

# 浅议胶东金矿集中区矿床类型与成矿系统\*

## Gold Deposit Types and Metallogenic Systems of Jiaodong Region

张连昌 沈远超 刘铁兵 曾庆栋 李光明 李厚民

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, Zeng Qingdong, Li Guangming, Li Houmin  
(Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China)

**摘 要** 从胶东金矿集中区构造-热液成矿作用的实际出发,按照成矿系统理论将胶东金矿划分为 3 种矿床类型和 3 个成矿亚系统:产于花岗岩与变质岩接触带、受脆韧性剪切带控制的蚀变岩型金矿;产于花岗岩中受脆性断裂控制的石英脉型金矿;以及产于胶莱盆地北缘、受低角度断层控制的构造角砾型金矿。

**关键词** 金矿集中区 金矿类型 成矿系统 胶东地区

胶东金矿类型的划分五花八门,被大多数人接受的方案是蚀变岩型和石英脉型,也有人按赋矿围岩划分为产于花岗岩中的金矿和产于变质岩中的金矿。胶东地区金矿床地质特征各异,成矿条件复杂,为了进一步研究该区金矿床成因,总结不同矿床类型之间的关系和区域成矿规律,划分成矿亚系统具有重要的理论和实际意义。

## 1 胶东金矿集中区矿床类型及研究进展

根据控矿构造、矿石组成和结构构造等特征,可将胶东金矿划分为 3 种矿床(化)类型,即蚀变岩型(焦家式)、石英脉型(玲珑式)和角砾岩型(蓬家式)。

### 1.1 蚀变岩型(焦家式)金矿床

焦家金矿是“焦家式”破碎带蚀变岩型金矿的代表,该矿床受 NE-NNE 向焦家断裂破碎带控制,容矿围岩为玲珑花岗岩。主矿体由含金黄铁绢英岩组成,其中充填了石英-黄铁矿或多金属硫化物石英细脉。焦家金矿的显著特征是围岩蚀变发育,围岩蚀变具明显的横向分带,由矿体至花岗岩依次为黄铁绢英岩化-硅化-绢英岩化-钾化。近年,焦家金矿床开采过程中于 1、2 号主矿体下盘发现了 3 号矿脉群,为产于钾化花岗岩中的网脉细脉带。开始时认为该矿脉群与 1、2 号矿体产状相同,但经过探采,发现该矿脉群陡倾或与 1、2 号矿体倾向相反,这一规律的发现具有重要的理论和实际意义。新城金矿在 1 号矿脉的下盘-430~-730 m,发现由密集石英细脉组成矿脉群,探明黄金地质储量为 25 t。开辟了焦家金矿田深部找矿的前景。侯西金矿受焦家断裂的次级断裂-侯西断裂控制,是胶东地区发现的第一个由北向西断裂控制的中型矿床。侯西北向西向控矿构造的发现,打破了胶东地区唯北东向构造控矿的传统认识,为全面认识焦家矿田控矿构造系统开拓了思路。

### 1.2 石英脉型(玲珑式)金矿床

玲珑金矿是典型石英脉型金矿的代表。该矿床容矿围岩为玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩。矿区由百余条含金石英脉构成。矿石类型为含金石英脉,少数为含金黄铁绢英岩。根据矿物共生组合、矿石组构和矿脉穿插关系,将热液成矿期划分为石英-黄铁矿脉,含金石英-黄铁矿脉,含金多金属硫化物脉和石英-碳

\*本文得到中国科学院创新工程重大项目(KZCX1-Y-03-01)资助

第一作者简介 张连昌,男,1959 年生,博士后,副教授,地球化学及矿床地质专业。

酸盐脉等四个阶段。按照金矿区含金石英脉的组成,可进一步将石英脉型金矿划分为单脉(如金青顶金矿)和网脉型(如玲珑金矿)。

### 1.3 角砾岩型(蓬家乔式)金矿床

近年来在胶莱盆地北部边缘相继发现了乳山蓬家乔、牟平发云乔和平度大庄子等金矿床,沈远超等(1998)认为它们是一种新的矿床类型,命名为层间滑动角砾岩型金矿床。这种类型的建立,开拓了找矿思路。其中蓬家乔金矿位于乳山崖子镇西,赋矿围岩为荆山群变质岩。金矿体总体走向近EW,倾向南,倾角为 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,断裂带剖面形态呈铲状,断裂构造带发育于糜棱岩与大理岩之间,该断层为一典型的低角度正断层。发云乔金矿化发育于中生代胶莱盆地底部白垩系砾岩中的断裂裂隙系统内,该裂隙系统的形成与发育于盆地底部的低角度滑脱断层有关。

