

山东省矿床成矿系列研究^{*}

于学峰¹, 张天祯¹, 王 虹¹, 程光锁¹, 李大鹏¹, 倪振平², 宋明春³, 张增奇¹,
李洪奎¹, 杨恩秀²

(1 山东省地质科学研究所, 国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南 250013; 2 山东省地质调查研究院, 山东 济南 250013; 3 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013)

摘 要 文章在对山东省已查明资源储量的石油、煤、金、铁、铜、金刚石、石膏、石盐、石墨、自然硫、萤石、蓝宝石等以固体矿产为主的成矿地质条件进行总结的基础上, 根据矿床成矿系列研究的学术思想, 在全省初步划分为 34 个成矿系列, 其中重要成矿系列 10 个。这 34 个矿床成矿系列, 分别归属于与岩浆作用、沉积作用、变质作用及成矿流体作用有关的 4 类矿床成矿系列组合。同时对成矿系列组合及其分布特征和当前山东成矿系列研究中的有关问题进行了讨论, 以及对山东各个地质历史时期的成矿作用及其所形成的矿床的全部地质要素特征进行总结, 并对山东成矿作用划分为早前寒武纪、中元古代-新元古代、古生代、中生代和新生代 5 个大的成矿期的成矿系列特征进行了分析论述, 建立了山东省成矿系列类型和框架。

关键词 地质学; 矿床成矿系列; 成矿系列组合; 成矿历史演化; 成矿规律; 山东省

中图分类号: P612

文献标志码: A

A study of minerogenetic series of mineral deposits in Shandong Province

YU XueFeng¹, ZHANG TianZhen¹, WANG Hong¹, CHENG GuangSuo¹, LI DaPeng¹, NI ZhenPing²,
SONG MingChun³, ZHANG ZengQi¹, LI HongKui¹ and YANG EnXiu²

(1 Shandong Geological Sciences Institute, Shandong Key Laboratory of Geological Processes and Resource Utilization in Metallic Minerals, Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization of Ministry of Land and Resources, Jinan 250013, Shandong, China; 2 Geological Survey of Shandong Province, Jinan 250013, Shandong, China; 3 Shandong Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan 250013, Shandong, China)

Abstract

On the basis of summarizing geological conditions of ore formation and establishing deposit types of some solid minerals like oil, coal, gold, iron, copper, diamond, gypsum, halite, graphite, natural sulfur, fluorite and sapphire in such aspects as crust evolution stages, main mineralization stages and geological structure units associated with the mineralization, and according to the academic thoughts of metallogenetic series, 34 metallogenetic series have been recognized primarily in Shandong Province in this paper. Among them, 10 are important metallogenetic series. These 34 metallogenetic series respectively belong to 4 types of metallogenetic series associations which have close relation with magmatism, sedimentation, metamorphism and mineralization fluid

^{*} 本文得到国家自然科学基金项目(编号: 41372086、41272047、41503038)、山东省“泰山学者”建设工程(编号: 鲁政办字[2013]122 号)和山东地勘基金项目(编号: 鲁勘字[2008]53 号)联合资助

第一作者简介 于学峰, 男, 1962 年生, 博士, 研究员, “泰山学者”特聘专家, 主要从事地质矿产研究。Email: xfengy@sohu.com

收稿日期 2015-04-09; 改回日期 2015-06-05。苏 杭编辑。

effects. The combination and distribution characteristics of metallogenetic series and relevant problems of metallogenetic series study in Shandong Province have been discussed. Mineralization of Shandong Province in various geological histories and characteristics of geological factors have been summarized. Mineralization in Shandong Province can be divided into 5 stages, i. e., early Precambrian, Meso-Proterozoic-Neo-Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic. Metallogenetic series of various mineralization stages have been analyzed, and type and frame of metallogenetic series in Shandong Province have been established.

Key words: geology, minerogenetic series, combination, stage of mineralization, metallogenetic regularity, Shandong Province

矿床成矿系列是从矿床类型组合的角度研究矿床之间的相互联系,反映一定的成矿地质构造单元,一定的构造运动阶段,一定的成矿地质作用和成矿主要矿产组合及成因联系,在大尺度的四维空间上研究区域成矿作用发生、发展和演化规律的一种学术思想(程裕淇等,1979;1983;陈毓川,1994;1997;陈毓川等,2006)。成矿系列的提出是中国科学家对地球科学发展的重要贡献,并在地质勘查、科研和生产工作中得到了广泛应用(毛景文,1987;毛景文等,2013;汪登红等,2001;2006;于学峰,2001;于学峰等,2009;翟裕生等,2003;汤中立,2004;王京彬等,2005;朱裕生等,2007;李厚民等,2008;肖克炎等,2009;唐菊兴等,2012)。自1979年程裕淇等正式提出成矿系列的概念以来,这种研究成矿学的新思维和新的矿床自然分类方法,在山东地质学界备受关注。当时,曹国权先生在指导鲁东地区区调和区域矿产研究时,就大力倡导在区域矿床研究中应重视成矿系列理论的学习与应用。陈毓川等(2006)提出的由矿床→矿床式→矿床成矿亚系列→矿床成矿系列→矿床成矿系列类型、矿床成矿系列组、矿床成矿系列组合这5个序次(层次)的矿床成矿系列的理论框架,这对山东省地质科学研究院开展的“山东矿床成矿系列及找矿方向研究”项目起到重要的启示和指导作用。本文就是应用矿床成矿系列理论和方法,开展山东区域成矿学研究的初步总结。

1 山东成矿地质背景

山东省是中国矿产种类比较齐全、资源比较丰富的省份。截至2013年底,全省已发现150种矿产,占全国发现矿产资源172种的87.2%。查明资源储量的有85种,占全国查明资源储量矿产资源种类160种的53.1%(山东省国土资源厅,2014)。其中,石油、天然气、煤、地热等能源矿产7种;金、铁、铜、

铝、锌等金属矿产25种;石墨、石膏、滑石、金刚石、蓝宝石等非金属矿产50种;地下水、矿泉水等水气矿产3种。查明资源储量的矿产地2701处(含共生矿产地数)。山东这些矿产的形成,是在自中太古代以来地壳演化历程中,在沉积作用、岩浆侵入作用、变质作用及构造作用下的结果。

1.1 地层

山东省域内自太古代至新生代的地层发育比较齐全。

山东省最古老的地层形成于中太古代,为遭受麻粒岩相变质的火山-沉积岩系,主要发育在鲁西沂水及鲁东栖霞等地,呈包体残存于早前寒武纪的变质变形侵入岩中(曹国权,1990;1995;王世进等,2012)。新太古代地层有鲁西地区的泰山岩群、济宁岩群和鲁东地区的胶东岩群;泰山岩群和胶东岩群为遭受角闪岩相变质的火山-沉积岩系,常以捕虏体的形式出现于早前寒武纪的变质变形侵入岩中,前者赋存着重要的沉积变质型铁矿床(BIF),后者曾被一些学者认为是胶东金矿的矿源层(杨士望,1986;真允庆,1989;肖武权等,1995);济宁岩群为遭受低角闪岩相-绿片岩相变质的一类(火山-)沉积建造,蕴藏着资源量巨大的BIF型铁矿。

元古代地层主要为分布于鲁东地区的遭受角闪岩相-麻粒岩相变质的碳硅泥岩系,以荆山群、粉子山群为主,是山东晶质石墨矿、滑石矿、菱镁矿、矽线石矿等重要非金属矿产及铁矿、稀土矿等金属矿产的含矿层位。

中元古代的地层分布比较局限,仅见于烟台芝罘岛一带的芝罘群和日照五莲一带的五莲群。前者为遭受角闪岩相变质的泥质碎屑岩建造,含有磁铁矿层;后者为遭受角闪-麻粒岩相变质的碳硅泥岩系,赋存有稀土、红柱石(蓝晶石)、石墨、玻璃用石英岩等矿产。

新元古代及古生代地层主要分布于鲁西地区

(鲁东地区只有小范围出露震旦纪地层),其中寒武-奥陶纪地层为稳定陆表海环境形成的碎屑岩及碳酸盐岩建造,是山东水泥、熔剂、化工灰岩及玻璃用石英砂岩等非金属矿的含矿层位;石炭纪一二叠纪地层为稳定型海陆交互-陆相含煤碎屑建造,该套地层中发育着重要的煤、煤层气、油页岩、耐火黏土、铝土矿等能源、金属和非金属矿产。

侏罗纪一白垩纪地层在鲁东和鲁西都有分布,为含煤碎屑岩建造、陆源碎屑岩建造及火山岩建造,发育有煤及耐火黏土、膨润土、沸石岩、明矾石、硫铁矿等多种矿产。

新生代地层在山东分布广泛,古近纪的济阳群、官庄群及五图群为含石油-膏盐的河湖相、湖相或山麓-河湖相的,以碎屑岩为主的沉积岩系,是山东重要的石油储集层发育岩系,也是石膏、石盐及钾盐、自然硫和煤、油页岩的赋存层位。新近纪地层分布

