文章编号:0258-7106 (2015) 06-1092-15 Doi:10.16111/j.0258-7106.2015.06.001

论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题*

陈毓川[1,2],裴荣富[2],王登红[2],王平安[2]

(1 中国地质科学院,北京 100037;2 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037)

摘 要 矿床的成矿系列概念是一种研究区域成矿规律的学术思想,亦是一种新的矿床分类——矿床的自然分类。矿床的自然分类,是以成矿的时代、成矿的地质构造环境、地质成矿作用与所形成的矿床组合自然体这 4 个因素作为划分原则的。以矿床成矿系列为基本单元,具有 5 级序次体系:第一序次为矿床成矿系列组合、矿床成矿系列组和矿床成矿系列类型,第二序次为矿床成矿系列,第三序次为矿床成矿亚系列,第四序次为矿床式,第五序次为矿床。矿床的自然分类着重强调矿床在四维时-空域中形成的完整的自然地质过程,恢复矿床在一定时-空域中存在的客观自然面貌。矿床的自然分类是一个既科学又具有实用价值的分类方案。

关键词 地质学;矿床;自然分类;矿床成矿系列;5 级序次体系;自然过程

中图分类号:P612 **文献标志码**:A

Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits (Ⅳ)

CHEN YuChuan[1,2], PEI RongFu[2], WANG DengHong[2] and WANG PingAn[2]

(1 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

The concept of minerogenetic series of mineral deposits is one of the academic thoughts for studying regional metallogeny, and is also a newly established classification of mineral deposits, namely, the natural classification of mineral deposits. In this classification scheme, the metallogenic epoch, the metallogenic geological-structural environment, the geological minerogenesis, and the natural assemblage of mineral deposits, are considered to be the four fundamental factors or principles. The functioning pattern of this classification follows: ① The minerogenetic series operating as the elementary entity; ② A 5-stage order system, in which the first order being limited by minerogenetic series association, minerogenetic series type and minerogenetic series group; minerogenetic series stands for the second order and key element; and the subsequent third to fifth orders are represented by minerogenetic subseries, mineral deposit type and mineral deposit, respectively. The natural classification of mineral deposits focuses on the natural geological process as an integral whole in which the associated mineral deposits formed in a four-dimensional spatiotemporal domain, with the purpose of reproducing the original objective natural features of mineral deposits existing in a certain spatiotemporal domain. The natural classification of mineral deposits is a scientific classification scheme with much practical significance.

* 本文得到“中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(编号:1212011220369)”项目的资助

第一作者简介 陈毓川,男,1934 年生,院士,研究员,主要从事成矿学研究。Email:chenyu@cags.ac.cn

收稿日期 2015-10-08;改回日期 2015-11-08。苏 杭编辑。

http://www.kcdz.ac.cn

Key words: geology, ore deposit, natural classification, minerogenetic series, 5-stage order system, natural process

矿床的成矿系列(简称成矿系列)概念,是一种研究区域成矿规律的学术思想,亦是一种新的矿床分类——矿床的自然分类。

分类学是人类认识、研究事物本质的基本方法,并在认识事物的过程中逐步完善对事物的分类。事物的分类,是以共同具有的特征(共性)为其划分的原则。分类的目的,是为人类社会的应用,亦为科学的探索。

矿床与矿床组合自然体的形成受成矿时代、成矿地质构造环境、成矿地质作用、成矿物质,这 4 个基本因素所控制,缺一不可。而四维时-空域及其中的成矿作用和由其所形成的矿床组合自然体,是一个不可分割的整体,其中互为关联的 4 大自然因素——成矿的时代、成矿的地质构造环境、成矿地质作用和所形成的矿床组合自然体,就是矿床自然分类的依据,由此构成一个新的、区别于前人的矿床分类方案。这亦正是成矿系列概念的核心部分。因此,构成成矿系列的序次,就是矿床自然分类的序次。

1 矿床分类研究历史与现状概要回顾

人们对矿床的分类有一个历史过程:

远古时期,是从应用的性能来分类的,从分矿种开始。世界上最早有记载的要推中国先秦时期的重要古籍《山海经·五藏山经》,此著对中国部分地区的矿产进行了形态描述、类型划分和区域研究,保存了中国矿产地质学形成雏形时期的大量史料,是研究中国古代矿产分类和地理分布的历史依据,其中分出了金、玉、石、土 4 类矿产。

自 16 世纪以来,随着科学技术的发展,发现的新矿种愈来愈多,对矿床的分类也更加系统。《De Re Metallica》(Agricola,1556)一书,将矿床按成因分为原地的和冲积的两大类,并提出矿石是从沿一定通道流动的溶液中沉淀形成的,且含矿溶液的通道是晚于围岩的,这是矿床成因分类的肇始。中国的《天工开物》(宋应星,1637)一书中,从应用角度较详细地列举了矿产的分类和产地,涉及金属、非金属和能源等矿产种类,如按物理性状和用途将煤分为明煤(相当于无烟煤)、碎煤(相当于烟煤)和末煤(相当于褐煤和泥煤)3 种;盐产分为海盐、池盐、井盐、土盐、崖盐、砂石盐 6 种;矾石分为皂矾(绿矾)、白矾(明矾石)、黄矾、红矾、胆矾等。《冶金业或矿业基本原理》(Lomonosov, 1763)中划分了岩石、盐类、可燃矿产(煤和石油)和矿石(矿石又分为矿脉、水平矿层、"窝子矿"和地表矿 4 类),该著作奠定了俄国成矿理论的科学基础。此后,在地质学和矿床学的科学探索方面,开始提出了较系统的矿床成因分类方案。而"水成论"(Werner, 1787;1791)与"火成论"(Hutton, 1788;1795a;1795b;1899; Lyell, 1830;1832;1833)之间的成因认识之争则延续了百余年。

19 世纪中叶至 20 世纪初是现代矿床学的奠基时期,矿床地质学已逐步发展成为自然科学的重要分支,以矿床成因为基础的矿床分类研究逐渐成为主流,世界知名矿床地质学家共同进行了探索。Lindgren(1907;1933;1937)较系统地提出了以成矿的物理化学作用为基础的矿床成因分类(分为机械富集和化学富集两大类,再根据成矿时的温压条件划分不同的亚类),并逐步增改,影响巨大。Schneiderhöhn(1941;1952;1955;1958;1961)把矿床划分为岩浆、沉积和变质成因 3 大类,在此基础上再划分出亚类。Niggli(1929)则提出了一套考虑更多因素的分类体系,从成矿作用与侵入体深度关系的角度提出岩浆成因矿床的自然分类法,但没有指出矿床与具体岩浆侵入体的成因关系。

进入 20 世纪中叶之后,随着研究工作的不断深化,矿床形成的地质环境因素得到重视(Bateman, 1950;Ridge, 1958;1968;Stanton, 1972),如 Ridge(1958;1968)根据更多的地质环境因素(特别是成矿或含矿流体的 pH、E_h、$f(O_2)$ 等)提出了修改的 Lindgren 矿床分类法,将矿床类型与矿床形成的温度、压力和深度因素联系起来。此外,不少学者还提出了成矿的地质建造的分类,如前苏联的阿布杜拉耶夫(1957;1964)提出矿床的成因序列,他把矿床与反映地质构造不同的发展阶段所形成的岩石建造联系起来,划分出相应的各种成因序列。斯特罗纳

(1982)将含矿建造定义为“稳定的矿床自然组合,它们在成因、矿物成分和形成年龄上相近(但不一定相同),并在一定大地构造环境中形成,通常它们有成因联系和共生关系,或者至少在空间上与某种地质(沉积的、岩浆的和变质的)建造共生”,同时也划分了 43 种主要的含矿建造(矿石建造)类型。Smirnov(1976)在论述矿床形成的地质条件和矿床成因分类时,使用了“矿床系列”的名称,并将矿床按系列-组-类-亚类-矿床建造的序列进行了矿床的综合成因分类。随着世界矿业的发展,从应用需要的不同性能逐步分出了能源、金属、非金属、化工、建材、冶金、放射性等矿种类型。前苏联及中国对一些重要矿种按其矿物组成、结构构造、选冶、加工性能等划分了工业类型,并广为应用,如沃里弗松等(1986)对金属矿床基本的成因类型和工业类型的分类总结。

20 世纪 80 年代以来,结合板块构造进行的矿床分类不断涌现,强调矿床形成过程中的构造环境、岩石组合与矿床类型的关系,如 Mitchell 等(1981)、Hutchinson(1983)、Guilbert 等(1986)、Sawkins(1990)、Robb(2005)、Pirajno(2013;2015)等。

