

矿床变化与保存的研究内容和研究方法

翟裕生 邓 军 彭润民

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 矿床是复杂地质作用的结果. 矿床形成后又经历不同形式和不同程度的变化. 由于已发现矿床的大多数是在其形成后经过变化而保存下来的, 因此矿床学研究应兼顾矿床的形成(成因)和矿床的变化、保存(产出)两个方面, 以提高矿产预测的能力. 矿床变化与保存的研究内容包括: (1) 控制要素; (2) 变化、改造的过程; (3) 变化、改造的产物; (4) 不同矿床类型的变化; (5) 不同时空域中矿床的变化; (6) 矿床保存条件. 研究成矿后变化的基本方法有: 地质构造制图、地球化学分析和模拟实验. 提出要研究和建立矿床的变化、改造模型; 将矿床演变作为含矿区域地质历史的一个环节, 将矿床个体变化研究与区域成矿系统演变相结合. 矿床变化研究既有利于矿产预测和勘查, 又可为改善矿区和区域生态环境提供基础资料.

关键词: 成矿后变化; 矿床改造; 保存; 成矿预测; 环境保护.

中图分类号: P61

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)04-0340-06

作者简介: 翟裕生, 男, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 1930年生, 1952年毕业于北京大学地质系, 1957年研究生毕业于长春地质学院, 长期从事矿田构造学、金属矿床学和区域成矿学等方面的教学与研究.

1 矿床学研究的一个重要领域——成矿后的变化与保存

矿床是地质作用的历史产物, 矿床形成后又经历了各种变化和改造: 一些矿床的组成和产状显著改变; 一些矿床经强烈剥蚀而消失; 一些矿床则有幸被保存下来. 为了找矿和采矿的需要, 人们注意研究矿床所在位置、产状和所经历的变化, 如矿体被断层错失, 硫化物矿体在地表氧化变成铁帽, 低洼区矿体被后来沉积物覆盖等. 此外, 对于变质矿床、风化矿床、原生矿转变为砂矿等也发表过不少研究成果^[1~3], 对找矿勘探工作起到有益作用.

由上述可见, 矿床学研究应兼顾矿床的形成过程(矿床成因)和矿床的改造-保存过程(矿床变化)两个方面. 增强对这两个方面(而不只是一个方面)的研究, 对提高预测矿床的能力是至关重要的. 但是, 在过去的矿床学研究中, 多只关注矿床的形成过程, 包括对成矿环境、矿质来源、控矿因素、成矿作用

方式以及矿床在区域尺度的产生等, 并逐步形成了较为系统的成矿概念、学说、理论. 而对成矿后变化、改造、保存这一重要内容却只停留在局部的、分散的、只是对少数类型矿床的研究, 未能从整体的角度, 全面研究各类矿床的成矿后变化, 也未能将其作为一个知识系统加以分析和综合, 并上升到理性认识. 另外一个不足是, 对成矿后变化研究还多局限在矿床和矿田尺度, 未能扩展到研究矿集区、成矿区(带)和成矿系统的后来变化和改造及其对区域矿床分布特征的影响; 因而在成矿学这一知识系统中缺失了一个重要组成部分, 或者说, 矿床的成因研究和矿床的演变研究这两部分的研究广度、深度很不相称.

当今找矿难度越来越大, 越来越需要新的系统的成矿理论的帮助, 而极为丰富的有关成矿后矿床改变的信息和新的技术手段, 也为系统研究成矿后变化提供了有利条件. 因此, 笔者^[4,5]建议, 将成矿后矿床的演变过程、演变轨迹和保存状态作为一个专门领域加以综合研究, 逐步建立其理论系统. 翟裕生^[6]和 Jaques 等^[7]在关于成矿系统的定义中都包括了矿床形成和成矿后变化、保存两方面的内容. 这种全面的历史演化研究既对矿产的勘查和开发提供更全面的理论基础, 对找矿有深远的指导意义, 又可

收稿日期: 2000-04-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(No. G1999043206); 国家攀登计划项目(No. 95-预-25).