局限,为基性火山岩及湖相泥质碎屑岩组合,是硅藻土、蓝宝石原生矿等矿产的赋矿层位。第四纪地层分布广泛,是山东金刚石、蓝宝石、金、锆石等砂矿的含矿层位。

1.2 侵入岩

山东省岩浆活动频繁,从太古宙至新生代都有活动,除中太古代、新太古代中期、燕山期及喜马拉雅期有较多的火山活动外,其它均以岩浆侵入活动为主(张增奇等,2014)。

中太古代侵入岩多以零星、小范围出露于鲁东的栖霞等地,以幔源型超基性-基性岩组为多,少部分为壳幔同熔型的含紫苏辉石的花岗质片麻岩类岩石,分布范围相对较大。

新太古代侵入岩主要分布于鲁西地区,部分分布在鲁东的栖霞一带,主体为片麻状花岗岩类、英云闪长岩类、花岗闪长岩类、闪长岩类等岩石,具有深

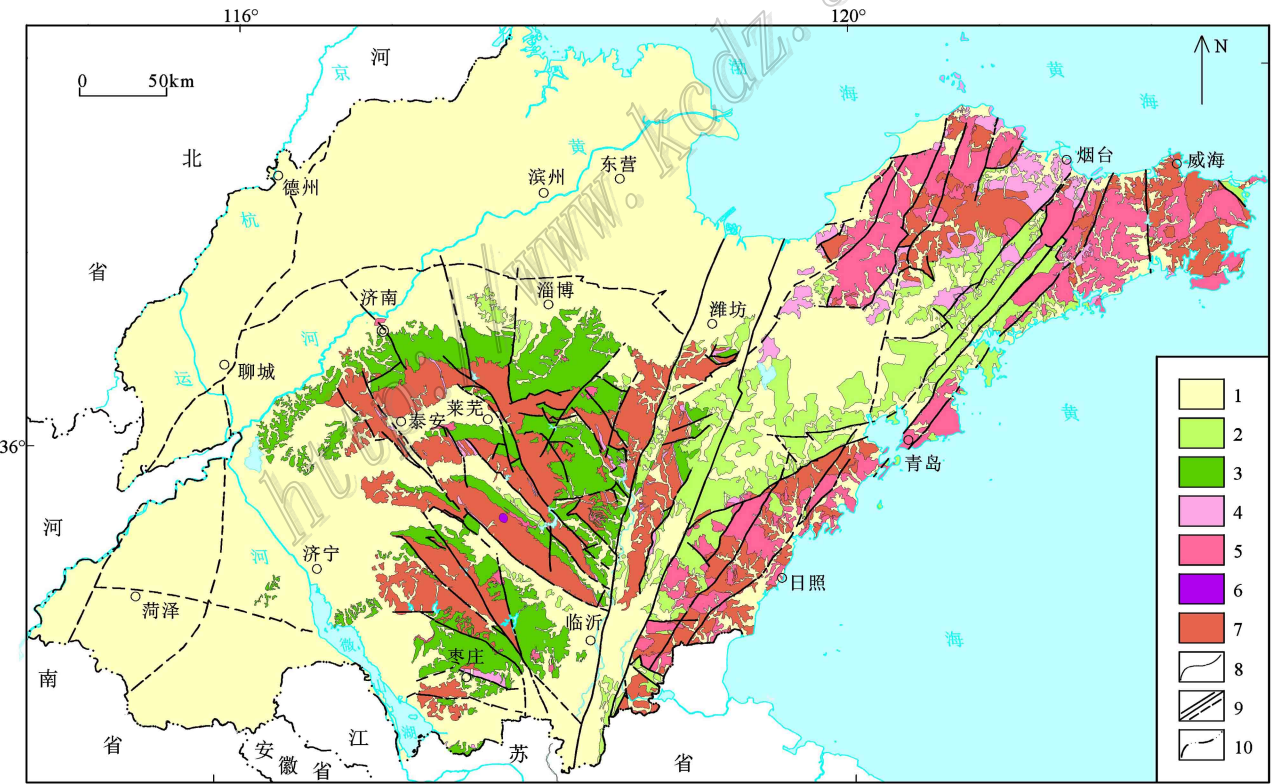


图 1 山东省地质简图

1—新生代地层; 2—中生代地层; 3—古生代地层; 4—前寒武系地层; 5—中生代岩浆岩; 6—古生代岩浆岩; 7—前寒武纪岩浆岩; 8—地质界线; 9—已知和推断的断层; 10—省界

Fig. 1 Geological sketch map of Shandong Province
1—Cenozoic strata; 2—Mesozoic strata; 3—Paleozoic strata; 4—Precambrian strata; 5—Mesozoic magmatic rocks; 6—Paleozoic magmatic rocks; 7—Precambrian magmatic rocks; 8—Geological boundary; 9—Major known or inferred faults; 10—Provincial boundaries

熔型或幔源岩浆分异的特征。新太古代中-晚期在鲁西地区有呈枝状、岩株状产出的超基性-基性岩石组合出露,为幔源型岩浆岩,由此形成了与其相关的玉石、蛇纹石矿床、铜镍矿床、钛铁-磁铁矿床等。

古元古代的侵入岩主要发育于胶西北地区,其中属于幔源型的莱州超基性-基性序列是低品位磷灰石矿的赋矿岩体。中-新元古代侵入岩主要见于胶南-威海隆起区,除少量幔源超基性-基性侵入体(为石棉、蛇纹岩矿赋矿原岩)外,多为成因复杂、具有下地壳重熔及壳幔同熔特点的花岗质片麻岩类岩石,为优质石材原料。部分后期的花岗伟晶质岩石赋存有白云母-钾长石矿产。

古生代的侵入岩虽然不太发育,但其科学及经济意义重大——蒙阴地区呈脉状及管状分布的含金刚石的金伯利岩,为幔源型侵入体。

中生代印支期侵入岩见于胶南-威海隆起区,为正长岩—石英正长岩和正长花岗岩,它们均属于深源型碱性花岗岩类岩石。燕山早期侵入岩为出露于鲁中隆起区南部的铜石序列的中性—偏碱性系列侵入岩。其中,偏碱性的正长岩类是归来庄式金矿床的控矿岩体;另外,鲁东地区著名的玲珑花岗岩也是于此阶段侵位的。燕山晚期侵入岩较广泛的分布在鲁西隆起、胶北隆起及胶南-威海隆起区内,鲁东地区有郭家岭花岗岩、伟德山花岗岩和崂山花岗岩等及鲁西地区的济南辉长岩、沂南辉石闪长岩—闪长玢岩、苍山石英二长岩—二长花岗岩等侵入岩都发育于此阶段,受此阶段岩浆活动控制而形成了胶东地区的焦家式、玲珑式、金牛山式等金矿床及福山、招远、栖霞等地的钨钼、铜、铅锌、银等有色金属矿产和饰面石材。在鲁西地区形成了莱芜式铁矿床、铜井式金(铜铁)矿床、龙宝山式金矿床、邹平式铜(钼)矿床、稀土矿床、饰面石材等矿床。

喜马拉雅期岩浆活动局限,仅在构造活动带近处及其中见有橄榄玄武岩、辉绿玢岩等脉岩(张增奇等,2014)。

1.3 区域变质作用

山东是中国区域变质岩系发育最广泛的省份之一,出露的区域变质地质体约占全省基岩出露面积的60%以上,原岩地质体为早期寒武纪地层及侵入岩。

依据大地构造位置、地壳演化及变质作用的特点,山东变质岩区可分为鲁西地块、胶北地块和胶南造山带3个区域变质单元,这3个区域变质单元内

原岩建造特征不尽相同,除了早前寒武纪侵入岩外,各变质地层经历的区域变质作用也略有差异。比如,中太古代沂水岩群及唐家庄岩群遭受了同期麻粒岩相区域变质作用;新太古代早期的泰山岩群及胶东岩群遭受了角闪岩相变质及高角闪岩相区域变质作用,泰山岩群则在新太古代中期又在前期基础上叠加了角闪岩相-绿片岩相的退变质作用;古元古代荆山群及粉子山群遭受了古元古代至新元古代早期麻粒岩相-高角闪岩相-低角闪岩相区域变质作用。中元古代芝罘群及五莲群遭受了角闪岩相及角闪-麻粒岩相变质作用。正是这些火山-沉积或沉积岩系形成之后,经历了有关的区域变质作用的改造才形成了重要的早前寒武纪沉积变质型铁、金、稀土及晶质石墨、滑石、菱镁矿、蓝晶石等矿床。

1.4 地质构造格架与地壳演化阶段

1.4.1 地质构造格架

山东地块居于华北板块东南缘,其东部为苏鲁造山带,地壳演化历程复杂,由此造就了面貌复杂的山东地质构造格架。这个地质构造格架主要是新元古代—三叠纪的海陆“开”“合”与燕山期以来现代板块活动的结果。

山东省域断裂构造发育,其中的沂沭断裂带、齐河-广饶断裂带、聊城-兰考断裂带,五莲断裂及牟平-即墨断裂带,规模巨大,为区域分划性断裂,以其及次级大型断裂构造将山东地块分割为不同级次的地质构造单元,构成山东地质构造基本格架。以牟平-即墨断裂、五莲断裂和沂沭断裂带东部的昌邑-大店断裂为边界,将山东地块分为华北板块与苏鲁造山带2个一级构造单元;以上述的区域分划性断裂为边界,将山东地块进一步划分为鲁西隆起区、华北拗陷区、鲁东隆起区、胶南-威海隆起区和苏北隆起区5个二级构造单元;其下又可进一步划分为多个三级到五级构造单元(张天祯等,1996;宋明春等,2003;孔庆友等,2006;张增奇等,2014)。

1.4.2 地壳演化阶段

在地壳演化过程中,山东地块至少经历了长达3 Ga的地质历史时期(曹国权,1990;1995;王世进等,2012)。在这3 Ga的地质历史时期中,构成了独特的地质构造发展史,其演化发展大致划分为6个阶段(王世进等,2012):①陆核形成阶段(中太古代;2.8 Ga之前)。②大陆壳形成阶段(新太古代—古元古代:2.8~1.8 Ga);包括新太古代早期(2.8~2.7 Ga)、中期(2.7~2.6 Ga)、晚期(2.6~2.5 Ga)3个阶

段及古元古代(2.5~1.8 Ga)。^③华北板块与扬子板块陆-陆碰撞造山阶段(中元古代—新元古代;1800~543 Ma)。^④陆缘海稳定发展阶段(古生代;543~250 Ma);包括早古生代(加里东期,陆表海沉积亚阶段,543~410 Ma)和晚古生代(华力西期,海陆交互相-陆相沉积亚阶段,410~250 Ma)。^⑤大陆边缘活化阶段(中生代);包括印支期(250~205 Ma)及燕山期(205~65 Ma),又分为 燕山早期—侏罗纪(205~137 Ma) 燕山晚期—白垩纪(137~65 Ma)。^⑥断块构造发展阶段(新生代);包括古近纪(65~23.3 Ma)、新近纪(23.3~2.6 Ma)及第四纪(2.6 Ma 迄今)。

