Hornblende granite;
6— Hornblende (biotite) granite; I—Syntexis-type granite; II—Remelting granite; III—Fluid-enriched granite; A,
B, C, D—Depth for solid phase of granites

各类花岗岩及其不同成矿专属形成不同类型矿床普适性的区域性矿床模型。模型显示了各类矿床成岩、成矿深度和不同类型矿床空间定位的相互配置及其成矿演化关系，为在花岗岩类地区运用花岗岩类形成、演化、侵入接触构造作用与岩浆热液成矿理论指导找矿和发现某一类具体矿床起到模式化类比作用。现仅在与花岗岩类成矿有关的区域矿床模式化的基础上，例举其中矽卡岩型、斑岩型和高温热液交代型三类模型。

3.1 与石英二长斑岩—石英粗安斑岩有关的矽卡岩型矿床模型(图2)

图2模型是综合大量矽卡岩类有关矿床模式化而建立的。它的特点是简明地表示了矽卡岩分带和矿物组合,以及矽卡岩分带上的矿化分带,同时还指出了加入的不同元素组分和形成的不同矿物组合及其先后时序。该模型对评价矽卡岩型矿床的接触交代特征和矿化形式具有普适性意义,尤其是较好地反映了接触变质交代带及其与矿化的空间分布关

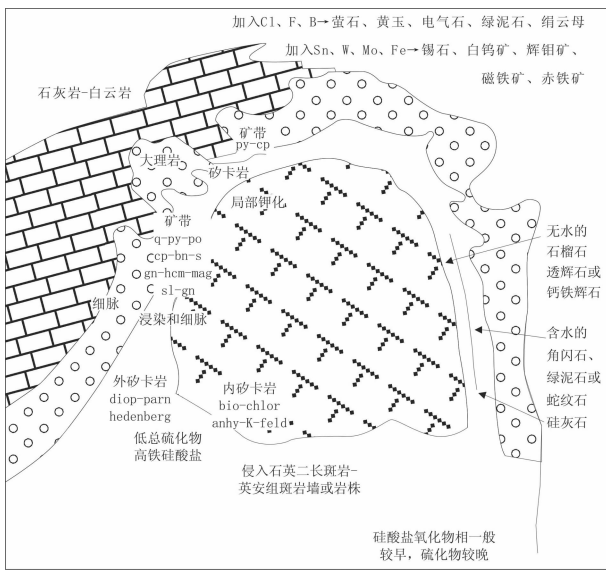


图2 石英斑岩—石英安粗斑岩矽卡岩型矿床模型 (根据 Guilbert 和 LoWell)

q-py-po—石英—黄铁矿—磁黄铁矿;cp-bn-sl—黄铜矿—斑铜矿—闪锌矿;gn-hem-mag—方铅矿—赤铁矿—磁铁矿;si-gn—闪锌矿—方铅矿;diop-garn-hedenberg—透辉石—石榴石—钙铁辉石;bio-chlor-anhy-k-feld—黑云母—绿泥石—无水钾长石

Fig.2 Skarn type mineral deposits model

q-py-p—Quartz-pyrite-pyrrhotite; cp-bn-sl—Chalcopyrite - barite -sphalerite

gn-hem-mag—Galena-hematite-magnetite; si-gn—Sphalerite-galena; diop-garn-hedenberg—Diopside-garnet-hedenbergite;

bio-chlor-anhy-k-feld—Biotite-chlorite-K-feldspar

系。但对岩体侵入接触构造体系的控矿特征尚无系统模式化。

3.2 与闪长岩—石英二长斑岩有关斑岩铜矿床模型(图3)

图3模型是综合美国亚利桑那州大量斑岩型铜矿组合模式化建立的。图示斑岩矿化分带及形成不同矿物组合与其空间配置。它的特点是全面概括了围绕碱性闪长岩—石英二长斑岩岩体的蚀变—矿化圈带和矿体产出的形式,以及受断裂控制而发生不同地段的演化。这一模型对美洲西海岸陆缘山带高钼低金含量的斑岩铜矿床具有普适性意义,但对岛弧地区低钼高金含量的斑岩铜矿床和对造山带内由火山块状硫化物矿床演化为斑岩铜矿床的模型,均因产出构造背景不同而不同。

3.3 与黑云母花岗岩有关高温热液交代矿床模型(图4)

这一模型是笔者“六五”期间研究南岭地区与花岗岩有关的有色和稀有金属矿床时建立的一组有成因联系的矿床模型^[1,4,5]。它的特点是反映黑云母花岗

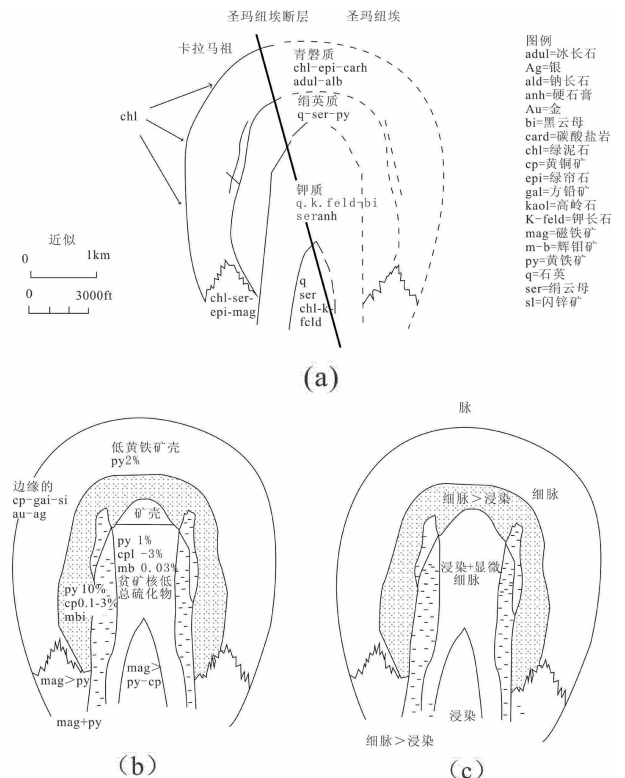


图3 闪长岩—石英二长岩斑岩铜矿模型

(根据 Guilbert 和 Penk)