为改善矿区的生态环境提供有用信息,并能提供有关化学元素的演变信息,以充实和丰富地球科学知识体系。

2 矿床变化与保存的研究内容

矿床变化与保存的研究内容很广阔,包括矿床形成后控制其发生变化的因素、发生了哪些变化、变化的作用过程、变化后的结果等。不同矿种、不同类型矿床有不同的演变轨迹;不同地质环境中产出的矿床的变化与改造方式也不一致;不同时代形成的矿床也有不同的演变历史。再有,就是要探讨成矿区带、矿集区形成后矿床保存条件,以便全面认识矿床分布的规律性,提高成矿预测的能力。下面概括地提出几项基本研究内容。

2.1 导致矿床发生变化的地质因素

矿床形成后经历的变化受到各种地质作用的控制和影响,包括内力、外力和不同圈层间的相互运动影响。例如,区域构造运动控制矿床所在环境和空间位置的变动;地壳隆升导致隐伏矿床被抬升、遭受风化剥蚀;区域沉降导致地表的矿床被后期沉积物覆盖。矿床受小型构造(断层、褶皱……)的改造,使矿体的形态、产状、结构和物质组成等复杂化。岩浆活动可吞蚀、肢解、同化混染原有矿体,也使矿体和围岩发生热变质、热交代作用,或使矿石品位贫化或加富。各类地质流体(地表水、地下水及其他)使矿床受到冲蚀、溶解、交代和氧化、还原作用等,使矿体组成和结构发生显著变化。区域变质作用使矿床发生整体性改变,矿质可发生明显的转移,甚至分散。地貌、气候、生物、水文等因素是改造浅表环境中矿床的主要动力因素。

2.2 矿床受变化和改造的主要方面

(1) 矿体形态、产状和结构的变化。主要受构造变形影响,矿体发生弯曲、错动、破碎、碾压及其他变化。前寒武纪层控多金属矿床的矿体变形常很复杂^[8,9]。(2) 矿石构造、结构的变化。受构造、流体、温压变动的影响,矿石的原生构造、结构被改造、破坏,并产生新的组构,如块状构造、角砾状构造、晶质结构、胶体结构等。(3) 矿石矿物成分和化学成分的变化。如磁铁矿氧化为赤铁矿,菱锰矿氧化为软锰矿,矿石经硅化后 SiO_2 增多而其他组分减少等。(4) 矿石品位的变化。金属硫化物矿床在地表氧化带时 Cu、U 等被溶解,使矿石贫化;这些金属又在地下水

面附近沉淀,使铜矿石品位增高。(5) 矿床规模的变化。矿床规模以其中矿产储量为标志。如矿体的一部分或大部分被剥蚀或溶解流失,则矿床储量缩小,原来的大型矿床被损坏后只达到中型,甚至小型规模。因此,现今所查定的矿床规模的大小,不一定都等于矿床形成时的规模,对露头矿来说,更是如此。矿床规模大小是一个受制于矿床被改造程度的动态参量。(6) 矿床类型的变化。矿床经显著变动,其基本特征发生变化而转变为其他成因类型,如矽卡岩型金矿变为铁帽型金矿,原生金刚石矿床转变为金刚石砂矿等。陈文明^[10]认为古老砂页岩型铜矿可转变为后来地质时代的斑岩铜矿。(7) 矿床地质异常的变化。矿床生成时相伴发生的种种异常,包括地质、地球物理和地球化学异常,也有随矿床(体)的变化而产生次生的异常,如原生矿体伴有的磁铁矿化和硫化物矿化异常,受到显著的氧化还原作用时,可分别变为褐铁矿与硫酸盐类,从而使这些蚀变矿化带的磁性和导电性减弱或消失,削弱了某些地球物理异常。对这类原生异常到次生异常的形态、产状和物质组成的具体的分析辨认,对于复杂矿化异常的评价是十分重要的。(8) 矿床所在环境和空间位置的变化。矿床生成时环境与现有环境有时一致,如第四纪早期形成的砂金矿,成矿后到现在并无多大的改变;有时并不一致,尤其是历经沧桑的古老矿床,如在中、下地壳形成的岩浆铜镍矿床可经构造作用而被抬升到地表附近(如甘肃川镍、铜矿床),因而进入一个全新的物理化学环境。在研究含矿区域地史演变的基础上,识别矿床原生环境与现存环境的差别,是区域成矿学的重要研究内容。