在中国,翁文灏(1919;1920)全面系统地总结了全国当时所知的各种矿产,特别是内生矿床的成因类型、时代与区域分布,并应用地热分带理论探讨了中国南部金属矿床分带规律,提出岩浆岩成矿专属性的见解。谢家荣等(1923;1935)对中国,特别是扬子江下游地区的铁矿进行了比较详细的论述,并提出了系统的分类;谢家荣(1957)提出了中国铜矿床的分类;谢家荣(1963)又提出了按矿质的不同来源(如地幔、地壳、地表等)划分矿床类型的方案。程裕淇等(1959;1976;1978)着重总结和探讨了中国重要铁矿床的主要类型。Meng(1962)和孟宪民(1963)探讨了矿床类型划分与找矿方向的问题。康永孚等(1991)总结了中国钨矿床类型和分布。汤中立等(1987;1996;2006)总结了中国岩浆硫化物矿床类型并提出了新的分类方案。董申保(1999)和沈其韩(2007)对变质矿床提出了各自的成因分类方案。对中国特定矿种的矿床分类或对某些类型矿床的总结也有大量文献,本文限于篇幅不再一一列举。1989~1994 年,由中国矿床编委会(1989;1994a;1994b)编著的《中国矿床(上、中、下册)》陆续出版,并相继于 1992~1996 年出版了 5 卷英文版。该套著作系统总结和划分了中国 26 种(类)矿产的矿床类型,采用了灵活实用的综合性的分类方案,描述了各类型之典型矿床的地质特征及其时空分布规律。王登红等(2005)将矿床的成因与成矿构造环境结合起来,提出了“内生内成、内生外成、外生外成、外生内成”的分类方案。这些都对中国矿床成因的理论认识和分类研究工作起到了促进作用,并在矿产勘查和找矿实践中产生了积极效果。很多学者都对矿床分类的历史作了系统性总结和论述(袁见齐等,1985;郭文魁,1991;翟裕生等,2001;2011;薛春纪等,2006;赵明等,2009;聂凤军等,2011)。

20 世纪晚期兴起了矿床模式或矿床模型的研究,它是对某类矿床或某种成矿作用基本特征的综合与概括,如斑岩型矿床模型(Lowell et al.,1970)、VMS 矿床模型、玢岩铁矿成矿模式(长江中下游火山岩区铁矿研究组,1977;宁芜研究项目编写小组,1978)、SEDEX 矿床模型等。Cox 等(1986)按成矿作用或容矿岩石类型划分了 9 大类矿床,并建立了典型矿床的品位-吨位模型或描述模型。陈毓川等(1993a)、朱裕生(1993)、裴荣富等(1995)系统总结了中国矿床成矿模式(模型),张炳熹等(1987)及朱正书等(1990)论述了成矿模式与成矿系列的关系。近年,施俊法等(2010)总结了世界找矿模型,陈毓川等(2010)总结提出了重要矿床预测类型的划分方案,毛景文等(2012a;2012b)总结建立了中国 26 组矿产的 111 个矿床模型和国际上 13 类重要矿床类型的矿床模型,翟裕生(2014)则从系统论和历史观相结合的角度总结提出了矿床成因的“源-运-储-变-保”5 阶段模型。

近年,矿床分类已进入更加丰富多彩的阶段,分类的科学性越来越强,并出现了高度综合性的分类方案。如 Dill(2010)提出了矿床“棋盘式”分类方案,即以成矿主岩和控矿构造为横坐标,以有用矿物和元素组合为纵坐标,构成矿床分类网格,让不同类型的矿床对号入座。Pirajno(2015)提出基于板块构造边缘类型的“成矿系统(mineral systems)”的分类,并对形成于会聚板块边缘或与会聚边缘有关的矿床给出了一个系统而简洁的分类。在中国则依据 30 多年来对成矿系列研究的长期积累和最新成果,在强

表 1　各种矿床分类原则的对比

Table 1　Contrast of criteria of different classifications of mineral deposits

分类原则	应用	成矿作用	矿床形成的地质构造环境	矿床组合	矿床形成时代、时期
矿种分类	√				
工业分类	√				
成因分类	√	√			
建造分类	√	√	√	√	
自然分类	√	√	√	√	√

调成矿时代、成矿环境、成矿作用和形成的矿床组合自然体 4 大因素综合分析的基础上，着眼于不同矿床类型与矿床组合的自然属性及其形成的完整自然地质过程，提出了更具客观色彩的矿床的自然分类的新认识(陈毓川等，2006；2007)。

综上，按各自分类的原则差异可以归纳为以下几类(表 1)：

(1) 应用分类：包括矿种分类和工业分类，其矿种分类更完善，矿种内进行工业分类；

(2) 成因分类：成矿的物理化学条件分类、成矿作用分类、成矿物质来源分类；

(3) 地质构造环境分类：建造成矿分类、构造演化阶段成矿分类；

(4) 矿床的自然分类——以矿床在自然界共同形成的 4 因素(时代、空间即地质构造环境、地质成矿作用和形成矿床组合自然体)进行自然分类。

2　矿床的自然分类

2.1　建立矿床自然分类的思考

自地球诞生至今 46 亿年间，在地球演化过程中，不断形成了被人类社会利用的各种矿床，构成了矿床世界，但保存至今的矿床仅是一部分。为更好的认识与利用矿床，前人已对其进行了分类，这些在前节已有论述。矿床自然分类是在前人矿床分类的基础上，把自然界形成矿床时的主要因素作为分类原则，具有同样因素的矿床归为一类。在自然界中形成矿床的主要有 4 个因素：时间、空间、成矿作用及形成的矿床组。这样就把地球上的矿床世界归类出为数众多的基本单元，每个基本单元就是一个独立的矿床成矿系列，成为矿床世界“有机体”的“细胞”。然后，把这些基本单元按成矿作用、大地构造旋回、类似的地质构造环境与相似的成矿作用分别归类；再对基本单元进行必要的分解，建立矿床自然分类的序次，形成较完整的矿床自然分类体系。这样的分类不仅可以很好地探索和总结本基本单元内的矿床组合形成的时空分布、演化及形成的成矿规律，进一步开拓、提高矿床科学理论，又可应用这些规律有效地指导区域找矿。因此，这是一个既科学、又实用的崭新的矿床分类。

2.2　矿床自然分类的基本因素

矿床自然分类的 4 个基本因素：时间因素、空间因素、成矿作用因素和所形成的矿床因素，分别对应成矿系列概念中的“特定的时间域”、“特定的空间域”、“特定的地质成矿作用”和“形成的有成因联系的矿床组合自然体”。

(1) 时间因素　是形成一个相对独立的成矿地质构造环境的时间段，相当于一个相对独立的构造旋回或构造旋回中与成矿有关的时间段。时间不间断地推进，期间地球各层圈有规律地不断演化，每一个构造旋回及相应的成矿作用都经历一定的时段，各时段都不同程度的含有地球各层圈演化不同阶段的特性。时间段内可包含一个构造旋回中不同的发展阶段，对应相应的成矿作用，可对应自然分类中不同的矿床成矿系列、矿床成矿亚系列或矿床式(类型)。

(2) 空间因素　是在一定时间段内大地构造运动(旋回)所涉及的三维区域范围，亦就是在这个范围内存在的成矿地质构造环境，这个环境亦经历了构造旋回活动过程中的演化。一个大地构造旋回的运动涉及的范围很广，此范围内各区域先后经受不同阶段、不同性质的构造运动，因此可构成不同级别、不同性质的构造带(区)，其中三级构造单元以其相对独立的地质构造环境及所包含的空间规模较适宜于作为划分矿床自然类型基本单元——矿床成矿系列的空间范围(表生成矿作用宜以表生自然环境进行区域范围的划分)。形成的三级构造单元中亦可形成次一级的地质构造环境，有时在此环境中有特定成矿阶段的成矿作用成矿，构成矿床成矿亚系列或矿床式。

(3) 成矿作用因素　是指在上述时间、空间域中所发生的地质成矿作用。成矿作用是区域地质构造活动中不可分隔，并有规律的组成部分，是在地质作用中可引起成矿的地质作用，如带有成矿物质浆、

http://www.kcdz.ac.cn/

气、液流体的成矿作用，可带出围岩中成矿物质再富集的成矿作用，在水体中机械沉积、化学反应、生物化学反应的成矿作用，在高温高压下元素、矿物质重新组合的成矿作用，在地表、海底界面上固、气、液态相互发生的物理、化学、生物反应的成矿作用等。成矿作用本身亦有自身相应的时空演化过程。成矿作用极其复杂，不同的地质构造环境有与其相应的成矿作用，本文分为 5 种成矿作用：岩浆成矿作用、沉积成矿作用(在水体中沉积成矿)、变质成矿作用、表生成矿作用及与岩浆、变质作用无关的流体成矿作用。在一些特殊的地质构造环境中，两种成矿作用可共同成矿，如火山-沉积成矿，既为岩浆成矿作用，亦是沉积成矿作用，其中火山成矿是主要成矿作用，作为自然分类中基本单元归类宜归入主要成矿作用类。成矿作用均有阶段性、演化性，常与不同层次的区域构造时空演化有关，可相应形成矿床成矿亚系列或矿床式。成矿作用的性质、强度、活动时间的长短、涉及范围的大小与地质构造运动性质、强度、成矿时的地质构造环境及深部壳-幔作用的性质、强度、时限、范围密切相关。