(a) —蚀变带; (b) —矿化带; (c) —硫化物矿脉(体)产状

Fig.3 Porphyry Cu type mineral deposits model

(a) —Alteration zone; (b) —Mineralized zone; (c) —Mode of occurrence of sulfide

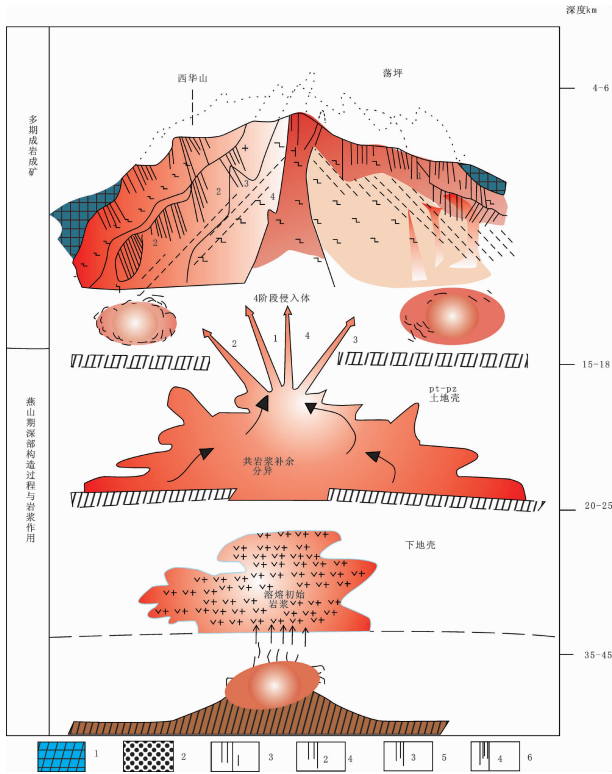


图 4 西华山钨矿田岩浆作用的深部构造过程(作用) 1—前寒武纪变质岩;2—钾长石蚀变;3—第一阶段 W,Mo 矿脉;4—第二阶段(W,Mo,Bi)矿脉;5—第三阶段 W,Be,Mo 矿脉;6—第四阶段 W,Sn 矿脉; γ^{3-1} —晚燕山期第一阶段细粒花岗岩; γ^{2-3b} —早燕山期第三阶段细粒二云母花岗岩; γ^{2-3a} —早燕山第三阶段斑状中粒黑云母花岗岩; γ^{2-2a} —早燕山期第二阶段斑状细粒黑云母花岗岩; γ^{2-2b} —早燕山期第二阶段中粒黑云母花岗岩; γ^{2-1} —早燕山期第一阶段斑状中粒黑云母花岗岩

Fig.4 Deep tectonic processes and poly-chronologic petro-minerogeneses of magmatism in the Xihuashan tungsten ore field, China

1—Precambrian metamorphic rocks; 2—Altered rocks of K-feldspar; 3—1st-stage W, Sn ore vein; γ^{3-1} —Late Yanshanian 1st-fine grain granite; γ^{2-3b} —Early Yanshanian 3rd-stage porphyric mid-grained biotite granite; γ^{2-2a} —Early Yanshanian 2nd-stage mid-grain biotite granite; γ^{2-2b} —Early Yanshanian mid-grain granite; γ^{2-1} —Early Yanshanian 1st-stage porphyric mid-grained biotite granite

岩随其产出在岩隆、岩坳和隆坳过渡不同成矿环境,发生不同成岩演化以及在钙质和硅质不同围岩中,围绕岩体形成不同类型矿床的空间分布样式。特别是在深部反映陆壳根入地幔(mantle rooted)和构造圈热侵蚀有关多期构造岩浆事件及共岩浆补余分异效应(comagma complementary diffenciation),从而形成多阶段复式岩体(体中体)以及形成多幢-多层楼的南岭式大型钨锡矿床类型的普适性矿床模型。

3.4 与花岗岩类有关不同成矿系列矿床模型(图 5)

成矿系列成矿是中国学者对成矿学理性认识的新概念,即在一定成矿背景、一定成矿环境和一定成矿年限形成有成因联系的一组矿床,也是成矿学的自然分类(陈毓川,裴荣富)。现举中国南岭金属成矿省陆内深部构造圈热侵蚀,陆缘洋壳消减及陆缘、陆内过渡带形成不同成矿属性构造岩浆带的不同成矿系列模式化的区域矿床模型(图 5)作为与成矿系列有关矿床模型的范例,图 5 中的 CLMDS-CLM 为陆内岩石圈拆离板片根(植)入地幔现象,经热幔环流在陆内形成构造岩浆带,并形成成矿系列(MS III)。该系列包含了与酸性岩浆成矿系列有关矿床模型。图中 OCS 为洋壳叠接消减带,经深熔后在陆缘形成构造岩浆链,并形成(MS I)成矿系列。该系列包含了与中性岩浆成矿系列有关矿床模型。据此可认为陆内与陆缘成矿具有异曲(不同环境构造岩浆)同工的成矿意义。成矿系列 MS II 为 MS I 和 MS III 的过渡系列,成矿模型也兼具两类的共性。

