

# 构造体系多层次控矿及深部外围预测

## ——以胶东金矿集中区为例

吕古贤 郭涛 舒斌 申玉科 周国发 王超凡 彭欣

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 10008)

**摘要:** 本文提出中生代东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带即是 NNE 向新华夏系巨型构造带。胶东金矿集中区产生于洋-陆过渡关联的该 NNE 向构造剪切带。在胶东构造体系进行了进一步研究, 指出胶东中生代主要发育新华夏体系和华夏式构造系, 而纬向构造体系, 即 EW 向构造不发育的资料。在此基础上, 对胶东金矿集中区构造控制矿带、矿床、矿脉、地球化学分布和物理化学条件等不同层次特征加以分析, 提出的胶东金矿成矿期构造具有多层次控矿特点, 新华夏系 NNE 向泰山式构造控制胶东区域金矿带的展布; 新华夏系 NNE 向区域剪切带控制金矿田产生部位; 构造带断裂性质控制金矿矿床类别; 构造断裂带的产状控制矿床矿体的倾伏侧伏规律; 剪切构造两盘的运移特点和断裂组合形式控制矿脉的分布规律; 构造变形岩相带控制的构造地球化学特征; 构造控制水岩系统成矿物理化学条件等认识。

**关键词:** 胶东金矿; 构造控矿; 构造体系; 构造变形岩相带; 构造地球化学; 构造物理化学

胶东是我国重要的金矿集中区和黄金生产基地。该区金矿初步富集与太古-元古代的基性火山-沉积建造及其后的区域变质绿岩带有关(郭振一、孙秀珠, 1983; 张韞璞等, 1988; 裘有守等, 1988; 姚凤良等, 1991; 杨敏之等, 1996; 吕古贤等, 1999)。然而该区绿岩仅仅是金成矿的初始矿源岩层和衍生矿源层(Hutchinson, 1980; 吕古贤和孔庆存, 1993; 吕古贤, 1998); 中生代燕山早期构造岩浆活化(170-134Ma)及其金进一步富集才是直接矿源和成矿作用。这一成矿作用产生“玲珑-焦家式”一胶东绿岩带与中生代交代重熔花岗岩相关的剪切带石英脉-细脉浸染状蚀变岩型金矿床(吕古贤, 1991), 形成时代主要为晚燕山期(120-90Ma)。

在亚洲-太平洋相互作用巨型带中通常可以划分为出沿大陆带和大洋带这样二个带。它们可以统称为洋-陆过渡带, 受区域反钟向扭动应力场控制, 形成相当于(李四光, 1973; 万天丰, 1993)新华夏系的活动地带, 它实际上是东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带。胶东金矿即是产生于其中的大型矿集区。

最明显的区域成矿特征明显带有东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带特征, 同时表现为不同级别的构造控岩控矿、构造控制矿床类别分布特点和形成作用等规律, 即区域压扭断裂带控制焦家式—黄铁绢英质蚀变碎裂岩型矿床(张韞璞等, 1988), 而其下盘次级别的张扭空间充填交代有玲珑式-黄铁矿石英脉型金矿(吕古贤和孔庆存, 1993; 吕古贤等, 1999)。在区域构造研究和构造体系研究基础上, 本文拟从区域内不同层次构造控岩控矿特点加以研究, 在构造地球化学资料基础上试图从构造物理化学(杨开庆, 1982; 杨开庆, 1986; 吕古贤, 1991a, 1991b)的新角度, 对胶东金矿区构造控矿和构造成矿规律进行探讨。

### 一、东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带

东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带是一个巨型构造带(УТКИН等, 2001)①,

—————  
—————

① В. П. У т к и н 等, 亚洲活动带和太平洋活动带相互作用巨型带的地球动力学、古构造古地理再造及成矿作用。自: 迈向 21 世纪的俄罗斯地质调查和矿产资源, 中国地质调查局地质调查专报 H2 号, 基础地质, 59-61。

曾被李四光系统研究并称之为新华夏系巨型构造带(李四光, 1973)。巨型带沿大陆部分表现最明显的构造是 NNE 剪切带对于比较古老的東西向复杂褶皱—逆掩断层构造体系的改造。东西带分布在稳定性高的大型大地断块之间, 因此被称之为断块间缝合构造带。大陆内断块间缝合构造带的特点是在裂谷体制中中时期的断断续续发育, 明显在中生代造山—活化阶段、在东亚全球性剪切系统边界型火山—深成岩带中产生的不同的岩浆活动。

东亚大陆与西太平洋带活动带间的过渡构造剪切带形成于中生代以来。新华夏构造体系在晚中生代和新生代剪切位移的多次活动更导致不同形态错动的广泛发育, 从而使大陆边缘晚中生代前的构造图案发生相当大的改变。最重要的改变与区域左旋剪切位移有关, 由于这些位移, 大地断块及其东西向的边界受到破坏, 断开距离达到数十和上百公里(图 1)。与大的挤压剪切带相伴的、像巨型劈理那样表现出来的大量剪切断裂与剪切错动所特有的旋转作用使东西向构造要素转变为北东和北北东方向的复合形态, 例如, 从台湾—日本一线向东海域, 可以发现原来的近于东西方向的大洋转换断层逆时针旋转了近 25° (图 1)。