(4)*形成的矿床因素* 是指在此时间、空间范围内由成矿作用将成矿物质汇集形成的，有一定时空分布规律的各种矿床所组成的矿床组合自然体。它们可以由多种类型的矿床所组成。矿床是在多因素(构造、围岩、成矿流体、E_h-pH-p-t 等物理-化学环境)条件的演化变动过程中形成，在不同的时段、不同的空间，由不同成矿元素与矿物组成，以不同产出形式及矿体形态产出。矿床是由时、空、成矿作用多因素综合凝合的产物，其产出的多少、经济质量的程度都决定于综合因素。在不少情况下，虽有成矿作用，但因其他因素的影响，而形不成矿床。

可见，矿床自然分类的 4 因素，每一个因素都可以有多种变化，十分复杂。但在一个特定的时-空域内，其 4 因素是特定的，是一个由历史形成、不能改变的整体，它们是自然组合、内在互为依托、有规律地紧密凝合，不可分隔。其中的矿床组合自然体是由成因相联、时空分布有序的各种矿床所组成。用这 4 个基本因素作为划分矿床自然分类的依据，以这样的矿床组合自然体及其形成的时-空域与成矿作用整体作为矿床自然分类的基本单元(矿床成矿系列)应当是比较科学，符合客观的自然状态及规律，恢复了矿床世界形成的面貌。矿床世界就是由地球演化过程中形成的所有矿床成矿系列所构成。

2.3 矿床自然分类的基本单元——矿床成矿系列

成矿系列概念的核心是认为自然界的矿床不是单个存在，而是以有成因联系的群体即矿床组合自然体的形式出现，它们都是在特定的时-空域中，由特定的地质成矿作用所形成(程裕淇等，1979；1983a；1983b；陈毓川，1983；1994；1997；1999；陈毓川等，1993b；1998；1999；2006；2007)。这实际上就是对矿床世界的自然分类。是把形成于同时代、同地质构造环境、同地质成矿作用的各种矿床自然地归为一类，亦就是把地球 46 亿年间形成的每一个矿床给予四维时-空域中的定位，并把它们中共生形成的群体作为矿床组合自然体，归为一类，组成矿床自然分类中的基本单元——矿床成矿系列。地球上的矿床世界就是由这些基本单元(矿床世界的“细胞”)所组成(图 1)。

2.4 矿床自然分类的分类体系

矿床成矿系列作为矿床自然分类中的基本单元，是分类体系中的核心组成部分，以其在矿床世界中的共性特征进行归类，组成高层次序列；对自身形成过程中阶段性、区域性的矿床组合进行分解，组成低层次序列。这就构成了矿床自然分类体系：由同类成矿作用所形成的矿床成矿系列归类为矿床成矿系列组合，在同一地质构造旋回中形成的各矿床成矿系列归类为矿床成矿系列组，由类似的成矿地质构造环境及地质成矿作用形成的类似的矿床成矿系

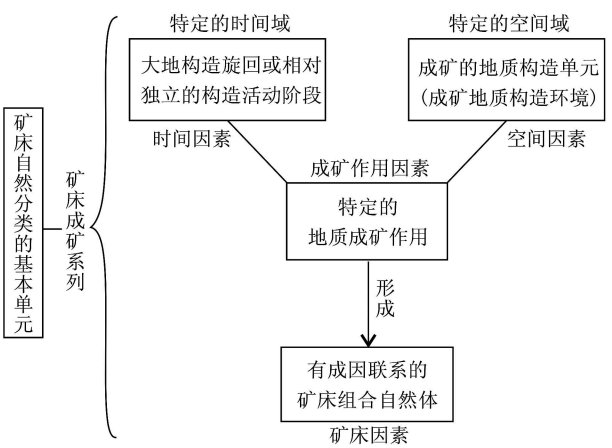

图 1 矿床自然分类的基本因素及基本单元

Fig. 1 The fundamental factors and elementary entity of natural classification of mineral deposits

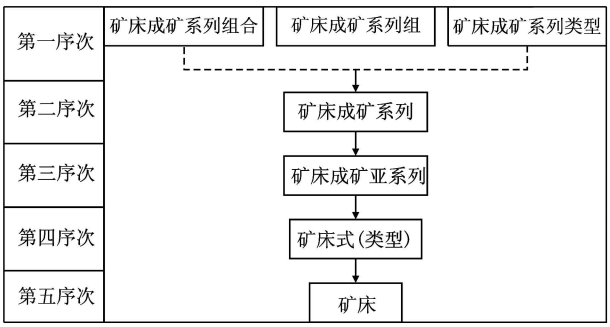

图 2　矿床自然分类五级序次体系图

Fig. 2　The 5-stage order system of the natural classification of mineral deposits

列归类为矿床成矿系列类型。而矿床成矿系列本身由矿床成矿亚系列、矿床式(类型)及矿床所组成，构成 5 个序次的矿床自然分类体系(图 2)。

3　矿床自然分类的序次体系实例

现以长江中下游成矿带为例，对矿床自然分类的 5 级序次体系进行简要说明：

第一序次：属于岩浆成矿作用矿床成矿系列组合，华南燕山期构造旋回矿床成矿系列组，陆内深断裂带与中基性-中酸性火山-岩浆侵入作用有关的铁、铜多金属、金与非金属矿床成矿系列类型(图 3)。

图 3　长江中下游构造-成矿带断裂构造及岩浆岩分布图(据翟裕生等，1992a；1992b 及刘湘培等，1988，略改)

1—震旦系—侏罗系沉积岩；2—前震旦系变质岩和部分变质沉积岩；3—喜马拉雅期玄武岩；4—燕山晚期中性-中偏酸性火山岩及潜火山岩；5—燕山晚期中酸性-酸性火山岩；6—燕山期中酸性侵入体；7—印支期—燕山早期花岗岩；8—岩石圈断裂；9—壳断裂；10—盖层大断裂；11—推覆构造；12—长江中下游 Fe-Cu-Pb-Zn-Au-非金属矿床成矿带界线

Fig. 3　Distribution of fractures and magmatic rocks in the tectono-metallogenic zone of the Middle-Lower Yangtze River Region (modified after Zhai et al., 1992a; 1992b; and partly after Liu et al., 1988)

1—Sinian-Jurassic Sedimentary rocks; 2—Pre-Sinian metamorphic rocks and sedimentary rocks partly metamorphosed; 3—Cenozoic basalts; 4—Late Yanshanian intermediate and intermediate-felsic volcanic and subvolcanic rocks; 5—Late Yanshanian intermediate-felsic and felsic volcanic rocks; 6—Yanshanian intermediate-felsic intrusions; 7—Indosinian-Early Yanshanian granites; 8—Lithospheric fault; 9—Crustal faults; 10—Superficial faults; 11—Thrust fault; 12—Boundaries of the Fe-Cu-Zn-Au and nonmetal metallogenic zone of the Middle-Lower Yangtze River Region

第二序次：矿床成矿系列，即为长江中下游燕山期与中基性-中酸性火山-侵入活动有关的铁、铜多金属、金和非金属矿床成矿系列(图 4，图 5)。

第三序次：矿床成矿亚系列，包括下述 3 个亚系列(图 5)，即① 鄂东南地区燕山期与火山-侵入活动有关的铁、铜、金矿床成矿亚系列；② 铜陵-九瑞地区燕山期与花岗岩类活动有关的铜、金(铅锌)矿床成矿亚系列；③ 宁芜-庐枞地区燕山期与火山-次火山活动有关的铁、铜(铅锌)和非金属矿床成矿亚系列。

第四序次：各亚系列包含的矿床式。以宁芜-庐枞地区燕山期与火山-次火山活动有关的铁、铜(铅锌)和非金属矿床成矿亚系列为例，可划分出北(梅山)、中(凹山)、南(钟姑山)3 个矿田(图 6)：① 梅山矿田，包含 3 个矿床式(梅山式、白象山式、陶村式)；② 凹山矿田，包含 6 个矿床式(凹山式、陶村式、向山式、竹园山式、龙旗山式、龙虎山式)；③ 钟姑山矿田，包含 2 个矿床式(姑山式、白象山式)。