通过对胶东矿集区各类金矿地质地球化学特征对比(表1),发现形成不同矿床类型的原因主要是构造的控制。

表1 焦家式、玲珑式和蓬家乔式金矿地质地球化学特征对比

| 矿床类型                                 | 焦家式                                                                                          | 玲珑式                                                                                        | 蓬家乔式                                                                                    |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 控矿构造                                 | 胶北隆起 NNE 向脆韧性-脆性断裂(主断裂)                                                                      | 胶北隆起 NE-NNE 向主断裂的次级脆性断裂                                                                    | 胶莱盆地北缘 NE-EW 向低角度正断裂                                                                    |
| 围岩                                   | 胶东群、玲珑花岗岩                                                                                    | 玲珑花岗岩                                                                                      | 荆山群和莱阳组                                                                                 |
| 围岩蚀变                                 | 黄铁绢英岩化、硅化、碳酸盐化                                                                               | (黄铁)绢英岩化、硅化、钾化、碳酸盐化                                                                        | 黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化                                                                  |
| 矿体形态                                 | 似层状、透镜状                                                                                      | 脉状、透镜状                                                                                     | 透镜体、铲状                                                                                  |
| 矿体规模                                 | 长 1000 m, 宽 10~60 m, 延深 1500 m 以上, 大于延长                                                      | 长数百米~数公里, 宽<10 m, 延深<700 m, 延长大于延深                                                         | 长 200~1500 m, 宽 8~28 m, 延深 500 m 左右                                                     |
| 矿体产状                                 | NNE 为主, 其次为 NE 走向, 倾角 $25^{\circ}\sim 42^{\circ}$                                            | NE 走向, 倾角 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ , 部分矿体呈 S 形产出                                        | 近 EW 弧形产出, 倾角上陡( $45^{\circ}$ )下缓( $15^{\circ}$ )                                       |
| 矿体品位                                 | 5~10 g/t                                                                                     | 10~20 g/t                                                                                  | 3~4 g/t                                                                                 |
| 矿石类型                                 | 浸染型、细脉-浸染型                                                                                   | 脉型、细脉-浸染型                                                                                  | 碎裂-角砾岩型                                                                                 |
| 矿石矿物                                 | 金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿等; 铁白云石、菱铁矿、绢云母、钾长石等                                              | 金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿等; 铁白云石、菱铁矿、绢云母、钾长石等                                            | 金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿等; 铁白云石、菱铁矿、绢云母、钾长石等                                         |
| 金矿物                                  | 银金矿、金银矿、自然金                                                                                  | 银金矿、自然金                                                                                    | 银金矿                                                                                     |
| 成矿温度/ $^{\circ}\text{C}$             | 170~310                                                                                      | 190~310                                                                                    | 120~320                                                                                 |
| 流体压力/MPa                             | 30~60                                                                                        | 20~60                                                                                      | 40~50                                                                                   |
| 成矿时代/Ma                              | 105~126                                                                                      | 110~126                                                                                    | 110~128                                                                                 |
| 成矿期构造差异应力/MPa                        | 100~194                                                                                      | 60~90                                                                                      | 100~130                                                                                 |
| 流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$ | 6~9                                                                                          | 2.39~6.18                                                                                  | 1.5~8.0                                                                                 |
| 流体同位素及流体来源                           | $\delta\text{D} = -8.1\% \sim -9.1\%$ ; $\delta^{18}\text{O} = 5.4\% \sim 6.6\%$ ; 深源(岩浆)水为主 | $\delta\text{D} = -54\% \sim -93\%$ ; $\delta^{18}\text{O} = 3.2\% \sim 7.2\%$ ; 深源(岩浆)水为主 | $\delta\text{D} = -90\% \sim -98\%$ ; $\delta^{18}\text{O} = 0.6\% \sim 1.0\%$ ; 大气降水为主 |
| 实例                                   | 焦家、新城、三山岛、仓上、马塘、东季、河西、望儿山                                                                    | 玲珑、邓格庄、金青顶、唐家沟、金牛山、阜山                                                                      | 蓬家乔、发云乔、大庄子、郭城、西林                                                                       |