图 1 东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带

(据 У т к и н 等, 2001)

1~2-具有太古宙基底的大陆地壳断块 (1) (А-阿尔丹断块; ЦК-华中或中朝断块); 具有元古宙基底的大陆地壳断块 (2) (Ч-楚科奇断块; К-科雷马断块; СК-华北或黑龙江断块; ЮК-华南断块; ИК-印支断块); 3-扬子准地台; 4-鄂霍次克海地块; 5~6-裂谷成因和岩浆活动显示的断块间缝合构造带 (МШЗ); 5-断块间缝合构造带未卷入剪切错动的西(大陆内)侧, 6-断块间缝合构造带卷入亚洲-太平洋相互作用巨型带剪切错动的东(沿大洋)侧; 7-断块间缝合构造带东(沿大洋)侧近东西向的剪切作用前的方向; 8-主要剪切带 (Т-郯庐, С-中锡霍特山脉, П-品仁纳); 9-太平洋板块; 10-毕乌夫带; 11-日本中间构造线; 12-亚洲板块 (А) 和 (或) 太平洋板块 (Т) 位移方向

Fig.1 Sutured tectonic zones between continent block and their possible extend in Eastern

Asia shear zone

东亚全球性剪切系统的形成是大陆大地断块向 SSW 方向发生相对位移的结果。与大陆块朝 SSW 方向位移的同时, 也许大洋板块朝着相反的方向即朝着 NNE 方向移动, 这同样可以保证大陆边缘具有剪切发展的地球动力学体制。这是新华夏构造体系的形成构造背景。

除了主体的 NNE 和 NE 方向挤压性构造剪切带之外, 其配套或次级序的 NNW 向 (和 NW 向) 剪张断层在破坏古构造环境方面也发挥了重要作用, 它的配套的 NEE 向压剪性断层和构造带分布成带、密集且在改造古构造方面更起到重要的角色。前者称之为大义山式构造, 后者叫泰山式构造。这些剪切断层在晚白垩世和新生代对于前中生代构造层的剪切错动的破坏阶段得到特别强烈的发育, 控制了火山—深成岩带、大陆裂谷洼地以及陆缘海深水凹陷的形成。期间大陆地壳的共剪切拉伸作用不仅使古构造发生很大破坏, 而且使大陆东部边缘广阔区域沉降 (陆缘海), 从而使得识别剪切前的构造环境再一次变的更为复杂。

然而, 将上述构造变动因素排除之后, 从古构造古地理再造结果中可以推断出, 东西带从北向南, 在俄罗斯联邦远东南部揭示出来的、在其裂开的早期阶段控制滨海边疆和阿穆尔火山—深成岩带的古裂谷具有东西走向; 与这些古裂谷相应发育有秦岭断块间缝合构造带和阴山—燕山断块间缝合构造带的东延部分。往西, 在亚洲大陆范围内, 这些断块间缝合构造

带和蒙古—鄂霍次克断块间缝合构造带类似，延伸数千里。在断块间缝合构造带未被北东向左旋和北西向右旋剪切断层所复杂化的延伸地段里，保存了他们原始的东西向状态。

## 二、胶东构造体系和构造变形岩相形式分析

山东省地质局开展主要构造体系的厘定和力学分析提出，山东的基底构造为一“山字型”构造体系，但由于古构造的复杂性及研究程度的限制，尚存在一些不同看法。盖层构造体系的划分，通过构造体系图（五十万分之一）编图工作，作了研究。依据构造体系划分的基本原则，指出山东主要存在纬向构造系，鲁西旋卷构造群及胶西北“S”型构造（郭振一和孙秀珠，1983）。

在地质构造形迹中，岩石变形和岩石建造、构造作用和变质作用、构造与成岩成矿等往往密切共生，但是在野外观察和室内研究时，两者往往被分离开。李四光教授曾经提倡改造与建造相结合的方法，提出“形变”与“形质”概念（李四光，1953），其他学者还有构造-岩相等概念，并在沉积岩、变质岩和岩浆岩等领域加以应用。实践证明，通过详细的变形分析，才有可能研究那些区别于较少受构造影响的正常岩浆、沉积和变质作用的建造和岩相。在前人研究和思路基础之上，笔者提出构造变形岩相形迹的概念，即是能够反映地壳岩石在构造作用下形成和变形时所产生的岩相，其实质就是受构造影响的那部分沉积、变质和岩浆岩相建造（吕古贤，1991a；李东旭和周济元，1986；刘瑞珣，1988）。因此，开展以构造变形岩相形迹为基础的区域成矿地质事件研究，将有助于提高矿产资源潜力的评价水平并促进地质找矿的新突破。

