

# 矿田构造的研究历史、现状与发展

吴淦国, 吕承训

WU Gan-guo, LÜ Cheng-xun

中国地质大学(北京), 北京 100083

China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

**摘要:**矿田构造是指在矿田范围内,控制矿床的形成和分布的地质构造因素的总和。在矿田构造和矿床构造的含义中,既包括构造形迹和岩石组构特征,又包括控矿构造的形成机制和发展历史。近 10 几年来的矿田矿床研究不仅强调构造对于矿体的形态、分布和组合的控制作用,也深入于构造作用对成岩成矿过程的研究。综合分析了矿田构造研究的研究历史、研究内容、研究现状与问题,对矿田构造与找矿研究的发展方向进行了展望。

**关键词:**矿田构造;构造解析;构造成矿系列;构造岩相;构造地球化学;界面找矿

中图分类号:P613;P313

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)04-0461-08

Wu G G, Lü C X. Research history, present situation and development of ore field structure study. *Geological Bulletin of China*, 2011,30(4):461-468

**Abstract:** Structure of ore field refers to the combined factors of geological structure which control the ore deposit formation and distribution within the scope of ore field. In the meaning of ore field structure and deposit tectonic, structural feature and rock fabric characteristics are included, as well as the formation mechanism and development history of ore-controlling structure. In recent ten years, ore field study not only simply emphasize the control action of the tectonics for the shape, distribution and combination of ore body, but also go deep into studying on the tectonism for the process of diagenesis and mineralization. This paper synthetically analyzes the research history, research content, present situation and problems of ore field structure study. Moreover, it prospects the ore field structure and development direction in ore prospecting research.

**Key words:** structure of ore field; tectonic analysis and quantification; tectonic minerogenetic series; tectonic lithofacies; tectonic geochemistry; interface prospecting

矿田构造是指在矿田范围内,控制矿床的形成和分布的地质构造因素的总和。矿床构造是指决定矿体在矿床中的分布规律和矿体形态、产状特征的地质构造因素的总和。如果说研究成矿大地构造有助于认识大区域内矿床的形成和分布规律,对找矿有重要意义,那么研究矿田矿床构造则可掌握控制矿床和矿体形成、改造、产状、分布的地质构造因素,对于详查、勘探和采矿有重要的意义<sup>[1]</sup>。

构造是控制矿床形成和分布的重要因素,历来

受到找矿勘探者和矿山地质工作者的广泛重视。近年来,随着对典型矿床的深入研究、深部找矿工作的开展和成矿理论的探讨,矿田构造研究工作有了较大的进展,形成了一些新的研究方向,开辟了一系列新的研究内容和方法。矿田构造学正逐步成为矿床学和构造地质学之间的一门分支学科,对研究成矿理论和解决矿产勘探工作中的实际问题发挥出日益重要的作用。近年来,随着板块构造理论的发展和矿床学研究的深入,依据区域成矿规律和矿床模式指

收稿日期:2010-11-05;修订日期:2011-03-04

资助项目:中国地质调查局地质调查项目《武夷山中生代推覆构造研究及铜多金属矿成矿预测》(编号:1212010981048)

作者简介:吴淦国(1946-),男,教授,博士生导师,从事教育管理和构造、成矿、矿田构造等方面的研究。E-mail: wugg@cugb.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

寻找矿取得了巨大的进展,而相应的矿田构造理论和实践却比较薄弱,亟待加强,深入开展矿田构造领域相关问题的研究显得尤为迫切。

## 1 矿田构造的研究历史

古代矿工们早就从实践中认识到构造对矿体形态和产状的控制作用,并学会利用一些明显的构造迹象(断层、裂隙、破碎带、接触带等)作为探矿的标志。但是,现代的矿田构造研究是随着采矿事业的发展和地质科学的进步,从 20 世纪初才开始。翟裕生<sup>[1]</sup>对矿田构造研究进行了归纳,提出该研究领域大体上经历了 3 个发展阶段。

### (1) 第一个阶段

20 世纪前半叶,矿田构造的研究内容着重于单个构造要素对成矿的控制,如褶皱控矿、断裂控矿、裂隙控矿、侵入体接触带控矿等,着重研究构造对矿体形状、产状和空间分布的影响。这些研究基本是描述性和实测性的,在此基础上也探讨了裂隙多次张开所引起的矿脉生成的多阶段性,围岩性质对构造、矿化类型的影响,矿化与岩墙的关系等,并提出了成矿前、成矿期和成矿后构造等概念,分别研讨了其控矿作用。