4 矿床模型构造背景-成矿环境-主岩岩石组合分类

矿床模型构造背景-成矿环境-主岩岩石组合分类是对同一类型矿床通过模式化建立普适性矿床模型的综合地质表征。D.P.考克斯(1986)曾提出地质-构造环境与矿床模式化的关系图解,但未论证它们之间的成因联系。本文则强调了一定的地质构造背景、一定成矿环境和一定主岩岩石组合相适应的矿床模型是紧密相关的。为此,我们首先把既能反映形成矿床客观存在的、不受成因观点干扰的、又能反映成矿构造环境的容矿岩石组合(petro-hosted assemblage)作为一类型矿床模型划分的基础,然后把按不同容矿岩石组合划分的矿床模型配置在不同构造背景和成矿环境中,从而使矿床模式化既见不同类型矿床模型之“木”,又见矿床模型各自赋存的地质构造背景之“林”,达到更有效地发挥矿床模型的找矿作用。

本文按上述矿床模式化的分类原则,在中国已有的古亚洲、特提斯-喜马拉雅和滨西太平洋三大构造成矿域(黄汲清,1980;郭文魁,1987)的基础上,增补了前寒武地块构造成矿域;同时又根据各构造成矿域的构造-成矿演化特征进一步划分出相应的 27 个成矿环境,以及 100 个不同主岩岩石组合的矿