作者在近几十年在胶东开展金矿地质工作基础上，对于胶东构造体系进行了新的划分，依据“构造变形岩相形迹”的概念编制了胶东地区构造岩相分布图（图2）。山东省地处我国大陆的东缘，胶东呈半岛状突出于渤海与黄海之间。山东半岛属新华夏系第二隆起带，鲁西北平原区有一部分属新华夏系第二沉降带。南部边缘与河南，安徽，江苏交界处见有秦岭东西复杂构造带的踪迹。

胶东在反映东亚巨型NNE方向构造剪切带，即新华夏构造体系和华夏式构造特点方面极具特色（图-2）。胶东变质基底形成褶断构造带呈现为近EW向波状弧形展布的“S”形构造变形岩相形式（吕古贤和孔庆存，1993），而中生代盖层经华夏式及新华夏系的构造复合形成“N”形构造变形岩相形式。“S”形构造变形岩相带和“N”形构造变形岩相带的形成、相互复合、改造和再造作用控制着胶东地区的金矿形成和分布特点。

本研究着重指出，处于东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带之中，胶东金矿成矿期主要发育新华夏体系和华夏式构造系（图2），而中生代纬向构造体系，即EW向构造并不发育（李述靖，1982）。

这一问题或许是多年来对于胶东金矿的区域分带性存在不同认识的根源。前人比较注意东西带控矿，例如认为栖霞东西向复背斜控制金矿在其两翼带状分布等。而笔者认为这一级别的控矿构造是NEE方向构造，即新华夏构造体系的泰山式构造成分控制了胶东地区金矿的一级分带，而不是EW向构造控岩控矿（图2）。新华夏构造体系和华夏式构造体系不同规模、级别和序次的成分复合叠加而成的构造变形岩相带，加之基底岩石有利成矿的地质地

球化学条件,成为胶东金矿构造控岩控矿的背景(吕古贤,1991a;吕古贤和孔庆存,1993)。

图-2 胶东构造体系和区域构造变形岩相形式分布图

Fig2. Map of tectonic system and regional tectonic deformation-petrofacies pattern of Jiaodong

1-第四系、第三系; 2-白垩系、侏罗系; 3-蓬莱群; 4-粉子山群; 5-胶东群(包括荆山群部分); 6-漆家河型中粗粒花岗岩; 7-郭家岭型斑状花岗闪长岩; 8-玲珑型片麻状黑云母花岗岩; 9-复式背斜轴及其推测延伸部分; 10-东西向及北东东向压扭性断裂; 11-北东向压扭性断裂; 12-北北东向压扭性断裂; 13-性质不明断裂、配套断裂及推测断裂; 14-卫星解译线性断裂构造; 15-大型及中小型金矿

可以发现,胶东基底的变质岩显示褶断构造带(图2),呈现为近EW向波状弧形展布的“S”形构造变形岩相型式(吕古贤,1991a;吕古贤和孔庆存,1993)。中生代盖层经华夏式及新华夏系的构造复合形成“N”形构造变形岩相形式,它是NNE区域压扭构造叠加复合NE向构造和NEE向构造与岩相带而成的,是金矿成矿带的控矿构造(万天丰,1988);玲珑花岗杂岩体为代表的岩浆岩及中生代陆相火山-碎屑沉积盆地,受“N”形构造控制;“N”形构造往往表现在岩浆岩接触带发育的剪切断裂,其有利部位形成热液交代蚀变带;断裂下盘时有形成焦家类型黄铁绢英质蚀变岩金矿,而断裂下盘逐渐远离接触带的花岗岩和蚀变花岗岩中的次级张剪断裂中交代充填有黄铁石英脉类型,即玲珑式金矿,笔者将两者统称为焦家-玲珑式金矿(吕古贤,1991a)。

### 三、新华夏系NEE向(泰山式)构造控制胶东区域金矿带的展布

胶东构造体系主要发育有新华夏系构造和华夏式构造。虽然它们主干构造及其配套成分的形成有先后,发育规模和复合强度不同,但是胶东金矿带主要受NNE、NE和NEE三组方向的构造岩相带控制的特点非常明显(李东旭、周济元,1986;吕古贤,1991a)。

作者强调胶东的区域金矿带分布是受NEE向构造,又称之为泰山式构造(李四光,1973)控制的。新华夏系巨型隆起带发育低序次的NEE方向的配套压扭剪切断裂,形成时代测得80-110Ma年的Rb-Sr等时线年龄(吕古贤,1991a)。泰山式构造在胶东从北向南有三组集中分布带(图3),金矿随之形成三个集中分布带。

图3 山东省卫片线性构造解译图

Fig.3 Map of linear structures explained by satellite pictures ,Shandong

1- 一级线性构造; 2-二级线性构造; 3-影像不明显线性构造; 4-环形构造及火山  
2- (据本次1: 50万MSS多光谱地球资源卫星4、5、6、和7波段影像镶嵌图解释)

北部带从西向东为三山岛、新城、焦家、灵山、玲珑和蓬莱南金矿分布带;中部带从西向东控制大庄子、旧店、夏甸、尹格庄,栖霞盘马金矿、蓬家夼金矿和台前金矿,祁雨沟-威海南的几个金矿;南部带受莱阳盆地的影响覆盖较强,带中仅在东部分布有乳山的金牛山矿田-文登小型金矿和银矿等(图-3)。