第五序次：该矿床成矿系列所包含的矿床。

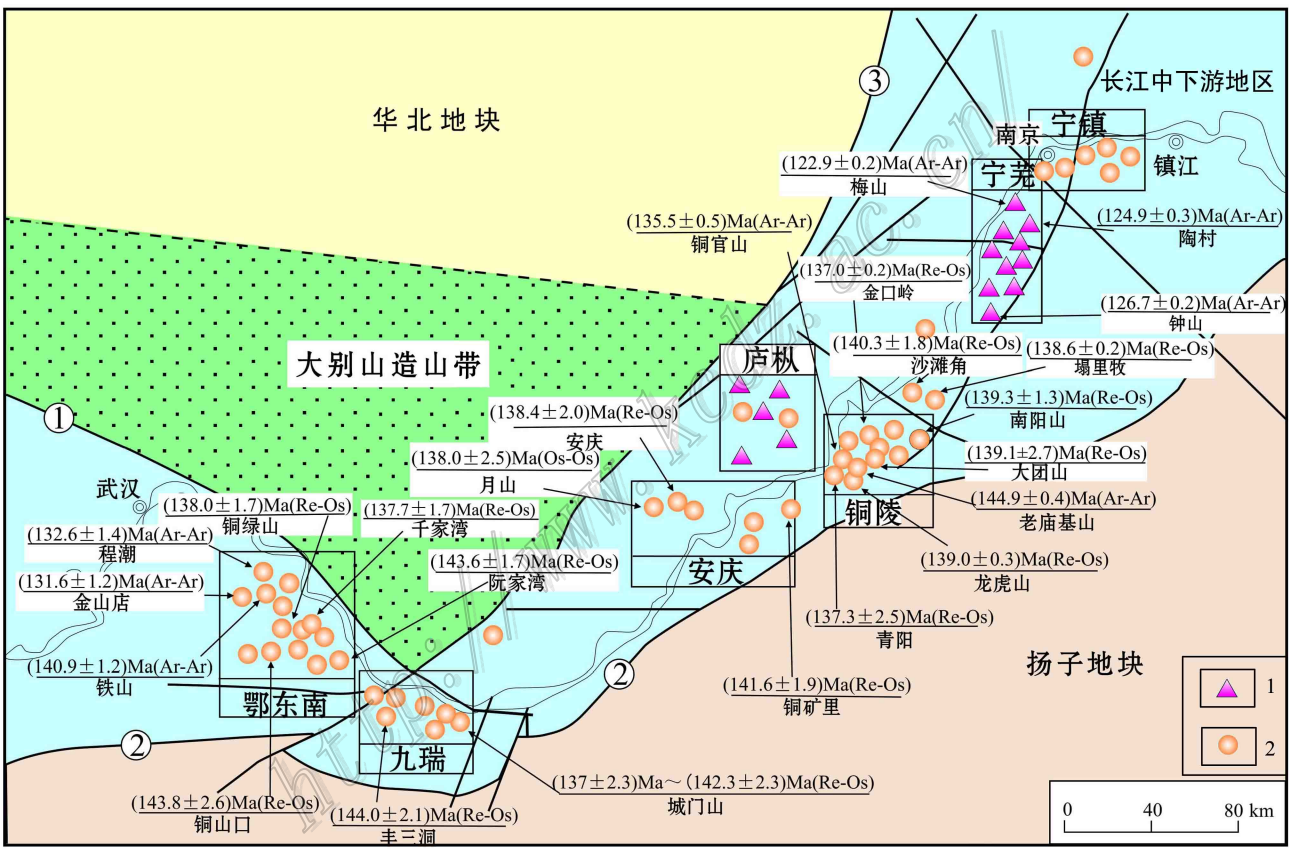

图 4 长江中下游燕山期与中基性-中酸性火山-侵入活动有关的铁、铜多金属、金和非金属矿床成矿系列之矿集区、矿床分布和成矿时代(据毛景文等，2009)

1—铁矿床；2—铜、金、多金属及非金属矿床

断裂符号：①—襄樊-广济大断裂；②—阳兴-常州大断裂；③—郯-庐大断裂

Fig. 4 Distribution of orefields and mineral deposits of the minerogenetic series of Fe-Cu-polymetallic-Au and nonmetallic deposits related to Yanshanian intermediate-mafic to intermediate-felsic magmatic activities in the Middle-Lower Yangtze River Region, with precise age data (after Mao et al., 2009)

1—Iron deposits; 2—Cu-Au-Pb-Zn and nonmetallic deposits

Faults: ①—Xiangfan-Guangji; ②—Yangxing-Changzhou; ③—Tancheng-Lujiang

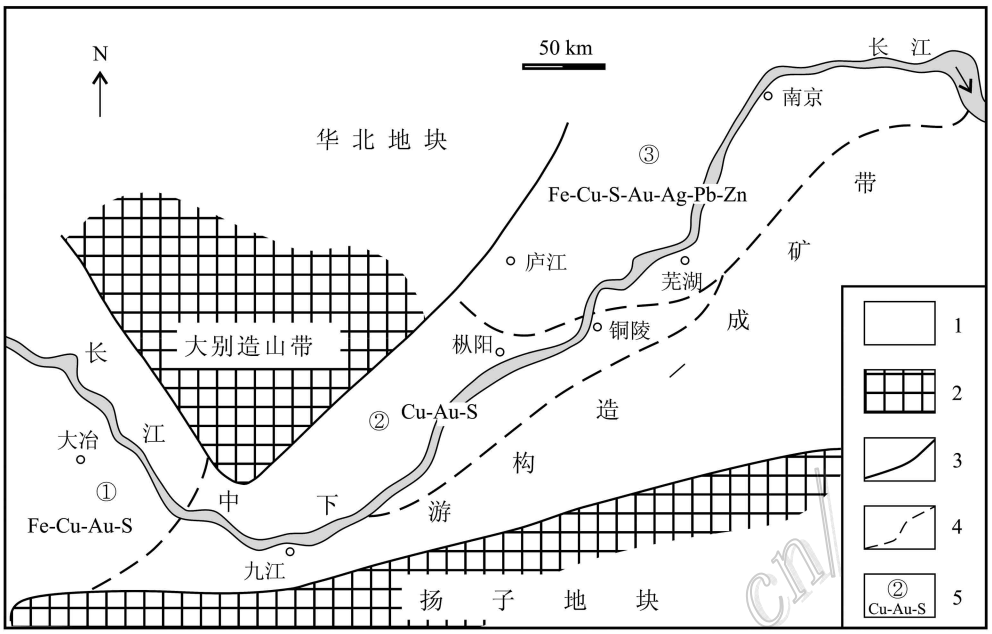

图 5　长江中下游地区与燕山期中基性-中酸性火山-岩浆侵入活动有关的铁、铜多金属、金和非金属矿床成矿系列、亚系列简要示意图

1—震旦系—侏罗系沉积岩及中-新生代火山-侵入岩；2—前震旦系变质岩和部分变质沉积岩；3—长江中下游构造-成矿带界线；4—矿床成矿亚系列界线；5—矿床成矿亚系列编号及矿种：①—鄂东南地区燕山期与火山-侵入活动有关 Fe、Cu、Au 矿床成矿亚系列；②—铜陵-九瑞地区燕山期与花岗岩类活动有关的 Cu、Au（Pb、Zn）矿床成矿亚系列；③—宁芜-庐枞地区燕山期与火山-次火山活动有关的 Fe、Cu（Pb、Zn）和非金属矿床成矿亚系列

Fig. 5　Sketch map showing distribution of minerogenetic series and subseries of Fe, Cu-Pb-Zn, Au and nonmetallic deposits related to Yanshanian intermediate-mafic to intermediate-felsic magmatic activities in the Middle-Lower Yangtze River Region

1—Sinian-Jurassic sedimentary rocks and Mesozoic-Cenozoic volcanic-intrusive rocks; 2—Pre-Sinian metamorphic rocks and sedimentary rocks partly metamorphosed; 3—Boundary of the tectono-metallogenic zone of the Mid-Lower Yangtze Region; 4—Boundary of minerogenetic subseries; 5—Number of minerogenetic subseries with its mineral commodities: ①—Minerogenetic subseries of Fe, Cu and Au deposits related to Yanshanian volcanism and magmatic intrusion in southeast Hubei Province; ②—Minerogenetic subseries of Cu, Au (Pb, Zn) deposits related to Yanshanian granitoid magmatism in the Tongling-Jiujang-Ruichang area; ③—Minerogenetic subseries of Fe, Cu (Pb, Zn) and nonmetallic deposits related to volcanism-subvolcanism in the Nanjing-Wuhu-Lujiang-Zongyang area

http://www.kcdz.ac.cn

4　矿床自然分类的科学意义与实用价值

矿床的自然分类具有重大的理论意义。把单个矿床组成的矿床组合自然体作为基本单元，并研究这些基本单元之间的关联，从而可以提供一个地区甚至整个地球成矿物质时-空分布、组成结构及演化规律，进而通过对成矿物质在各地质年代的组成、矿床类型的组合及其在时-空域的演化规律研究，将有可能从一个方面探索地球演化过程与规律，如壳-幔作用过程及演化、地球各层圈的演变等。

