

成矿构造研究的回顾和展望

翟裕生

中国地质大学,北京,100083

P5 A

内容提要 地质构造对矿床的形成、改造和保存有重要作用,本文扼要论述了矿田构造、大型构造和全球构造与成矿关系的研究简史。成矿构造研究由单个构造控矿→综合构造控矿→构造成矿→构造成矿动力学是逐步深入的过程。文中提出:①成矿构造研究与区域地球化学研究相结合是探索成矿规律的重要方法;②构造—流体—矿床(体)是一个自然系统;③伸展、挤压、走滑等不同构造体制下产生不同成矿系统;④将构造成矿与构造破矿研究相结合,将矿床的形成、变化、破坏或保存、产出现状等作为一个演化过程加以研究,以便更有成效地指导勘查工作;⑤采用先进技术,加强对典型矿田的构造研究。

关键词 成矿构造 回顾 展望 矿田构造 大型构造 大地构造 成矿系统

在矿床的形成、演化、破坏或保存过程中,构造是至关重要的因素。为了理解矿床的形成和分布规律,有效地开展矿产预测、勘查和开发,研究构造成矿控矿作用很有必要,因此它历来受到地质矿业界的重视。关于构造与成矿关系的研究,可概括分为两类:一是研究区域构造、大型构造乃至全球构造与成矿区(带)的关系,其目的是认识区域成矿规律,以便从战略上指导区域普查找矿和资源潜力评价;二是小型构造与矿田、矿床关系的研究,其目的是预测矿体赋存部位和产状特征,提供找矿靶区,指导勘查和采矿工作。前者属于区域成矿学的范畴,后者属于矿田构造学的范畴。但这只是因研究任务的侧重而作出的相对区分,从构造成矿的整体看,从大尺度到小尺度到微区是一个自然作用体系,因而可统称为成矿构造。本文拟简要回顾中国有关成矿构造的研究历程,并探讨其发展趋势和主要方向。文中重点讨论金属矿床的成矿构造。由于涉及面较广,疏漏或不当之处敬请指正。

1 矿田构造研究

构造对矿体形态和产状的控制是明显的。据矿业考古文献记载,一些文明古国的古采矿坑,大多数是沿着断层和裂隙延伸的,这说明古矿工凭经验已能利用断裂的产状作为探矿的标志。到20世纪初叶,随着采矿工业的迅猛发展和地质科学的进步,在一些工业发达国家,矿床、矿田构造研究相继展开。

主要从两个方面入手:一是研究单个构造形迹对成矿的控制,如褶皱控矿、断层和裂隙控矿、侵入体接触带控矿等。另一方面是以矿床为研究单位,综合研究有关的不同控矿构造,并划分出成矿前、成矿期和成矿后构造。代表性著述有美国 W. Newhouse 主编的《矿床与构造的关系》(1942)、前苏联 Ф. 沃尔弗逊(1955)的《内生金属矿床构造》等。

我国的矿田构造研究开展较晚,解放前,老一辈地质学家曾对赣南钨矿、东川铜矿、贵州汞矿、招远金矿等做过构造方面研究。中华人民共和国成立后,由于大规模工业建设对矿产资源的需求,地质勘查空前活跃,在重点勘查矿区和大型矿山中,如大冶铁矿、白银厂铜矿、鞍山铁矿、个旧锡矿等,专家们运用构造地质学方法深入研究了控矿构造(夏国治等,1990)。由于这些研究是在矿床的勘探或开采过程中进行的,实际资料丰富,所查明的经验性规律可及时得到探采工程的检验,因而为以后系统研究矿田构造打下了良好的基础。

50年代到60年代初期,苏联的矿田构造著述对我国的矿田构造研究产生了显著影响。翟裕生在借鉴苏联矿田构造文献和深入研究典型矿床构造的基础上,于1961年在北京地质学院开出矿田构造课程,出版了内部教材,并开始培养矿田构造方向的研究生。1965年,在全国第一届构造地质学会议上,王述平、翟裕生主持了矿田构造组学术讨论会,交流了多个矿区的构造研究成果,这是我国首次专门性矿

注:本文为国土资源部地质调查项目(编号 K 1-4-1-5)和国家地质调查局项目(编号 200110200069)的成果。

收稿日期:2001-04-30;改回日期:2001-11-22;责任编辑:任希飞、章雨旭。

作者简介:翟裕生,男,1930年生,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要从事矿床学、矿田构造和区域成矿学的教学和研究工作。

