

文章编号 0258-7106(2010)01-0003-06

加强矿床地质研究,提高找矿工作成效*

翟裕生^{1,2}

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;2 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083)

摘 要 中国经济的持续快速增长,急需找矿工作的重大突破,以提供更多更好的矿产资源。矿床学正面临新的发展机遇。当前矿床研究工作的的问题是理论联系实际不够,学科内部各部分发展不平衡。为此,笔者提出了矿床学研究中的几个重点:①由浅部向深部开拓——深浅结合;②矿床解剖与区域展开——点面结合;③矿床系列和异常系列组成的矿化网络;④研究与发现新型矿产资源。对如何加强矿床研究,提出:①理论与实践紧密结合;②宽厚基础与重点深入相结合;③国内矿床研究与国外矿床研究相结合;④继承与创新相结合。预计今后10~15年期间,中国的矿床研究将处在一个很有利的战略发展机遇期,我们要加倍努力,为实现从地质资源大国到地质资源强国的转变做出应有贡献。

关键词 地质学;矿床研究;找矿;理论与实践;继承与创新;矿化网络

中图分类号:P61

文献标志码:A

Strengthening research on mineral deposit geology to promote effectiveness of mineral exploration

ZHAI YuSheng^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

Fast and steady development of China's economy in recent years demands a great breakthrough of mineral exploration to provide much more mineral resources with better qualities. Thus mineral deposit geology needs massive research increase, and the study of ore deposit geology is now facing an unprecedented developing chance. The two main basic problems concerning current mineral deposit research are as follows: ① less attention has been paid to the connection of theory with practice; ② there exists an imbalance of development in different fields of the discipline. To solve these problems the author puts forward several research aspects in this paper. They include ① exploration from the shallow part to the depth, i. e., combination of shallow with deep; ② the performance of research from single deposit through ore belt to regional metallogeny, i. e., the combination of point, line and zone; ③ research on ore-forming network composed of ore deposits series and geo-anomaly series; ④ research on and discovery of new types of mineral resources. For the purpose of strengthening and improving the study of mineral deposit geology, four suggestions are put forward in this paper, namely, ① combining theory with practice more closely; ② combining wide-sound basic research with focused and detailed re-

* 本文得到国家自然科学基金资助项目(40234051)、国家重点基础研究发展规划项目专题(2006CB403503)和地质调查综合研究项目“全国重要矿产和区域成矿规律研究”共同资助

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。

收稿日期 2009-12-05;改回日期 2010-01-12。张绮玲编辑。

search; ③ combining domestic ore deposit research with international ore deposit research; ④ combining successiveness with creativeness. It can be expected that the coming 10~15 years will provide a strategic development stage for mineral deposit geology. All mineral deposit geology researchers should work harder to make great contribution to the transition of China from a large geological resource country to a strong geological resource country.

Key words: geology, research on mineral deposit geology, mineral resource exploration, theory and practice, successiveness and creativeness, ore-forming network

1 矿床学面临的机遇和问题

矿产资源是发展社会经济的重要物质基础,中国正处于工业化中期,矿产资源被大量、快速消耗。当在 2020 年 GDP 较 2000 年翻两番时,所需矿产资源量至少翻一番(陈毓川,2006);当在 2050 年达到中等发达国家水平时,中国矿产资源消耗量将再攀新高。

中国矿产资源需求旺盛,目前能自给的品种较多。但石油、铜、铝、富铁、钾盐等主要资源不足,已成为制约可持续发展的重要瓶颈。2006 年国务院《关于加强地质工作的决定》明确提出要“切实加强重要矿产资源勘查,努力实现地质找矿新的重大突破,为全面建设小康社会提供更加有力的资源保障和基础支撑”。

最近,李克强副总理又多次强调,作为一个大国,解决矿产资源供应,主要要立足国内,要大力加强勘查工作,实现找矿重大突破。为此,政府已开始加大了对矿床勘查和矿床研究的投入,地质工作又将迎来一个新的发展机遇。作为一个已从事地质工作 60 多年的老地质工作者,笔者深受鼓舞,更感到责任重大。但也应清醒地认识到,这种矿产资源紧缺的情况不会在短期内完全解决,还将持续很长一段时间,因而加强矿床研究以指导矿床勘查不是短期行为,而是中国整个工业化过程的一项战略任务。国家对矿产资源的大量、持续需求也为矿床研究提供了很好的机遇。