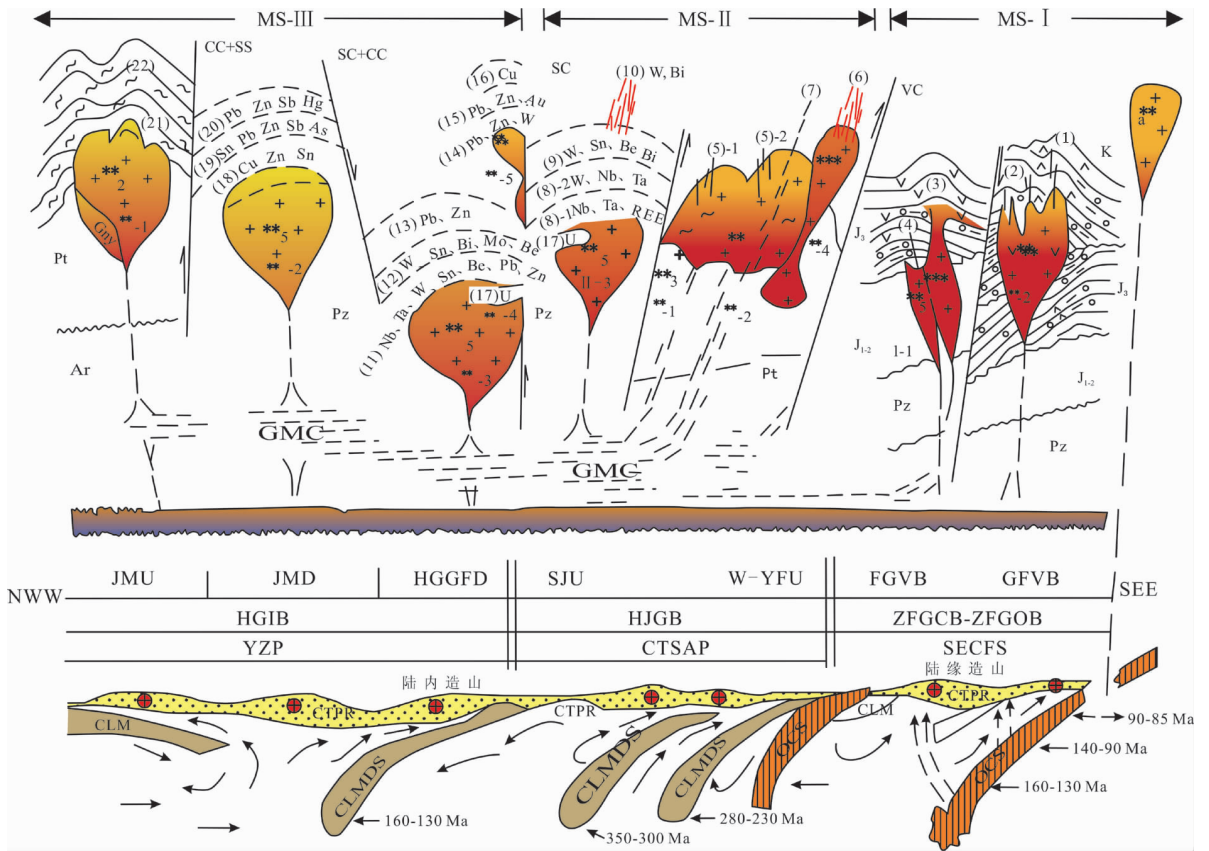


图5 南岭成矿省陆内-陆缘造山带深部构造作用、成矿演化与花岗岩类有关成矿系列的区域矿床模型

Ar—太古宙高级变质岩系;Pt—元古宙低-中级变质岩系;Pz—古生代钙质沉积岩系;J₁₋₂—下中侏罗统石英砂岩和凝灰质千枚岩系;J₃—上侏罗统英安流纹质和凝灰质砂岩系;K—白垩系凝灰质砂页岩系;1— γ_2 四堡花岗岩;2— γ_3 加里东花岗岩;3— γ_4 华力西花岗岩;4— γ_5 燕山花岗岩, 花岗闪长岩, 花岗斑岩;5—a γ 碱性花岗岩;MS I, II 和 III 矿床成矿系列;CC, SC, VC 分别为钙质、硅质、火山质围岩;(1)—火山成因脉型 Au 和斑岩 Cu 矿床(紫金山);(2)—浅交代-充填型 Ag-Pb-Zn-Au(银坑, 五步);(3)—火山岩成因脉型 Sn 矿床(长埔);(4)—钠长石英花岗岩 Nb-Ta 矿床(博罗);(5)—1~2 伟晶岩型 Nb-Ta 矿床(南平, 西坑);(6)—斑岩 Sn 矿床(银岩);(7)—剪切蚀变岩型 Au 矿床(河台);(8)—1~2 钠长石化花岗岩型 W-Nb-Ta-REE 矿床(大吉山);(9)—云英-矽卡岩化型 W-Sn-Bi-Mo 矿床(瑶岗仙);(10)—高温热液石英脉型黑钨矿床(西华山);(11)—钠长石化花岗岩-矽卡岩-高温热液交代型 Nb-Ta-W-Sn-Be-Pb-Zn 矿床(香花岭);(12)—云英岩-矽卡岩型 W-Sn-Mo-Bi 矿床(柿竹园);(13)—热液交代型 Pb-Zn-Ag 矿床(东坡);(14)—矽卡岩型 Pb-Zn-W 矿床(黄沙坪);(15)—矽卡岩型 Pb-Zn-Au 矿床(水口山);(16)—热液交代型 Cu 矿床(铜山);(17)—蚀变花岗岩 U 矿床(212);(18)—矽卡岩型 Cu-Zn-(Sn) 矿床(拉么);(19)—热液交代锡石硫化物矿床(大厂);(20)—热液交代型 Pb-Zn-Hg 矿床(芒场);(21)—云英岩型 Sn-Cu 矿床(宝坑);(22)—热液交代型 Sn-Cu-Zn 矿床(九毛);CLM—大陆岩石圈地幔;CLMDS—CLM 的拆离层;OCS—洋壳消减;CTPR—陆壳增厚部分熔融;GMC—花岗质岩浆库;JMU—江南古陆隆起;JMD—江南古陆边缘陷落;HGGFD—湘-桂-粤断陷区;SJU—赣南隆起区;W-YFU—武夷-云开断陷区;FGVB—闽-粤-赣断陷区;CFFVB—粤-闽断陷火山盆地;YZP—扬子板块及前陆;GTSAP—华夏板块及前陆;SECFS—东南沿海褶皱系;ZFGCB、ZFGOB、HJGB 和 HGIB—分别为浙-闽-粤沿海、浙-闽-粤沿岸、湘-赣-粤和湘-桂花岗岩带

Fig.5 Regional mineral deposits models of minerogenetic series related to granitoids and ore-forming evolution through deep tectonic processes of intracontinental orogenic belt and its margin in the Nanling metallogenic province

Ar—High-grade metamorphic rocks; pt—Low-medium-grade metamorphic rocks; Pz—Carbonaceous sedimentary rocks; J₁₋₂—Quartzitic sandstone and tuffaceous phyllite; J₃—Dacitic rhyolite and tuffaceous sandstone; K—Tuffaceous sandy shale; 1— γ_2 —Silurian granite; 2— γ_3 —Caledonian granite; 3— γ_4 —Variscan granite; 4— γ_5 —Yanshanian granite; 5—a γ alkaline granite; MS— I, II and III—Minerogenic series; CC, SC, VC—Calcareous, siliceous and volcanic country rocks, respectively; (1)—Volcanogenic vein type of Au and porphyry Cu deposit (Zijinshan); (2)—Epithermal replacement-filling type of Ag-Pb-Zn-Au deposit (Yinkeng, Wubu); (3)—Volcanogenic type of Sn deposit (Changpu); (4)—Albitization granite type of Nb-Ta deposits (Boluo); (5)—1 and 2 pegmatite type of Nb-Ta deposits (Nanping); (6)—Porphyry Sn (Yinyan) deposits; (7)—Shear zone alteration type of Au deposit (Hetai); (8)—1 and 2 Albitization granite type of W-Nb-Ta-REE deposit (Dajishan); (9)—Greisen-skarn type of W-Sn-Bi-Mo-Be deposit (Yaogangxian); (10)—Hypothermal wolframite quartz vein type deposit (Xihuashan); (11)—Alteration granite-skarn-hydrothermal replacement type of Nb-Ta-W-Sn-Be-Pb-Zn deposit (Sianghualing); (12)—Greisen-skarn type of W-Sn-Mo-Bi-Be deposit (Shizhuyuan); (13)—Hydrothermal replacement type of Pb-Zn-Ag deposit (Dongpo); (14)—Skarn type of Pb-Zn-W deposit (Huangshaping); (15)—Skarn type of Pb-Zn-Au deposit (Shuikoushan); (16)—Hydrothermal replacement type of Cu deposit (Tongshan); (17)—Alteration granite type of U deposit (212); (18)—Skarn type of Cu-Zn (Sn) deposit (Lamo); (19)—Hydrothermal cassiterite sulfide deposit (Dachang); (20)—Hydrothermal replacement type Pb-Zn-Hg deposit (Mangchang); (21)—Greisen type Sn-Cu deposit (Baotan); (22)—Hydrothermal replacement type of Sn-Cu-Zn deposit (Jiumao); CLM—Continental lithosphere mantle; CLMDS—Delamination slab of CLM; OCS—ocean crust subduction; CTPR—Partial remelting of crust thickening; GMC—Granitic magma chamber; JMU—Jiangnan old land uplift; JMD—Jiangnan old land marginal depression; HGGFD—Hunan-Guangxi-Guangdong fault-bounded depression; SJU—Southern Jiangxi uplift; W-YFU—Wuyi-Yunkai faulted uplift; FGVB—Fujian-Jiangxi volcanic basin; GFFVB—Guangdong-Fujian faulted volcanic basin; YZP—Yangtze plate and foreland; GTSAP—Cathaysian plate and foreland; SECFS—Southeastern coast fold system; ZFGCB-ZFGOD, HJGB and HGIB are representative inner continental granite