田构造学术活动。

70年代以来,随着矿产勘查工作的发展,找寻隐伏矿床的任务日益加重,广大地质工作者越来越认识到矿田构造研究的重要性,将控矿构造研究作为勘查的一项重要内容。大专院校和科研院所也积极开展矿田构造研究。在积累丰富资料的基础上,总结提出了有关构造控矿的理性认识。陈国达(1978)的《成矿构造研究法》系统论述了各类构造的控矿作用以及成矿构造的研究方法。

翟裕生(1965)提出将地层不整合作为一种控矿构造类型,强调了不整合面不仅控制了石油、天然气等矿产的产出,而且对内生矿床的形成具有重要作用,这为以后国内外发现多种不整合面型矿床所证实。

翟裕生等(1981)还针对中国夕卡岩型矿床丰富,有重要经济价值的特点,系统研究了侵入岩体接触带构造的控矿作用,总结提出侵入接触构造体系控矿的论点。翟裕生等(1981)提出将成矿构造研究与矿床成因研究相结合的学术思想,认为构造是成矿的基本控制因素,也是成矿作用的有机组成部分。以此为学术思想,先后主编出版了《矿田构造学概论》(翟裕生,1984)和《矿田构造学》(翟裕生,1993)教材。

曾庆丰(1978)以对南岭钨锡矿田构造的研究为基础,系统论述了成矿裂隙的生成和热液脉状矿床的形成过程。他(1986)还综合了大量实际资料,总结了热液矿床的构造特征和成矿条件,出版了专著《论热液成矿条件》。

在运用地质力学理论和方法指导矿田构造研究方面,孙殿卿、吴磊伯、陈庆宣等总结提出一些基本规律:构造体系控矿、构造分级控矿、构造复合控矿、构造分带性控矿、构造等距性控矿等。杨开庆(1982)在地质力学构造体系控矿理论的基础上提出“动力成岩成矿”理论,认为构造不仅是控岩控矿的条件,而且还能成岩成矿。谭忠福(1978)关于豫西小岩体及有关矿床的等距性研究;赣南构造体系研究组(1978)关于赣南构造体系与钨矿分布关系研究;石准立等(1981)关于大冶铁矿区接触热动力变质构造及控矿研究;翟裕生、林新多、池三川等关于宁芜铁矿构造研究(武汉地质学院矿床室宁芜铁矿小组,1978);都提出了较深入的研究成果。

80年代以来,中国的矿田构造研究有了新的进展。一是吸收构造地质学研究的新成果,深入研究了儿种新的控矿构造类型,如郑亚东(1985)、宋鸿林等

(1992)、王鹤年等(1992)、何绍勋等(1996)对韧性剪切带控矿研究;傅昭仁等(1992)、胡正国等(1994)对变质核杂岩及伸展构造控矿研究;池三川等(1983、1988)关于层控矿床矿田构造研究等,扩展了矿田构造的研究领域。二是在研究方法上,综合运用了地质、地球物理、地球化学、遥感、实验模拟和计算机等方法,全面探讨构造控矿机理,例如,黄方方(1992)详细研究了斑岩铜矿的构造地球化学特征;翟裕生、姚书振等(1992)依据地质、地球物理和遥感信息,建立了侵入岩区含矿岩体“三层构造”模式;程小久(1995)模拟了粤北盆地的同生断层—流体的作用过程。丁式江(1998)运用分形方法研究了胶东等地金矿床的产出特征;吕占贤等(1999)通过构造变形岩相形迹填图,初步建立了胶东阜山金矿成矿的构造物理化学模型;吴学益等(1998)进行了系统的构造地球化学模拟实验研究。此外,还有不少的研究成果不再一一列举。

综合上述可见,我国的专门矿田构造研究,50~60年代开始起步,积累资料,探索方法;60~80年代,广泛展开研究,初建矿田构造学科。近10多年来则采用多学科综合手段,拓宽研究广度和深度,并逐步形成了某些研究特色。在运用矿田构造学指导找矿方面,60~70年代间在南岭钨锡矿、湘西黔东汞矿、豫西多金属矿、粤北铀矿等方面都有良好效果。80~90年代,在发现山东焦家金矿属于构造蚀变岩型以后,明确认识到韧性剪切带与金矿的密切关系,结合化探成果,又在广东河台、海南戈枕、江西金山、辽宁排山楼等多处发现受剪切带控制的金矿床(韦永福等,1994),促进了我国金矿找矿工作的发展。

2 大型构造成矿研究

区域矿床分布与大型构造的关系,在本世纪初就已引起注意。法国学者 de Launay(1913)曾提出 Metallogeny 概念,意指着重从区域的时空尺度上研究矿床形成的主要因素。他指出:“每个成矿省都有一定的区域矿床类型,受地质构造的控制,在一定程度上可以根据构造来预测矿床”。多年来各国地质学家都在努力阐述大型构造及大地构造的控矿作用。其中地槽地台理论在地质学领域中曾起过支配作用,Ю. 毕利宾和斯米尔诺夫等(Смирнов, 1963; 斯米尔诺夫(1985)系统划分了地槽发展阶段及有关矿床类型。别洛乌索夫(1957)、陈国达(1956,1958)则将中—新生代时一些地台发生过强烈的构造—岩浆活动,称为地台活化或地洼区。它以叠加改造成矿为