近年来,中国矿业很兴旺,矿业开发扩展到很多边远地区包括青藏高原腹地。在主要成矿带中矿山林立,矿山挖掘中已揭露出很多矿床新现象,提供了丰富、新鲜、生动的矿床实际资料,这是十分宝贵的建构成矿理论的初始源泉。

再有,当代兴起的地球系统科学,将地球作为一个巨系统来进行整体的演化的研究,这就为矿床学研究提供了更为广阔的基础学科平台,而高新技术的快速发展和广为应用,将为矿床研究提供新兴科学技

术,因而能显著提高矿床学的研究质量和学科水平。

在认识到开展矿床研究的良好机遇的同时,也应看到矿床研究中的困难和问题。首先是随着近地表矿的大量发现,找矿难度尤其是找到深部矿和大矿的难度明显加大。在新地区找矿,在新的深度找矿,寻找隐伏矿床和新类型矿床,信息较少,缺少经验,风险加大,已有的成矿理论和技术方法难以完全满足需求。这是对矿床学新的挑战,也是促使矿床学发展的一个机遇。

其次,现行的科研管理体制和人才选拔机制还不够完善,未能合理区分基础研究、应用研究、开发研究所获成果的差别,过多地强调提交科学论文的数量及水平,客观上起到了引导科技人员把主要精力放在撰写论文上,而忽视了他们解决实际问题的能力和对经济发展的实际贡献。具体表现在矿床研究上有一种倾向,有关矿床地球化学方面的研究论文很多,虽然其对示踪成矿环境和认识矿床成因很有帮助,而对矿床地质构造、控矿因素尤其是构造控矿的深入研究成果较少,论文数量也少,而在实际矿产勘查及开发工作中,地质构造往往起到十分重要的作用。

现有的矿产资源勘查及开发体制和管理机制还未完全理顺。不少矿山属个体和集体所有。出于企业利益考虑,一些重要矿床的实际储量、品位情况难以公开披露。这给及时、深入、全面地了解矿产地质特征和成矿规律增加了困难,在一定程度上影响了矿床学的发展。

由此可见,我们要努力跟上形势,把握时机,克服困难,加强和改善矿床学研究,使矿床学更好地为矿产勘查服务。

2 矿床研究的几个重点问题

当前矿床学要研究的问题很多,如何突出重点,带动全局,已有多方面的论述。现再提出以下几点供参考。

2.1 由浅部向深部开拓——深浅的结合

对矿床的寻找、开发及研究总是由表及里,由浅入深的。随着浅表矿越来越少,深部找矿已经提到日程,尤其在中国的中东部地区,深部找矿的任务更为繁重。可喜的是,在众多危机矿山找矿项目中发现了深部矿体,增加了储量,显示了很多矿集区深部有良好的资源潜力。不仅如此,在深部钻探中,还发现了新的矿石类型(如冀东杏山矿区1 000 m深处发现鞍山式铁矿的富铁矿石,这在河北省尚属首次)、新的控矿构造(如山东沂南金矿的深部不整合面控矿,顾雪祥等,2008)、新的赋矿层位(如山东省发现隐伏的元古代地层——济宁群,宋明春等,2008)等。这说明,深部找矿不仅是一项经济活动,还是一项科学探索活动,除发现矿床外,还可能提供更多的与矿床学有关的新信息。深部探矿的重大发现将有可能在某些方面改变我们对中国矿产资源特征的传统认识(翟裕生等,2002)。

矿床研究表明,地壳浅部的矿床,尤其是大型矿床,多是重要地质事件的产物,受深部过程主要是壳幔作用的控制。大规模成矿又是在区域构造热事件中发生的,它们多集中在板块边缘和构造转换带中,其成矿热动力源于深部,而矿床就位于浅表环境,即矿在浅表,而根源在深部。因此,成矿的深部背景与浅表就位是一个统一过程的两个方面。

深部成矿物质在向浅表的输运过程中,在不同的深度可形成不同的矿床类型。例如,与长英质岩浆有关的铜、钼、金、银组合,在距地表3~5 km处常生成斑岩-矽卡岩型矿床,而其衍生的含矿流体溢出地表时则可生成热泉型矿床。因此,同一个成矿系统,在不同深度环境中可形成不同矿种、不同成因类型的矿床,可见,矿源是核心,在深部或在浅表成矿是现象。