矿床成矿系列研究工作的实用性非常突出，研究工作从开始就是以更好地指导找矿实际需要为目标。根据 36 年来大量研究经验的积累，矿床成矿系列研究可从 3 方面为找矿工作提供指导：

（1）成矿系列概念的核心思想之一是认为矿床是以矿床组合自然体存在，而这种矿床组合是在一定的地质构造环境中，可以由不同矿种、不同成因的矿床所组成，并在区域分布上有一定规律。这为区域综合找矿工作提供了理论依据；

（2）矿床成矿系列类型的提出，为具有同类地

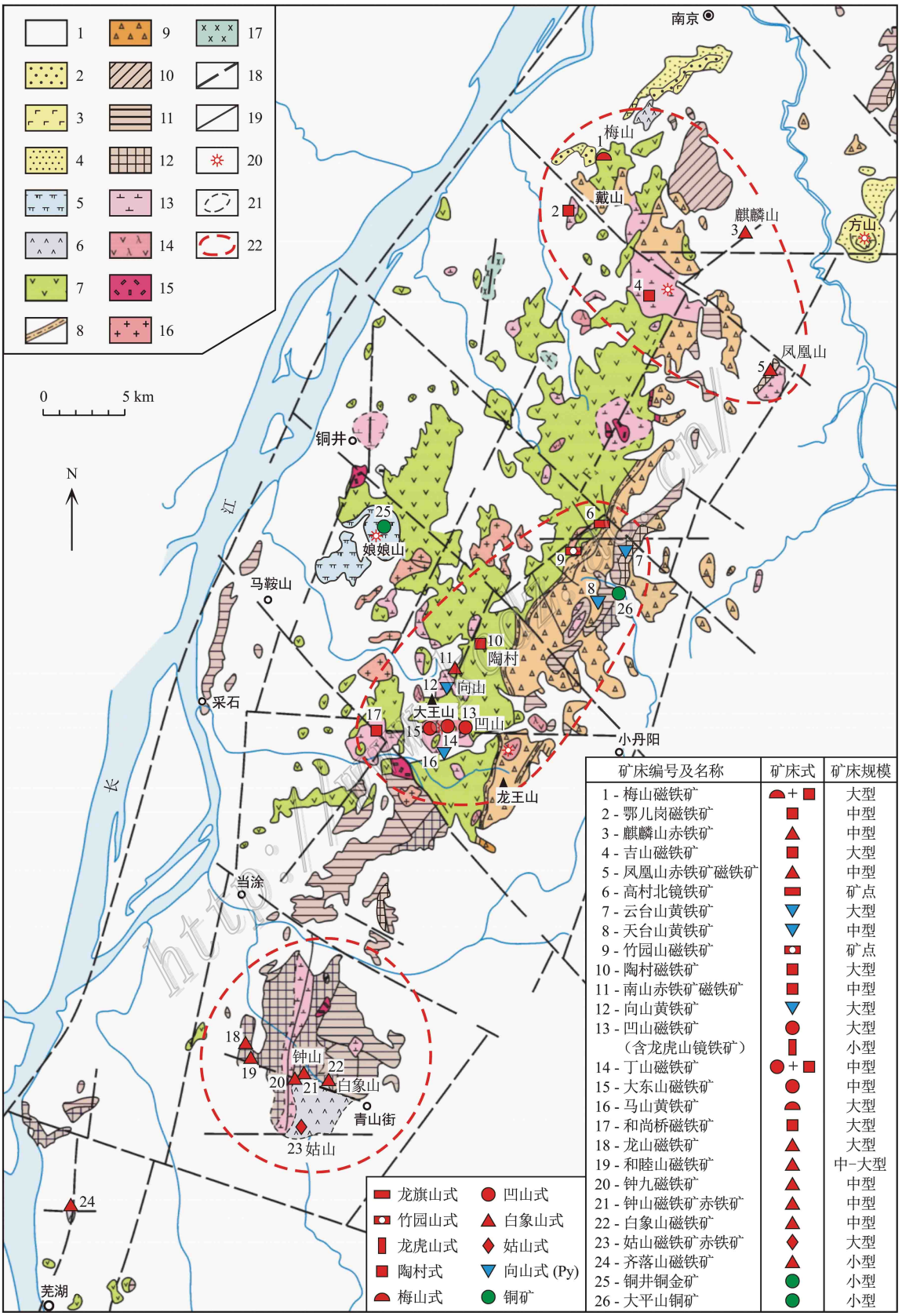

图 6 长江中下游地区宁芜矿床成矿亚系列内矿田、矿床式及矿床分布图(据徐志刚,2014; Ishihara et al., 1986 修改)

1—第四系；2—上新统雨花台组砾岩(N_2y)；3—上新统方山组玄武岩(N_2f)；4—中新统洞玄观组砂岩(N_1d)；5—上白垩统娘娘山旋回(K_2n)火山岩；6—下白垩统姑山旋回(K_1g)火山岩；7—上侏罗统—下白垩统大王山旋回(J_3-K_1d)火山岩；8—上侏罗统—下白垩统龙王山旋回早期(J_3-K_1l^2)("云合山组")火山岩；9—上侏罗统—下白垩统龙王山旋回早期(J_3-K_1l^1)火山岩；10—上侏罗统西横山组(J_3x)砂岩；11—下-中侏罗统象山群($J_{1\text{-}2}x$)砂岩；12—上三叠统黄马青组(T_3h)砂页岩和下-中三叠统青龙群($T_{1\text{-}2}q$)灰岩；13—辉长闪长岩-辉长闪长玢岩；14—安山玢岩、粗安玢岩和粗面斑岩；15—二长岩和石英闪长岩；16—花岗质岩；17—辉绿岩；18—据磁异常推断的断裂；19—实测断层；20—火山喷发中心；21—据钻孔确定的隐伏地质体；22—矿田(梅山、凹山、钟姑山)

Fig. 6 The distribution of orefields, deposit types and mineral deposits of the Nanjing-Wuhu minerogenetic subseries in the Mid-Lower Yangtze Region (modified after Xu, 2014 and Ishihara et al., 1986)

1—Quatenary; 2—Yuhuatai Formation conglomerate of Pliocene; 3—Fangshan Formation basalt of Pliocene; 4—Dongxuanguan Formation sandstone of Miocene; 5—Niangniangshan Cycle volcanic rocks of Upper Cretaceous; 6—Gushan Cycle volcanic rocks of Lower Cretaceous; 7—Dawangshan Cycle volcanic rocks of Upper Jurassic-Lower Cretaceous; 8—Late Longwangshan Cycle (i.e., the "Yunheshan Formation)" volcanic rocks of Upper Jurassic-Lower Cretaceous; 9—Early Longwangshan Cycle volcanic rocks of Upper Jurassic-Lower Cretaceous; 10—Xihengshan Formation sandstone of Upper Jurassic; 11—Xiangshan Group sandstone of Lower-Middle Jurassic; 12—Huangmaqing Formation sandstone and shale of Upper Triassic, with Qinglong Group limestone of Lower-Middle Triassic; 13—Gabbroic diorite and its porphyrite; 14—Andesitic-trachyandesitic porphyrites and trachyte porphyry; 15—Monzonite and quartz diorite; 16—Granitoids; 17—Diabase; 18—Infered fault from magnetic survey; 19—Measured fault; 20—Eruptive center; 21—Concealed geological bodies identified with drillings; 22—Orefields (i.e., the Meishan, Washan and Zhonggushan orefields)

质构造环境及同类地质成矿作用的地区寻找同类矿床成矿系列提供了重要指导，可通过类比寻找类似的矿床组合，这为新区域确定找矿目标提供有科学依据的指导，为老区找矿提供可能遗漏矿种的找矿目标；

(3) 矿床成矿系列组的建立，提出了从一个大地构造旋回内，在不同的地质构造环境中可能形成的矿床成矿系列，这为大区域找矿部署提供了思路。

30 多年来，中国不少地质单位在运用矿床的成矿系列概念进行找矿的实践中，都取得了不同程度的找矿效果，并归纳出矿床成矿系列缺位找矿的思路和方法(陈毓川等，1999；2006；2007；2010；毕伏科等，2006；王登红等，2011；唐菊兴等，2014)。

本文提出的矿床的自然分类是否科学，是否有实用价值，作者真诚地与各位同仁探讨。矿床成矿系列的研究与应用需要不断深化，希望有更多同仁参与，欢迎批评指正。

References

Abdullaev X M. 1957. The genetic association of mineralization with emplacement of granitoid magmas[M]. In: Xu W M, ed. Beijing: Geological Publishing House. 1-282 (in Chinese).