前苏联学者开展了较为系统的矿田构造研究工作。早在 20 世纪 30 年代就确定了该学科的方向,并先后在高等学校中开设了矿田构造课程,划分了矿田、矿床构造的成因类型,为矿田构造这个方向的研究工作打下了一定的基础。同一时期美国的一些地质学家也发表了关于构造与矿床的关系的专著。这些研究工作主要是针对内生矿床的,煤田地质构造和油田构造因其特殊性而属于专门的研究范畴。

### (2) 第二个阶段

第二次世界大战后,随着经济的恢复和发展,对矿产的需求量与日俱增,人们进一步认识到研究矿床学包括矿田构造的必要性。大约从 20 世纪 50 年代起,矿田构造研究工作广泛深入地开展起来。前苏联在内生金属矿田和矿床构造的研究方面长期处于世界先进行列。这个阶段的主要特点是:在研究单个构造要素控矿的基础上,注意研究构造体系或构造组合的控岩控矿作用,注意研究矿田构造与区域构造的相互关系,以便在更广阔的范围内研究矿床形成的地质构造背景。前苏联学者在 20 世纪 50~60 年代,曾对矿田构造与区域构造的关系、矿床的时空分

布与不同成因构造类型的关系、矿田和矿床地质制图的专门方法、特殊类型矿田构造 4 个方面进行了较为全面的研究工作。在此阶段,欧美一些国家相继开展了对矿田构造的综合研究,他们用力学原理分析构造成因,进行模拟实验,以查明构造的形成机理及其对矿化的控制作用。在矿田构造与区域构造方面,地质力学中关于构造体系控岩控矿的研究曾起到明显的推动和促进作用<sup>[2-3]</sup>。

### (3) 第三个阶段

从 20 世纪 70 年代以来,人们在实践中认识到,要找寻隐伏矿床,只研究构造要素和构造体系已经不够了。因为单就构造本身而言,很多构造条件,如断裂的分支和交叉部位,背斜倾伏端,不同构造体系的复合部位等,都是有利成矿的。但是并不是上述的每种构造条件都能成矿。找矿结果表明,真正含矿的构造只占全部构造形迹很小的一部分。因此,在研究工作中要把成矿的物质条件和构造条件结合起来,即将构造和矿床成因、构造应力场与地球化学场、成岩成矿过程中物质的迁移和聚集、构造应力场的形成演化历史结合起来进行研究,以便深入探索构造活动与成矿作用之间的内在联系,深入认识矿床的形成环境和形成机理。陈国达<sup>[4]</sup>、杨开庆<sup>[5]</sup>、翟裕生等<sup>[6]</sup>、曾庆丰<sup>[7]</sup>、斯米尔诺夫<sup>[8]</sup>的有关研究都不同程度地反映了这一阶段中的一部分研究成果。

上述 3 个阶段的划分是大体的,是由浅入深、由局部到全局的,是由单个构造控矿—构造体系控矿—成矿物质和成矿构造的结合研究。当前,矿田构造研究工作已经进入到这 3 个基本方面密切结合、平行前进的阶段。单个构造和构造体系的成矿机理仍在深入研究的过程中,新的控矿构造类型和构造体系形式也时有发现,构造地球化学等研究方向正在努力开拓。在矿田构造的含义中,既包括构造形迹和岩石组构特征,又包括控矿构造的形成机制和发展历史。近一时期,对控矿构造这一概念的理解也较为广泛,除了变形构造外,还注意到岩浆成因构造、沉积成因构造和变质成因构造对成矿的控制作用。矿田构造的概念开始被理解为决定矿床空间分布、矿床形态和影响矿化聚集的地质构造因素的总和,因此一般也称为矿田地质构造。

## 2 矿田构造的研究内容

前苏联学者认为,研究矿床成因应采用综合的

手段,但最为重要的是矿田和矿床构造研究。因为构造对矿床的形成往往起着主要的控制作用,构造的形成和演化控制着矿床的形成机制和矿产的分布规律。只有详细地查明矿床构造的特征,才能查明矿化富集的条件,恢复地质事件发生的次序,确定矿石堆积的时间和矿体产出的位置<sup>[9-10]</sup>。

必须清楚地认识到,矿田构造仅仅是矿田地质学的一个方面,对它的研究不可能完全满足矿田成矿理论和找矿目标的要求。李四光认为,“地壳中矿产的分布是受着双重控制的:其一,是成矿的物质条件;其二,是成矿的构造条件。由于成矿物质的迁移、聚集和分布受着后者的制约,所以事实上矿产的分布主要是受构造体系控制的”<sup>[11]</sup>。中国学者曾广泛研究了不同时期构造体系的发生、发展、复合、转变和它们与沉积、建造、火成活动、变质作用、有关的成矿作用的关系,进行煤、石油和某些金属矿产的预测,取得了较好的成果。