基于上述认识,在关注深部找矿的同时,不能忽略对浅部矿床的精细研究。从矿体产状的整体性看,存在一些延深很大的矿床。如在造山型金矿、岩浆管道型铜-镍矿、角砾岩筒型金刚石矿以及沉积变质型铁矿中,一个矿体可延深几千米,矿体的浅表部分与其深部是一个整体,在有些热液矿床中,呈断续分布或雁行排列的矿脉群可延伸千余米,从上到下也是一个整体。再从物质组成看,在浅部矿体中经常保存有深部矿的信息,如深部含金脉体的前缘晕(砷、锑、汞等异常)叠加在浅部矿体之上,可作为深部找矿的标志。

由此可见,将深部矿与浅部矿结合起来研究,先

是对浅部矿的精细研究,再扩展到对深部矿的探索,将浅部做细,向深部开拓,这符合认识规律。并已成为众多成功找矿事例所证实。

2.2 矿床解剖与区域展开——点面的结合

在矿床学研究中,将典型矿床解剖与区域成矿研究结合起来是行之有效的。点与面同属一个系统,点是局部,面是全局,相互依存。这里所谓的“面”,实际是一个三维的“体”,是区域尺度的三维地质块体。在区域研究的基础上深入研究矿床个体,在矿床个体研究的基础上向区域扩展,点面结合,微观宏观结合,这有利于全面认识矿床成因和区域矿床分布规律,提高找矿工作的成效。

矿床个体研究是矿床学研究的基础,我们要继续加强对典型的、有特色的矿床的深入研究。这包括:研究阐明成矿环境和成矿年代、查明控矿因素、构筑矿床的三维结构、明确围岩与矿石的组构和物质成分及其所蕴含的微观信息、查明矿床的变化及保存过程、认识矿床的地、物、化、遥特征;并用系统观点说明该矿的“源-运-储-变-保”特征。在此基础上,与同类及类似矿床作对比,建立矿床模型和找矿模型,明确主要找矿标志,提出该类矿床的评价准则。

在典型矿床研究的基础上要区域展开,这涉及更广阔的研究内容,包括:区域的大陆动力学背景、区域壳幔作用与深部过程、区域构造、岩浆-流体作用、区域变质作用、区域表生作用、区域矿床特征与区域成矿系统、区域地质发展史与成矿谱系、区域矿床的形成、改造和保存、分布规律及主要矿产的资源潜力等。

在当前我国的成矿区带研究中,很重视将区域地质综合研究与代表性矿床的深入研究相结合,并已获得良好效果。要强调的是,无论是点的深入,还是面的展开,都需要相对稳定的队伍和专家,长期坚持研究,做出开创性成果。例如,彭润民同志研究狼山-渣尔泰山成矿带达20余年,先是发现层控多金属矿床中的含矿火山岩系,后又阐明控矿的同生构造,继而建立多金属矿床的SEDEX成矿模式,近年来又发现叠加成矿现象(Peng et al., 2007),还在区域填图过程中首次在该区发现了约8亿年前发生的构造-岩浆事件,从点到面都有新发现。这说明,抓住关键地区,明确主攻目标,实现点面结合,锲而不舍地坚持长期探索,一定会有创新成果。

2.3 矿床系列和异常系列组成的矿化网络(成矿系统网络)

现在找矿难度越来越大,如何加强矿化异常研

究已引起更大关注。为此,笔者曾提出,矿床系列和异常系列(包括地、物、化、遥、生物等异常)都是一个成矿系统的产物,它们构成一个三维的矿化网络,应将它们作为一个整体加以研究(翟裕生等,2004)。

之所以要将矿床系列、异常系列作为一个整体——矿化网络来研究,主要基于以下考虑:①它们都是成矿作用的产物(主、副产品);②它们相伴而生,相互依存,共同构成矿化网络;③矿化异常的体积较大,找矿通常从异常入手,再逐步聚焦到矿体;④作为矿化异常的一些含矿岩石(经常是蚀变岩),在新的经济技术条件下可以成为矿石。如斑岩型铜-金矿因改进选矿技术而能降低入选矿石品位,将一部分矿化蚀变岩升格为矿石。因此,在矿床研究中,将矿床(体)与异常两者结合研究,这既有助于认识成矿环境、控矿因素和成矿作用过程,又可以提供有效的找矿标志。

为深入研究矿化网络,可运用“矿化网络结构”的概念,即矿床系列和异常系列网络中各矿种、矿床类型及矿化异常间的相互关联,有3类结构:①空间结构,矿床及异常的分带性、集约度;②时间结构,矿床形成过程及矿化阶段的划分;③物质结构,指在不同矿床类型中成矿强度的差别,造成矿石储量的差异,以致有大、中、小矿床之分(Zhai et al., 2009)。对矿化异常的空间结构来说,有近程的、远程的,有分带的,有套合的。发现以下4种异常应引起关注,有可能已经接近矿体:①异常浓集带;②异常突变带;③异常复合带;④异常叠加带。此外,对一些低缓异常也不能忽视,尤其在深部找矿时。针对不同的成矿系统与成矿环境,详细研究异常的结构特征,有助于发现矿床。