2 山东矿床成矿系列划分原则及划分方案

2.1 山东矿床成矿系列划分原则与方法

陈毓川等(2007)在关于一个地区矿床成矿系列划分时指出:“首先应考虑构成此矿床成矿系列的时间、空间、与成矿作用有关的地质作用及形成矿床组合的主要矿种这4个要素,即一定的地质历史时期,一定的地质构造环境所构成的地质构造单元,一定的地质成矿作用和一组具有一定成因联系的矿床。其中,空间概念是最为复杂的,此处建议可采用相对灵活的‘中性的’地理名词来大致限定某一矿床成矿系列的分布范围,同时又不至于与现有的构造概念发生太大冲突”。根据该思想,本文对山东矿床成矿系列厘定中与成矿作用有关的地壳演化阶段、主要成矿作用、地质构造单元等概念作出如下界定。

地质历史时期采用前节有关山东地壳演化阶段的时限方案,即原则上以代(或‘亚代’)或构造旋回为基本单元。如中太古代、新太古代(早、中、晚期)、古元古代、中元古代、新元古代、古生代(早古生代、晚古生代)、中生代、新生代或迁西旋回、阜平旋回、五台旋回、吕梁旋回、晋宁旋回、加里东旋回、华力西旋回、印支旋回、燕山旋回、喜马拉雅旋回。地质构造单元方面,根据山东地壳演化特点,对于古生代及其之前的成矿系列命名的构造单元采用‘中性化’的‘地块’‘微地块’‘地区’等名词;对于中-新生代成矿系列的构造单元命名采用‘隆起’‘拗陷’‘凸起’‘凹陷’等名词,且不采用对‘隆起’‘拗陷’等的定性的称谓,如‘断隆’‘断拗’等。成矿作用类型方面,主要按地质作用粗略划分为岩浆、沉积和变质3

大成矿作用,以及成矿流体作用。

2.2 山东矿床的成矿系列划分方案

依据上述关于山东矿床的成矿系列划分的原则及方法,参考有关研究成果(程裕淇等,1979;1983;陈毓川,1994;1997;陈毓川等,2006),在全省初步划分(厘定)为34个成矿系列(早前寒武纪7个、中-新元古代6个、古生代3个、中生代8个、新生代10个),其中重要成矿系列10个(早前寒武纪3个、古生代2个、中生代3个、新生代2个)。见表1,图2。

3 山东矿床成矿阶段与矿床成矿系列

在山东地块经历的3 Ga地质历史时期中,地块内的鲁西隆起区、华北拗陷区、鲁东隆起区、胶南-威海隆起区和苏北隆起区5个二级大地构造单元,在各个地质历史发展阶段中的地壳演化特点不尽相同。鲁西隆起区、华北拗陷区、鲁东隆起区具有稳定区的特点,胶南-威海隆起区和苏北隆起区在中元古代四堡期以后则具有活动带的特点。尽管山东地块在长期的地壳活动中,经历了复杂的发展演化过程,但阶段性较明显。基于笔者对山东大地构造演化和成矿作用的认识和理解,依据山东地壳演化特征和区域成矿作用特点,将山东省域成矿过程划分为早前寒武纪、中元古代—新元古代、古生代、中生代和新生代等5大阶段,在各个阶段中形成了有关的矿床成矿系列。

3.1 早前寒武纪成矿阶段与矿床成矿系列

这个成矿阶段主要分为新太古代和古元古代2个阶段。

3.1.1 新太古代成矿阶段(2.8~2.5 Ga)

新太古代早-中期(2.8~2.6 Ga),山东地块处在南北向拉张环境下,在中太古代陆核的活动大陆边缘海盆产生裂陷作用,诱发了火山喷发和陆源碎屑沉积,发育一套以超镁铁质-镁铁质火山岩为主的基性-超基性火山岩,形成了含科马提岩及陆源富铁铝碎屑岩和硅铁质岩沉积建造的泰山岩群和胶东岩群。沉积建造形成后,因南北向挤压,地壳缩短增厚,致使其经受了中压相系角闪岩相区域动力热流变质作用,构成了典型绿岩带。这个过程中在鲁西地块形成了与新太古代火山-沉积变质作用有关的铁-金-硫铁矿床成矿系列,其中发育着沂源韩旺、苍峰等多处重要的条带状磁铁矿床及泰安化马湾金矿床等。

表 1 山东矿床成矿系列及系列组合简表
Table 1 Minerogenetic series and combination of the mineral deposits in Shandong Province

成矿作用 阶段	序号	矿床成矿系列	代表性矿床		成矿系 列组合
			编号	名称	
新生代					
第四纪	34	鲁中地区与第四纪冲洪积-残坡积沉积作用作用有关的金刚石、蓝宝石、金、建筑用砂等砂矿矿床成矿系列	34-02	郯城陈埠金刚石砂矿床	沉积
			34-01	昌乐辛旺蓝宝石砂矿床	沉积
	33	鲁东滨海地区与第四纪滨海沉积作用有关的铅锑石-金红石-钛铁矿-石英砂等砂矿矿床成矿系列	33-01	荣成石岛含铅锑石砂矿床	沉积
	32	鲁北地区与第四纪滨海沉积作用有关的地下卤水-贝壳砂矿床成矿系列	32-02	昌乐廒里浅层地下卤水	沉积
			32-01	垦利惠鲁贝壳砂矿	沉积
	31	胶北及胶莱盆地北部地区与第四纪沉积作用有关的金、金红石、型砂矿床成矿系列	31-02	牟平辛安河砂金床	沉积
			31-01	平度郑家金红石砂矿床	沉积
	30	胶北隆起与新近纪河床砾岩-火山岩建造有关的砂金矿床成矿系列	30-01	栖霞唐山硼砂金矿床	沉积
			29	鲁中隆起内火山盆地中与新近纪火山-沉积建造有关的蓝宝石（-刚玉）原生矿-玄武岩、硅藻土-褐煤-磷、膨润土、白垩矿床成矿系列	29-02
	29-01	临朐解家河河硅藻土-磷矿床			沉积
古近纪	28	胶北隆起与古近纪内陆湖相碎屑岩-有机岩建造有关的煤-油页岩矿床成矿系列	28-01	黄县煤田	沉积
	27	鲁中隆起与古近纪内陆湖相碎屑岩-有机岩建造有关的煤-油页岩-膨润土矿床成矿系列	27-01	昌乐五图煤田	沉积
	26	济阳-临清拗陷与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造有关的石油-天然气-自然硫-石盐-杂卤石-石膏、地下水矿床成矿系列	26-01	东营凹陷石油-自然硫-石盐-杂卤石-石膏-地下卤水矿床	沉积
	25	鲁西隆起区与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造有关的石膏-石盐-钾盐-自然硫、石膏矿床成矿系列	25-02	枣庄底阁石膏矿床	沉积
			25-01	泰安汶口盆地石盐-钾盐-石膏-自然硫矿床	沉积
中生代					
燕山晚期	24	鲁东地区与晚白垩世低温（流体）热液裂隙充填作用有关的萤石-重晶石、铅锌-重晶石矿床成矿系列	24-02	蓬莱巨山沟萤石矿床	流体
			24-01	安丘宋官疃重晶石-铅矿床	流体
	23	胶莱拗陷西部与晚白垩世河湖相碎屑岩建造有关的沉积型膨润土、伊利石黏土矿床成矿系列	23-02	昌邑高阳膨润土矿床	沉积
			23-01	昌邑北孟伊利石黏土矿床	沉积
	22	鲁东地区与早白垩世中酸-中基性火山-气液活动有关的金-铜、硫铁矿、明矾石、沸石岩、膨润土、珍珠岩矿床成矿系列	22-04	潍坊涌泉庄膨润土-沸石岩-珍珠岩矿床	岩浆
			22-03	五莲钓鱼台硫铁矿床	岩浆
			22-02	莒南将军山明矾石矿床	岩浆
			22-01	五莲金线头铜-金矿床	岩浆
	21	鲁中隆起与燕山晚期岩浆及热液活动有关的铁、金-铜-铁、铜-钼、铜、稀土、磷矿床成矿系列	21-06	青州店子铁矿床	岩浆(?)
			21-05	微山鄒山稀土矿床	岩浆
			21-04	沂南铜井金-铜-铁矿床	岩浆
			21-03	邹平王家庄铜-钼矿床	岩浆
			21-02	枣庄沙沟磷矿床	岩浆
			21-01	莱芜张家洼铁矿床	岩浆