矿田构造学应用构造地质学、矿床学的原理和方法来研究构造与成矿的关系。其基本任务是查明矿田、矿床形成和改造的地质构造条件,以利于认识矿床分布的规律。主要研究内容包括:岩石的物理-力学性质、各种控矿构造类型、控矿构造体系和构造分带性、控矿构造的发展阶段、矿液流向和运矿构造、矿石堆积的构造圈闭条件、各类矿床的控矿构造条件、矿床构造特征与区域构造的关系等。

## 2.1 岩石的物理-力学性质

研究岩石力学性质对岩石变形和矿化分布的影响,含矿围岩的某些性质(如硬度、弹性、塑性、脆性、孔隙度、渗透性等)对矿液运移、矿化分布的直接和间接影响。研究同一种岩石在不同深度和不同应力条件下物理-力学性质的差异变化及其对成矿的影响。

## 2.2 各种控矿构造类型

主要研究变形构造,如褶皱、断裂、裂隙构造等。

详细划分褶皱构造的成因和形态类型,系统研究其控矿的有利部位,如褶皱转折端、倾伏端、背斜轴部虚脱、翼部滑动裂开构造等对成矿的控制作用。大量实际资料表明,褶皱构造与各种序次的断裂裂隙相配合,才能控制矿石的堆积条件和矿体的形态特点。

断裂裂隙构造是控制内生金属矿床最重要的构造类型。对于断裂的规模、产状、序次、发展历史和不

同级别的伴生情况曾做过大量的研究工作,并特别注意到断裂内部结构的变化及其对矿化的影响,如断裂的相对张开部分和相对压紧部分对矿化分布的不同作用。也查明了深断裂对决定矿田和矿床空间分布位置的重要性。

地质学的线性构造除了指断层之外,还应该包括地壳内一种很深、很宽的脆弱线性延伸的构造带。它经常是隐蔽的,也反复活动,且常具有大区域甚至贯穿整个大陆的规模。一般认为,线性构造的交切或分支地段所构成的很深的脆弱带,是深部成矿物质向地壳浅部运动的重要通路。

环状构造是坚硬地块中常见的一种构造类型,它们在卫星影像上表现得比较明显。与环状构造有关的矿床主要是中心型岩浆岩体内的矿床,如岩浆铜镍矿床、内生碳酸岩中的磷-铌-稀土矿床、某些矽卡岩和热液矿床。在加拿大魁北克地区,产自基性-超基性岩体中的 17 个铜镍矿床有 13 个与环状构造有关。

## 2.3 控矿构造体系和构造分带性

构造体系由于规模大小不同,影响地壳的深度不同,对矿产的分布也有不同的控制意义。广大地质工作者在普查勘探矿床的实践中,运用构造体系的概念,研究构造对矿产分布的控制,逐步总结出构造体系多级控矿、构造体系复合控矿、构造体系不同部位控矿、扭动构造影响流体矿产迁移集中等规律性。运用这些规律,在矿产预测工作中已经取得一定效果,并正在实践中进一步经受检验和提高。

构造分带性表现为不同构造要素在空间上和时间内有规律地分布。这些构造要素包括断裂、裂隙、褶皱、蚀变带、断裂内部结构、岩石物理-力学性质等。研究矿床和矿田构造的分带性对于认识矿化空间分布规律很有意义,是一个重要的研究方向。近年来,由于矿山开采、深钻和物探工作的进展,有关深部矿化与构造关系的资料日益增多,使开展相关综合研究工作成为可能。

## 2.4 控矿构造的发生发展历史

一般把矿床构造发展的漫长历史分为 3 个阶段,即成矿前、成矿期和成矿后构造。在成矿构造中,对于内生矿床分布有重要作用的是断裂构造,对它们发生、发展历史的研究也比较详细。曾庆丰<sup>[7]</sup>将成矿裂隙的发展过程分为成生、张开填充和破坏 3 个



阶段。其中前2个阶段与成矿关系密切有关。这2个阶段常交替出现,多次活动,即具有脉动性。成矿构造的脉动性是造成成矿作用脉动性的基本控制因素,在很多热液矿床中表现得很明显。

## 2.5 矿液运移和沉积成矿界面构造

为了剖析矿液运移的原始通路,一般根据构造在矿液流动和堆积中所起的作用,将构造要素划分为导矿构造和储矿构造。导矿构造是引导矿液进入矿床范围的通道。储矿构造是包含矿体,决定其形态、产状和内部结构特点的构造。有的学者<sup>[12]</sup>还划出一种配矿构造,表示介于导矿构造和储矿构造之间并将二者联系起来的构造要素。但在实际工作中,导矿构造与配矿构造常不易区分,在有些情况下二者甚至是一致的,如某些断裂裂隙、不整合面等。成矿构造岩相界面带是有利的矿体形成部位,要研究矿液在界面构造沉积成矿的问题。