新华夏系泰山式构造以剪切断裂带及其密集平行发育为特征。实际上它不仅对于胶东金

矿带分布起到控制作用，而且制约了胶东的地理地貌形态，甚至陆地形态。然而，由于它们以剪切为主的构造特点（吕古贤，1991a），其单条构造影响构造碎裂蚀变矿化带的分布较窄，除了个别矿区，如玲珑西山-欧家矿段之外，大部分构造含有矿脉的规模并不大。

#### 四、新华夏系 NNE 向区域剪切带控制胶东金矿田产生部位

胶东新华夏系 NNE 向区域压扭带是东亚大陆与西太平洋带间巨型构造剪切带的低级组成，是新华夏系巨型隆起带的二级构造，但在胶东区内却是一组控制性构造，在胶东地区，可以视为一级构造，即三山岛断裂、焦家断裂、招平断裂和五十里铺-扬础断裂带等为代表的区域断裂构造带，相当于前人提出的胶西北“S”型构造的主干断裂（郭振一和孙秀珠，1983）。牟平-乳山矿田总体上受新华夏系的 NNE 向和华夏式构造的复合应力场控制。

矿化的规模与强度还受基底变质岩原岩控制（林文蔚和殷秀兰，1998）。中生代盖层经华夏式及新华夏系的构造复合形成“N”形构造岩相形式，它们对于基底 EW 向波状弧形状展布的“S”形构造变质岩岩相带的叠加改造，但只有在有利的岩石地球化学背景区段方能形成金矿田或金矿集中地段。

胶东新华夏系的 NNE 向区域压扭构造带控制着金矿田的发育。可以发现，在三山岛金矿田受三山岛 NNE 向断裂控制；焦家金矿田的主要大型金矿沿焦家 NNE 断裂及其下盘分布（图 4）；玲珑矿田分布于招远北部 NE 向断裂和 NNE 断裂复合带及其下盘（图 5）；尹格庄金矿田位于招平带 NNE 断裂及其下盘；栖霞金矿分布和蓬莱一带郭家岭岩体东部的诸多金矿受 NNE 方向延伸的五十里铺-扬础断裂带控制，及至东部牟平-乳山矿田总体上也是新华夏系的 NNE 向和华夏式 NE 向构造的复合控制。

图 4 焦家金矿田地质简图

Fig4 Geologic map of Jiaojia gold orefield

1-第四系；2-碎裂蚀变花岗岩；3-郭家岭型花岗闪长岩；4-玲珑型片麻状黑云母花岗岩；5-太古宇-元古宇；6-断层；7-残留体、片麻理和蚀变叶理产状；8-大型、中小型矿床及矿点标志

图 5 玲珑金矿田地质简图

Fig5. Geologic map of Linglong gold orefield

1-第四系；2-深家河型中粗粒花岗岩；3-玲珑型片麻状黑云母花岗岩；4-中基性脉岩；5-断层；6-矿脉及产状

东部金牛山矿田是胶东东部的的主要金矿产地。宽大且平行发育的石英硫化物金矿脉赋存于 NNE-SN 方向的金牛山断裂带。称由华夏式扭裂断裂受新华夏构造复合改造而成的该组断裂带为“金牛山式”构造（吕古贤和孔庆存，1993）。

该组新华夏系 NNE 向区域剪切带与变质基底岩带的复合，在一定热液条件下可以形成矿床，甚至大型金矿。平度大庄子金矿带分布于沂沭断裂的分支断裂，莒南断裂的北延区段。栖霞盘马式金矿、台前金矿和蓬莱东南的金矿带受控于半岛中部五十里铺断裂和扬础断裂

带。发育在胶东变质岩区的主要与区域剪切带有关的中生代构造岩浆作用有关的蚀变岩-石英脉金矿有被叫作“大庄子式金矿”（李兆麟等，1996；吕古贤等，1999）

## 五、构造剪切带断裂力学性质控制金矿矿床类别

胶东与花岗岩直接有关的玲珑-焦家式金矿，其典型矿田构造地质特征表现出以下几点：

（1）玲珑-焦家式金矿矿床类型及其矿体组合水平分带为主要特征。玲珑金矿田 3 个成矿构造蚀变带从主干压剪断裂中心向两侧（图 5），特别是集中在断裂带下盘花岗岩一侧，有从黄铁绢英岩型金矿转变为黄铁石英脉型金矿的分带，两带之间为过渡型矿脉。九曲蒋家 NNE 断裂构造带（图 6B）实测剖面 and 破头青 NE 断裂构造带地质勘探剖面等资料显示典型的水平分带特征。焦家金矿田（图 6A）的这种分带性也很明显。（2）断裂带规模和性质对矿床类型分布的控制。区域压剪、剪压性断裂带赋存蚀变岩型金矿床，断裂下盘一侧次级别低序次的张剪、剪张构造空间往往发育有石英脉型或过渡型金矿脉。

图 6 焦家金矿和玲珑金矿九曲地质剖面图

Fig 6. Profile of Jiaojia deposits(A) and Jiuqu of Linglong orefield(B)