2.4 研究与发现新型矿产资源

为了实现矿产资源的可持续供应,除了继续找寻常规的矿产外,还要研究、预测和发现新型矿产资源,这包括新的矿床类型、新的成矿环境、新的成矿作用、新矿种、新的岩矿性能以及矿床物质的综合利用等。为解决这些问题,矿物学、岩石学、矿石学、地球化学、非金属矿产学、矿物物理学、矿石工艺学、岩矿材料科学、选冶科学技术等将发挥重要作用。

从矿床学角度看,很多矿床形成在从地表到岩石圈底部的广阔空间。现今人们对矿床的直接观察还局限于地壳的浅表层次(几千米以内),人类很少到达的一些地区如洋底、极地、大雪山、大沙漠地区的矿产还很少被发现。因此,现阶段对成矿作用和

矿床类型的认识还只是局部的,有些还是表象的。矿床研究的一项重要工作就是去探寻新的矿产类型,开拓新的资源领域。例如,表生成矿作用发生在最活跃、最开阔的地壳表层带,有岩石圈、水圈、生物圈和大气圈的相互作用,有宇宙天体的影响,包括物质与能量的交换。因地壳浅表环境的常温-低温成矿作用是常见的、多样的,是发现新类型矿床的有利环境。现已发现有四川的独立碲矿、贵州的红色粘土型金矿、青海的永久冻土区的天然气水合物资源等。此外,对海洋成矿作用、生物成矿作用、物理成矿作用、构造成矿作用等的研究,总的来看还不够深入,未知领域还不少。在这些成矿系统中发现新矿床类型的潜力是可以预期的。

中国地处三大板块的交汇带,大地构造历史复杂,成矿多样性和多期性显著,叠加成矿和改造成矿作用比较发育。现已发现多个叠加型层控矿床,还存在进一步发现由叠加和改造成矿作用形成的新类型矿产的可能性(翟裕生等,2009)。

笔者认为,在找矿工作中,除对单个矿种的找寻及评价外,还要从区域的地质成矿条件出发,加强对成矿系统“源-运-储-变-保”的全面分析,以区域成矿系统所形成的矿床系列(组合)作为找矿的综合目标,这有利于把握全局,举一反三,由已知矿床类型,找未知矿床包括新类型矿床,从而达到充分开发利用区域矿产资源的目。

3 对加强矿床研究的思考

3.1 理论与实践相结合

矿床研究的任务是认识矿床特征、建立矿床模型、探索矿床成因和矿产分布规律,以指导勘查和开发工作。而勘查和开发实践中揭露的矿化现象和提出的科学问题又是对已有成矿理论和找矿思路的检验,从而促进矿床研究的深入及扩展。矿床学既以厚实的地球科学和矿业开发为基础,又可直接指导找矿工作。矿床学的理论性和实践性都很强,因此对矿床地质工作者来说,努力做到理论与实践的密切结合是必需的。

但在实际工作中,重理论轻实践的现象时有发生。表现在:深入矿山,跟踪矿山开发过程,精细、全面、动态地研究矿床地质特征的成果少见,重视发表论文,而忽视研究成果的实际应用和在生产实践中的检验;一些实践性强也很重要的矿产地质工作如

矿山地质、矿产勘查地质等学科被忽视,这方面的研究成果少见。在从事实际勘查的人员中,有的忙于生产,忽视理论学习;有的注重实际工作经验,不注意理论的提升;有的限于工作环境和开放程度,对新的地质矿产理论与方法关注不够。如前所述,这些既有大环境的客观原因,也有主观因素。

这些分析不一定全面,但从中也可看到,在矿床研究中,要做到理论与实践密切结合,还有很多工作要做。可考虑采取或加强以下措施:①坚持产学研相结合。大量实践表明,产学研结合对大多数科技领域来说是行之有效的,对矿床研究来说,效果更为明显;②科技评价价值导向应将理论与实践成果并重。对矿床研究的突出成果可分为两类:一是有重要理论价值;一是有重要找矿发现或指导找矿发现。两者应该兼顾;③对初进大学和研究所的年轻矿床专业人员可先开展深入矿山的综合性研究项目,以提高其矿产地质基础的综合研究能力,为全面发展打好基础;④对在找矿一线的科技骨干和科技管理人员采取定期或不定期培训、在职读研、研读专门课程、到高校进修等多种方式,开阔他们的学术视野,提高理论水平。