矿液自深部上升时,由于温度、压力逐渐降低和充填交代作用的不断进行,其成分也在不断变化。因此,沿着矿液通道由下而上,由成矿界面中心向两侧,产生的蚀变矿化类型和有关的元素含量、组合情况也在不断变化。但是,成矿作用常常是脉动的(多阶段的),有时也有叠加和再造作用。在这种情况下,研究矿液流向就更为复杂,更要谨慎。

## 2.6 成矿构造圈闭的地质背景和物理化学条件

构造圈闭的空间形态是多种多样的,这种形态又直接影响矿体的形态和产状。在单一的巨大的圈闭空间中,易形成大型的完整的矿体,如断裂接触带构造中的铁矿体。在众多密集的断裂裂隙中易形成彼此平行产出的矿体群。在高渗透性块状岩体的穹隆部位的网脉带中,则易形成面型浸染状矿化蚀变带,且矿化比较均匀。在断裂、网脉裂隙、高渗透岩石等多种因素组成的圈闭系统中,则形成产状复杂的不均匀的矿化带或矿体。

构造圈闭是促成矿石堆积的最重要的外部条件,它影响着成矿基本物理化学参数( $p$ 、 $T$ 、 $C$ 、 $pH$ 、 $E_h$ 等)的变化,也影响成矿作用过程,影响矿床的成因特征。因此,构造圈闭的分布、力学性质和形成时的地球化学、物理化学过程是矿田构造研究的基本内容。

## 2.7 不同成因类型矿床的控矿构造条件

研究各种不同成因类型矿床的构造控矿条件和构造类型,是矿田构造研究的经常性工作。矿床类型

的划分既取决于成矿作用方式,也取决于成矿的地质构造条件。因此,研究各种不同类型矿床的构造条件和发展历史,有助于深入认识各种矿化作用机制、查明矿床成因、阐明不同类型矿床的分布规律,指导找矿方向。

总的来说,矿床成因复杂,矿质多源,成矿环境和成矿方式多样,因而成矿构造也是五花八门的。不能只注意脉状矿床构造,忽视层控矿床构造;也不能只注意后生矿床构造,忽视同生矿床构造;更不能走向与上述情况相反的另一极端。必须具体情况具体分析,把控矿构造研究和矿床成因分析紧密地结合起来,深入解释构造控矿的奥秘。

## 2.8 区域构造、矿田构造和矿床构造的关系

矿田、矿床构造是区域构造的一部分,它明显受到区域构造发展过程的控制。因此,在研究矿田构造时,一定要注意研究矿田所在地区的区域构造背景,研究矿田、矿床与周围地质构造环境的空间联系和时间联系,以便全面地认识矿床的时空分布规律。这种点面结合、局部和全部相结合的研究方法是矿田构造研究的重要原则之一。

研究矿田、矿床构造与区域构造的关系一般从以下几个方面着手:①研究区域构造和控制矿田的构造位置;②研究不同构造层中的控矿构造特点;③注意贯通性断裂对于矿田的制约作用,研究多层次控矿规律;④研究区域矿化深度、矿田不同构造赋矿深部的变化和矿床矿脉的垂直分带。

## 2.9 构造控矿特征指导下的找矿规律

矿田构造研究为查明成矿规律服务,可以指导成矿预测和找矿方向。在地质力学方法研究和矿田构造研究方面,可以归纳控制矿化分布的某些规律,特别是构造控矿在空间、时间、机制3个方面的研究,可以提高找矿预测的水平,具有重要的适用价值,需要继续深入研究<sup>[9]</sup>。

### (1) 结构面和界面找矿

内生矿床中以充填方式形成的矿体就位时需要合适的流体运移通道和矿石堆积空间,交代成因的矿体则要有气液流体沉积场所。这些空间和场所通常是具有一定宽度的物理面(结构面)。结构面和岩体变化的物理空间,往往是岩石力学性质和化学性质变化的区段,它们控制矿体的形态、产状、规模和矿石组构,甚至矿石成分的分布,是主要的找矿目标。

## (2)区域大构造的次级序构造部位找矿

与成矿有关的区域构造带或主干断裂,并不直接容矿,而是由其旁侧次级和低序次的构造容矿。主构造旁侧的构造可以是低序次构造或先期构造,也可以是同期构造,如有的逆断层上盘发育与其近直交的另一组裂隙,而下盘则发育与其平行的同组裂隙。在层控矿床中,同生断层、喷流通道旁侧才是矿体赋存的场所<sup>[13]</sup>。