（A）焦家金矿 112 勘探线剖面图；（B）九曲蒋家-南仁洞实测剖面；1-胶东群斜长角闪岩；2-绢英岩化混合岩化斜长角闪岩；3-花岗岩；4-硅化或钾长石化花岗岩；5-黄铁绢英岩带；6-基性岩脉；7-硫化物石英脉矿体；8-黄铁绢英岩矿体；9-黄铁绢英质构造叶理；10-断裂及碎裂岩带

地质和矿山采掘勘查资料表明，这两种亚类具有同时代和相似成矿背景，两种亚类在分布上垂直分带并不明显，却呈水平分带并具渐变过渡关系且主要受构造控制（吕古贤，1991a；吕古贤和孔庆存，1993）。

80 年代，曾有人认为区内玲珑式和焦家式两类矿床呈“五层楼”垂直分带。然而截止目前，区内还没有典型的上部石英脉、下部绢英岩工业矿床和矿脉的发现和报道。相反，几个深近千米的钻孔证实，浅部蚀变岩型金矿在深部仍然是构造蚀变岩型金矿为主，且矿化比浅部更稳定，例如台上金矿、焦家金矿。阜山金矿深部钻探已提交数十吨工业储量，主要是焦家式蚀变岩型金矿，与浅部地表的矿石类型相同。几个大型矿山深部第二富集带依然以蚀变岩型金矿为特色的发现和数百吨新增储量的揭露说明，前人有关区内玲珑式和焦家式呈“五层楼”垂直分带的地质认识尚须探讨（姚凤良等，1991）。

实际上以变质岩为围岩的脉状金矿及其矿化类别也是受构造控制的。被称为“胶东变质岩区大规模剪切带型金矿”的大庄子金矿即是一例（吕古贤等，1997，1999）。研究认为，胶东变质岩区金矿主要有两种类型，即产于变质岩中顺层或斜切岩层与石英脉有关的“盘马式”金矿和产于变质岩系中大规模剪切带蚀变岩型金矿（吕古贤等，1996；李兆麟 1986；李兆麟等，1996），两者属同一矿床类型，其差别的原因在于不同的控矿构造部位、性质和规模（图 7）。蚀变剪切岩带工业矿床主要与大规模扭压剪切带有关，而石英脉金矿仅赋存于次级派生构造，实际可统称为“变质岩系剪切带型金矿”（吕古贤等，1997；1999）。

图 7 平度市大庄子金矿区成矿模式示意剖面图

Fig. Metallogenetic model of Dazhaungzi gold deposits, Pingdu, Shandong

1-黑云角闪斜长片麻岩；2-斜长角闪岩；3-大理岩；4-黑云母花岗岩；5-绢英岩化碎裂岩；6-糜棱岩；7-成矿热液运移方向；8-石英脉型金矿；9-剪切带层间滑脱蚀变岩型金矿

## 6 构造断裂带的产状控制矿床矿体的倾伏侧伏规律

姚凤良等(1991)发现胶东西北部地区岩石的放射性铅同位素数量分布在区域上有规律性变化：由玲珑矿田、灵北矿田、焦新矿田到三山岛矿田， $Pb^{206}$ 、 $Pb^{207}$ 、 $Pb^{208}$ 呈连续变化。 $Pb^{206}$ 分别为24.195，24.117，24.067到24.033；而 $Pb^{207}$ 变化相反为：21.582，21.624，21.631到21.631，依次升高。这种现象在一个矿区内变化是多有报道的，而在区域上有这种变化的很少见有报导。区域连续性放射性铅的变化说明，这些矿床的成因是一致的，有可能是同一岩浆热液作用的产物。结合矿区硫同位素 $\delta S^{34}$ 由东向西也有逐步从6‰到13‰的变化(王义文等，2002)，可以认为胶东金成矿区存在大体统一的含矿热液系统。由于胶东具有统一的含矿热液流体系统，构造应力场作用因而才有可能规律性地影响矿床矿脉的成矿地球化学、产状和类别(吕古贤，1991a,1991b;林文蔚和殷秀兰，1998)。

焦家金矿田的矿田构造分析表明，走向NE—NNE的焦家断裂形态控制矿化带平面延伸的一级分布特征；沿主断带两侧发育的单轨双向压剪作用控制矿床矿体向SW的侧伏形式；多轨多向压剪作用的叠加复合使矿体矿化富集块段在垂直纵投影剖面上形成向下右侧斜列式分布特点。归纳起来可以说，压剪体系控制矿带延伸走向；构造带倾向控制矿体侧伏；构造叠加复合控制矿脉空间斜列分布。李俊英等(2003)①统计后指出(图8)，新城金矿1#矿体，倾伏向为 $281^{\circ}$ 、倾伏角为 $26^{\circ}$ ；马塘金矿5#矿体，倾伏向为 $270^{\circ}$ 、倾伏角为 $31^{\circ}$ ；马塘金矿2#矿体，倾伏向为 $275^{\circ}$ 、倾伏角为 $34^{\circ}$ ；红布金矿2#矿体，倾伏向为 $284^{\circ}$ 、倾伏角为 $32^{\circ}$ 。