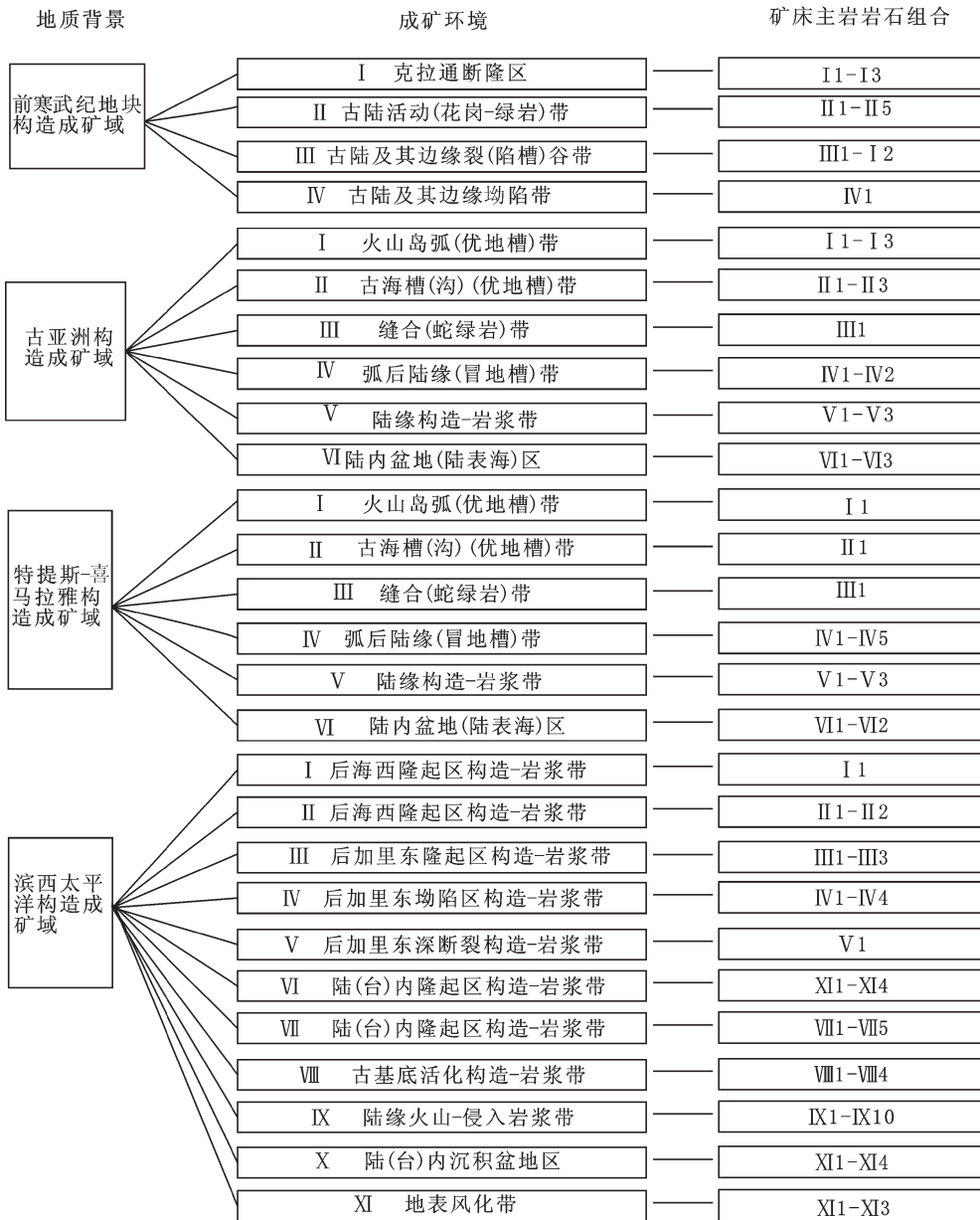


图 6 中国 4 大成矿构造域、27 成矿环境和不同主岩岩石组合的 100 矿床模式对应关系图 (岩石组合名称及矿床模式见表 1)

Fig.6 Corresponding map for 4 metallogenic tectonic settings, 27 depositional environments and 100 deposits models with ore-hosting rock assemblage (For name of ore-hosting rock assemblage see Table 1)

床模式, 其中又建立具矿床产出地的 74 个矿床模型, 加大冶式、中条山式等等(图 6 和表 1)。

图 6 和表 1 可以表明, 前寒武纪地块是中国最古老的成矿构造域, 具长期演化历史, 并以克拉通断隆、裂谷(陷槽)和古陆缘拗陷等 4 类成矿环境(I-IV)的以花岗岩-绿岩和火山-沉积建造为主岩的岩石组合; 矿种以铁、金、铜、锌、铅锌和铁-铌-稀土、

硼镁铁矿、菱镁矿为特色划分出 4 种主要岩石组合的矿床模型。古亚洲和特提斯-喜马拉雅成矿构造域是古生代以来分别分布在中国北方和南方的两大构造成矿域, 它们都同样发育有洋壳的弧、沟、盆、缝合带、弧后及陆缘沉积和构造岩浆带, 以及与造山同时的陆内盆地(陆表海)沉积等成矿环境; 矿床主岩的岩石组合繁多, 各划分出 6 类成矿环境(I-VI),