## (3)根据构造分带性找矿

构造分带性、断裂分带性常见有垂直分带和水平分带,脉型矿床的“多层楼”式构造控矿就是这种实例。水平分带主要是构造应力作用相对向两侧逐渐衰减所导致的,常表现为构造发育程度、动力变质作用强度、构造岩类型等具双侧对称或不对称分带;当断裂迁就不同地质体接触面时,可出现单侧分带。构造地球化学研究表明,断裂的分带性控制化学元素呈带状分布,从而可形成构造对称性控矿<sup>[14]</sup>。

## (4)构造成矿深度推断和深部找矿

构造的层次性也是垂直分带的表现。可以从较大的垂直尺度上来讨论成矿深度,研究层次性控矿问题。由于构造发育深度不同,温压条件有明显差别,成矿物质来源就可能不同。在同一成矿区,上下层次可以赋存不同类型的矿床或矿体。因此,浅部矿体找完了,不能轻易否定深部没有同矿种的其它类型的矿体或其它矿种的矿床。例如,爆发岩筒上部是角砾状矿石组成的矿体,下部有可能还有管状脉型矿体;剥离断层的上、下部分具有不同层次的构造特征,其控矿作用也不同。根据成矿深度,可以推断深部的矿化富集带<sup>[15]</sup>。

## (5)构造控矿和分级次找矿

成矿前和成矿期构造的规模有大有小,切割有深有浅,控矿作用也不尽相同,总体上表现出按构造规模的等级依次分级控制矿带、矿田、矿床和矿体。一般来说,区域性一、二级构造往往起导矿作用,三、四级构造控制矿床分布,矿体则产在更低级别的构造中。

## (6)整体性控矿和系统性找矿

构造组合、构造体系对矿化分布具有整体性控制作用。同一组合中不同类型的构造形迹对矿化有不同的控制作用,但整体上它们之间又具有有机联系。例如,层控铅锌矿床,在受弯隆构造控制时,其原

生矿体呈环带状展布,而氧化矿体受张性、张剪性断裂控制呈放射状排列。运用构造整体性控矿规律能较好地参与找矿预测<sup>[16]</sup>。

## (7)构造控矿等距性和分段找矿

构造控矿并不是构造处处都有矿化,矿化仅发育在局部块段。分段性控矿常常表现出矿化等距性分布。这种等距分段性特征形成的原因主要是构造交叉(复合)、构造变形的不均一、构造发展的递进性、深部热流体源向上部运送流体时上构造层发生间断性定向层滑。

## (8)构造复合部位找矿

复合性控矿是构造在时间上的演化、空间上的组合、性质上的转变对矿体和矿床形成、改造的控制作用。在构造应力场作用下,岩石储能和释能是有规律的,所形成的变形带有序排布,因此构造复合结点就不是随机的。构造复合不仅为矿体就位提供有利的空间,而且不同复合部位的温压条件不同,化学元素组合和浓度都会发生变化。这样,不仅矿体的空间分布受复合部位的控制,而且矿体中的矿物组合和成矿元素含量也因此呈有序的变化。

## (9)根据成矿省和地球化学背景找矿

成矿学研究表明,地壳中的矿床是相对集中成区(带)分布的。岩石圈结构的不均一性和深部物质调整过程的差异性,使得化学元素发生地球化学分区,从而使某些矿化或矿床组合相对集中分布在一定的构造区内,形成聚矿构造带或矿化集中区。谢学锦提出地球化学块体的理论,要根据成矿省和成矿地球化学省的基本特点开展具体矿种、矿床类型的找矿工作。

## (10)引张动力圈闭构造找矿

上述主要是从构造与成矿的空间关系加以归纳,指出找矿目标的。在研究构造控矿机制时,尚不可忽视构造力学性质的确定。一方面构造动力可驱动深部流体克服重力逆向运移到上部有利部位成矿;另一方面,在构造动力作用参与下,岩石中分散的成矿物质和孔隙水、结构水发生再分配而定向汇集于张性构造空间和张性圈闭构造部位,发生规模成矿。因此,张性构造是重要的找矿目标。热液流体宜用“源—运—储—保”的观点加以研究,以寻找张性定向构造,特别是挤压带中的张性定向构造。