## 2 胶东金矿成矿亚系统

按照控矿因素、成矿要素、成矿过程、成矿产物和成矿系统理论(翟裕生等, 1996; 1999), 将胶东构造-热液成矿系统划分为 3 个成矿亚系统, 即韧性剪切带-蚀变岩成矿亚系统; 脆性断裂-石英脉成矿亚系统; 低角度层间滑动断裂-角砾岩成矿亚系统。

### 2.1 韧性剪切带-蚀变岩成矿亚系统

该成矿亚系统主要特征: 成矿前脆韧性剪切带(左行走滑)—构造岩—右行张剪—矿液渗流交代成矿—成矿后挤压; 岩性接触带—沿低角度主断裂带成矿; 单矿脉可构成大型规模。该类金矿主要分布于胶东

西部, 已发现三山岛、仓上、焦家、新城、大伊格庄、台上等 6 个特大型金矿和一批大、中、小型金矿。

## 2.2 脆性断裂-石英脉成矿亚系统

该类成矿系统主要特征: 成矿前脆性剪切带(左行挤压)-片理化-右行张剪-矿液涌流充填成矿-成矿后剪切; 单一岩性(花岗岩或变质岩)-沿主断裂带两侧的高角度次级断裂成矿; 大多呈矿脉群产出, 个别为单矿脉(如金青顶金矿和玲珑 108 号脉)。石英脉型金矿主要分布于招远和栖霞地区、及牟平-乳山金矿带, 玲珑金矿田是主要的分布区。围岩蚀变范围较小, 控矿断裂显示脆性变形特征, 构造岩不发育, 以充填成矿方式为主。

## 2.3 低角度层间滑动断裂-角砾岩成矿亚系统

该类成矿系统主要发育于中生代胶莱盆地的北缘。目前已发现了蓬家乔、发云乔、大庄子、郭城和辽上等近 10 个中小型金矿床。该类金矿主要特征: 中生代拉分盆地边缘低角度层间滑动(倾向滑动)断裂—构造角砾岩—矿液充填交代成矿—成矿后挤压; 与盆地边缘低角度层间滑动断裂有关的金矿化赋存部位有盆地基底老变质地层中(如蓬家矿、大庄子和西林等金矿)、新(盆地盖层)老地层之间的断裂破碎带(如发云矿金矿区底部金矿化)、盆地充填物—白垩纪砂砾岩中的断裂带(如发云乔金矿主矿体)。

胶东矿集区成矿亚系统制约矿床类型: ①成矿系统构造活动强度是形成不同类型矿化的主要因素。一般构造强度大—碎裂岩—蚀变岩型矿化(焦家式); 构造强度中等—构造角砾发育—角砾状矿化(蓬家乔式); 构造强度小—断裂发育—充填脉状矿化(玲珑式)。②成矿系统中构造是制约矿床类型的主要因素。蚀变岩型(含蚀变角砾岩型)金矿主要受控于高级别缓倾角断裂带; 石英脉型金矿主要受控于低级别陡倾角断裂带, 断裂带以脆性变形产物为主。③焦家式与玲珑式矿化不存在上下分带关系, 仅存在侧向分带。焦家金矿田发育有少量玲珑式石英脉型金矿, 玲珑金矿田发育有蚀变岩型矿化。