3.2 宽厚基础与重点深入相结合

矿床学是一门综合性学科,矿床专家需要多方面的知识和能力的积累。矿床学还是一门实践性很强的学科,需要长期的实际工作经验。很多矿床学前辈都是地质理论基础宽厚扎实,野外实际工作能力很强,又擅长综合研究,因而能在矿床学的众多领域做出开创性的成果。

要成长为高水平的矿床学家,借鉴前辈科学家的经验,我们要努力学习系统的地球科学知识和其他自然科学知识,熟练地质基本功,掌握科学思维方法,积累系统而确实的理论、知识、技能和经验,尽可能是“金字塔式”的、结构优良的积累。有了文理兼通、基础宽厚的学术素养,在此基础上又能深入钻研,专攻一两个研究领域,就有可能做到开拓创新,也即做到“基础宽厚,专业精深,重点突破”,即所谓“厚积薄发”。笔者寄希望于年轻的矿床专家,他(她)们热爱专业,年富力强,知识面广,思维活跃,敢于知难而上,开拓新的领域。期盼他们能进一步打好宽阔基础,实行基础厚实与重点深入的有机结合,做出更多的开创性成果。

3.3 国内矿床研究与国外矿床研究相结合

地质科学包括矿床学是全球性的学科,地球系

统科学的兴起和全球重大地学研究项目的开展,就为加强国内外地学界的合作提供了新的机遇。近年来,矿床学界与国外的合作交流有了可喜的发展。

笔者曾提出,我们的矿床研究要将国家需求、学科前缘和中国的地质成矿特色三者结合起来,做出高水平的研究成果。在这方面,近年来大家比较认可的矿床学成就包括:成矿系列理论的深入开拓、成矿系统与演化论、矿床形成-变化-保存的全过程研究、大陆内部成矿特征与有关模型、碰撞造山过程与成矿系统、花岗岩类有关成矿系统、峨眉山幔柱有关成矿系统及其他,这些理论观点有的已经应用于矿产勘查,经过实践的检验,取得良好成效。上述这些方面的研究还正在继续深入,问题是要加强中国矿床学研究成果的对外交流,使外国的矿床学家们能关心和分享我们的成果。尽管我们已经有了有一些比较熟悉国内外矿床的专家,能经常与国外同行们交流,也开展了一些实质性的科技合作。但总的来说,这样的学者还不够多,尤其是能在国际矿床学舞台上占主导位置的中国矿床学家还寥寥无几。这是中国矿床研究的一个薄弱环节,要充分利用多种渠道,加强与国外同行的交流与合作,及时地让有作为的中青年矿床专家活跃在世界舞台上。

另一方面,中国的矿床研究在一些方面与国外还有差距,要学习和借鉴国外的先进研究成果和经验。对此,大家都比较关心国外矿床学的动态,能利用当代的信息技术,及时了解、引进和吸收一些好的研究成果,促进中国矿床研究的提高。应该注意的是,在学习外国的同时,要尽可能对一些新概念、新论点做一些调查研究,尽可能从其原始出处,了解这些概念、论点被提出的背景、原因、依据、适用范围及存在的问题,这样可以帮助研究人员有分析、有判断、有条件地利用这些概念和论点,而不是一概接受,囫圇吞枣,造成消化不良。

还需指出的是,我们现在已经有充分条件开展国内外矿床的比较研究,要努力从全球角度研究中国的区域成矿规律,并进而研究全球的矿床特征和成矿规律。这样,可以从全球视野来深刻认识中国矿床地质的特点,为中国的矿产资源潜力评估和找矿战略制订提供科学依据。

3.4 继承与创新相结合

科学研究是一条无尽的长河,一代一代的科学家总是接力赛式地世代相传,后来者有幸站在前人的肩膀上继续攀登新的高峰。矿床学也不例外。例

如,我们今天研究长江中下游成矿带,总是忘不了谢家荣、程裕淇、郭文魁、徐克勤等老一辈地质学家的开拓性贡献。而奋战在祁连造山带的地矿专家们也会经常回忆起孙健初、李璞、涂光炽等开拓者的光辉形象。