特征。

70 年代以来,米契尔(1986)、Sawkins 等(1984)注意研究板块构造环境与成矿作用的关系,尤其是不同类型板块边界(汇聚型、离散型、走滑型或转换型)的成矿特点。其中,对滨太平洋活动板块边缘俯冲带的成矿、被动陆缘裂谷系统的成矿研究等有显著的成果。

巨型断裂控矿现象显著,前苏联的法沃尔斯卡娅、美国的 Kutina(1995)、澳大利亚的 O'Driscoll 等详细研究了巨型断裂的控矿作用,提出了聚矿构造、幔根构造等概念以及构造交汇部位、构造物理梯度带等用以说明某些大型成矿带的构造控制。Bonnemaison(1990)则对控矿剪切带构造作了详细的研究。

近年来,由于深部地球物理探测、岩石流变学研究、地幔岩包体研究和区域地球化学以及一些碰撞造山带的研究,提供了有关壳、幔组成和结构的丰富信息,相应地促进了对深部构造、深部作用与成矿关系的研究,提出了地幔柱与成矿,岩石圈中地质、地球物理、地球化学突变带对成矿区带的制约等观点,并有将岩石圈演化、构造—岩浆活动、元素转移与成矿作用从宏观上、从动力学过程联接起来的研究趋势。

我国的地质学家重视区域构造地质研究,李四光(1973)的地质力学和构造体系理论,对开展区域性找油找矿工作有良好效果,并逐步形成了地质力学预测隐伏矿床的理论和方法(孙殿卿等,1987)。黄汲清运用大地构造多旋回理论,有效地指导了区域地质调查和油气资源等的勘查工作。70 年代以来,板块构造理论在中国的传播对我国的地质学研究有广泛影响,李春昱等(1981)根据中国地质构造情况提出了按板块缝合线划分中国大成矿域的观点。张文佑的断块构造说、陈国达的地洼成矿学、王鸿祯的大地构造活动论和演化阶段论、马杏垣等对中国大陆动力学特征及地学大断面研究等,均对大地构造成矿研究有指导作用。任纪舜等(1999)总结提出的中国大陆小陆块、软碰撞等观点,深化了对中国区域成矿背景的认识。

成矿区带划分与大型构造研究密切相关。郭文魁等(1987)以构造—岩浆为主要因素,兼顾金属元素性能,划分出中国的一级成矿单元为:①古亚洲成矿域;②滨太平洋成矿域;③特提斯—喜马拉雅成矿域。裴荣富(1998)将中国划分为 5 个成矿构造域,除郭文魁的 3 个外,又增加了前寒武纪成矿构造域和

秦岭—祁连山—昆仑山成矿域。翟裕生等(1999a)以区域大地构造演化为基础,区域构造、成矿时代和区域岩石圈三者结合作为依据,将中国划分为 6 个成矿域,即:①天山—兴蒙成矿域;②塔里木—华北成矿域;③秦—祁—昆成矿域;④扬子成矿域;⑤华南成矿域;⑥喜马拉雅—三江成矿域。

在有关大型构造的成矿控矿作用方面,翟裕生等(1997)指出,大型构造是决定一个区域地质构造格局的重要因素,也是导致各类成矿物质大量迁移和富集从而生成大型、超大型矿床的基本条件。大型构造的成矿控矿作用主要表现为:①大型构造的贯通性和网络性,有利于大规模含矿流体的运移、汇聚,也为矿源场、运移场和储矿场的联通与耦合提供了条件;②大型构造的长期活动性和继承性,有利于成矿物质的反复叠加富集于局部地区,是形成矿集区和大型矿床的重要因素;③大型构造在运动过程中释放出巨大能量,为成岩成矿作用提供了能源,如大陆壳中构造重熔作用产生的花岗岩浆及有关矿床;④大型构造是沟通深部物质、能量与浅表物质、能量的桥梁,它驱动深源成矿物质运移并提供其在地壳浅部汇集的空间。翟裕生等(1997)还以裂谷、同生断层、韧性剪切带、变质核杂岩等构造控矿实例,具体阐述了大型构造的控矿作用。近年来,大型逆冲推覆构造、大型走滑断层对成矿的控制也有较系统的研究成果。