续表 1-1
Cont. Table 1-1

成矿作用 阶段	序号	矿床成矿系列	代表性矿床		成矿系 列组合
			编号	名称	
燕山早期	20	胶北隆起与燕山晚期花岗质岩浆活动有关的金（银-硫铁矿）、银、铜、铁、铅锌、钼矿床成矿系列	20-08	招远十里堡银矿床	岩浆
			20-07	福山王家庄铜（锌）矿床	岩浆
			20-06	乳山马陵铁矿床	岩浆
			20-05	栖霞香乔铅锌矿床	岩浆
			20-04	福山邢家山钼-钨矿床	岩浆
			20-03	莱州焦家金矿床	岩浆
			20-02	招远玲珑金矿床	岩浆
			20-01	乳山金青顶金矿床	岩浆
	19	鲁中隆起与燕山早期偏碱性岩浆活动有关的金矿矿床成矿系列	19-01	平邑归来庄金矿床	岩浆
	印支期	18	鲁中隆起与燕山早期（侏罗纪）沉积作用有关的煤、耐火黏土矿床成矿系列	18-01	坊子煤矿床
17		胶南隆起与印支期花岗质岩浆活动有关的水晶矿床成矿系列	17-01	五莲寨山水晶矿床	岩浆
古生代					
晚古生代	16	鲁西地块与华力西期海陆交互相碎屑岩-碳酸盐岩-有机岩建造有关的铁、煤（-油页岩）耐火黏土、铝土-石英砂岩矿床成矿系列	16-04	滕枣煤田	沉积
			16-03	巨野煤田	沉积
			16-02	湖田铝土矿床	沉积
			16-01	淄博西冲山耐火黏土-铝土-石英砂岩矿床	沉积
早古生代	15	鲁中地块与加里东期超基性岩浆活动有关的金伯利岩型金刚石矿床成矿系列	15-01	蒙阴常马庄金刚石矿床	岩浆
	14	鲁中地块与加里东期海相碳酸盐岩-碎屑岩-蒸发岩建造有关的石灰岩、石膏、石英砂岩、工艺料石、天青石矿床成矿系列	14-06	淄博柳泉石灰岩矿床	沉积
			14-05	枣庄张范石膏矿床	沉积
			14-04	滕州马山石灰岩矿床	沉积
			14-03	沂源源泉石膏矿床	沉积
			14-02	枣庄抱犊崮天青石矿床	沉积
			14-01	临沂李官玻璃用石英砂岩矿床	沉积
中-新元古代					
新元古代	13	胶南地块与新元古代震旦期岩浆作用有关的白云母、长石矿床成矿系列	13-01	诸城桃行白云母-长石矿床	岩浆
	12	胶北地块与新元古代震旦纪沉积作用有关的石灰岩（水泥用）、观赏石矿床成矿系列	12-02	蓬莱南庄千枚岩砗磲矿	沉积
			12-01	栖霞油家泊水泥灰岩矿床	沉积
	11	鲁西地块与新元古代南华纪—震旦纪沉积作用有关的石灰岩（水泥用）、石英砂岩（水泥用）、观赏石、海绿石矿床成矿系列	11-01	莒县黑山关石英砂岩矿	沉积
	10	胶南-威海隆起与新元古代超高压变质作用有关的榴辉岩型金红石、石榴子石、绿辉石矿床成矿系列	10-01	莒南洙边金红石石榴子石矿床	变质
中元古代	9	胶南地块与新元古代基性-超基性岩浆侵入作用有关的石棉、蛇纹岩（-镍）矿床成矿系列	09-01	日照梭罗树石棉-蛇纹岩矿床	岩浆
	8	胶南地块与中元古代沉积变质建造（孔兹岩系）有关的红柱石、石墨、稀土、透辉石、石英岩（玻璃用）、硅灰石、大理岩（水泥用）等矿床成矿系列	08-04	五莲小庄红柱石矿床	变质
			08-03	大珠子稀土矿床	变质
			08-02	南窑沟石墨矿床	变质
			08-01	白云洞玻璃用石英岩矿床	变质

续表 1-2
Cont. Table 1-2

成矿作用 阶段	序号	矿床成矿系列	代表性矿床		成矿系 列组合
			编号	名称	
早前寒武纪 古元古代	7	鲁东地块与古元古代晚期基性-超基性岩浆作用有关的磷、铁矿床成矿系列	07-02	牟平祥山铁矿床	岩浆
			07-01	莱州彭家疃磷矿床	岩浆
	6	鲁东地块与古元古代晚期沉积变质建造(孔兹岩系)有关的铁、稀土、石墨、滑石、菱镁矿、石英岩(玻璃用)、透辉石、白云石大理岩(熔剂用等)、大理岩(饰面、水泥用)矿床成矿系列	06-09	莱西塔埠头稀土矿床	变质
			06-08	莱西南墅石墨矿床	变质
			06-07	栖霞李博士沓滑石矿床	变质
			06-06	莱州粉子山菱镁(-绿冻石)矿床	变质
			06-05	海阳大理石矿床	变质
			06-04	平度长乐透辉石矿床	变质
			06-03	福山老官庄透辉石矿床	变质
			06-02	昌邑莲花山铁矿床	变质
			06-01	昌邑山阳石英岩矿床	变质
			05-01	济宁颜店铁矿床	变质
新太古代	5	济宁微地块与新太古代晚期沉积变质作用有关的铁矿床成矿系列			
	4	鲁西地块与新太古代晚期岩浆作用有关的铌钽、电气石、绿(柱)宝石、长石矿床成矿系列	04-02	邹城下连家电气石矿床	岩浆
			04-01	新泰石榴铌钽-长石矿床	岩浆
	3	鲁西地块与新太古代晚期基性-超基性岩浆作用有关的铜镍(-铂族)矿床成矿系列	03-01	历城桃科铜-镍矿床	岩浆
	2	鲁西地块与新太古代中-晚期超基性岩浆作用有关的玉石矿、蛇纹岩(含镍矿化)、钛铁-铁矿床成矿系列	02-02	莒县肖家沟钛铁矿床	岩浆
			02-01	长清界首玉石-蛇纹岩矿床	岩浆
	1	鲁西地块与新太古代中-晚期火山-沉积变质作用有关的铁、金、硫铁矿床成矿系列	01-03	泰安化马湾金矿床	变质
			01-02	沂源韩旺铁矿床	变质
			01-01	苍峰铁矿床	变质

注：① 表中字体加粗者为重要成矿系列；② 表中“所属系列组合”栏内的“岩浆”表示“岩浆作用矿床成矿系列组合”，“沉积”表示“沉积作用矿床成矿系列组合”，“变质”表示“变质作用矿床成矿系列组合”，“流体”表示“成矿流体矿床成矿系列组合”。

新太古代晚期(2.6~2.5 Ga)的早阶段,地壳在东西向拉张环境下,地壳活跃,岩浆活动频繁,在鲁西地块有幔源超铁镁质-铁镁质岩浆侵入,南涝坡组合就位,在岩浆分异作用下形成了铜镍(-铂族)、钛铁-磁铁矿床成矿系列,经后期变质蚀变,形成了玉石、蛇纹石(含镍)矿床成矿系列。另一方面,由于拉伸作用造成鲁西新太古代古陆局部海盆的裂隙,诱发了海底火山喷发,随之而来的陆源碎屑沉积,形成一套以中酸性火山岩和陆源富铁铝碎屑岩及硅铁质岩沉积建造的济宁岩群,济宁微地块与新太古代晚期(?)沉积变质作用有关的铁矿床成矿系列形成(济宁颜店铁矿床)。新太古代晚期晚阶段,鲁西地区处南北向挤压环境下,岩浆侵入活动强烈,在新太古代早期古陆核的东北侧,大面积分布的傲徕山序列二长花岗岩和其后小规模的四海山序列正长花岗岩侵入定位。与此期岩浆活动相关的花岗伟晶质岩体

(脉)就位,鲁西地块与新太古代晚期岩浆作用有关的铌钽、电气石、绿(柱)宝石、长石矿床成矿系列形成。

3.1.2 古元古代成矿阶段(2.5~1.8 Ga)

古元古代中期(2.2~1.9 Ga),主要发生的是鲁东地区的海相沉积事件。在胶北太古宙花岗-绿岩带的东南缘,形成了北东东向展布的裂隙槽海盆(或被动大陆边缘海盆),沉积了以高碳、富铝为特征的陆源碎屑-富镁碳酸盐陆棚滨海相物质及局部的基性火山物质,形成荆山群及粉子山群(曾广湘等, 1998; 翟明国, 2011; 2013; 谢士稳等, 2014)。历经此后角闪岩相-麻粒岩相,以及绿片岩相区域变质作用,由此形成了鲁东地区与古元古代晚期沉积变质建造(孔兹岩系)有关的铁、稀土、石墨、滑石、菱镁矿等矿床成矿系列。古元古代晚期(1.9~1.8 Ga),在鲁东地区有幔源基性-超基性岩浆侵入(莱州序列),