地球的结构组成和演化过程十分复杂,而矿床的形成、变化、保存更是千变万化。有关这些方面的很多奥秘尚未真正认识,即使对某一矿床成因的认识是准确的,那也是相对的真理。何况我们今天对矿床形成规律的认识还只是很初步的。面对复杂纷繁的矿床世界,需要一代接一代的继承、探索、开拓,在继承中不断地前进。

继承与创新是辩证的统一体。没有继承,创新就是无源之水,无本之木;没有创新,继承就成了墨守成规,故步自封。当我们探讨一个论点,提出一个概念,总要先仔细查阅历史文献,看看前人有无有关的论述,而不能盲目地说是“首次发现”。忽视继承,强求创新可能会导致好高骛远、不切实际,甚至出现形式主义。这些都是我们大家要尽力避免的。

矿床学的发展需要继承,更需要创新。继承是创新的前提,创新是在继承基础上的开拓。为了创新,首先要很好地继承,全面了解某一领域(课题)的国内外研究历史与现状,认识到哪些人做了相关的工作,哪些问题已经解决,哪些问题还没有解决,哪些是关键性的问题……。在全面调研的基础上,看准抓紧科学问题,选好主攻目标,锲而不舍地探索,就有可能获得新的重要成果。

4 结 语

预计今后 10~15 年间,中国的矿床研究将处在一个很有利的战略发展机遇期,矿床研究将更好地实现理论与实践相结合、继承与创新相结合,深入研究和认识矿床特征和成矿规律,促进矿产勘查的更大突破,显著增加中国的矿产资源供应实力。与此同时,中国矿床研究队伍将更加壮大和成熟,国际交流与合作将更加活跃,中国的一些重要矿床研究成果将得到更多国际同行们的充分认可和广为应用,为实现从地质资源大国到地球科学强国的转变做出我们应有的贡献。

References

- Chen Y C. 2006. Expectation of mineral resources and development of west regions in china[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 28(1):1-4 (in Chinese with English abstract).
- Gu X X, Dong S Y, Wang Y H, Hu G Z, Du S H and Jiao P. 2008. A new example of unconformity related endogenic metallization: The Yinan Au-Cu-Fe deposit in Shandong Province, China[J]. Geoscience, 22(2):151-161 (in Chinese with English abstract).
- Peng R M, Zhai Y S, Wang J P, Hang X F, Wang Z G, Qin J W and Shen C L. 2007. Magmatic hydrothermal overprinting in the mesoproterozoic dongshengmiao deposit, Inner Mongolia: Geological and fluid inclusion evidences[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(1):145-152.
- Song M C, Li P Y, Xiong Y X, Wang G P and Ma Z T. 2008. Deep iron deposit of the Jining intense magnetic anomaly area in Shandong Province and its significance[J]. Acta Geologica Sinica, 82(9):1286-1291 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Wang J P, Deng J and Peng R M. 2002. Metallogenic system and mineralization network[J]. Mineral Deposits, 21(2):106-112 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J, Wang J P, Peng R M, Liu J J and Yang L Q. 2004. Researches on deep ore prospecting[J]. Mineral Deposits, 23(2):142-149 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Wang J P, Peng R M, et al. 2009. On the structure model of the metallogenic series[A]. In: Williams P J, et al., ed. Smart science for exploration and mining[C]. Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting, Townsville. 135-138.
- Zhai Y S, Wang J P, Peng R M and Liu J J. 2009. Research on superimposed metallogenic systems and polygenetic mineral deposits[J]. Earth Science Frontiers, 16(6):282-290 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川. 2006. 矿产资源展望与西部大开发[J]. 地球科学与环境学报, 28(1):1-4.
- 顾雪祥,董树义,王银宏,胡贵增,杜树浩,焦鹏. 2008. 不整合面控制内生金属成矿的新实例:山东沂南金铜铁矿床[J]. 现代地质, 22(2):151-161.
- 宋明春,李培远,熊玉新,万国普,马兆同. 2008. 山东省济宁强磁异常区深部铁矿初步验证及其意义[J]. 地质学报, 82(9):1286-1291.
- 翟裕生,王建平,邓军,彭润民. 2002. 成矿系统与矿化网络研究[J]. 矿床地质, 21(2):106-112.
- 翟裕生,邓军,王建平,彭润民,刘家军,杨立强. 2004. 深部找矿研究问题[J]. 矿床地质, 23(2):142-149.
- 翟裕生,王建平,彭润民,刘家军. 2009. 叠加成矿系统与多成因矿床研究[J]. 地学前缘, 16(6):282-290.