焦家金矿1#矿体，在 $NE30^{\circ}\sim SW210^{\circ}$ 纵投影面上，向SW侧伏、侧伏角 $50^{\circ}\pm$ ；

新城金矿1#矿体，在 $NE40^{\circ}\sim SW220^{\circ}$ 纵投影面上，向SW侧伏、侧伏角 $45^{\circ}\pm$ ；

马塘金矿1#矿体，在 $NE30^{\circ}\sim SW210^{\circ}$ 纵投影面上，向SW侧伏、侧伏角 $50^{\circ}\pm$ ；

马塘金矿2#矿体，在 $NE30^{\circ}\sim SW210^{\circ}$ 纵投影面上，向SW侧伏、侧伏角 $58^{\circ}\pm$ ；

红布金矿2#矿体，在 $NE40^{\circ}\sim SW220^{\circ}$ 纵投影面上，向SW侧伏、侧伏角 $55^{\circ}\pm$ 。

界河、望儿山、河东金矿床侧伏特点亦如此。

可见，焦家金矿带上各矿床的主矿体具有侧伏方向一致，侧伏角相近的特点。这就是：倾向基本上在 $NWW260^{\circ}\sim 300^{\circ}$ 摆动；倾伏角相近，大体在 $250^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 之间。倾伏角和侧伏角的大小与容矿构造带的倾角相关。容矿构造带倾角陡，倾伏角和侧伏角也大；反之小。除极个别(东季金矿床)外，焦家带上的矿体，倾角缓( $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ )，同时沿倾伏向的深部延伸远大于走向方向的平面延长。

研究发现，构造断裂带的产状控制了矿床矿体的倾伏侧伏规律。玲珑-焦家式金矿矿脉，特别是产于主干压扭断裂带中的蚀变岩金矿，其矿体的倾伏面大体是与断裂面的倾斜面平行的，而石英脉型金矿总体附属于干压扭断裂带的次级断裂裂隙。

① ①李俊英 张建国 蔚登峰，2003，焦家金矿带矿体倾伏规律研究，山东省金城金矿。

胶东其他地区的玲珑-焦家式金矿矿脉和矿床的侧伏同样受成矿构造倾斜控制（图 8），且具有合理的力学协调关系。当断裂带 NW 倾向则矿体向 SW 侧伏；而断裂倾向 SE，则矿体向 NE 侧伏。后者如玲珑矿田东部断裂带，灵山-北截断裂带等（图 9）。

图 8 焦家金矿田控矿断裂与金矿床分布图

Fig 8 Sketch of faults and ore deposits in Jiaojia orefield

1- 第四系；2-胶东群；3-玲珑型似片麻状花岗岩；4-郭家岭型似斑状花岗闪长岩；5-断裂及产状；6-矿床水平投影 7-村庄 -

图 9 玲珑矿田 52#脉新增储量示意图

(山东招金集团公司, 2002)

Fig. 9 Sketch of new gold reserve of 52 body of Linglong ore field

区域金矿所表现出的上述构造控制矿体倾伏侧伏规律，恰恰说明它们是在共同的、统一的构造应力场中形成的。同时，根据望儿山、新城、马塘、玲珑金矿等金矿容矿共轭节理或矿体与剪切带交线产状的测量计算研究，其交线产状与矿体倾伏产状基本一致。可以发现，成矿期应力场水平挤压发育，且具反钟向的区域扭动剪切，具有典型的新华夏构造体系应力场特征，它们控制成矿期流体有规律的运移成矿。此外，主要成矿阶段表现出上盘下滑的区域张性构造特点，也是值得注意的区域构造问题（万天丰，1993）。

## 七 剪切构造两盘的运移特点和断裂组合形式控制矿脉的空间分布

今后一个时期，在已知成矿区带内地质找矿从地表浅部走向地下深部，从平面二维走向空间三维，从矿区走向外围，从常规地质找矿走向地物化综合预测，成为矿产资源勘查的必然趋势，也是促进地质找矿新的重大突破的有效途径。

雁列状裂隙及矿脉平面分布的研究比较多（李东旭、周济元，1986）。实际上，断裂两侧岩块沿构造面在空间上运动产生有规律排列的雁列状裂隙及矿脉充填。研究发现，从三维上看，其组合关系至少有四种（吕古贤，1991a；吕古贤和孔庆存，1993；吕古贤等，1999）（图 10）

图 10 构造、矿脉斜列型式几种亚类空间示意图（据吕古贤，1991a）

Fig 10 . Space sketch in 3-D of on echelon structures and veins

(a) -平面右列右倾式、剖面下左侧列；(b) -右列左倾式，剖面下右侧列；(c) -左列右倾式、剖面下左侧列；单线箭头为扭动方向，复线大箭头指示本盘岩块运动方向；(d) -左列左倾式，剖面下右侧列