表 1 中国矿床模型的构造背景-成矿环境-岩石组合分类
 Table 1 Classification of tectonic setting, metallogenic-environment-
 ore-hosting rock assemblage for mineral deposit model of China

一、 前寒武纪构造成矿域		
I—克拉通断裂隆起区		
I-1 正长(钾化)岩中金矿床模式(乌拉山)		
I-2 剪切构造糜棱岩中金矿床模式(内蒙古)		
I-3 金伯利岩中金刚石矿床模式(山东、辽宁)		
II—古陆缘活动(花岗岩-绿岩)带		
II-1 条带状铁建造中铁矿床模式(鞍山式)		模型 1
II-2 变中酸性火山岩中铜锌矿床模式(红透山式)		模型 2
II-3 条带状铁建造中金矿床模式(东风山式)		模型 3
II-4 绿岩带中金矿床模式(夹皮沟式)		模型 4
II-5 绿岩带(后期花岗岩改造)中金矿床模式(河南)		
III—古陆及其边缘裂(陷)谷带		
III-1 铁-铌-稀土碳酸岩成矿模式(白云鄂博式)		模型 5
III-2 火山-沉积(侵入)岩中铜矿床模式(中条山式)		模型 6
III-3 变钠质熔岩中铁铜矿床模式(大红山式)		模型 7
III-4 镁铁质-超镁铁质岩中铜镍矿床模式(金川式)		模型 8
III-5 火山喷发沉积岩系中铜钴金矿床模式		
III-6 杂色砂岩系中铜矿床模式(东川式)		模型 9
III-7 (火山)-沉积岩系中金属硫化物矿床模式(狼山式)		模型 10
III-8 碳酸盐岩中铅锌矿床模式(关门山式)		模型 11
III-9 变碎屑岩-碳酸盐岩中铅锌矿床模式(青城子式)		模型 12
III-10 变质岩系中锰磷矿床模式(锦屏式)		模型 13
III-11 沉积岩系中硼矿床模式		
III-12 镁质碳酸盐岩中滑石-菱镁矿矿床模式(大石桥式)		模型 14
IV—古陆地及其边缘拗陷带		
IV-1 碎屑-粘土岩中铁矿床模式(宣龙式)		模型 15
二、 古亚洲构造成矿域		
I—火山岛弧(优地槽)带		
I-1 细碧-角斑岩系中铜铅锌矿床模式(白银厂式)		模型 16
I-2 安山-玄武质火山-侵入岩中铜、金、钼矿床模式(白乃庙式)		模型 17
I-3 英安-角斑岩系中铜锌矿床模式(阿舍勒式)		模型 18
II—古海槽(沟)(优地槽)带		
II-1 火山-沉积岩中铁矿床模式(镜铁山式)		模型 19
II-2 镁铁质岩中铜镍矿床模式(喀拉通克式)		模型 20
II-3 镁铁质-超镁铁质岩中石棉矿床模式(石棉县式)		模型 21
III—缝合(蛇绿岩)带		
III-1 蛇绿岩中铬铁矿床模式		
IV—弧后及陆缘(冒地槽)地带		
IV-1 碳酸盐岩-碎屑岩中铅锌矿床模式(西城式)		模型 22
IV-2 火山-沉积岩系中铅锌矿床模式(锡铁山式)		模型 23

续表 1

V—陆缘构造-岩浆带		
V-1	伟晶岩中稀有金属矿床模式(阿尔泰式)	模型 24
V-2	中酸性斑岩铜矿床模式(多宝山式)	模型 25
V-3	酸性花岗岩有关银矿床模式(山门式)	模型 26
VI—陆内盆地(陆表)区		
VI-1	沉积岩中铝土矿床模式	
VI-2	陆源碎屑岩中盐类矿床模式(柴达木式)	模型 27
VI-3	砂钙质粘土中芒硝矿床模式(内蒙古达拉特式)	模型 28
三、特提斯—喜马拉雅构造成矿域		
I—火山岛弧(优地槽)带		
I-1	流纹-英安岩中重晶石铅锌银矿床模式(呷村式)	模型 29
II—古海槽(沟)(优地槽)带		
II-1	火山-沉积岩系中铁铜钴矿床模式(石碌式)	模型 30
III—缝合(蛇绿岩)带		
III-1	蛇绿混杂岩中金矿床模式(哀牢山式)	模型 31
IV—弧后及陆缘(冒地槽)带		
IV-1	沉积岩中钨铋金矿床模式(沃溪式)	模型 32
IV-2	碳酸盐岩中汞矿床模式(万山式)	模型 33
IV-3	(火山)-沉积岩系中块状硫化物铜铅锌矿床模式(永平式)	模型 34
IV-4	碳酸盐岩-碎屑岩中锰矿床(湘潭式)	模型 35
IV-5	与岩浆活动有关的铜钼矿床(玉龙式)	模型 36
V—陆缘构造-岩浆带模式		
V-1	基性岩中钒钛磁铁矿床模式(攀枝花式)	模型 37
V-2	橄辉岩中铜镍矿床模式(力马河式)	模型 38
V-3	花岗伟晶岩中锡-稀有金属矿床模式(南平式)	模型 39
VI—陆内盆地(陆表海)区		
VI-1	火山-沉积岩中铁矿床模式(马坑式)	模型 40
VI-2	碳酸盐岩中铅锌矿床模式(凡口式)	模型 41
VI-3	碎屑岩中铁矿床模式(宁乡式)	模型 42
VI-4	碎屑岩中铅锌矿床模式(金顶式)	模型 43
VI-5	粘土岩-碳酸盐岩中磷矿床模式(什邡式)	模型 44
VI-6	碳酸盐岩-硅质岩中磷矿床模式(昆阳式)	模型 45
VI-7	风化壳铝土矿床模式(修文式)	模型 46
VI-8	砂岩铜矿床模式(云南、湖南、四川)	
VI-9	碳酸盐岩中盐岩矿床模式(自贡式)	模型 47
VI-10	近代盐湖锂硼钾/钾镁(钙)盐矿床模式	
VI-11	碎屑岩中钾盐矿床模式(勐野井式)	模型 48
VI-12	碎屑岩中岩盐矿床模式(新疆、江苏、江西、云南)	