Abdullaev X M. 1964. Petrological-minerogenetic series of magmatic rocks and endogenic mineral deposits[J]. Journal of Translation from Foreign Literature of Geology, (9): 47-53 (in Chinese).

Agricola G. 1556. De re metallica, Libri XII[M]. Basilea: Froben. 1-586.

Bateman A M. 1950. Economic mineral deposits[M]. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons. 1-916.

Bi F K, Xiao W X and Yan T S. 2006. Location-vacancy of metallogenic series and its application to metallogenic prognosis[J]. Mineral Deposits, 25(6): 735-742 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C. 1983. The metallogenetic series of the rare-earth, rare and nonferrous metal deposits related to the Yanshanian granites in South China[J]. Mineral Deposits, (2): 14-24 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C and Zhu Y S. 1993a. Mineral deposit models of China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-367 (in Chinese).

Chen Y C, Pei R F, Song T R and Qiu X P. 1993b. Minerogenetic series in China[A]. In: Contribution to the 5th national meeting of mineral deposits in China [C]. Beijing: Geological Publishing House. 89-91 (in Chinese).

Chen Y C. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Sciences Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 1(3): 90-94 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C. 1997. Present situation and trend of research on metallogenic series of ore deposits[J]. Geology and Exploration, 33(1): 21-25 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C, Pei R F, Song T R and Qiu X P. 1998. Preliminary study on minerogenetic series in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-104 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C. 1999. Metallogenic series and mineral prediction[A]. In:

Chen Y C, ed. Modern theories and methods of exploration and evaluation of mineral resources[C]. Beijing: Seismological Press. 19-25 (in Chinese).

Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. On minerogenetic (metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, Xu Z G, Ren J S, Zhai Y S, Chang Y F, Tang Z L, Pei R F, Teng J W, Deng J F, Hu Y Z, Ren T X, Shen B F, Wang S C, Xiao K Y, Peng R M, Qian Z Z, Mei Y X, Du J G, Shi J F, Zhang X H, Zhu M Y, Xu J and Xue C J, et al. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-1005 (in Chinese).

Chen Y C, Wang D H, Li H M and Gao L, et al. 2010. Division for prospecting types of important mineral resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-221 (in Chinese).

Cheng Y Q. 1959. A brief introduction about the major iron deposit types known in China[J]. Geological Review, (5): 236-238, 226 (in Chinese).

Cheng Y Q, Zhao Y M and Lu S N. 1976. Some major types of iron deposits in China[J]. Geological Science and Technology, (2): 8-29 (in Chinese).

Cheng Y Q, Zhao Y M and Lu S N. 1978. Main type groups of iron deposits of China[J]. Acta Geologica Sinica, 52(4): 253-268 (in Chinese with English abstract).

Cheng Y Q, Chen Y C and Zhao Y M. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1(1): 32-58 (in Chinese with English abstract).

Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983a. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, (6): 1-64 (in Chinese with English abstract).

Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983b. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Geological Review, 29(2): 127-139 (in Chinese with English abstract).

Cox D P and Singer D A, eds. 1986. Mineral deposit models[M]. US Geological Survey Bulletin, 1693. Washington: United States Government Printing Office. 1-379.

Dill H G. 2010. The "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium[J]. Earth-Science Reviews, 100(1-4): 1-420.

Dong S B. 1999. A general account on the metamorphic mineral deposits[J]. Earth Science Frontiers (Chinese University of Geosciences, Beijing), 6(2): 231-242 (in Chinese with English abstract).

Editorial Committee of the Mineral Deposits of China. 1989. Mineral deposits of China, Volume 1[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-539 (in Chinese).

Editorial Committee of the Mineral Deposits of China. 1994a. Mineral deposits of China, Volume 2[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-591 (in Chinese).

Editorial Committee of the Mineral Deposits of China. 1994b. Mineral deposits of China, Volume 3[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-544 (in Chinese).

Guilbert J M and Park C F Jr. 1986. The geology of ore deposits[M]. New York: W H Freeman & Company. 1-985.

Guo W K. 1991. A review about the development of ore deposit geology[J]. Mineral Deposits: 10(1): 1-10 (in Chinese with English abstract)

Hsieh C Y (Xie J R). 1923. The classification and distribution of iron deposits in China[J]. Science (Ke-Xue), 8(5): 462-467 (in Chinese).

Hsieh C Y (Xie J R), Sun C C (Sun J C), Cheng Y C (Cheng Y Q) and Chern K (Chen K). 1935. Geology of the iron deposits in the Lower Yangtze Region[M]. Memoirs of the Geological Survey of China, Series A, Number 13. Peiping (Beijing): The National Geological Survey of China (under the Ministry of Industries and affiliated with the Academia Sinica) and the Institute of Geology of the National Academy of Peiping. 1-197 (in Chinese).

Hsieh C Y (Xie J R). 1957. The classification and distribution of copper ore deposits in China and the direction of prospecting[J]. Geological Review, 17(1): 2-21 (in Chinese).

Hsieh C Y (Xie J R). 1963. On classification of mineral deposits[A]. In: Meng X M, ed. The classification and genesis of ore deposits (A collection of papers on ore deposit geology)[C]. Beijing: Science Press. 19-28 (in Chinese).

Hutchinson C S. 1983. Economic mineral deposits and their tectonic setting[M]. London: MacMillan Publishers. 1-365.

Hutton J. 1788. Theory of the Earth; Or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe[J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1(2): 209-304.

Hutton J. 1795a. Theory of the Earth, with proofs and illustrations, Volume 1[M]. Edinburgh/London: William Creech/Cadell and Davies. 1-620.

http://www.kcdz.ac.cn/

Hutton J. 1795b. Theory of the Earth, with proofs and illustrations, Volumes 2[M]. Edinburgh/London: William Creech/Cadell and Davies. 1-567.

Hutton J. 1899. Theory of the Earth, Volume 3[M]. Edited by Sir A Geikie. London: Geological Society of London Special Publications, Burlington House. 1-308.

Ishihara S, Li W D, Sasaki A, Shibata K, Matsuhisa Y and Terashima S. 1986. Characteristics of Cretaceous magmatism and related mineralization of the Ningwu Basin, Lower Yangtze area, eastern China[J]. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 37(5): 207-231.

Kang Y F and Li C Y. 1991. Geological characteristics, types and distribution of tungsten deposits in China[J]. Mineral Deposits, 10(1): 19-26 (in Chinese with English abstract).

Lindgren W. 1907. The relation of ore-deposition to physical conditions [J]. Econ. Geol., 2(2): 105-127.

Lindgren W. 1933. Mineral deposits[M]. 4th edition. New York-London: McGraw-Hill Book Company Inc. 1-930.

Lindgren W. 1937. Succession of minerals and temperatures of formation in ore deposits of magmatic affiliation[J]. AIME (The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers). 358-376.

Liu X P, Chang Y F and Wu Y C. 1988. Metallogenic conditions and regularities in the middle and lower reaches of the Changjiang River [J]. Acta Geologica Sinica, (2): 167-177 (in Chinese with English abstract).

Lomonosov M V. 1763. The fundamentals of metallurgy and ore mining [M]. Moscow: National Press(in Russian).

Lowell J D and Guilbert J M. 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits[J]. Econ. Geol., 65: 373-408.

Lyell C. 1830. Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation, Volume 1[M]. London: John Murray. 1-511.

Lyell C. 1832. Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation, Volume 2[M]. London: John Murray. 1-330.

Lyell C. 1833. Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation, Volume 3[M]. London: John Murray. 1-398 and 1-109.

Mao J W, Shao Y J, Xie G Q, Zhang J D and Chen Y C. 2009. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 28(2): 109-119 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Zhang Z H and Pei R F. 2012a. Mineral deposit models in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-560 (in Chinese).

Mao J W, Zhang Z H and Wang Y T. 2012b. Mineral deposits: Types, characteristics and explorations[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-480 (in Chinese).

Meng H M. 1962. The problem of genesis and classification of ore deposits: An attempt to initiate some fundamental concepts of ore deposition as a means to promote more effective the study of geotectonics and prognostication of ore deposits [J]. Scientia Sinica (Science in China, Series A), 11(6): 837-858.

Meng X M. 1963. The classification of ore deposits and the search of ore [A]. In: Meng X M, ed. The classification and genesis of ore deposits (A collection of papers on ore deposit geology)[C]. Beijing: Science Press. 1-18 (in Chinese).

Mitchell A H G and Garson M S. 1981. Mineral deposits and global tectonic settings[M]. London: Academic Press. 1-405.

Nie F J, Liu Y, Liu Y and Zhang K. 2011. Classification scheme on gold and copper deposits: Past, present and future[J]. Geology and Resources, 20(2): 81-88 (in Chinese with English abstract).