# 3 胶东矿集区构造-热液成矿系统的地球动力学环境

张连昌(2002)最近不但对胶莱盆地北缘的若干重要的金矿床获得了新的 Ar-Ar 及 Rb-Sr 年龄, 其范围均在 117Ma~128 Ma 之间, 而且总结了胶东地区 3 大类金矿的年代学资料。从而表明胶莱盆地北缘成矿作用与胶东西北部的玲珑、焦家地区成矿作用时代(115~126 Ma)是相当一致的, 即大致在 120±10 Ma 范围内形成了胶东地区主要的金矿区。笔者认为在如此短的时段内, 胶东地区之所以形成一系列大型和超大型金矿, 有其深刻的地质背景。最主要的是发生于中生代早期的中国华北与扬子板块之间的碰撞的后效作用及由此诱发的岩石圈减薄(Tasumoto et al., 1992; 邓晋福等, 1996; Menzies, 1996; 吴福元等, 1999)和地壳的拉伸作用。大规模的壳幔交换作用, 导致形成大规模的岩浆活动, 对超大型矿床的形成起“引擎”作用。在侏罗纪末-早白垩世初, 古太平洋板块向欧亚大陆斜向俯冲, 致使郯庐断裂发生左行走滑运动。由于周边地质体的综合作用(胡受奚等, 1992; 翟明国等, 2001)和深切至地幔的郯庐断裂的左行走滑运动使地幔对流和岩石圈状态的平衡遭到破坏, 在郯庐断裂中部出现幔柱构造, 富集岩石圈地幔楔部分熔融形成岩浆。幔源岩浆部分与地壳重熔的岩浆混合形成花岗闪长岩, 部分岩浆在地表喷发形成侏罗纪火山岩。在早白垩世中晚期, 幔隆上升作用导致地壳拉张和花岗岩体的抬升、去根, 形成花岗岩穹隆-拆离构造。随着持续的幔隆和壳幔作用的发展演化, 出现浅表层次的构造作用(如断陷盆地和脆性断裂的形成), 为金矿成矿热液的运移和沉淀提供通道和场所。由于幔隆作用使深部物质沿郯庐断裂大规模上涌并发生深部去 K、Si 和挥发分作用, 幔源岩浆上升至地表后发生脱气作用, 脱气后的岩浆上升过程中发生分离结晶作用并就位形成各种脉岩或直接喷发到地表形成火山岩; 脱气作用形成的流体与广泛淋滤围岩的大气降水混合、发生物理化学反应, 在有利的构造位置大规模爆发性成矿。

若成矿热液进入低角度滑脱断层构造系统中, 在压力驱动下以循环对流、缓慢渗流方式运移, 在上部氧化—还原界面附近的构造角砾岩带通过充填交代作用成矿, 形成蚀变构造角砾岩型金矿床(如蓬家乔金

矿)。如果断裂系统内构造岩发育较好,形成一系列糜棱岩和碎裂岩(如:焦家矿田),成矿热液以渗流方式向上运移,通过与构造岩发生交代作用形成细脉浸染状蚀变岩为主的矿体,即所谓的蚀变岩型金矿(焦家式金矿床)。若主断层构造系统为压(张)扭性质,在其张剪段或次级张性断裂易形成减压空间,成矿流体在泵吸作用下快速向上涌流在次一级断裂中(如玲珑金矿等),或大断裂的次级张剪性断裂中(如邓格庄金矿),形成石英脉状为主的矿体,即所谓石英脉型金矿。

本文在构思过程中得到翟裕生和裴荣富院士,周新华、赵伦山和翟明国等教授的指导和帮助,在此表示衷心地感谢。

### 参 考 文 献

- 邓晋福,赵海玲,莫宣学,等. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社. 1~110.
- 胡受奚,赵英,徐兵,等. 1992. 胶北地体中金矿密集区带形成的构造环境. 地球科学进展, 6: 91~95.
- Menzies M A, Fan W M and Zhang M. 1996. Paleozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of >120 km of Archean lithosphere, Sino-Korean craton, China. Geol. Soci. London Spec. Pub., 76: 71~81.
- 沈远超,谢宏远,李光明. 1998. 山东蓬家矿的基本地质特征及找矿方向. 地质与勘探, 34(5): 3~7.
- Tasumoto M, Basu A R, Wang J W, et al. 1992. Sr, Nd and Pb isotopes of ultramafic xenoliths in volcanic rocks of eastern China: enriched components EM I and EM II in subcontinental lithosphere. Earth Planet. Sci. Lett., 113: 107~128.
- 吴福元,孙德有. 1999. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄. 长春科技大学学报, 29(4): 313~318.
- 翟裕生. 1996. 关于构造-流体-成矿作用研究的几个问题. 地学前缘, 4.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统. 地学前缘, 6(1): 13~28.
- 翟明国,杨进辉,刘文军. 2001. 胶东大型矿集区及大规模成矿作用. 中国科学(D)辑, 31(7): 545~552.
- 张连昌. 2002. 胶东地区三类金矿成矿系统地质地球化学及动力学. 中国科学院地质与地球物理研究所博士后出站报告. 1~207.