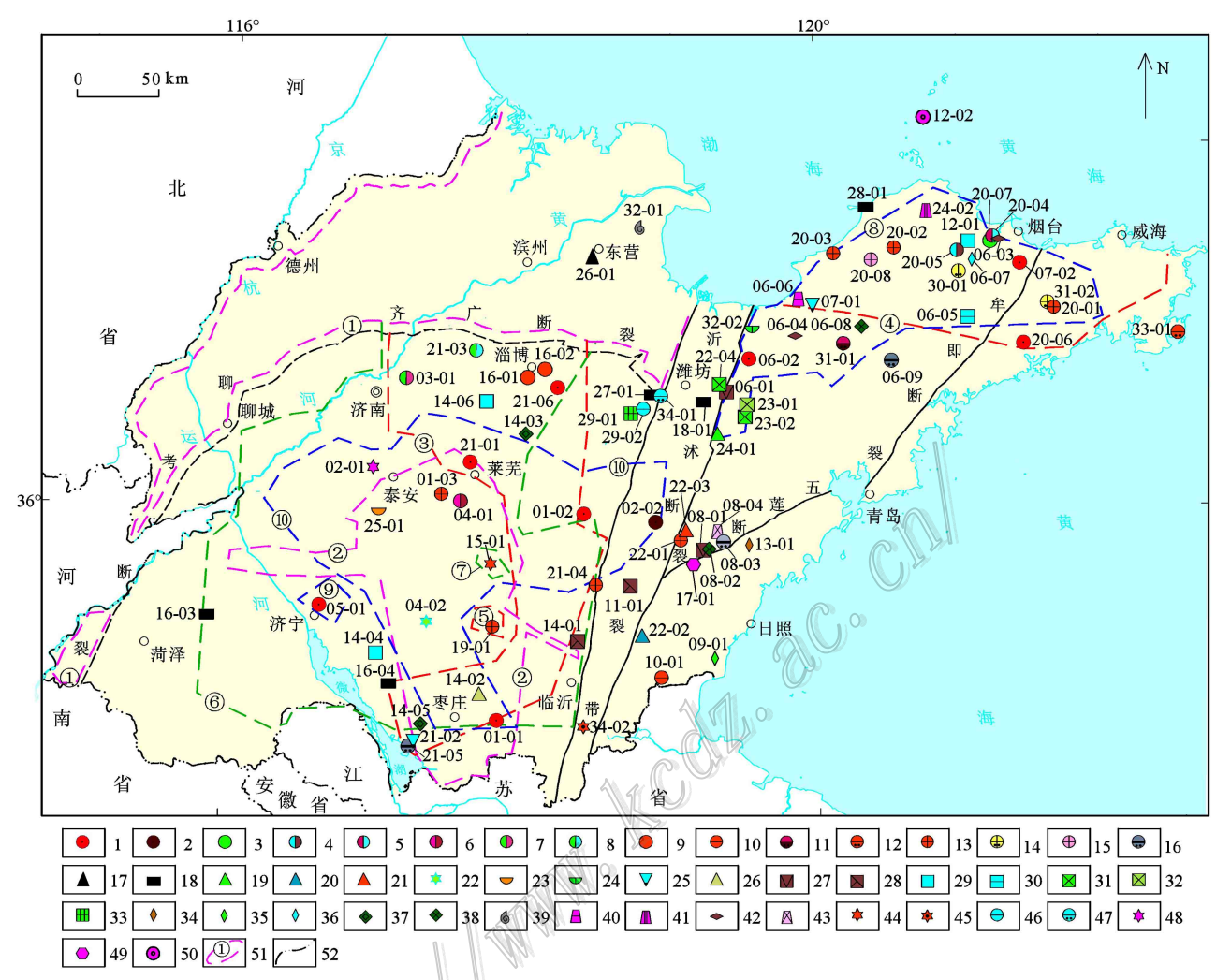


图 2 山东重要成矿系列及代表性矿床分布图

1—铁矿床；2—钛铁矿床；3—铜矿床；4—铅锌矿床；5—钼-钨矿床；6—铌钽-长石矿床；7—铜-镍矿床；8—铜-钼矿床；9—铝土矿床；10—金红石-石榴子石矿床；11—金红石砂矿床；12—铅锑石砂矿床；13—金矿床；14—硼砂金矿床；15—银矿床；16—稀土矿床；17—油田床；18—煤矿床；19—重晶石矿床；20—明矾石矿床；21—硫铁矿床；22—电气石矿床；23—石盐矿床；24—地下卤水；25—磷矿床；26—天青石矿床；27—石英岩矿床；28—石英砂矿床；29—石灰岩矿床；30—大理石矿床；31—膨润土矿床；32—伊利石矿床；33—硅藻土矿床；34—云母-长石矿床；35—石棉-蛇纹岩矿床；36—滑石矿床；37—石膏矿床；38—石墨矿床；39—贝壳砂矿床；40—菱镁矿床；41—萤石矿床；42—透辉石矿床；43—红柱石矿床；44—金刚石矿床；45—金刚石砂矿床；46—蓝宝石矿床；47—蓝宝石砂矿床；48—玉石矿床；49—水晶矿床；50—砷矾砒；51—成矿系列编号及界线；52—省界

① 济阳-临清拗陷与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造有关的石油-天然气-自然硫-石盐-杂卤石-石膏、地下卤水矿床成矿系列；② 鲁西隆起区与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造有关的石膏-石盐-钾盐-自然硫、石膏矿床成矿系列；③ 鲁中隆起与燕山晚期岩浆及热液活动有关的铁、金-铜-铁、铜-钼、铜、稀土、磷矿床成矿系列；④ 胶北隆起与燕山晚期花岗岩岩浆活动有关的金(银-硫铁矿)、银、铜、铁、铅锌、钼矿床成矿系列；⑤ 鲁中隆起与燕山早期偏碱性岩浆活动有关的金矿床成矿系列；⑥ 鲁西地块与石炭纪一二叠纪海陆交互相碎屑岩-碳酸盐岩-有机岩建造有关的铁、煤(-油页岩)、铝土矿-耐火黏土、石英砂岩矿床成矿系列；⑦ 鲁中地块与加里东期超基性岩浆活动有关的金伯利岩型金刚石矿床成矿系列；⑧ 鲁东地块与古元古代晚期沉积变质建造(孔兹岩系)有关的铁、石墨、滑石、菱镁矿、石英岩(玻璃用)、透辉石、白云石大理岩、大理岩矿床成矿系列；⑨ 济宁微陆块与新太古代晚期沉积变质作用有关的铁矿床成矿系列；⑩ 鲁西地块与新太古代中-晚期火山-沉积变质作用有关的铁、金、硫铁矿矿床成矿系列

Fig. 2 Distribution of minerogenetic series of mineral deposits and representative deposits in Shandong

1—Iron deposits; 2—Ilmenite deposits; 3—Copper deposits; 4—Lead-zinc deposits; 5—Tungsten-molybdenum deposits; 6—Niobium-tantalum-feldspar deposits; 7—Copper-nickel deposits; 8—Copper-molybdenum deposits; 9—Bauxites deposits; 10—Rutile-garnet deposits; 11—Rutile-placers deposits; 12—Alvite placers deposits; 13—Gold deposits; 14—Borax gold deposits; 15—Silver deposits; 16—Rare earth deposits; 17—Oil-field; 18—Coal deposits; 19—Barite deposits; 20—Alunite deposits; 20—Tourmaline deposits; 21—Pyrite deposits; 22—Halite deposits; 23—Subsurface brine; 24—Phosphorite deposits; 25—Celestite deposits; 26—Quartzite deposits; 27—Quartz sand deposits; 28—Limestone deposits; 29—Marble deposits; 30—Amargosite deposits; 32—Illite deposits; 33—Kieselsguhr deposits; 34—Mica-feldspar deposits; 35—Asbestos-serpentine deposits; 36—Soapstone deposits; 37—Gypsum deposits; 38—Graphite deposits; 39—Shells facies deposits; 40—Magnesite deposits; 41—Fluorite deposits; 42—Diopside deposits; 43—Andalusite deposits; 44—Diamond deposits; 45—Diamond placers deposits; 46—Sapphire deposits; 47—Sapphire placers deposits; 48—Jade deposits; 49—Crystal deposits; 50—Tuoji ink slabs; 51—Major minerogenetic series of mineral deposits; 52—Provincial boundaries

① The petroleum-natural gas-sulphur-halite-polyhalite-gypsum-subsurface brine minerogenetic series related to Paleogene inland lake clastic-carbonate-evaporite formation in Jiyang-Linqing depression ; ② The gypsum-halite-sylvite-sulphur minerogenetic series related to Paleogene inland lake clastic-carbonate-evaporite formation in Luxi uplift ; ③ The iron- gold-copper-molybdenum-rare earth-phosphorus minerogenetic series related to late Yanshanian magmatic-hydrothermal activities in Luzhong uplift ; ④ The gold-silver-copper-iron-lead-zinc-molybdenum-tungsten minerogenetic series related to late Yanshanian granitic magmatism in Jiaobei uplift ; ⑤ The gold minerogenetic series related to early Yanshanian alkaline magmatism in Luzhong uplift ; ⑥ The coal-bauxite-refractory clay-iron-quartz sandstone minerogenetic series related to Carboniferous-Permian land-sea interaction clastic-carbonate-organolite formation in Luxi block ; ⑦ The diamond (in kimberlite pipes) minerogenetic series related to Caledonian ultrabasic magmatism in Luzhong block ; ⑧ The iron-graphite-talc-magnesite-quartzite-diopside-marble minerogenetic series related to late Paleoproterozoic sedimentary metamorphism formation in Ludong block ; ⑨ The iron minerogenetic series related to late Neoproterozoic sedimentary metamorphism in Jining micro block ; ⑩ The iron-gold-pyrite minerogenetic series related to early-middle Neoproterozoic volcanic sedimentary metamorphism in Luxi block

形成了胶北地块与古元古代晚期基性-超基性岩浆作用有关的磷矿矿床成矿系列。

3.2 中元古代—新元古代成矿阶段与矿床成矿系列

3.2.1 中元古代成矿阶段(1.8~1.0 Ga)

中元古代时成矿事件主要见于鲁东地区。此期处在拉张环境下的华北和扬子克拉通之间裂陷带上的胶南隆起北缘海槽形成,沉积了与胶北地区古元古代孔兹岩系相似的高碳、富铝的陆源碎屑-富镁碳酸盐陆棚滨海相物质——五莲群形成;其历经此后的角闪岩相-麻粒岩相,以及绿片岩相区域变质作用,形成了胶南地块与中元古代(2)沉积变质建造(孔兹岩系)有关的红柱石、石墨、稀土等矿床成矿系列。同时,在威海隆起南部裂陷带内有海阳所超镁铁-镁铁质的幔源岩浆侵入定位,鲁东地块与中元古代基性-超基性(海阳所序列)岩浆作用有关的铁矿床成矿系列(如,牟平祥山铁矿、莱州彭家疃磷矿床)。

3.2.2 新元古代成矿阶段(1.0~0.8 Ga)

这个阶段,在胶南-威海隆起区内同造山期、造山后期及造山期后的不同性质的花岗质岩浆侵入定位、幔源岩浆(梭罗树序列)及同造山期花岗质岩浆携带的榴辉岩侵入定位,由此形成了与其相关的成矿系列,主要有:① 胶南地块与新元古代南华纪(南华期)基性-超基性岩浆侵入作用有关的石棉、蛇纹岩(镍)矿床成矿系列;② 胶南-威海地块与新元古代超高压变质作用有关的榴辉岩型金红石、石榴子石、绿辉石矿床成矿系列;③ 胶南地块与新元古代震旦期岩浆作用有关的白云母、长石矿床成矿系列。