深部构造作用与成矿引起广泛关注,有关地幔柱活动及其成岩成矿作用讨论较多。在张炳熹先生指导下,裴荣富、翟裕生、张本仁于 1995 年主持了有多学科专家参加的“深部构造与成矿研讨会”,会上就岩石圈研究如何与矿床形成和分布的研究相结合等方面进行了学术交流,并出版了论文集(裴荣富等,1999)。

综观我国的大型构造成矿研究,已注意将大地构造学、区域构造学与成矿学相互交叉渗透,趋向于物质与运动的统一研究,并有将深部作用、流体活动与成岩成矿作用从动力学过程连接起来的研究趋势。

3 全球构造与成矿研究

由于区域成矿预测和资源战略评价的需要,全球构造与成矿已成为当代地球科学研究的热点。现代成矿学也显示了把矿床形成作用放在全球构造和地史演化的背景上的研究趋势。全球构造成矿的一个研究领域是巨型(全球性)成矿带的划分。按地球

动力演化、全球构造体系与矿床分布特征,可初步分出5个全球性构造—成矿域:①环太平洋构造—成矿域,在不同增生地体上发育中—新生代构造—岩浆—成矿系统(Cu-Au-Pb-Zn-W-Mo-Sn);②特提斯—喜马拉雅构造—成矿域(Cu-Au-Sn-W-Mo-Pb);③中亚—蒙古—东亚构造—成矿域,是古生代成矿域,系多块体多次俯冲碰撞而成的增生体(Cu-Pb-Zn-Au-Mo-W-Sn);④克拉通构造—成矿域,主要分布于中南非、北美、巴西和西澳,以前寒武纪地块上的成矿为主,有的有显生宙成矿的叠加(Fe-Cr-Cu-Pt-Au-U);⑤大洋构造—成矿域,包括大洋中脊、洋岛、大洋平台等区域,以新生代成矿为主。每一个构造—成矿域中都有复杂的地史—成矿过程,需要深入地研究分析。

全球构造成矿研究的另一个领域是从地球的重大构造变动入手,研究成矿演化。Gurnis和Murphy等提出,超大陆旋回与金属成矿巨旋回之间具有明显的一致性,由于超大陆离合涉及到深部构造热活动、软流圈部分上涌、地幔物质楔入和部分熔融、地壳伸展和碰撞等作用,因而与成矿关系十分密切。例如,内陆盆地非造山岩浆矿床(如Olympic Dam矿)集中发生在超大陆聚合的末期和超大陆解体的初期。造山型矿床(如斑岩铜矿、脉状金矿)则在超大陆聚合期最发育。Barley(1992)以全球部分矿产储量统计资料为依据,划分出地史上3个大陆成矿高峰期,即距今2000~1800Ma、1000~800Ma和400~300Ma。它们分别相当于古陆会聚末期到裂解初期这个构造转变时期。关于全球构造演化与成矿阶段,Veizer(1979)和Meyer(1981)都有系统论述。

总的认为,地球动力学的演化使成矿作用发生的时间和空间显现出不均一性,导致地球上的矿床成区、成带分布。系统研究地球演化,主要是岩石圈及相邻圈层物质与能量迁移交换过程中矿质的富集机制和时空分布,全球构造与成矿研究将会有重要进展。

4 学科发展的经验和体会

从上述简短回顾中可见,中国的成矿构造研究50年来有了较大进展。主要原因是:

(1) 大规模社会主义建设对矿产资源的巨大需求是推动成矿构造研究以促进矿产勘查开发的原动力,而学习和借鉴国外研究成果是提高我国成矿构造研究的重要途径。

(2) 60年代以来地球科学各分支学科的迅速

发展,为成矿学和构造地质学研究提供了丰厚的土壤。成矿构造研究的综合性较强,更需要借助于各基础学科提供的理论和方法。

(3) 构造研究以实地观测为基础,以精确的分析测试手段为支撑,努力做到宏观与微观结合、定性与定量相结合,分析与综合相结合。我国地质学者具有重视现场地质构造观测的优良传统。随着我国经济实力不断增长,逐步改善岩矿构造测试和模拟实验装备,也是保证研究工作的重要条件。

(4) 科学的思维方法。控矿构造研究的复杂性,要求辩证处理局部与整体、定性与定量、个性与共性、时间与空间、物质与运动、求同与求异、古与今、成矿与破矿、推断与实证等种种复杂关系。学习和运用辩证唯物论、系统论、活动论和历史观很有益。

(5) 正确处理理论与研究与勘查实践的关系。50~60年代,成矿构造研究与找矿实践结合较好。80年代以来,两者有一定的脱节。寄希望于今后将国家建设重大需求与学科前沿研究很好地结合起来。

在成矿构造研究思路,有以下几点体会与认识:

(1) 由矿床矿田构造→区域构造→大型构造→全球成矿构造,是一个由小到大,由局部到整体、由整体到局部的逐步实践和反复认识过程。矿床、矿田构造研究以具体事物为主,有可观性和单纯性;大地构造控矿和全球构造控矿研究的综合性和复杂性更明显,推断因素较多、验证难度更大。但两方面的研究是互为补充,相互渗透的。就研究过程来说,一般需从小到大,从微观到宏观,从具体到抽象;从思路来说,则要掌握全局,把握宏观,提纲挈领。

(2) 从研究内容看,由单个构造控矿→综合构造控矿→构造成矿研究(构造地球化学为基础)→成矿构造动力学研究,应处理好物质与运动的关系。如单纯强调构造,则很难解释同一构造单元之中为何有的地段无矿、有的地段有矿。而矿床常出现在几种基本控矿因素耦合(一起出现)的部位:①矿源区(成矿物质基础);②构造、流体、热能及物理化学空间等促成矿质汇聚的多种要素。因此,成矿构造研究与区域地球化学研究相结合将是正确的方向。

(3) 从构造成矿作用看,边缘成矿、界面成矿、交会成矿、转变成矿是几种基本的成矿机制(翟裕生,1999b)。之所以在这些局部的时空域中有利于成矿,原因是在这些特定构造部位:①有利于基本控矿因素的同时出现和耦合作用;②有利于实现各种控矿参量由渐变到突变的转换,从而导致原有物理

化学平衡态的失稳,促使成矿物质的大量堆积。

(4) 将构造成矿与构造破矿研究相结合。矿床形成后,在以后的地质演化中能否保存以及保存在何处,取决于多种因素,但主要是受构造运动控制的。从历史演化观出发,将矿床的形成、变化、破坏或保存、产出现状作为“一条龙”来综合研究,有利于建立起对矿床“来龙去脉”的历史性认识,以具体帮助预测和勘查工作。

5 展望

从 21 世纪我国经济社会可持续发展需要与当前国际地球科学发展趋势来看,成矿构造研究面临艰巨任务和发展机遇。

首先,随着地表矿和浅部矿的不断发现和开采,深部隐伏矿找寻越来越显重要。为了找寻盲矿,需要加强对区域构造和深部构造的研究。要将矿田构造与区域构造、深部构造结合在一起研究,需要点、面、体结合研究,深、中、浅层次结合研究,以查明控制矿田、矿床形成的区域构造体系和成矿构造背景及其控制下的矿化空间网络。同时,研究构造与成矿的发生、发展历史,理清构造与成矿的时—空关系,建立起构造—热事件序列和相应的成矿系统。

第二,深入开展构造地球化学研究,研究构造动力作用下矿物、岩石的形成和形变,研究各种地质构造过程与地球化学元素的分配和迁移、分散与富集之间的关系,阐明矿石堆积的构造动力学和地球化学动力学特征,建立动力成矿模式,以作为构造成矿作用的理论依据。

第三,将成矿区带内的构造、流体、成矿作为一个系统加以研究,查找含矿流体运移的轨迹,阐明流体与岩石、流体与构造的相互作用,流体在不同构造条件下卸载机制及其所产生的矿床系列和矿化异常系列。这类研究既包括区域尺度,也包括矿床尺度。

第四,积极开展大陆构造体制与成矿关系研究,以中、新生代为时限,按大陆地壳的三种构造形态(造山带、裂谷带、克拉通)分别研究其构造动力过程及所产生的成矿系统;以及三种构造动力—成矿系统之间的关联与转换,构架大陆构造—成矿体系及其模型。

第五,在成矿构造研究中广泛应用计算机技术、遥感技术和分形方法,发展 GIS 系统,进行精细的矿田构造制图和重要矿集区的构造—成矿制图(三维的、动态的);运用同位素地质方法技术,研究成矿构造形迹的定年方法,以定量测定构造与成矿的年

代关系,提高研究的精度和定量化程度。

针对我国矿产勘查发展趋势,建议在近期内成矿构造的重点和主攻方向是:

(1) 加强对典型矿区的矿田构造研究,建立长期观测与研究基地;

(2) 深部构造与浅部构造的关联及其对大矿和矿集区的控制;

(3) 伸展、挤压、走滑等构造体制下产生的不同成矿系统及其演变;

(4) 区域构造体系—地球化学块体的耦合机理及其成矿机制。

总的看来,新时期的成矿构造学要采用多学科渗透交叉和先进的技术手段,阐明构造成矿的过程与机理,将对矿床成因和分布规律的认识提到一个新的高度,以便更有成效地指导找矿和采矿工作,并为矿业环境保护提供基础资料。