续表 1

四、滨西太平洋构造成矿域		
I—后海西隆起区构造-岩浆带		
I-1	酸性浅成-高侵位斑岩铜矿床模式(乌努克吐山式)	模型 49
II—后海西拗陷区构造-岩浆带		
II-1	酸性侵入岩有关铁锡矿床模式(黄岗式)	模型 50
II-2	中酸性火山-侵入岩有关铅锌矿床模式(白音诺式)	模型 51
III—后加里东隆起区构造-岩浆带		
III-1	酸性浅成-高侵位斑岩锡矿床模式(银岩式)	模型 52
III-2	酸性中浅成侵入岩有关的钨钼铍(铌钽)矿床模式(西华山—大吉山式)	模型 53
III-3	花岗岩铀矿床	
IV—后加里东拗陷构造-岩浆带		
IV-1	酸性中浅成花岗岩类有关钨钼铍铅锌矿床模式(香花岭式)	模型 54
IV-2	酸性中深成花岗岩类有关钨、锡、铋、钼矿床模式(柿竹园式)	模型 55
IV-3	酸性中深成花岗岩类有关锡-多金属矿床模式(个旧式)	模型 56
IV-4	中浅成花岗岩有关锡-多金属矿床模式(大厂式)	模型 57
V—后加里东深断裂构造-岩浆带		
V-1	中酸性中深成花岗岩类有关铅锌铜矿床模式(水口山—宝山式)	模型 58
VI—陆(台)内隆起区构造—岩浆带		
VI-1	酸性中浅成斑岩钨(钼)矿床模式(金堆城式)	模型 59
VI-2	中酸性浅成斑岩铜矿床模式(德兴式)	模型 60
VI-3	中酸性中浅成斑岩钨矿床模式(阳储岭式)	模型 61
VI-4	中酸性火山岩中铜铅锌矿床模式(银山式)	模型 62
VII—陆(台)内拗陷区构造-岩浆带		
VII-1	中性中浅成侵入岩有关铁矿床模式(邯邢式)	模型 63
VII-2	玢岩铁矿床模式(宁芜式)	模型 64
VII-3	中酸性中浅成侵入岩有关铜铁矿床模式(大冶-铜官山)	模型 65
VII-4	碳酸盐容矿并与酸性侵入岩有关(?) 铋矿床模式(锡矿山式)	模型 66
VII-5	碳酸盐容矿并与中酸性侵入岩有关(?) 铅锌矿床模式(栖霞山式)	模型 67
VIII—古基底活化构造-岩浆带		
VIII-1	蚀变花岗岩-石英脉金矿床模式(胶东式)	模型 68
VIII-2	花岗岩有关的石英脉金矿床模式(小秦岭式)	模型 69
VIII-3	韧性剪切蚀变带中糜棱岩金矿床模式(河台式)	模型 70
VIII-4	中酸性火山-侵入岩有关铅锌银矿床模式(蔡家营式)	模型 71
IX—陆缘火山—侵入岩带		
IX-1	酸性火山岩中珍珠岩矿床模式	
IX-2	玄武岩中超镁铁质包体中橄榄石矿床模式	
IX-3	酸性火山岩中沸石矿床模式	
IX-4	中酸性火山—侵入岩银铅锌矿床模式(冷水坑式)	模型 72
IX-5	酸性火山—侵入岩铜金铀矿床模式(紫金山式)	模型 73
IX-6	酸性火山岩中铀矿床模式	
IX-7	酸性火山岩中明矾石矿床模式	
IX-8	酸性火山岩中叶腊石矿床模式	
IX-9	酸性火山岩中莹石矿床模式	
IX-10	酸性火山岩中铜矿床模式(金瓜石式)	模型 74
X—陆(台)内沉积盆地区		
X-1	湖相沉积泥灰岩中石膏矿床模式	
X-2	沉积岩系中天然碱矿床模式	
X-3	陆相沉积砂岩铀矿床模式	
X-4	碳泥硅质岩中铀矿床模式	
XI—地表风化带		
XI-1	洪—冲积砂金矿床模式	
XI-2	铁帽金矿床模式	
XI-3	风化壳高岭土矿床模式	

注:本表包括 4 大成矿构造域、27 成矿环境和 100 不同主岩岩石组合的矿床模式,以及有代表矿产地命名的 74 个模型。模型模式化特征描述详见文献[1]。

并发育有海相火山岩和蛇绿岩,矿种也相对复杂,除产出前寒武纪地块构造成矿域的金属组合外,并产出有钨、铅、锌、银。滨西太平洋成矿域是中、新生代以来,中国东部特别发育的构造成矿域。该构造成矿域的特点是叠置在前寒武纪地块和古亚洲两构造成矿域之上,并在中国西南三江(金沙江、澜沧江、怒江)地区与特提斯—喜马拉雅构造成矿域拼接在一起。因此,它的成矿环境是以中、新生代构造—岩浆为主并继承和改造前中生代构造成矿域而形成多达11类成矿环境(I—VI),矿床主岩岩石组合以重熔—同熔的中浅成花岗岩类,以及与之相应的火山—侵入岩为主;在继承演化、叠加作用下矿种更趋复杂,并以铌、钽、钨、锡、钼、铋、铍、铅、锌、汞、锑、铜、金(银)为特色。据此,在中国的四大构造成矿域和相应的成矿环境中,结合不同主岩岩石组合即可找到其相应的矿床模型;反之,一定的矿床模型也反映一定的构造—成矿环境。据此可充分发挥构造—环境—岩石组合的模型类比的找矿统一性作用。