此外,造山活动的同时,鲁西地块近沂沭断裂带及胶北地块的局部地段发生拗陷,海水入侵,接受了滨海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积(土门群、蓬莱群),开始了山东地块盖层阶段沉积的序幕。与此相关形成了:① 鲁西地块与新元古代南华纪—震旦纪沉积作

用有关的石灰岩(水泥用)、石英砂岩(水泥用)、砾石等观赏石、海绿石矿床成矿系列;② 胶北地块与新元古代震旦纪沉积作用有关的石灰岩(水泥用)、造型及砾石等观赏石矿床成矿系列。

3.3 古生代成矿阶段与矿床成矿系列

此阶段从总体上说为陆缘海稳定发展阶段。鲁东地区隆升,遭受剥蚀;鲁西地区有升有降,其沉积物总体为克拉通泛大陆盆地内稳定型盖层沉积,形成一些海相-海陆交替相能源及非金属矿产含矿建造。此阶段岩浆活动不很发育,在鲁西地区有加里东期含金刚石金伯利岩形成。在陆块发展阶段,山东地块地壳演化历史可以分为早古生代加里东期和晚古生代华力西期 2 个地质历史时期。

3.3.1 早古生代加里东期成矿阶段(543~410 Ma)

此阶段为陆表海沉积亚阶段,鲁西地区在早寒武世早期起,整体下沉为陆棚浅海,形成了浅海陆棚沉积组合。在鲁中地块形成了与加里东期海相碳酸盐岩-碎屑岩-蒸发岩建造有关的石灰岩、石膏、石英砂岩、工艺料石、天青石矿床成矿系列。中奥陶世沿断裂带有幔源低碱偏钾镁质超镁铁质岩浆侵入,在鲁中地块形成了与中奥陶世金伯利岩浆侵入活动有关的金伯利岩型金刚石矿床成矿系列。

3.3.2 晚古生代华力西期成矿阶段(410~250 Ma)

此阶段为海陆交互相-陆相沉积亚阶段,晚石炭世早期,地壳再度沉降,海水沿陆缘山前盆地海侵,并逐步海退,至早二叠世结束,此时地壳震荡频繁,沉积了陆棚滨海-陆相的海陆交互相的含铝、煤夹碳酸盐岩岩系(月门沟群);早二叠世晚期,鲁西地区隆升为陆,海水退出,仅在陆源山前盆地内形成中晚二叠世石盒子组一套湖泊-河流相含铝碎屑沉积岩。晚古生代是山东地块极为重要的能源矿产及一些非金属矿重要成矿期,在鲁西地块形成了与华力西期海陆交互相碎屑岩-碳酸盐岩-有机岩建造有关的铁、

煤(含镓)、油页岩、铝土矿-耐火黏土、石英砂岩矿床成矿系列。

3.4 中生代成矿阶段与矿床成矿系列

中生代为大陆边缘活化阶段,主要特征是岩浆活动频繁、构造发育,形成盆岭构造格局及大陆边缘花岗岩,构造体系由古亚洲构造域转向滨太平洋构造域。此阶段是金矿、富铁矿及有色金属矿等金属矿产的重要成矿期,可分为印支期和燕山期2个成矿阶段。

3.4.1 印支期成矿阶段(250~205 Ma)

山东地块在印支期为构造活动弱活化亚阶段,鲁西地块在局部山前内陆盆地中,形成了三叠纪石千峰群陆相河湖碎屑沉积岩系,鲁东地块沿海地带的地壳活动性比鲁西地块相对强烈,胶南造山带内断裂及岩浆活动强烈,有陆壳重熔淡色花岗岩浆及深源钾质花岗岩浆侵入就位,在胶南隆起形成了与印支期花岗质岩浆活动有关的水晶矿床成矿系列。

3.4.2 燕山期成矿阶段(205~65 Ma)

中生代燕山期是中国东部动力体制转折期,是山东最重要的成矿期。印支运动后,由于欧亚板块与太平洋板块的相互作用,从而使包括山东在内的整个中国大陆边缘的活动性显著增强,构成了滨太平洋构造域的一部分,断裂构造强烈活动,沂沭断裂带和齐广断裂等断裂的张性活动,导致断陷盆地形成,构成盆岭构造格局,东南沿海一带的岩浆侵入活动和由东向西的大规模火山喷发活动等等,均显示大陆边缘活化主要特色。

(1) 燕山早期(侏罗纪;205~137 Ma):燕山早期,鲁东地块处于隆起剥蚀状态,形成了玲珑黑云母花岗岩。鲁西地块边部及中心部位的局部地段发生沉降,周村、济阳、坊子及蒙阴等凹陷开始形成,沉积了浅湖及沼泽相含煤岩系(侏罗纪淄博群),在鲁中隆起内形成了燕山早期沉积作用有关的煤、耐火黏土矿床成矿系列。与此同时,在鲁中隆起内,幔源岩浆侵入,形成了闪长(玢)岩-二长闪长玢岩-二长斑岩-含霓辉石正(二)长斑岩序列的铜石杂岩体,以及与其相关的归来庄式隐爆角砾岩型金矿床(于学峰等,2009),构成了鲁中隆起与燕山早期偏碱性岩浆活动有关的金矿床成矿系列。

(2) 燕山晚期(白垩纪;137~65 Ma):早白垩世早期,差异升降活动使鲁东地区胶莱盆地和各山间盆地迅速下沉并接受沉积(莱阳群);早白垩世中期,在太平洋板块急速向欧亚板块俯冲的强大侧应力作

用下,北东向断裂和沂沭断裂带相继出现强烈的张性活动,从而引发了大规模的火山喷发活动,开始了鲁东及鲁西地区的青山群形成过程中的由基性-中基性-基偏碱性-中性(或偏碱性)-中酸性的双峰式的火山活动过程,形成了鲁东地区与早白垩世中酸-中基性火山-气液活动有关的金-铜、硫铁矿、明矾石、沸石岩、膨润土、珍珠岩矿床成矿系列。

在构造体制转换、岩石圈减薄和郯庐断裂带左行平移的背景下,鲁西地区发生了较为广泛的岩浆侵入活动,有济南辉长岩类、沂南闪长岩类、苍山辉石石英二长岩-花岗闪长岩类,以及碱性岩、碳酸岩等岩浆侵入,形成了与燕山晚期岩浆及热液活动有关的铁、金-铜-铁、铜-钼、铜、稀土、磷矿床成矿系列(可考虑在后续研究中将与中基性岩浆活动有关的铁(钴)矿床和与中低温热液及风化淋滤作用有关的铁矿床划分为2个成矿亚系列)。

鲁东地区岩浆活动频繁,规模大,分布广,有郭家岭二长闪长质-二长花岗岩、埠柳角闪石英二长闪长岩、伟德山花岗闪长岩-二长花岗岩、雨山石英二长斑岩-二长花岗斑岩及崂山正长花岗岩-碱长花岗岩等岩浆先后侵入定位,受控于此期岩浆作用,形成了中国重要的金矿床及银和有色金属矿床,以及重要的矿床成矿系列,即胶北隆起与燕山晚期花岗质岩浆活动有关的热液型金(银-硫铁矿)、银、铜、铁、铅锌、钼-钨、钼矿床成矿系列(其中与花岗质岩浆活动有关的热液型金(银-硫铁矿)矿床可考虑在后续研究中划分为成矿亚系列)。

早白垩世末期-晚白垩世—早古新世时期,在鲁东一些断陷盆地中,发育一套河流相及河湖相红色碎屑岩系(王氏群),形成了沉积型膨润土、伊利石黏土矿床成矿系列。此外由于该期含氟、钡、铅锌等成矿低温地质流体活动,在胶莱拗陷、沂沭断裂带及胶北隆起等地,形成了诸多萤石、重晶石,或含铅重晶石矿床(点),构成了鲁东地区与晚白垩世低温(流体)热液裂隙充填作用有关的萤石-重晶石、铅锌-重晶石矿床成矿系列。

3.5 新生代成矿阶段与矿床成矿系列

该阶段包括古近纪、新近纪和第四纪3个时期。

3.5.1 古近纪成矿阶段(65.0~23.3 Ma)

在东西向引张力应力的环境下,由于聊考断裂和齐广断裂等近东西向断裂的张性活动,在中生代断陷盆地的基础上于古近纪早期,发生了继承性的拗陷沉降,成为这个阶段成岩赋矿的基础。在济阳-

临清拗陷形成了一套巨厚的河湖相、沼泽相杂色碎屑岩沉积(济阳群);在胶北隆起和鲁西隆起的断陷盆地中形成了内陆湖相碎屑岩-有机岩沉积岩系(五图群)和山麓洪积-浅湖-河流相(官庄群)。形成了几套重要的矿床成矿系列:①鲁西隆起区与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造(官庄群)有关的石膏-石盐-钾盐-自然硫、石膏矿床成矿系列;②济阳-临清拗陷与古近纪内陆湖相碎屑岩-碳酸盐岩-蒸发岩建造(济阳群)有关的石油-天然气-自然硫-石盐-杂卤石-石膏、地下卤水矿床成矿系列;③鲁中隆起与古近纪内陆湖相碎屑岩-有机岩建造(五图群李家崖组)有关的煤-油页岩-膨润土矿床成矿系列;④胶北隆起与古近纪内陆湖相碎屑岩-有机岩建造(五图群李家崖组)有关的煤-油页岩矿床成矿系列。

3.5.2 新近纪成矿阶段(23.3~2.6 Ma)