Niggli P. 1929. Ore deposits of magmatic origin: Their genesis and natural classification[M]. In: Boydell H C, ed. London: Thomas Murby and Company. 1-93.

Pei R F. 1995. Mineral deposit models of China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-357 (in Chinese).

Pirajno F. 2013. The geology and tectonic settings of China's mineral deposits[M]. Berlin: Springer-Verlag. 1-679.

Pirajno F. 2015. A classification of mineral systems, overviews of plate tectonic margins and examples of ore deposits associated with convergent margins[J]. Gondwana Research, http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2015.08.013.

Ridge J D. 1958. Classification of ore deposits[A]. In: Geological Society of America Memoirs 75[C]. 191-195.

Ridge J D. 1968. Changes and developments in concepts of ore genesis, 1933-1967[A]. In: Ridge J D, ed. Ore deposits of the United States, 1933-1967 (Graton-Sales Volume 2)[C]. New York: AIME (The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers). 1713-1834.

Robb L. 2005. Introduction to ore-forming processes[M]. Oxford: Blackwell Publishing. 1-373.

http://www.kcdz.ac.cn/

Sawkins F J. 1990. Metal deposits in relation to plate tectonics[M]. 2nd edition. Berlin:Springer-Verlag. 1-461.

Schneiderhöhn H. 1941. Lehrbuch der erzlargerstättenkunde. Band I [M]. Jena:Gustav Fischer Verlag. 1-858.

Schneiderhöhn H. 1952. Genetische lagerstättengliederung auf geotektonischer grundlage[J]. Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monastshefte, Jahrgang, (2-3):47-89.

Schneiderhöhn H. 1955. Erzlagerstätten[M]. Stuttgart:Gustuv Fischer Verlag. 1-375.

Schneiderhöhn H. 1958. Die erzlagerstätten der erde, Band I. Die erzlagerstätten der frühkristallisation[M]. Stuttgart:Gustav Fischer Verlag. 1-315.

Schneiderhöhn H. 1961. Die erzlagerstätten der erde, Band II. Die pegmatite[M]. Stuttgart:Gustav Fischer Verlag, 1-720.

Shen Q H. 2007. Discussion on genetic classification of metamorphic ore deposits[J]. Geological Journal of China Universities, 13(3):371-382 (in Chinese with English abstract).

Shi J F, Tang J R, Zhou P, Jin Q H, Dai Z X, Xiang R J, Yang Z X, Zhu L L, Jin X, et al. 2010. Ore prospecting models and mineral resources exploration of the world [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-491 (in Chinese).

Smirnov V I. 1976. Geology of mineral deposits[M]. Moscow:Nauchnyi Mir Publishers(in Russian). 1-520.

Song Y X. 1637. Tian Gong Kai Wu (The exploitation of the works of nature), Volumes 1-3[M]. Nanchang:Tu S K version. 1-225 (in Classical Chinese).

Stanton R L. 1972. Ore petrology[M]. New York:McGraw-Hill Book Company. 1-713.

Strona P A. 1982. A treatise on the ore formations (The main types of ore formations)[M]. In:Liu H L, ed. Beijing:Geological Publishing House. 1-191 (in Chinese).

Tang J X, Wang Q, Yang C, Ding S, Lang X H, Liu H F, Huang Y, Zheng W B, Wang L Q, Gao Y M, Feng J, Duan J L, Song Y, Wang Y Y, Lin B, Fang X, Zhang Z and Yang H H. 2014. Two porphyry-epithermal deposit metallogenic subseries in Tibetan Plateau:Practice of"absence prospecting"deposit metallogenic series[J]. Mineral Deposits, 33(6):1151-1170 (in Chinese with English abstract).

Tang Z L and Ren D J. 1987. Types and metallogenetic models of nickel sulfide deposits in China[J]. Acta Geologica Sinica, (4):350-361 (in Chinese with English abstract).

Tang Z L. 1996. Main types of magma sulfide deposits in China[J]. Acta Geologica Gansu (Gansu Geology), 5(1):45-49, 64 (in Chinese with English abstract).

Tang Z L, Yan H Q, Jiao J G and Li X H. 2006. New classification of magmatic sulfide deposits in China and ore-forming processes of small intrusive bodies[J]. Mineral Deposits, 25(1):1-9 (in Chinese with English abstract).

The Writing Group of the Ningwu (Nanjing-Wuhu Area) Research Project. 1978. Porphyrite-type iron deposits in Nanjing-Wuhu area [M]. Beijing:Geological Publishing House. 1-196 (in Chinese).

Volcanic Iron Deposit Research Group of the Middle-lower Chang Jiang Valley. 1977. Porphyrite iron ore:A genetic model of a group of iron deposits in andesitic volcanic area[J]. Acta Geologica Sinica, (1):1-18 (in Chinese with English abstract).

Volyfson F I and Drurinin A V. 1986. The basic types of metallic ore deposits[M]. 2nd edition. In:Xu W L, ed. Beijing:Science Press. 1-294 (in Chinese).

Wang D H, Chen Y C, Xu J and others. 2005. Cenozoic mineralization in China[M]. Beijing:Geological Publishing House. 1-853(in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Chen Z H, Shen B F, Tang Z L and Pei R F. 2011. Advance in the study of mineralization system and its application to assessment of mineral resources[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(4):385-395 (in Chinese with English abstract).

Werner A G. 1787. Kurze klassifikation und beschreibung der verschiedenen gesteinsarten[M]. Dresden:In der Waltherischer Hofbuchhandlung. 1-28.

Werner A G. 1791. Neue theorie von der entstehung der gänge, mit anwendung auf den bergbau, besonders den freibergischen [M]. Freiberg:Gerlachische Buchdrukkerei. 1-256.

Wong W H. 1919. Brief records of mineral resources of China[M]. Memoirs of the Geological Survey of China, Series B, Number 1. 1-270 (in Chinese with English explanations).

Wong W H. 1920. Les provinces métallogéniques de Chine[J]. Bulletin of the Geological Survey of China, Ministry of Agriculture and Commerce, (2):9-59 (in Chinese and German).

Xu Z G. 2014. A review:"The research of Ning-Wu porphyrite iron deposit"and some further research problems[J]. Acta Geologica Sinica, 88(12):2394-2412 (in Chinese with English abstract).

Xue C J, Qi S J, Wei H M, et al. 2006. Essentials of mineral deposits [M]. Beijing:Geological Publishing House. 1-355 (in Chinese).

Yuan J Q, Zhu S Q and Zhai Y S. 1985. Mineral deposits[M]. 2nd edition. Beijing:Geological Publishing House. 1-345 (in Chinese).

Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D, Zhou X R and Wan T F. 1992a. Fe-Cu (Au) metallogeny of the Middle-Lower Yangtze River Valley[M].

http://www.kcdz.ac.cn/

Beijing：Geological Publishing House. 1-235 (in Chinese with English abstract).

Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D, Jin F Q, Zhou X R, Wan T F and Zhou Z G. 1992b. Metallogenic regularity of iron and copper deposits in the middle and lower valley of the Yangtze River[J]. Mineral Deposits, 11(1)：1-12 (in Chinese with English abstract).

Zhai Y S. 2001. Hundred years' retrospect and developing trend of mineral deposit geology[J]. Advance in Earth Sciences, 16(5)：719-725 (in Chinese with English abstract).

Zhai Y S, Yao S Z and Cai K Q. 2011. Mineral deposits[M]. 3rd edition. Beijing：Geological Publishing House. 1-417(in Chinese).

Zhai Y S. 2014. A discussion on the basic ore genesis model[J]. Earth Science Frontiers, 21(1)：1-8 (in Chinese with English abstract).

Zhang B X and Chen Y C. 1987. Ore deposit models and minerogenetic series[A]. In：Zhang B X, ed. Trends in contemporary geosciences[C]. Beijing：Geological Publishing House. 148-152 (in Chinese).

Zhao M and Cao X Z. 2009. History of the research and discussion on classification of mineral deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 24(2)：101-105 (in Chinese with English abstract).

Zhu Y S. 1993. On mineral deposit modeling[J]. Geological Review, 39(3)：216-222 (in Chinese with English abstract).

Zhu Z S, Song B Q and Zhu Y S. 1990. The significances and roles of mineral deposit models and their relationship to minerogenetic series [J]. Geology in China, (12)：13-16 (in Chinese).

附中文参考文献

阿布杜拉耶夫 X M. 1957. 成矿作用与花岗岩类侵入作用的成因关系[M]. 徐韦曼，黄蕴慧，孟宪民，谢家荣，译. 北京：地质出版社. 1-282.

阿布杜拉耶夫 X M. 1964. 岩浆岩和内生矿床的岩矿系列[J]. 地质译丛，(9)：47-53.

毕伏科，肖文暹，阎同生. 2006. 成矿系列的缺位问题及其在成矿预测中的应用[J]. 矿床地质，25(6)：735-742.