夏甸金矿处于 NNE 向招平断裂带及其下盘。据研究，该断裂带曾在岩浆岩的形成前已有活动，岩浆作用之后又在接触带附近受到反钟向逆冲剪切活动改造。其中斜列有雁列裂隙及其岩脉和矿脉（图 11），雁列组合且呈向下左侧斜列形式。



图 11 夏甸金矿Ⅶ号支脉 29 勘探线地质剖面图

(据山东招金集团公司, 2002)

Fig 11.Exploration profile of 29 line of Ⅶ body of Xiadian gold deposits

1-黑云母花岗岩; 2-黄铁绢英岩化碎裂状花岗岩; 3-蚀变闪长玢岩; 4-矿体

焦家断裂带中新城金矿的构造及矿床类型与招平断裂带的夏甸相同, 但是, 其控矿断裂的倾向方向与夏甸近乎相反, 它的主要矿体矿脉在剖面上却表现为向下右侧斜列组合形式(图 12)。

图 12 山东省新城金矿床矿体分布与预测盲矿体垂直纵投影图  
(据李惠等, 2006 年资料编绘)

Fig12 The longitudinal vertical projection map of onebodies of Xincheng mine

从剖面上看, 成矿期环境还具有应力松弛和构造拉张的特点, 具体说, 就是普遍断裂上盘下滑构造拉张期间成矿, 它们的运动学分析也证明这一点(图 10)。

## 8 构造变形岩相带控制的构造地球化学特征

构造变形岩相形迹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相, 包括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。构造变形岩相形迹可以分为构造变形岩相带和构造变形岩相地域两种类型(吕古贤和孔庆存, 1993; 吕古贤等, 1999)。由于成矿热液作用发生在有一定空间体积的构造变形岩相带才有可能形成矿床, 其在岩矿地球化学分布特征上有规律性的变化(刘瑞珣, 1988; 吕古贤, 1998)。构造变形岩相形迹的概念给构造地球化学研究提供了比较合理的地质研究思路和途径。

玲珑矿田的构造变形岩相带的蚀变矿物进行成矿年龄研究(吕古贤, 1991a)。分析测试结果表明(图 13), 西部欧家矿、西山 NEE 向构造蚀变矿化带(100.28Ma); 中部东山、台上等几个矿区受 NE 向构造带(213Ma 及 80Ma)控制; 而东部阜山矿区赋存在 NNE 向的九曲-阜山构造蚀变矿化带(70Ma)。它们既有相互的空间重叠和改造关系, 也有时间上的先后演化过程(吕古贤, 1997)。

图 13 玲珑金矿田构造矿化富集带分布略图

I-欧家矿、西山 NEE 向构造蚀变金矿化带; II-破头青、大开头、大云顶 NE 向构造蚀变金矿化带; III-九曲、北双顶、阜山 NNE 向构造蚀变金矿化带; 1-第四系; 2-玲珑似片麻状黑云母花岗岩和其它花岗岩围岩;  
3-主干断裂及推测断裂; 4-矿脉及编号; 5-矿化富集带范围及编号

Fig.13 Sketch of distribution of structures and ore richment zone in Linglong gold orefield

前人对于矿脉的构造叠加晕研究应用于矿脉的深部预测（李惠等，2006）。实际上，块体即构造变形岩相带的形成和改造过程也明显地反映在岩石地球化学分布特征上（吴学益，1998）。玲珑矿田 1: 1 万的次生晕异常综合平面图反映了构造地球化学特征。组合异常的形态从椭圆形长圆形，变为线形；金次生晕组合异常的长轴方向从西向东有 EW 向-NE 向-NNE 方向的变化；金的次生晕异常中西部 NE 向及 NW 向分布，中东部异常长轴与 NNE 构造带一致。银的次生晕组合异常和银的次生晕异常均分布在矿带的东部断裂上盘，沿 NNE 向晚期构造线性散布。

从时间演化来说，较早期的热液在主干构造的较大规模张裂带中富集，稍后逐步与压扭带的展布相接近，且从次生晕元素组合异常逐渐转变为成矿元素的晕异常，从金的异常变为银的异常，这种变化既反映了构造的变化也符合于矿化热液的一般演化规律。