2.3 矿床受变化和改造的作用过程

矿床形成后经历的种种变化和改造,总体上是一种成矿物质由富集到分散,矿物岩石由原生演变为后生与次生,矿床(体)结构由简单、完整到复杂、破损的变化过程;是多种地质-地球化学作用对矿床施加影响的过程;是使矿床原有的物质、时间和空间结构更加复杂化的过程。

矿床的变化过程包括物理学的、力学的、化学的、生物的以及复合的作用,如氧化与还原、化合与分解、溶解与沉淀、沸腾与液化、压挤、裂开与剪切、生物有机质的吸附、络合、还原与降解等。矿床的变化、改造过程时间有长有短,变化方式有渐变,也有突变;变化改造过程有连续的(一次性)、断续的(多次性)、多次重大变化的叠加等。矿床变化与改造作

用的动力学机理是此类研究的核心内容。

2.4 矿床受变化和改造的结果

根据大量的矿产勘查和矿山地质研究,可将矿床经过变化、改造的结果概括为以下几个方面:(1)矿床变化轻微,其地质特征和矿石量被保存下来。(2)矿床受较明显的变化、改造,矿体和围岩部分被保存,一部分已被破坏,矿床规模缩小;可根据保存部分识别其矿床类型和原生环境。(3)矿床经受强烈改造,原有矿床被解体,有用矿物或元素可重新堆积在原有矿床附近的低洼区,形成砂矿床或表生沉积型矿床,即矿床经改造后转化为其他成因类型,成矿物质以另一种方式聚集。也有的是矿床经表生变化后、矿质进一步富集,如南非的风化壳型富铁矿床^[11]。(4)矿床(体)遭受强烈破坏,矿质从富集转为分散,即原有矿床消失,完全失去其经济价值。

由上述可见,研究矿床受改变的因素,尤其是保存条件的研究,对于找矿预测、评价和勘探工作有至关重要的意义。

2.5 各类矿床的变化和改造

矿床的改造作用和改造结果既取决于矿床所处的地质环境和控制因素,也取决于矿床自身的地质特征所决定的抗拒改造的能力,即物理化学的稳定性。不同矿种(如铜、金、萤石、花岗石)、不同的矿床类型(如岩浆矿床、沉积矿床、热液矿床),由于其产出环境、物质组成和产状、结构等的明显差异,在经受后来的改造作用时,表现出不同的变化趋势和变化轨迹。分门别类地研究各种矿床和变化的改造特征,对比它们的总体一致性和个体特殊性对于矿产预测和评价有重要意义。

2.6 不同时代矿床的变化和改造

地史上从太古宙至今有多个成矿时代,有多种矿床形成。古老矿床如前寒武纪生成的矿床一般都经历过多个地质事件,遭受变化和改造的几率较大,相对而言,矿床的“存活率”不高,而较年轻矿床,如中、新生代产生的矿床,其经历的历史较短,较简单,相对较容易保存;但也不能一概而论,在一些长期稳定的克拉通(如南非、西澳)中就发现不少古老的巨型矿床,而在一些构造运动强烈、频繁的年轻地体中,大型矿床被保留的几率就较小。因此,矿床被改造程度既与成矿时代的早晚有关,也受矿床所处地体的构造活动性制约。

2.7 不同地质-地理环境中矿床的变化和改造

矿床所处的地质-地理环境不同,其所经受的

改造作用也不相同。矿床所处的环境既包括地壳较深部位的高温高压环境,也包括地壳浅表的低温低压环境,还有复杂多变的地理-地貌景观和不同气候带。在热带和亚热带的湿润炎热地区,化学作用和生物作用活跃,对岩石和矿石的改造速率快,改造也较彻底,是巨大风化壳矿床的产出带;而在高纬度的荒漠区,降雨量少,对矿床改造则以物理作用为主,如剥蚀、裂解等,化学改造作用微弱。同样,不同的地貌景观,有不同类型的风化作用,矿床被改造的方式和路径也不尽相同。