受喜马拉雅运动再次活动的影响,使华北拗陷区大部分再度急速沉降,沉积了一套河流相-河湖相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积(黄骅群)。受太平洋板块自南东向北西的俯冲作用影响,诱发了基性玄武岩的喷溢,在鲁西隆起东北缘及胶北隆起的栖霞、蓬莱等地形成了临朐群牛山组(16.13 ± 0.30 Ma)和尧山组玄武岩(13.72 ± 0.26 Ma,金隆裕,1985)、湖湘-河湖相临朐群山旺组硅藻页岩、硅藻土岩岩石组合。形成了2套成矿系列:①鲁中隆起内火山盆地中与新近纪火山-沉积建造(临朐群)有关的蓝宝石(刚玉)-玄武岩、硅藻土-褐煤-磷、膨润土、白垩矿床成矿系列;②胶北隆起与新近纪河床砾岩-火山岩建造(临朐群及唐山砂砾岩层)有关的砂金矿床成矿系列。

3.5.3 第四纪成矿阶段(2.6 Ma 迄今)

山东地块在第四纪时,继承了前期构造活动特点,以差异性升降作用为主,在局部地区接受了河湖相碎屑和黏土质沉积及陆台超基性-基性岩浆的中心式喷发。形成了4套成矿系列:①鲁中地区与第四纪冲洪积-残坡积相沉积作用有关的金刚石、蓝宝石、金、建筑用砂等砂矿矿床成矿系列;②鲁东滨海地区与第四纪滨海相沉积作用有关的含铅锆石-金红石-石英砂、钛铁矿等砂矿矿床成矿系列;③鲁北地区与第四纪滨海沉积作用有关的地下卤水-贝壳砂矿床成矿系列;④胶北及胶莱盆地北部地区与第四纪沉积作用有关的金、金红石、型砂矿床成矿系列。

4 山东矿床成矿系列研究中的问题讨论

应用矿床成矿系列理论研究山东矿床问题,尽管在山东开展此项研究已经做了一些年了,但对于作者等来说依然处在学习阶段,还需要在不断的学习与应用中准确地把握成矿系列理论和方法,使山东成矿系列研究取得更有成效的进展。另一方面,尽管山东地质矿产研究程度较高,但仍有一些基础地质矿产问题需要深入调查研究,以促进山东矿床成矿系列研究工作。

(1) 关于早前寒武纪地层中的沉积变质型铁矿床产出时代及层位问题:分布在鲁西地区产于早前寒武纪地层中的沉积变质型铁矿床发育在2套岩系中,下部的新太古代泰山岩群和上部的新太古代晚期济宁群中。目前对伏于第四系等盖层之下的济宁群形成年代归属争议颇大,持形成于古元古代的观点(亓润章等,1984;宋明春等,2013)和持形成于新太古代晚期观点者(王伟等,2010),各有依据,济宁群及其中的铁矿床形成年代还在探讨中。

(2) 关于鲁东地区2个元古宙非金属矿成矿系列归属问题:在表1中可以看出,早前寒武纪成矿阶段中的“鲁东地块与古元古代晚期沉积变质建造(孔兹岩系)有关的铁、稀土、石墨、滑石、菱镁矿、石英岩(玻璃用)、透辉石、白云石大理岩(熔剂用等)、大理岩(饰面、水泥用)矿床成矿系列”与中-新元古代成矿作用阶段中的“胶南地块与中元古代(?)沉积变质建造(孔兹岩系)有关的红柱石、石墨、稀土、透辉石、石英岩(玻璃用)、大理岩(水泥用)等矿床成矿系列”的“矿床自然组合”非常相似,甚至可以称为一种成矿系列类型。前者归于古元古代荆山群及粉子山群,后者归于中元古代五莲群。五莲群在1978年建立时,时代归属于古元古代;近年来,以获取的碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 1727 Ma 和 1685 Ma 年龄值数据,将其归属于中元古代(王世进等,2012)。因为一个新的年龄数据将五莲群与粉子山群、荆山群归属于不同的地壳演化阶段的产物,似乎还应该进一步探索。

(3) 关于成矿流体作用矿床成矿系列组合问题:对成矿地质流体,陈毓川等(2007)指出:“地质流体成矿作用,是指非岩浆、非变质、非沉积作用时

的流体成矿,而是地壳中后来的表生流体与地壳已存在的流体,在一定深度与温度梯度条件下与围岩作用而形成的矿床。’表 1 中的‘成矿系列组合’在岩浆、沉积、变质成矿作用之后划分一类‘成矿流体作用矿床成矿系列组合’,将‘鲁东地区与晚白垩世低温(流体)裂隙充填作用有关的萤石、重晶石、铅锌-重晶石矿床成矿系列’归于其中了,主要认为山东这类矿床主要受控于断裂构造,对围岩选择性不明显,成矿温度低,以充填方式成矿,矿区无深成岩浆岩出露。几十年来对该类矿床勘查及研究中,将其归于‘岩浆期后低温热液矿床’,并无‘岩浆’存在或联系的依据。

除鲁东地区这类萤石、重晶石、铅锌-重晶石矿外,在鲁中淄河地区分布的称为‘中低温热液及风化淋滤作用有关的朱崖式铁矿床’,为低温成矿,主要矿石矿物为褐铁矿和赤铁矿,成矿主要受控于断裂、裂隙(包括层间裂隙、溶洞等),矿区未见深成岩浆岩。此类铁矿床自 1959 年投入勘探以来,对其是‘内生’还是‘外生’,或是‘复合’成因就存在争议。笔者虽然此文中将其归入“岩浆作用成矿系列组合”,但将其归入“成矿流体作用矿床成矿系列组合”,或更恰当。这些还有待于进一步研究探讨。

(4) 关于山东矿床成矿系列体系中其他序次研究问题 陈毓川等(2006)在《三论矿床的成矿系列问题》中将矿床的成矿系列分为 5 个序次(层次),第一序次分为矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型和矿床成矿系列组 3 类,第二序次为矿床成矿系列,第三序次为矿床成矿系亚列,第四系列为矿床式(类型),第五序次为矿床。在“山东矿床成矿系列及找矿方向研究”中,本文通过对全省 800 余处矿产地、80 个主要矿种(组)的成矿地质特征进行了研究总结,划分了矿床成因类型,建立了 56 个主要矿床式。此外,进行了矿床成矿系列类型及矿床成矿系列组研究,以及成矿谱系研究,由于笔者对有的成矿系列序次概念的理解还不够透彻,还需要进一步研究探索。对成矿成矿系列这个基本序次的划分中,对地质历史阶段要素与全国阶段划分地质历史时限段有的短一些,一般到亚代及纪,有的到亚纪,这样可以更好地反映本省的地质矿产研究程度,更确切地应用于找矿实践。

志 谢 矿床成矿系列研究是矿床地质学研究的一个新思维,在山东开展这样一项区域成矿学研

究,对于山东地科院是一个难得的学习实践机会。在这项工作开展过程中,非常有幸得到矿床成矿系列理论的创立者陈毓川院士的指导,在此文形成后,王登红研究员对文稿修改完善及开展山东矿床成矿系列研究工作,给予了许多具体的指导意见。对于各位矿床地质学家的指导帮助,表示衷心的感谢!

References

- Cao G Q. 1990. A tentative study on “Jiaonan terrane” [J]. Shandong Geology, 6(2): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Cao G Q. 1995. The Early Precambrian crustal evolution in western Shandong [J]. Shandong Geology, 11(2): 1-14 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C. 1994. Minerogenetic Series of ore deposits [J]. Earth Science Frontiers, 1(3-4): 90-94. (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C. 1997. Present situation and trend of research on metallogenetic series of ore deposits [J]. Geology and Exploration, 33(1): 21-25 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T Y. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 6: 1-641, 34-135 (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]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1): 32-58 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, et al. 2007. Regional metallogenetic system study of China (Volume Two) [M]. Beijing: Geology Publishing House. 465-566, 889-890 (in Chinese).
- Jin L Y. 1985. K-Ar ages of Cenozoic volcanic rocks in the middle segment of the Tancheng-Lujiang fault zone and stages of related volcanic activity [J]. Geology Review, 31(4): 309-315.
- Kong Q Y, Zhang T Z and Yu X Y. 2006. Shandong deposits [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House (in Chinese).
- Li H M, Chen Y C, Ye H S, Wang D H, Guo B J and Li Y F. 2008. Mo, (W), Au, Ag, Pb, Zn minerogenetic series related to mesozoic