随着找矿问题的提出,构造地质学、成矿理论的

发展和新技术方法的采用,还会出现新的研究内容和研究方向。

### 3 矿田构造研究现状与问题

矿田构造研究初期,仅从矿体的产出形态和条件、矿石矿物成分和围岩成分研究各种类型矿床的形成条件,不注意运用综合的手段来研究,尤其缺少专门的构造分析,不能全面而准确地查明矿床成因并取得较为一致的认识。前苏联学者曾认为,克姆皮拉依铬铁矿床仅仅是超基性岩浆结晶分异的结果。通过详细的构造研究发现,该矿床是在长期构造变形的基础上形成的。块状、浸染状铬铁矿呈条带状环绕纯橄榄岩捕虏体,条带状矿石发育褶皱构造并被较晚的弯曲状铬铁矿细脉所切穿,细脉又被超基性岩脉所切穿,超基性岩中铬尖晶石和斜方辉石的晶体呈条纹状随岩体突出部位的走向而发生弯曲。成岩期构造应力作为成矿作用要素,不仅驱动成岩成矿组分的运移,而且使其富集在岩体中压力较低的构造带内并显示明显的流变变形结构。中国学者也认识到,矿田地质成矿规律研究不仅需要研究构造,更为重要的是必须研究建造,研究岩石地球化学领域,甚至是矿山地质采矿等方面的地质问题。矿田成矿理论和找矿方法需要创新。在中国地表矿已经少见,已知矿床的深部、外围找矿成为今后地质找矿的主要任务,矿田地质研究水平和找矿方法需要新的发展,对矿田构造的研究尤其重要。

#### 3.1 构造成矿、构造和建造、构造和地球化学相关性的问题

构造作用引起地壳物质变形,产生各种构造形迹,这是构造地质学所研究的内容。物质变形主要是物理过程,但构造作用不仅能引起物理变化,而且还能引起化学变化,这个范畴的问题不是构造地质学研究的内容,属于构造地球化学研究的内容。构造地球化学的萌芽始自野外实践,早期的区域填图发现变质带往往与各种构造单元相关,近期的研究进一步证实:板块碰撞带、缝合带并非简单的构造带,而是集成岩、成矿和变质作用于一体的复杂物质组合带。可以毫不夸张地说,任何构造形迹都伴有一定的物质组分的迁移<sup>[4,17-20]</sup>。

但是,构造地球化学的理论基础和试验研究存在极大的问题<sup>[21]</sup>。核心问题是不能证明构造的差应力直接影响化学平衡。因此,需要开展构造物理化学

研究和地壳物质受构造作用产生的物理、化学变化相关问题的研究。吕古贤等<sup>[22-23]</sup>认为,构造力可以分解为 2 部分:一部分是均应力,指各向相等的应力,它叠加在原有压力之上,并且影响着各种化学反应的平衡,也是成岩、成矿和变质作用的影响因素;另一部分是差应力,固体受外力作用普遍产生差应力,它引起地壳物质变形,产生各种构造形迹。构造物理化学特别关注构造作用产生或引起的压力、温度及其它物理化学条件的变化,研究这些构造附加参量对各种化学平衡的影响,已逐渐发展成为独立的学科研究领域<sup>[22-23]</sup>。

因此,有必要研究构造控矿、构造改造成矿和构造成岩成矿机理,探讨构造应力影响压力、温度、元素逸度活度等科学问题,攻克构造力影响地球化学平衡的地质科学难题,发展构造成矿学、构造地球化学和构造物理化学的研究。

#### 3.2 构造体系和成矿系列的同步控矿成矿问题

矿床分类包括成因分类与工业分类,其对于矿床本身的地质规律研究和矿床的工业评价都是十分必要的。如果缺乏考虑相对独立的矿床的自然组合关系,不利于对矿床形成规律的全面认识,也不利于提高地质找矿效果。李文达、陈毓川等提出宁芜玢岩铁矿区域性成矿模式,程裕淇、陶惠亮等提出铁矿成矿系列的概念。程裕淇等<sup>[24]</sup>在《初论矿床的成矿系列问题》一文中明确提出了矿床的成矿系列概念,并在《再论矿床的成矿系列问题》一文中<sup>[25]</sup>和后来的工作中不断发展了成矿系列的概念和理论。

矿床成矿系列是指在一定的地质发展历史阶段,发育在一定构造单元内且与一定的地质作用有关,在不同的地质构造部位形成的有成因联系的矿床组合。可以说,成矿系列是指根据成矿地质作用及其演化将独立的矿床类型联系起来的构造岩石组合。实际上这是一种矿床的自然组合,也是客观地反映矿床形成环境和矿床之间联系的一种系统论观念。识别划分成矿系列不仅对研究矿床学理论,而且对指导地球科学研究和地质找矿工作均有重要意义。

地质力学构造体系的概念和方法对于矿田构造的发展起到了重要作用,对于矿田构造研究今后的深化同样具有基础性的理论指导意义。构造体系的早期概念是具有成生联系的构造要素组合<sup>[26]</sup>。研究构造体系和矿床系列的联系,建立有效、适用和科学的成矿时空模型,发展反映中国地质特点的构造—