因篇幅所限,部分参考文献未列出,请见谅。

参 考 文 献

- 别洛乌索夫 B.B. 1957. 大地构造基本问题. 北京:地质出版社,1~378.
- 陈国达. 1956. 中国地台活化区的实例并着重讨论“华夏古陆”问题. 地质学报,36(3):239~272.
- 陈国达. 1958. 中国活化区矿产的分析. 湖南地质学报(中国地质学会长沙分会会刊),(2):3~10.
- 陈国达. 1978. 成矿构造研究法. 北京:地质出版社.
- 程小久. 1995. 沉积盆地中同生断层及断层控型 Pb Zn (Ba-Cu-Ag) 矿床的控制. 现代地质,9(3):343~350.
- 池三川. 1983. 层控矿床的控矿构造类型. 地球科学,12(2):125~134.
- 池三川. 1988. 层控矿床的研究现状. 地质与勘探,24(9):24~25.
- 丁式江. 1998. 绿岩型金矿综合地质异常研究——以胶东焦家金矿田为例. 中国地质大学(北京)博士论文.
- 傅昭仁,李德威,李光福,等. 1992. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析. 北京:中国地质大学出版社.
- 赣南构造体系研究组. 1978. 赣南构造体系与钨矿分布关系. 见:国际交流地质学术论文集. 北京:地质出版社.
- 郭文魁,等. 1987. 中国内生金属成矿图(1:400 万)说明书. 北京:地图出版社.
- 何绍勋,段嘉瑞,刘健顺,张曾荣. 1996. 韧性剪切带与成矿. 北京:地质出版社.
- 胡正国,钱壮志,闫广民等. 1994. 小秦岭拆离变质核杂岩构造与金矿. 西安:陕西科学技术出版社.
- 黄方方. 1992. 德兴斑岩铜矿田构造控矿机制及构造地球化学研究. 中国地质大学(北京),博士论文.
- 李春昱,王圣,刘雪亚. 1981. 中国内生成矿与板块构造. 地质学报,55(3):193~204.
- 李四光. 1973. 地质力学概论. 北京:科学出版社.
- 吕占贤,林文蔚,罗元华. 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京:地质出版社,364~419.
- 米契尔 A.H.G. 1986. 矿床与全球构造. 周裕藩等译. 北京:地质出版社.