- magmatic activities in the east Qinling-Dabie mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 11:1468-1477(in Chinese with English abstract).
- Mao J W. 1987. Geological features and minerogenic series of the tin polymetallic deposits in Jiuwandashan-Yuanbaoshan area, Northern Guangxi[J]. *Mineral Deposits*, 6(4):23-32 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhou Z H, Wu G, Jiang S H, Liu C L, Li H M, Ouyang H G and Liu J. 2013. Metallogenetic regularity and minerogenic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas[J]. *Mineral Deposits*, 32(4):716-730(in Chinese with English abstract).
- Qi R Z. 1984. Stratigraphic division of Precambrian metamorphic rocks and geological characters of associated iron-bearing formations in western Shandong province[J]. *Bulletin of Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences*, 5(8):58-82,105-108(in Chinese with English abstract).
- Shandong Provincial Department of Land & Resources. 2014. Annual report of resource reserve in Shandong province[R]. (in Chinese).
- Song M C, Wang P C, Liang B Q, et al. 2003. Regional geology of Shandong Province[M]. Jinan: Map Publishing House of Shandong Province, 659-672(in Chinese).
- Song M C, Liu M W, Zhang S F, et al. 2013. Atlas of geology and mineral resources in shandong province[M]. Jinan: Map publishing house of shandong province(in Chinese).
- Tang J X, Duo J, Liu H F, Lang X H, Zhang J S, Zheng W B and Ying L J. 2012. Minerogenic series of ore deposits in the east part of the Gangdise Metallogenetic Belt[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 33(4): 393-410(in Chinese with English abstract).
- Tang Z L. 2004. The accumulation and evolution of metallogenetic series of the mafic-ultramafic magmatic deposits in China[J]. *Geoscience Frontiers*, 11(1):113-119(in Chinese with English abstract).
- Wang D H and Chen Y C. 2001. A preliminary study on the metallogenetic series type of Fe-Cu-Pb-Zn ore deposits related to submarine volcanism and its origin[J]. *Mineral Deposits*, 20(2):112-118 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Zhu Y S, Zhu M Y and Xu Z G. 2006. The construction of the Chinese ore-forming system based on minerogenic series and its application[J]. *Mineral Deposits*, 25(S1): 43-46.
- Wang J B, Wang Y W and Wang L J. 2005. Tin-polymetallic metallomagenetic series in the southern part of Dahinggan mountains, China[J]. *Geology and Exploration*, 41(6):18-23(in Chinese with English abstract).
- Wang S J, Xiang Z Q, Zhang C J, Lu S N, Song Z Y and Yang E X. 2012. Characteristics and formation era of metamorphic strata of Wulian Group in Wulian Area in the north margin of Sulu Orogenic Belt-Zircon MC-ICPMS U-Pb dating evidence[J]. *Shandong Land and Resources*, 28(10):7-8(in Chinese with English abstract).
- Wang W, Wang S J, Liu D Y, Li P Y, Dong C Y, Xie H Q, Ma M Z and Wan Y S. 2010. Formation age of the Neoproterozoic Jining Group(banded iron formation) in the western Shandong Province: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb dating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4):1175-1181(in Chinese with English abstract).
- Xiao K Y, Ding J H and Lou D B. 2009. A tentative discussion on theory of minerogenic series and mineral resource assessment[J]. *Mineral Deposits*, 28(3): 357-365(in Chinese with English abstract).
- Xiao W Q and Dai T G. 1995. Discussion on conditions of ore-forming materials in Jiaodong gold metallogenetic province, Shandong[J]. *Geology and Exploration*, 31(4): 7-13(in Chinese with English abstract).
- Xie S W, Wang S J, Xie H Q, Liu S J, Dong C Y, Ma M Z, Liu D Y and Wan Y S. 2014. SHRIMP U-Pb dating of detrital zircons from the Fenzishan Group in eastern Shandong, North China craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 2989-2998(in Chinese with English abstract).
- Yang S W. 1986. A discussion of the Jiaodong Group strata, the source-bed of gold and the strata bound features of gold ore deposits in Northwest part of Jiaodong peninsula[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 1(2):1-12 (in Chinese with English abstract).
- Yu X F. 2001. Metallogenetic series and metallogenetic model of the Tongshi gold ore field at Pingyi, Shandong Province. *Shandong Geology*. 17(3-4): 59-64(in Chinese with English abstract).
- Yu X F, Fang B M and Han Z Z. 2009. Study on ore-forming series and mineralization of the Guilaizhuang gold field in western Shandong [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(1): 55-64 (in Chinese with English abstract).
- Zeng G X, Lü C and Xu J F. 1998. Shandong iron ore geology[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House(in Chinese).
- Zhai M G. 2011. Cratonization and the Ancient North China Continent: A summary and review[J]. *Science China Earth Science*, 41(8): 1037-1046 (in Chinese).

- Zhai M G. 2013. Secular changes of metallogenetic systems link with continental evolving of the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(05):1759-1773(in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Peng R M, Wang J P and Deng J. 2003. Study on structure model of metallogenetic series[J]. *Geological Journal of China Universities Sinica*, 9(4):510-519 (in Chinese with English abstract).
- Zhang T Z, Wang H L, Shi Y C, Xu B H and Tang L C. 1996. Non-metallic mineral-bearing formations in the crustal evolution of Shandong[J]. *Shandong Geology*, 12(2):5-31.
- Zhang Z Q, Zhang C J, Wang S J, Liu S C, Wang L M, Song Z Y, Zhang S K, Yang E X, Cheng G S, Liu F C, Chen J and Chen C. 2014. Views on Classification and Contrast of Tectonic Units in Strata in Shandong Province[J]. *Shandong Land and Resources*, 30(3):1-23(in Chinese with English abstract).
- Zhen Y Q. 1989. On source beds of gold deposits[J]. *Geology and Exploration*, 25(8): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y S, Xiao K Y and Song G Y, et al. 2007. Geological feature and metallogenetic pedigree of ore deposits in the Major Metallogenetic Regions Belts in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-458(in Chinese).

附中文参考文献

- 曹国权. 1990. 试论“胶南地体”[J]. *山东地质*, 6(2):1-10.
- 曹国权. 1995. 鲁西山区早前寒武纪地壳演化再探讨[J]. *山东地质*, 11(2):1-14.
- 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, 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, 等. 2007. 中国成矿体系域区域成矿评价(下)[M]. 北京:地质出版社. 465-566, 889-890.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J]. *中国地质科学院院报*, 1(1):32-58.
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. *地学前缘*, 1(3-4):90-94.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题[J]. *中国地质科学院院报*, 第6号:1-64, 134-135.
- 金隆裕. 1985. 郯庐断裂带中段新生代火山岩的 K-Ar 年龄值和分期[J]. *地质论评*, 31(4):309-315.
- 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 2006. 山东矿床[M]. 济南: 山东科学技术出版社.

- 李厚民, 陈毓川, 叶会寿, 王登红, 郭保健, 李永峰. 2008. 东秦岭-大别地区中生代与岩浆活动有关钼(钨)金银铅锌矿床成矿系列[J]. *地质学报*, 82(11):1468-1477.
- 毛景文. 1987. 桂北九万大山-元宝山地区锡多金属矿床的地质特征和成矿系列[J]. *矿床地质*, 6(4):23-32.
- 毛景文, 周振华, 武广, 江思宏, 刘成林, 李厚民, 欧阳荷根, 刘军. 2013. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. *矿床地质*, 32(4):715-729.
- 元润章. 1984. 鲁西前寒武纪地层划分及含铁建造地质特征[J]. *中国地质科学院南京地质矿产研究所刊*, 5(8):58-82, 105-108.
- 山东省国土资源厅. 2014. 山东省国土资源厅 2014 年储量年报[R].
- 宋明春, 王沛成, 梁邦启, 等. 2003. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社. 659-672.
- 宋明春, 刘明渭, 张淑芳, 等. 2013. 山东省地质矿产图集[M]. 济南: 山东省地图出版社.
- 汤中立. 2004. 中国镁铁-超镁铁岩浆矿床成矿系列的聚集与演化[J]. *地学前缘*, 11(1):113-119.
- 唐菊兴, 多吉, 刘鸿飞, 郎兴海, 张金树, 郑文宝, 应立娟. 2012. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究[J]. *地球学报*, 33(4): 393-410.
- 王登红, 陈毓川. 2001. 与海相火山作用有关的铁-铜-铅-锌矿床成矿系列类型及成因初探[J]. *矿床地质*, 20(2):112-118.
- 王登红, 陈毓川, 朱裕生, 朱明玉, 徐志刚. 2006. 以矿床成矿系列构筑中国成矿体系及其运用[J]. *矿床地质*, 25(S1):43-46.
- 王京彬, 王玉往, 王莉娟. 2005. 大兴安岭南段锡多金属成矿系列[J]. *地质与勘探*, 41(6):18-23.
- 王世进, 相振群, 张成基, 陆松年, 宋志勇, 杨恩秀. 2012. 苏鲁造山带北缘五莲地区五莲群变质地层特征及形成时代——SHRIMP U-Pb 测年的证据[J]. *山东国土资源*, 28(10):7-8.
- 王伟, 王世进, 刘敦一, 李培远, 董春艳, 颜颇强, 马铭株, 万渝生. 2010. 鲁西新太古代济宁群含铁岩系形成时代——锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. *岩石学报*, 26(4):1175-1181.
- 肖克炎, 丁建华, 姜德波. 2009. 试论成矿系列与矿产资源评价[J]. *矿床地质*, 28(3):357-365.
- 肖武权, 戴塔根. 1995. 试论胶东金成矿区成矿物质条件[J]. *地质与勘探*, 31(4):7-13.
- 谢士稳, 王世进, 颜颇强, 刘守偈, 董春艳, 马铭株, 刘敦一, 万渝生. 2014. 华北克拉通胶东地区粉子山群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. *岩石学报*, 30(10):2989-2998.
- 杨士望. 1986. 论胶东半岛西北部胶东群地层、金的矿源层和金矿床的层控性质[J]. *地质找矿论丛*, 1(2):1-12.

- 于学峰. 2001. 山东平邑铜石金矿田成矿系列及成矿模式[J]. 山东地质, 17(3-4): 59-64.
- 于学峰, 方宝明, 韩作振. 2009. 鲁西归来庄金矿田成矿系列及成矿作用研究[J]. 地质学报, 83(1): 55-64.
- 曾广湘, 吕昶, 徐金芳. 1998. 山东铁矿地质[M]. 济南: 山东科学技术出版社.
- 翟明国. 2011. 克拉通化与华北陆块的形成[J]. 中国科学: 地球科学, 41(8): 1037-1046.
- 翟明国. 2013. 华北前寒武纪成矿系统与重大地质事件的联系[J]. 岩石学报, 29(5): 1759-1773.
- 翟裕生, 彭润民, 王建平, 邓军. 2003. 成矿系列的结构模型研究[J]. 高校地质学报, 9(4): 510-519.
- 张天祯, 王鹤立, 石玉臣, 徐秉衡, 汤立成. 1996. 山东地壳演化阶段中非金属矿床含矿建造[J]. 山东地质, 12(2): 5-31.
- 张增奇, 张成基, 王世进, 刘书才, 王来明, 杜圣贤, 宋志勇, 张尚坤, 杨恩秀, 程光锁, 刘凤臣, 陈军, 陈诚. 2014. 山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见[J]. 山东国土资源, 30(3): 1-23.
- 真允庆. 1989. 论金矿床的矿源层问题[J]. 地质与勘探, 25(8): 1-8.
- 朱裕生, 肖克炎, 宋国耀, 等. 2007. 中国主要成矿区(带)成矿地质特征及矿床成矿谱系[M]. 北京: 地质出版社. 8-12.

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