成矿系列理论,形成构造岩相界面的三维找矿理论和勘查方法是非常必要的。

### 3.3 区域成矿规律和矿床模式转变为矿田构造找矿方法的问题

大地构造、区域成矿的理论成果如何指导矿田的成矿规律是目前需要解决的问题。根据中国复合大陆的基本特点<sup>[27-29]</sup>,剖析中国大陆构造的复杂背景,探讨构造层圈“三明治”特征和壳幔叠加复合演化规律,研究区域成矿带中形成矿田的构造建造条件和动力学背景,提高已知矿带中评价勘探矿田的科学依据,使区域成矿规律转变为矿田构造找矿的方向和方法<sup>[30]</sup>。

## 4 矿田构造与找矿的发展问题

为了研究、深化和解决矿田找矿问题,必将涉及不同的层次;构造地质学的发展和应用、矿田地质体的结构构造形式、矿田地质体的组成特征、成矿规律、成矿过程等方面,需要加以重点研究。

### 4.1 构造地质学发展和应用研究

构造地质学是矿田构造研究发展的基础,强调利用遥感、三维计算机技术、深部物探方法提高构造分析的能力,将显微构造分析用于定性评价形成时的温压条件,用统计测量构造的方法研究矿田断裂动力变质带的分布和范围,利用岩石、矿石传播弹性波速度的方法预测控矿构造的分布,通过测定岩石的物理力学性质等综合物理系数恢复成矿构造应力场和岩浆岩的形成深度等,从而推动矿田构造性质和作用的定量评价研究。这些依然是矿田构造研究的基础<sup>[31-32]</sup>。

### 4.2 矿田构造成矿系列研究

这相当于构造体系和成矿类型系列相互结合的研究。矿田研究要把具体的控矿构造分析发展为有应力应变联系的构造系统,把构造系统和成矿系列结合起来研究,开展构造组合与岩石矿物地球化学相结合的研究,为查明矿化富集条件和矿床形成规律服务。因此,一定的地质成矿作用形成有成因联系的矿种和成矿类型,在矿田不同地质构造位置 and 不同成矿阶段产出的矿床组合称之为构造矿床系列,或构造成矿系列<sup>[33-36]</sup>。

### 4.3 矿田构造岩相成矿规律研究

构造岩相是能够反映地壳岩石在构造作用下形成、变形的结构及其伴随产生的岩石单元,特别是构

造作用影响的那部分沉积岩相、岩浆岩相和变质岩相建造的地质形迹。

建造、岩相和岩石单元似乎是不同级别的概念。总体上看,建造属于大地构造范围,但是也用于具体的局部地质体组合。建造的一级分类是地质作用,例如沉积作用、变质作用、碳酸盐岩建造等。建造的二级分类为岩相。岩相一般指中等规模的地质体区段,由于经常呈带状分布,往往称为构造岩相带,例如碳酸盐岩建造的礁后岩相、变质岩建造的绿片岩变质相或火山岩建造的爆破角砾岩相等。具体岩相的基本组成单位,相当于三级建造,可以称为岩石单元。构造岩相在不同地质作用中可以有不同的名称,但基本描述中是指小范围内相近和相同性质的岩石区段。

矿田构造岩相是指矿田范围内在构造变形、岩浆活动、变质程度、成矿作用等方面都具有大致相同特点的岩石区段。笔者认为,在矿田研究领域,矿田构造岩相系统是指具有一定区域构造成因联系的岩相或岩石共生组合。

### 4.4 构造岩相、构造地球化学和构造物理化学界面成矿研究

构造建造岩相界面是描述建造岩相及其主要特征发生突变、急变的连续和不连续的结构面带的概念。岩性、矿物和元素地球化学分布受构造作用影响是几十年来的重要研究路线,构造分布与地球化学分布明显相关,构造地球化学界面往往是成矿的有效部位<sup>[37]</sup>。构造物理化学界面是在构造岩相界面的基础上,由于构造应力改变了局部地壳压力、温度等物理化学条件且影响其地球化学平衡过程,所形成的发生地球化学障的几何空间面或带。在构造建造岩相界面带,受构造影响的成岩成矿环境发生温度、压力、酸碱度、氧化还原条件等参量的急变和转化的界面,被称为构造物理化学界面。所以从某种角度来说,构造岩相界面是基础,构造物理化学界面是条件,构造地球化学界面是成矿的结果,这些界面是成矿规律研究和找矿模型建立的基础<sup>[22]</sup>。

上述研究已经超出了矿田构造研究的范畴,进入了矿田地质学研究。矿田地质研究的范畴,主要包括矿田建造、矿田构造和矿田成矿3个主要方面。矿田建造学研究矿田内具有构造成因联系(沉积、岩浆、变质三大类)的岩石共生组合,测试其岩石矿物地球化学特征和变化规律<sup>[23]</sup>。