2.8 矿集区形成后的变化和改造

以上所述是从各个侧面研究矿床形成后的变化与改造,这对于单个矿床的找寻和评价是必要的,但还不能满足区域尺度找矿预测工作的需要。区域成矿预测和评价不仅要研究区域成矿条件和成矿作用过程,还要研究成矿后区域所受的地质变动及其对矿床改造、保存情况的控制。这就涉及更多的地质-地球化学因素,包括矿床所在地质环境、构造-岩石单元、区域地热、区域水文、区域构造等对区内矿床组合的后期变化和改造的影响。在一个矿集区,以及更大的成矿区带中,成矿系统不同,矿床类型不同,区域内各地段的地质改造因素也不同,因此,区内各个矿床的改造、保存程度也不尽一致,这是一个复杂的,但是有广阔应用前景的新的研究课题。

综上所述可见,矿床、矿集区、成矿系统等后期变化与改造的研究内容是多方面的复杂的,需要采用合理的方法技术和科学的思维。

3 矿床变化与保存的研究方法

成矿作用过程是比较复杂的,再加上成矿后变化就更为复杂,前一作用过程的产物又被后来的多次作用过程所改造、叠加,或破坏,故只能根据现在保存下来的混杂的地质作用产物来推断其初始组成与结构,并推断其演变过程。因此,应用精密的探测、分析、测试技术,全面系统地搜集各种地质信息,运用科学方法进行综合分析,就成为研究矿床变化和改造的基本方法。

矿床的变化改造是整个地球物质系统运动的一部分,它包括多种地质因素、多种作用机理和多种变化产物,要运用多学科和多种技术方法。实际工作中可针对具体地区和矿床类型,采用有效的综合方法。

3.1 矿化区地质填图(大、中比例尺)

这是研究矿床变化保存的基本方法.通过周密的地质观测、制图和相关的测试、鉴定工作,可以查明矿体、矿床、矿田内与矿化有关地质体的空间展布、相互关联和时间序次,包括穿插、包裹、蚀变、剥蚀、掩盖、错动等反映原生与次生、早成与后成的各种信息.制图比例尺可根据研究对象的尺度而有所不同,也可根据需要进行专门制图,如水文地质制图、构造地球化学制图,以及各种精细的地表露头 and 坑内地质素描等.

3.2 构造解析法

构造活动是控制矿床变化改造的基本因素之一.按构造与成矿的时间关系可大体划分为成矿前构造、成矿期构造和成矿后构造.成矿前、成矿期构造在成矿后的持续活动常使矿体产状和结构复杂化,而新生的成矿后构造对矿床的破坏和改造最为直接和显著^[4,5].

3.3 矿床学、矿物学和蚀变岩石学研究

矿床的变化和改造集中地表现在原生矿物和岩石的改变(结构的、构造的、化学成分的).详细地对比研究原生矿物、岩石和次生矿物、岩石(包括蚀变岩石)的组构和成分的差异,以及其所占有的空间和发生的时间,十分有助于判断矿床发生变化的类型和强度,并有可能做出定量的分析,也可探索并识别出矿床被改造程度的次生标型矿物(组合),作为一种实际的判别标志.

3.4 地球化学方法

运用地质和地球化学方法,可以从水系沉积物、土壤和岩石的元素地球化学测量结果(异常图)中,区分开矿化原生异常场和成矿后次生异常场.再结合含矿区域和矿床的地质构造条件分析,去追溯矿床或矿集区中成矿元素及伴生元素的后生迁移路径、迁移距离和分带情况,从而提供有关矿床变化、改造的有用信息.运用生物地球化学方法还可查明生物有机质对矿床中有益物质的改造和再迁移作用.

3.5 地球物理方法

地球物理勘查获得的丰富信息不仅用于找寻矿床,还可用于研究矿床中矿体、围岩等物理性质的变化.譬如,具强磁性含矿侵入体中局部弱磁异常可能是岩体的被蚀变部分,或是后来弱磁性岩墙的侵入部位.含多量硫化物的斑岩体有较强的电异常,但硫化物氧化为褐铁矿后,则电异常显著减弱.这些情况

说明,结合地质情况,充分利用物探信息,也是研究矿床变化的一种手段.