- 裴荣富. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场. 北京:地质出版社.
- 裴荣富, 翟裕生, 张本仁. 1999. 深部构造作用与成矿. 北京:地质出版社.
- 任纪舜, 等. 1999. 中国及邻区大地构造图(1:500万)说明书. 北京:地质出版社.
- 石准立, 等. 1981. 湖北铁山铁铜矿床的接触热动力变质构造特征、形成机制及其控矿作用. 见:翟裕生等. 矿田构造与成矿. 北京:地质出版社, 13~28.
- 斯米尔诺夫·弗·伊. 1985. 矿床地质学. 秦国兴, 张国荣译. 北京:地质出版社, 5~12.
- 宋鸿林, 单文琅, 傅昭仁. 1992. 论陆内韧性流层及其构造表现. 现代地质, 6(4): 494~503.
- 孙殿卿, 高庆华. 1987. 隐伏矿床预测. 北京:地质出版社.
- 谭忠福. 1978. 构造体系的复合改造作用及其对隐伏矿床的意义. 见:国际交流地质学术论文集. 北京:地质出版社.
- Veizer J. 1976. 地质历史中沉积亲缘矿石的演化以及对地壳、水圈、大气圈及生物圈演化总趋势的关系. 见:乌尔夫 K H. 主编. 层控矿床和层状矿床(中译本第1卷). 1979. 北京:地质出版社.
- 王鹤年, 张守余, 俞受璧, 陈骏. 1992. 华北地块韧性剪切带金矿地质. 北京:科学出版社.
- 韦永福, 吕英杰. 1994. 中国金矿床. 北京:地震出版社.
- 沃尔佛逊 Ф И, 雅科夫列夫 И И. 1955. 矿田和矿床构造. 吴淦国译. 1989. 北京:中国地质大学出版社.
- 吴学益. 1998. 构造地球化学导论. 贵阳:贵州科技出版社.
- 武汉地质学院矿床室宁芜铁矿小组. 1978. 四山一带铁矿床地质特征及成矿的构造条件. 见:宁芜火山岩铁铜矿床会议选集. 北京:地质出版社.
- 夏国治, 程裕淇. 1990. 当代中国的地质事业. 北京:中国社会科学出版社, 163~192.
- 杨开庆. 1982. 关于构造控岩控矿与成岩成矿问题. 见:地质力学论丛, 第6号. 北京:科学出版社.
- 曾庆丰. 1978. 成矿裂隙的成生和充填及其脉动性. 地质科学, 13(2): 149~162.
- 曾庆丰. 1986. 论热液成矿条件. 北京:科学出版社.
- 翟裕生. 1965. 不整合面对内生成矿作用的意义. 地质论评, 23(5): 359~364.
- 翟裕生, 石准立, 曾庆丰, 林新多, 等. 1981. 矿田构造与成矿. 北京:地质出版社.
- 翟裕生. 1984. 矿田构造学概论. 北京:地质出版社.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 1992. 长江中下游地区铁铜金成矿规律. 北京:地质出版社.
- 翟裕生. 1993. 矿田构造学. 北京:地质出版社.
- 翟裕生, 张潮, 宋鸿林, 邓军, 程小久. 1997. 大型构造与超大型矿床. 北京:地质出版社.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999a. 区域成矿学. 北京:地质出版社.
- 翟裕生. 1999b. 中国矿田构造研究的回顾与展望. 见:王鸿桢主编. 中国地质学科发展的回顾. 武汉:中国地质大学出版社, 179~185.
- 郑亚东. 1985. 岩石有限应变测量及韧性剪切带. 北京:地质出版社.
- Metallogiques. Moscow: Gosgeolizdat.
- Bonnemaison M, Marcoux E. 1990. Auriferous mineralization in some shear zones: a three stage-model of metallogenesis. Mineralium Deposita, 25(2): 96~104.
- Chen Guoda. 1956. An example of reacted platform in China special research on the problem of "Cathasia". Acta Geologica Sinica, 36(3): 239~272(in Chinese with English abstract).
- Chen Guoda. 1958. Analysis on mineral resources in activated area of China. Acta Geologica Sinica of Hunan province, (2): 3~10(in Chinese).
- Cheng Xiaojie. 1995. Synsedimentary fault and its control of stratabound Pb Zn (-Ba-Cu-Ag) deposits in sedimentary basin. Geosciences, Journal of Graduate school, Chinese University of Geoscience, 9(3): 343~350(in Chinese with English abstract).
- Chi Sanchuan. 1988. Current research of stratabound ore deposits. Geology and Prospecting, 24(9): 24~25(in Chinese with English abstract).
- Chi Sangchuan. 1983. The ore control structural types of stratabound deposits. Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology, 12(2): 125~134(in Chinese with English abstract).
- De Launay L. 1913. Traité de Métallogénie; Vol. Gîtes Minéraux et Métallifères. Paris: Béranger, 241~288.
- Ding Shijiang. 1998. A study on the comprehensive geological anomaly of gold deposits in greenstone belt—An example from Jiaojia gold orefield, east Shangdong province, China. Doctoral thesis of China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Huang Fangfang. 1992. Study on structural ore controlling mechanism and structural geochemistry of Dexing porphyry copper orefield. Doctoral thesis of China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- Kutina J. 1995. Regional mantle-rooted structures extending transversely to the margins of cratons and adjacent mobile belts. Global Tectonics and Metallogeny, (5): 7~18.
- Li Chunyu, Wang Quan, Liu Xueer. 1981. The metallogeny and plate tectonics of China. Acta Geologica Sinica, 55(3): 193~204(in Chinese with English abstract).
- Meyer C. 1981. Ore-forming processes in geologic history. Economic Geology, 75: 6~41.
- Newhouse W H. 1942. Ore deposits as related to structural features. Research Group of Ning-Wu (Nanjing—Wuhu) Iron Deposit, Ore Deposit Research Group of Wuhan College of Geology. 1978. Geological feature and ore-forming structural condition of iron deposit in Aoshan area. In: Collection of papers of congress on volcanic Fe-Cu deposits in Ning-Wu (Nanjing—Wuhu) area. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Research Group of Structural System of Southern Jiangxi Province. 1978. The relationship between structural system and tungsten ore deposit distribution in Southern Jiangxi Province. In: Geological symposium for international interchange. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Sawkins. 1984. Metal deposits in relation to plate tectonic. Springer Verlag, 283~294.
- Shi Zhunli. 1981. Structural feature, forming mechanism and ore control of thermodynamic metamorphism in the Tieshan Fe-Cu deposit, Hubei province. In: Zhai Yusheng, et al. eds. Orefield Structure and Ore Formation. Beijing: Geological Publishing

References

- Barley M E, Groves D I. 1992. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. Geology, 20: 291~294.
- Bilibin J A. 1955. Les Provinces Metallogiques et Epoques