长江中下游火山岩区铁矿研究组. 1977. 玢岩铁矿——安山质火山岩地区铁矿床的一组成因模式[J]. 地质学报，(1)：1-18.

陈毓川. 1983. 华南与燕山期花岗岩有关的稀土、稀有、有色金属矿床成矿系列[J]. 矿床地质，(2)：15-24.

陈毓川，朱裕生. 1993a. 中国矿床成矿模式[M]. 北京：地质出版社. 1-367.

陈毓川，裴荣富，宋天锐，邱小平. 1993b. 中国矿床成矿系列[A]. 第五届全国矿床会议论文集[C]. 北京：地质出版社. 89-91.

陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘，1(3)：90-94.

陈毓川. 1997. 矿床的成矿系列研究现状与趋势[J]. 地质与勘探，33(1)：21-25.

陈毓川，裴荣富，宋天锐，邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京：地质出版社. 1-104.

陈毓川. 1999. 矿床成矿系列与成矿预测[A]. 见：陈毓川. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法[C]. 北京：地震出版社. 19-25.

陈毓川，裴荣富，王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报，80(10)：1501-1508.

陈毓川，王登红，朱裕生，徐志刚，任纪舜，翟裕生，常印佛，汤中立，裴荣富，滕吉文，邓晋福，胡云中，任天祥，沈保丰，王世称，肖克炎，彭润民，钱壮志，梅燕雄，杜建国，施俊法，张晓华，朱明玉，徐珏，薛春纪，等. 2007. 中国成矿体系和区域成矿评价[M]. 北京：地质出版社. 1-1005.

陈毓川，王登红，李厚民，熊先孝，高兰. 等. 2010. 重要矿床预测类型划分方案[M]. 北京：地质出版社. 1-211.

程裕淇. 1959. 我国已知的重要铁矿类型简介[J]. 地质论评，(5)：236-238，226.

程裕淇，赵一鸣，陆松年. 1976. 我国几组主要铁矿类型[J]. 地质科技，(2)：8-29.

程裕淇，赵一鸣，陆松年. 1978. 中国几组主要铁矿类型[J]. 地质学报，52(4)：253-268.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报，1(1)：32-58.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣，宋天锐. 1983a. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报，(6)：1-64.

程裕淇，陈毓川，赵一鸣，宋天锐. 1983b. 再论矿床的成矿系列问题——兼论中生代某些矿床的成矿系列[J]. 地质论评，29(2)：127-139.

董申保. 1999. 变质作用矿床概述[J]. 地学前缘，6(2)：231-242.

郭文魁. 1991. 金属矿床地质的发展——纪念《矿床地质》创刊十周年[J]. 矿床地质，10(1)：1-10.

康永孚，李崇佑. 1991. 中国钨矿床地质特征、类型及分布[J]. 矿床地质，10(1)：19-26.

刘湘培，常印佛，吴言昌. 1988. 长江中下游地区成矿条件和成矿规律[J]. 地质学报，(2)：167-177.

毛景文，邵拥军，谢桂青，张建东，陈毓川. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. 矿床地质，28(2)：109-119.

毛景文，张作衡，裴荣富. 2012a. 中国矿床模型概论[M]. 北京：地质出版社. 1-560.

毛景文，张作衡，王义天. 2012b. 国外主要矿床类型、特点及找矿勘

http://www.kcdz.ac.cn

查[M]. 北京:地质出版社. 1-480.

孟宪民. 1963. 矿床分类与找矿方向[A]. 见:孟宪民,谢家荣,冯景兰. 矿床学论文集,矿床分类与成矿作用[C]. 北京:科学出版社. 1-18.

聂凤军,刘勇,刘妍,张可. 2011. 金和铜矿床分类研究的过去、现状和未来[J]. 地质与资源,20(2):81-88.

宁芜研究项目编写小组. 1978. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京:地质出版社. 1-196.

裴荣富,等. 1995. 中国矿床模式[M]. 北京:地质出版社. 1-357.

沈其韩. 2007. 变质矿床成因分类的讨论[J]. 高校地质学报,13(3):371-382.

施俊法,唐金荣,周平,金庆花,戴自希,项仁杰,杨宗喜,朱丽丽,金玺,等. 2010. 世界找矿模型与矿产勘查[M]. 北京:地质出版社. 1-491.

斯特罗纳 П А. 1982. 含矿建造论(含矿建造的主要类型)[M]. 刘浩龙,马孝敏,译. 北京:地质出版社. 1-191.

宋应星. 1637. 天工开物(涂本,上、中、下卷)[M]. 南昌:涂绍 资助刊刻. 1-225.

汤中立,任端进. 1987. 中国硫化镍矿床类型及成矿模式[J]. 地质学报,(4):350-361.

汤中立. 1996. 中国岩浆硫化物矿床的主要类型[J]. 甘肃地质学报(甘肃地质),5(1):45-49,64.

汤中立,闫海卿,焦建刚,李小虎. 2006. 中国岩浆硫化物矿床新分类与小岩体成矿作用[J]. 矿床地质,25(1):1-9.

唐菊兴,王勤,杨超,丁帅,郎兴海,刘鸿飞,黄勇,郑文宝,王立强,冯军,段吉琳,宋杨,王艺云,林彬,方向,张志,杨欢欢. 2014. 青藏高原两个斑岩-浅成低温热液矿床成矿亚系列及其“缺位找矿”之实践[J]. 矿床地质,33(6):1151-1170.

王登红,陈毓川,徐钰,邹天人,等. 2005. 中国新生代成矿作用[M]. 北京:地质出版社. 1-853.

王登红,陈毓川,徐志刚,陈郑辉,沈保丰,汤中立,裴荣富. 2011. 成矿体系的研究进展及其在成矿预测中的应用[J]. 地球学报,32(4):385-395.

翁文灏. 1919. 中国矿产志略[M]. 地质专报,乙种第 1 号:1-270.

翁文灏. 1920. 中国矿产区域论[J]. 农商部地质调查所地质汇报,(2):9-59.

沃里弗松 Ф И,德鲁日宁 А В. 1986. 金属矿床基本类型(第二版)[M]. 许文林,译. 北京:科学出版社. 1-294.

谢家荣. 1923. 中国铁矿床之分类与其分布[J]. 科学(上海),8(5):462-467.

谢家荣,孙健初,程裕淇,陈恺. 1935. 扬子江下游铁矿志[M]. 地质专报,甲种第 13 号. 北平:实业部地质调查所、国立北平研究院地质学研究所. 1-191.

谢家荣. 1957. 中国铜矿床的分类、分布及今后普查勘探的方向[J]. 地质论评,17(1):2-21.

谢家荣. 1963. 论矿床的分类[A]. 见:孟宪民,等. 矿床学论文集,矿床分类与成矿作用[C]. 北京:科学出版社. 19-28.

徐志刚. 2014. “宁芜玢岩铁矿研究”回顾及某些问题的深化研究——贺陈毓川先生 80 华诞[J]. 地质学报,88(12):2394-2412.

薛春纪,祁思敬,隗合明,等. 2006. 基础矿床学[M] 北京:地质出版社. 1-355.

袁见齐,朱上庆,翟裕生. 1985. 矿床学(第二版)[M]. 北京:地质出版社. 1-345.

翟裕生,姚书振,林新多,周 若,万天丰. 1992a. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 1-235.

翟裕生,姚书振,林新多,金福全,周 若,万天丰,周宗桂. 1992b. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律研究[J]. 矿床地质,11(1):1-12.

翟裕生. 2001. 矿床学的百年回顾与发展趋势[J]. 地球科学进展,16(5):719-725.

翟裕生,姚书振,蔡克勤. 2011. 矿床学(第三版)[M]. 北京:地质出版社. 1-417.

翟裕生. 2014. 论矿床成因的基本模型[J]. 地学前缘,21(1):1-8.

张炳熹,陈毓川. 1987. 成矿模式与成矿系列[A]. 见:张炳熹. 当代地质科学动向[C]. 北京:地质出版社. 148-152.

赵明,曹新志. 2009. 矿床分类的历史及初步认识[J]. 地质找矿论丛,24(2):101-105.

中国矿床编委会. 1989. 中国矿床(上册)[M]. 北京:地质出版社. 1-539.

中国矿床编委会. 1994a. 中国矿床(中册)[M]. 北京:地质出版社. 1-591.

中国矿床编委会. 1994b. 中国矿床(下册)[M]. 北京:地质出版社. 1-544.

朱裕生. 1993. 论矿床成矿模式[J]. 地质论评,39(3):216-222.

朱正书,宋伯庆,朱裕生. 1990. 成矿模式的意义、作用及其与成矿系列的关系[J]. 中国地质,(12):13-16.

http://www.kcdz.ac.cn/