3.6 地理学和气象学的方法

这对研究地表条件下矿床的风化剥蚀过程是很有必要的.不同的地理空间和地貌景观如经纬度、海拔高度、高山、丘陵、平原、洼地、河流、湖泊、海岸等,有不同风化剥蚀强度,而气象因素如气温、气压、湿度、降雨量、风力及风向、冰冻、积雪等又直接左右表生风化作用进行.这些因素都控制着矿床露头的变化改造作用.

3.7 矿床形成年代、改造年代和变化时段的测定

运用同位素定年方法,结合地质分析,可从时间维去认识矿床变化改造的地质年龄、经历的时间、变化的速率等,帮助了解矿床变化的阶段性及每个阶段的变化特征.目前,在矿床成矿年龄方面已积累了大量的测定数据,还需密切结合地质体时空关系来慎重比较和厘定,而关于矿床改造年龄方面的研究刚刚起步,需要积累资料和经验.

3.8 模拟实验

现有的成岩成矿实验大都是模拟矿床形成过程的物理化学作用及控制参量(高温高压、常温常压等),而很少注意到对矿床改造破坏过程的实验研究.应该有重点地开展这类研究,以便获得规律性认识;还可为研究矿床表生变化中有害元素分散对生态环境的损害程度提供可借鉴的资料.

4 矿床变化与保存的研究思路

系统研究矿床变化、改造、保存的规律是一个新的研究领域,还处在研究实例、积累资料、摸索经验的初步探索阶段,现提出几点认识供研讨.

(1) 矿床是占有一定时空位置的有价值的自然历史产物和动态物质组合,它时刻处于运动和变化中,只是形式的强度有所不同.矿床的变化有物理的、化学的、生物的和复合的;有微观尺度,也有宏观尺度;有渐变,也有突变.以历史的、动态的、发展的观点去研究矿床乃至矿集区的“来龙去脉”,是矿床学研究的重要思想^[12~14].

(2) 在矿床的形成、变化和保存现状3个阶段中,其控制因素和作用方式都有差别.在研究总结多个矿床实例的基础上,可对每类矿床建立起3个模型(式):矿床成因模型、矿床变化模型、矿床产出模型(保存现状).矿床成因模型和产出模型都已建立

多个.矿床变化模型还很少见,应加强这方面的探索研究,首先是建立重要矿床类型的演变模型.

(3)矿床的形成与变化过程能大体分开,又互相联系.矿床形成时的物质组成与结构是后来变化的基础和依据,而后来变化又是成矿时物质运动的延续和发展.在矿床的形成过程及其产物中,就孕育和准备了后来变化的内在因素.原有的物质及结构不同,其后期的改造方式和路径也有差别,例如,SEDEX型铜矿和石英脉型铜矿的变化改造途径就很不相同.矿床形成与改造的连续性、继承性正显示了前因后果的关系.

(4)矿床变化改造的总趋势是成矿物质的再循环,表现为成矿物质由集中到分散的变化.变化轻微时,矿床的原有基本特征得以保存;变化较显著,使成矿物质的赋存状态明显转变,可导致矿床类型的改变;矿床经剧烈改造破坏时,矿质全部转为分散,矿床也就消亡.在一个巨大的成矿区带中,产有同时代、不同环境中发生的若干个成矿系统,它们又有着不同的变化改造路径,此起彼伏、千姿百态,是一个复杂而又壮观的自然历史演变图景.

(5)成矿后变化的研究要兼顾“个体”与“群体”两个方面,既要研究单个矿床的变化、保存作用,也要研究矿集区内多个矿床(群体)也即矿床系列(组合)的变化、保存情况.对矿床个体变化的研究可提炼出有区域意义的“共性”,而对区域多个矿床变化的研究中又显示出在共性背景下的多种“个性”.建立起对区域中多个矿床的形成、改造、破坏、保存的全过程和多样性的认识,对进行区域矿产潜力评价和预测找矿是必要的.