- House(in Chinese).
- Song Honglin, Shan Wenlang, Fu Zhaoren. 1992. Ductile flow layer within the crust and its structural appearance. *Geosciences—Journal of Graduate school, China University of Geosciences*, 6 (4): 494~503(in Chinese with English abstract).
- Tan Zhongfu. 1978. Composite transformation of different structural systems and its significance to concealed ore deposit. In: Geological symposium for international interchange. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Wu Leibo. 1985. A preliminary discussion on the distribution of uranium deposits of China. *Journal of Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geosciences* (in Chinese with English abstract).
- Yang Kaiqing. 1982. Problems about the structural control of rocks and ores and the structural petrogenesis and metallogensis. In: *Collected Papers and Notes on Geomechanics*, No. 6. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Zeng Qingfeng. 1978. Genesis and filling of ore-forming fractures and their pulsatory nature. *Scientia Geologica Sinica*, 13(2): 149~162(in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng. 1965. Significance of unconformity surface to endogenic metallization. *Geological Review*, 23(5): 359~364(in Chinese).
- Zhai Yusheng. 1999b. Study of orefield structure in China: retrospect and prospect. in: Wang Hongzhen, ed. *Review of development of geology of China*. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 179~185.
- Смирнов В. И. 1963. Очерки Металлогении. Москва, Геотехнеиздат. 163.

A Brief Retrospect and Prospect of Study on Ore-forming Structures

ZHAI Yusheng

China University of Geosciences, Beijing, 100083

Abstract

Geological structures play an important role in formation, modification and preservation of ore deposits. The paper briefly reviews the study of the relationship between structure and metallogeny and the relationship between geotectonics and metallogeny. The study of ore-forming structure has experienced a gradually deepening process, consisting of the following stages: single-structure ore control, composite-structure ore control, structure ore formation, and dynamics of ore-forming structure. The author puts forward that: ① combination of study on ore-forming structure and regional geochemistry is an important method to explore ore-forming regularities; ② structure-fluid-ore deposit (bodies) constitute a natural system; ③ different metallogenic systems occur in different tectonic systems such as extension, compression and strike-slip mechanisms; ④ combining the study on structure ore formation with structure ore destruction, and taking ore formation, ore change, ore destruction or preservation and occurrence as an integrated process, so as to guide ore exploration more effectively; ⑤ applying advanced technology to strengthen the study on structures of typical ore fields.

Key words: ore-forming structure, retrospect, prospect, ore field structure, tectonic, geotectonics, metallogenic system.

(上接第 167 页) 是实现区域地质调查数字化的关键技术之一, 该“野外数据采集器”的研制成功标志我国区域地质调查数字化技术的重大突破和跃上一个新台阶, 与美国、加拿大、澳大利亚等国的野外数据采集器比较, 我国的“野外数据采集器”实现了数据采集掌上机化; 定点 GPS 化(导航与辅助定位); 野外记录(手写电子笔)数字化, 达到国际先进水平。2001 年在青藏高原的东北缘进行了野外试验, 野外数据采集器接受了高寒、风沙等恶劣条件的考验, 野外数据采集获得成功。

(2) 应用“野外数据采集”和其他新技术, 野外数字填图试验取得重要进展: 新生代填图和造山带填图课题应用野外数据采集器和三维遥感地质解释方法基本完成了青藏高原的东北缘巴隆公社和阿拉克湖 2 个 1:10 万图幅的数字地质图的填制任务, 其结果分别较好地反映了青藏高原造山带和新生代的地质构造特点, 取得了大约近 400 M Byte 的地质数据; 数据采集器课题组成员到野外试验现场基本解决了新生带填图课题和造山带填图课题在数据采集器使用过程中遇到的各种问题, 接受了试验课题组提出一系列改进建议。青

高原的造山带和新生代数字地质填图基本成功。

(3) 提出了数字地质填图数据模型——定点—路线—界线模型 (PRB); 野外数据采集课题组在阿拉克湖示范区进行野外数据采集器的试验工作, 和地质人员一起讨论地质数据采集的数据模型, 经过深入细致的讨论和创新性思考, 提出了 PRB 区域地质调查的数据采集模型。PRB 地质野外数据模型解决了区域地质调查过程中的定点、路线、和界线在数字区域地质调查中的作用和重要性。

(4) 基本构建了我国第一个数字化区域地质调查队伍: 数字化区域地质调查队伍装备了一系列先进的野外工作设备, 实现了区调野外数据采集四化: ① 数据采集掌上机化; ② 定点 GPS 化; ③ 野外照相、素描数码化; ④ 野外记录输出半自动—自动化。

预计, 经过 3 年的研究, 项目将在我国区域地质调查理论和方法、新技术新方法应用等领域取得重大进展, 可望逐步改变我国传统的地质调查工作模式, 为中国区域地质调查的发展做出积极贡献。

(2002-01-10 收稿; 章雨旭编辑)