通过上述研究的深入开展和理论方法的创新完善,在矿田领域深化构造解析和定量化,建立和发展构造成矿系列、构造岩相系统,开展构造岩相和构造物理化学界面成矿、找矿研究,将会推动中国矿田构造研究的发展,提高成矿理论水平和找矿效果。

## 参考文献

- [1] 翟裕生. 矿田构造与成矿[M]. 北京:地质出版社,1981:1-79.
- [2] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京:科学出版社,1973:1-100.
- [3] 杨开庆. 关于构造控岩控矿与成岩成矿问题[J]. 地质力学论丛,1982,6: 9-19.
- [4] 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京:地质出版社,1978.
- [5] 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容和方向[J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊,1986,(7):1-14.
- [6] 翟裕生,石淮立,曾庆丰,等. 矿田构造与成矿[M]. 北京:地质出版社,1981.
- [7] 曾庆丰. 成矿裂隙的生成和填充及其脉动性[J]. 地质科学,1978,(2): 149-162.
- [8] 斯米尔诺夫. В. И. 内生金属矿床的矿质来源在地壳发展历史过程中的演变. 内生矿床的矿质来源[M]. 秦国光等译. 北京:地质出版社,1981.
- [9] 吴淦国. 构造控矿的若干规律[J]. 矿床地质,1994,(增刊):62-63.
- [10] 吴淦国. 矿田构造与成矿预测[J]. 地质力学学报,1998,4(2):1-4.
- [11] 曾庆丰. 矿液运移通道和方向的探讨及其研究意义[J]. 地质科学,1986,(2):114-124.
- [12] Старостин В. И. Геодинамические типы рудоносных структур, Вестник Московского университета[J]. Геология,1990,4(3):28-48.
- [13] 朱上庆,池三川. 层控矿床及找矿[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [14] 李东旭,吴淦国. 内蒙古白乃庙矿田叠生成矿构造地球化学研究[J]. 地质学报,1987,(1):32-45.
- [15] 吕古贤,等. 构造物理化学与金矿成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1999:1-400.
- [16] 孙殿卿,高庆华. 隐伏矿床预测[M]. 北京:地质出版社,1987:1-400.
- [17] 郭文魁,俞志杰,刘兰笙. 中国东部成矿域与成矿期的基本特征[J]. 矿床地质,1982,1(1):1-14.
- [18] 郭文魁. 论成矿作用在构造-岩浆活动中的地球化学演化特征[C] // 地学研究——祝贺郭文魁院士八十华诞. 北京:地质出版社,1997:5-42.
- [19] 杨开庆. 构造带特征与超基性岩体和铬铁矿的分布关系[J]. 地质力学丛论,1979,(5):44-57.
- [20] 涂光炽. 构造与地球化学[J]. 大地构造与成矿学,1984,8(1):1-5.
- [21] 涂光炽. 脆云母热水综合试验的初步结果[J]. 地质学报,1956,36(2):229-38.
- [22] 吕古贤,孔庆存. 胶东玲珑-焦家式金矿地质[M]. 北京:科学出版社,1993:1-253.
- [23] 吕古贤. 关于矿田地质学的初步探讨[J]. 地质通报,2011,30(4): 478-486.
- [24] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报,1979,1(1):32-58.
- [25] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报,1983,(6):1-66.
- [26] 李四光. 地壳构造与地壳运动[J]. 中国科学(D 辑),1973,(4):400-429.
- [27] 李廷栋,莫杰. 中国滨太平洋构造域构造格架和东海地质演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(4):1-6.
- [28] 任纪舜,姜春发,张正坤,等. 中国大地构造及其演化——1:400 万中国大地构造图说明书[M]. 北京:科学出版社,1980:1-124.
- [29] 张国伟,孟庆任,赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(D 辑),1995,25(9):994-1003.
- [30] 裴荣富,吴良士. 金属成矿省的历史演化和成矿年代学研究新进展[J]. 矿床地质,1993,12(3):285-286.
- [31] 吴淦国. 苏联矿田和矿床构造研究的某些动向[J]. 地质科技情报,1987,6(2):5-16.
- [32] 吴淦国,张达,陈柏林,等. 构造地质学现状和进展——第 31 届国际地质大会构造领域学术成果综述[J]. 地质论评,2001,47(4): 432,446-447.
- [33] 陈毓川,裴荣富,张宏良,等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1989:1-308.
- [34] 陈毓川,李兆鼎,母瑞身,等. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京:地质出版社,2001:1-465.
- [35] 翟裕生. 矿床学的研究现状和展望[J]. 地球科学,1981,(2):133-143.
- [36] 翟裕生. 关于矿田构造研究的若干问题[J]. 地质评论,1984,(1):19-25.
- [37] 吴学益. 构造地球化学找矿[M]. 贵阳:贵州科学技术出版社,1998: 1-200.