(6)矿床变化改造与生态环境.当矿床在地表或很浅部位发生变化改造时,在矿质及其伴生组分的再循环过程中,一些有害组分如S、P、Hg、Cd、U、Pb等受表生作用而扩散到土壤、水体和空气中去,损害人与其他生物的生态环境,对他们的发育成长甚至生命造成危害.当前,矿业开发与环境保护的协调发展已成为可持续发展的一个基本战略.因此,矿床专家在研究各类矿床的成矿后变化保存作用时,要注意矿床中有害组分在各种介质中的扩散作用和扩散途径,并为采取矿山环保措施提供基础资料和科学

依据.

参考文献:

- [1] 袁见齐,朱上庆,翟裕生.矿床学[M].北京:地质出版社,1985. 1~345.
- [2] Stanton R L. Ore petrology [M]. New York: McGraw-hill Book Company, 1972. 269~302, 612~648.
- [3] 詹森 M L,贝特曼 A M.经济矿床学[M].余明维,译.北京:科学出版社,1987. 252~264.
- [4] 翟裕生.第四纪时期矿床的形成和改造[A].见:纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论会组织委员会编.袁复礼教授诞辰一百周年学术讨论会论文集[C].武汉:中国地质大学出版社,1993b. 175~178.
- [5] 翟裕生.论矿床形成后的改变与保存[J].地学研究, 1997, (29~30): 267~273.
- [6] 翟裕生.论成矿系统[J].地学前缘,1999, 6(1): 13~27.
- [7] Jaques L A, Wyborn L A I, Gallaghe R. The role of geographic information system, empirical modelling and expert systems in metallogenic research [A]. 12th Australian Geological Convention, Geological Society of Australia Abstracts (No. 37) [C]. [s.l.]: Perth, 1994. 196~197.
- [8] 乌尔夫 K H.层控矿床和层状矿床(第四卷)[M].北京:地质出版社,1979. 160~202.
- [9] 张秋生.中国早前寒武纪地质及成矿作用[M].吉林:吉林人民出版社,1984. 159~165, 281~289, 318~319.
- [10] 陈文明.斑岩铜矿与杂色砂页岩型铜矿内在联系的初步探讨[J].中国地质科学院矿床地质所刊,1980, 1(1): 69~74.
- [11] Button A, Tyler N. The character and economic significance of Precambrian paleoweathering and erosion surface in Southern Africa [A]. In: Brain J Skinner, ed. Economic geology — 79th anniversary volume (1905 - 1980) [C]. Lancaster, Pennsylvania: The Economic Geology Publishing Company, 1981. 686~709.
- [12] 翟裕生.矿床学思维方法的进步[A].见:赵鹏大,王亨君,主编.地质科学思维[C].北京:地震出版社,1993. 74~84.
- [13] 翟裕生.矿床地质学的发展前景和思维方法[J].地学前缘,1994, 1(3): 1~8.
- [14] 翟裕生.矿床学研究的思维方法[A].见:陈毓川,主编.当代矿产资源勘查评价的理论与方法[C].北京:地震出版社,1999. 3~10.

RESEARCH CONTENTS AND METHODS FOR POST-ORE CHANGES, MODIFICATIONS AND PRESERVATION

Zhai Yusheng Deng Jun Peng Runmin

(*Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract : The ore formation is a result of complex geological processes. The majority of ore deposits is subject to changes in various forms and degrees after their formation. The ore-deposit geology is to study the ore-forming process (genesis) as well as the post-ore changes and modifications, so as to increase the probability of ore prediction. The main post-ore changes are classified as following six aspects: (1) the controlling parameters, (2) the changing and modification process, (3) the product of post-ore modification, (4) the different modification track of various ore-deposit types, (5) the ore-deposit modifications in different geological environments and periods, and (6) the conditions for ore-deposit preservation. The basic methods for post-ore changes include the geological mapping, geochemical analysis and simulation experiments. In order to establish the post-ore change models of certain ore-deposit types, we should not only study the single ore-deposit, but also the ore-deposit series in a certain metallogenic belt. The research into the post-ore changes is not only favorable for the forecasting and exploration of mineral resources, but also beneficial for the improvement of the ecological environments of mining area.

Key words : post-ore change; modification of ore deposit; preservation; ore predication; environmental protection.