5 讨论

根据上述矿床普适性模型模式化研究现状,对其普适属性的研究意义和构造—环境—模式化分类的统一性,特提出下列问题讨论:

(1)矿床模型研究的目的是建立一类矿床地质特征的综合样板,为发挥其在地质勘查中的找矿作用,除应遵循普适属性的类比原则外,还应重视类比的外推,尤其应重视既求同,又求异的原则。这是因为人们受认识客观地质体的局限,建立最终完善的矿床模型是相对的,在类比实践过程中新发现和外推是必然的。

(2)矿床模型一词是国际通用的,它是对一类型矿床模式化的总结研究,也是对矿床成因、找矿、定量等模式化研究的基础。成矿(因)模式、物化探找矿模式、数学化模式、定量模式应是不同成因概念和技术方法对最能反映客观地质体的矿床模型的不同解释。因此,矿床模型建立得越完整,其他模式化的效应也越佳。

(3)矿床模型的综合表征应是具有足够品位、储量(吨位)和一定经济潜力的矿床;矿化太弱或不能形成矿床者不能建模,但对那些最初观察到的并能转化为工业矿床的矿化标志,必须综合在矿床模型

中。矿床模型综合地质特征的各项内容应以写实为主,地质推断和成因解释为辅,避免因推断解释过多而失去矿床固有特征之实。

(4)矿床模型的研究方向和建立的原则应力求是开放的,以利新内容和新模型的增补,使之不断翻新,并随矿床地质研究程度与地质勘查工作的新发展,不断修改补充,日臻完善。

参考文献(References):

- [1] 裴荣富.中国矿床模式[M].北京:地质出版社,1995.
Pei Ringfu. Mineral Deposits Models of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [2] 陈毓川,裴荣富,等.南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1989.
Chen Yuchuan, Pei Rongfu, et al. The Geology of Non-Ferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989(in Chinese).
- [3] O. R. 埃克斯特兰主编.加拿大矿床类型地质概要[M].北京:地质出版社,1990.
Echstrand O R. Canadian Mineral Deposit types, Geological Synopsis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990 (in Chinese).
- [4] 陈毓川,朱裕生.中国成矿模式[M].北京:地质出版社,1993.
Chen Yuchuan, Zhu Yusheng. Mineral Deposits Model of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993(in Chinese).
- [5] 毛景文,张作衡,裴荣富.中国矿床模型概论[M].北京:地质出版社,2011.
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Pei Rongfu. Mineral Deposits Models in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011(in Chinese).
- [6] Roberts R G, Sheahan P A. Ore Deposits Models. Geoscience Canada, Reprint Series 3. 1975.
- [7] Cox D P, Singer D A. Mineral Deposits Models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1987.
- [8] Cox D P. Development and USA of Deposits Models in the U.S. Geological Survey. 8th IAGOD Symposium 1990.
- [9] 裴荣富,李进文,梅燕雄,等.中国大陆边缘构造属性与超巨量金属工业堆积[J].高校地质学报,2007,13(2):137-147.
Pei Rongfu, Li Jinwen, Mei Yanxiong, et al. Tectonic attribution of continental margins of China and super accumulation of metals[J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13 (2):137-147(in Chinese with English abstract).
- [10] Pei Rongfu, Peng Cong, Xun Qun Yao. Deep Tectonic Processes and superaccumulations of metals in Mesozoic intracontinental orogenic belt of Nanling metallogenic province, China[J]. Global Tectonics and Metallogeny, 2001, 7(3/4):183-194.

Geological tectonic settings, depositional environments and ore-hosting rock assemblages for mineral deposits model with universality

PEI Rong-fu MEI Yan-xiong, QU Hong-ying, WANG Hao-lin

(Institute of Mineral Deposits, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Different mineral deposits have different characteristic features, just like the fact that different people have different finger prints. Based on the Chinese philosophic idea “white horse is a horse but not a horse (class)”, this paper proposes a deepening study of the integrated geological characteristics of the same types or similar groups of mineral deposits model with universality. On such a basis, the mineral deposits model with universality (horse class) will contain the kind of deposits with speciality (white horse) and increase its generality in correlation with unknown mineral deposits. Secondly, in this paper, the research work of mineral deposits model is systematically summarized and a new idea of metallogenic series is put forward for establishing the mineral deposits model with universality. Considering the existence of various mineral deposits in the geological setting, the authors integrate the geological tectonic settings, depositional environments and ore-hosting rock assemblages to formulate “a classification of mineral deposits model of China” and 74 models suitable for various depositional environments to be created (see table 1). On such a basis, we can find any deposits model from corresponding geological setting in the classification; in contrast, a certain mineral deposits model can also reflect the depositional environment in which the deposits occurred.

Key words: mineral deposit model; tectonic settings; depositional environment; ore-hosting rock assemblage

About the first author: PEI Rong-fu, male, born in 1924, professor and academician of Chinese Engineering Academy, mainly engages in the study of metallogeny for large-superlarge mineral deposits; E-mail: peirf@sohu.com.