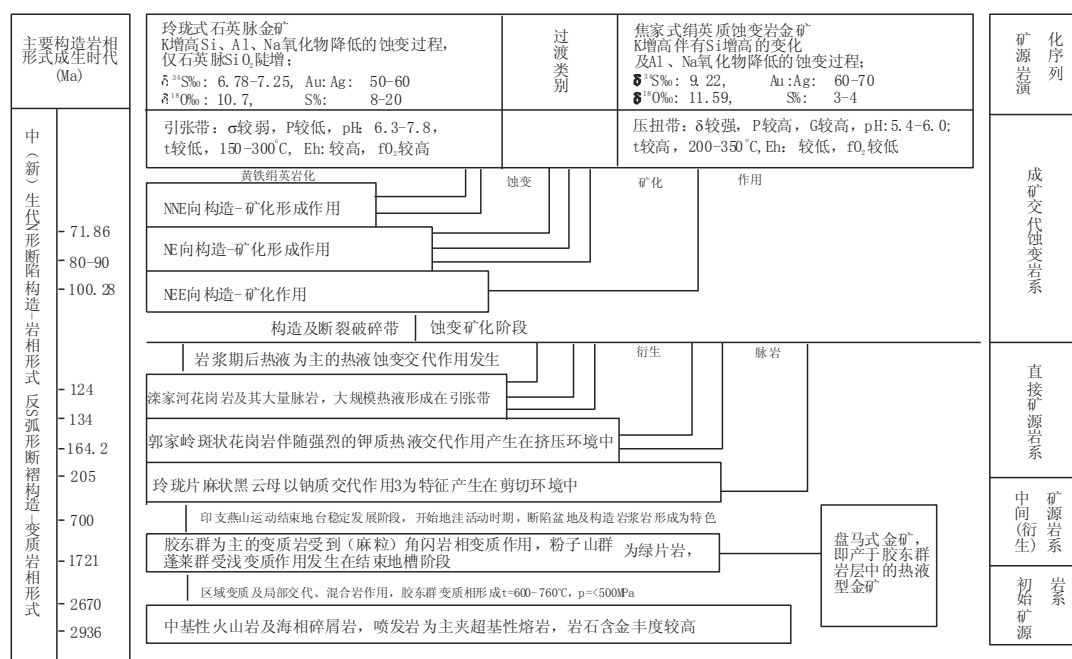
### 九、 构造控制水岩系统成矿的物理化学条件

综上所述，外貌明显不同的两种矿床亚类其地质特征表现出有规律性的变化（吕古贤和孔庆存，1993；吕古贤，1991a）。这些岩矿地球化学特征和变化主要是由于控矿和成矿构造性质及部位不同而致，不太可能是成矿深度不同造成的，至少在矿田或矿带的尺度上应该是这样的。

构造作用不仅控制了矿床的形态及分布特点，也制约着矿床的组成成分特征。追索其成因的较系统测试和研究发现（吕古贤，1991a；吕古贤，1991b），构造同样影响成矿的物理化学条件（表 1）。可以发现，焦家式亚类金矿的形成压力和温度偏高且变化幅度较小，而玲珑式亚类成矿压力较低，温度偏低且变化幅度大。此外，前者 pH 值较低，S 逸度高，而后者 pH 值高且 O 逸度较高。研究成矿机理既要考虑化学条件也要分析物理化学环境的影响，因此开展构造物理化学研究是构造控岩控矿和构造成岩成矿研究的发展方向（杨开庆，1982；杨开庆，1986）。

表 1 胶东玲珑-焦家式金矿成矿构造物理化学条件分析

Table 2. Analysis of metallogenetic tectono-physicochemistry conditon of Linglong-jiaojia-type gold deposits,Jiaodong



## 小结

1、胶东金矿集中区位于东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的 **NNE** 构造剪切带中。在亚洲-太平洋相互作用巨型带中通常可以统称为洋-陆过渡带，受区域反钟向扭动应力场控制，形成相当于李四光（1973）所指出的新华夏系巨型 **NNE** 方向构造剪切带。新华夏系实际上是东亚大陆与西太平洋带活动带相互关联的构造剪切带和活动地带。巨型带沿大陆部分表现最明显的构造是 **NNE** 剪切带对于比较古老的 **EW** 向复杂纬向构造体系的改造。

2、胶东中生代主要发育新华夏体系和华夏式构造系两个剪切扭动构造型式，而纬向构造体系，即 **EW** 向挤压构造不发育。新华夏构造体系和华夏式构造体系之不同规模、级别和序次成分的复合叠加而成的构造变形岩相带及其有利成矿地质地球化学条件，成为胶东金矿控矿的构造背景。

胶东变质岩基底的呈现为近 **EW** 向波状弧形状展布的“**S**”形构造岩相型式。中生代盖层经华夏式及新华夏系的构造复合形成“**N**”形构造岩相形式，它是 **NNE** 区域压扭构造叠加复合 **NE** 和 **NEE** 向构造与岩相带而成的。胶东中生代构造岩相形式对于变质岩基底构造岩相型式的叠加改造控制胶东金矿成矿规律。

3、胶东金矿成矿期构造具有多层次控矿特点，新华夏系 **NEE** 向泰山式构造控制胶东金矿区域分带的展布；新华夏系 **NNE** 向区域剪切带控制金矿田产生部位；构造带断裂性质控制金矿矿床类别；构造断裂带的产状控制矿床矿体的倾伏侧伏规律；剪切构造两盘的运移特点和断裂组合形式控制矿脉的三维空间分布特点；构造变形岩相带控制不仅其间地球化学过程；构造作用还控制成矿物理化学条件。

4 成矿构造和矿体构造测量分析表明（吕古贤等 1993、1999），胶东具有统一构造应力

场；成矿期构造应力场最大主应力和最小主应力轴面是近于水平的，而中间主应力轴接近于垂直；成矿期区域应力场水平剪切非常明显，呈反钟向扭动剪切，具有新华夏构造体系应力场特征。可以发现，成矿期构造环境还具有松弛和拉张的特点，即燕山晚期发生右性顺时针扭动剪切，具体说，就是较普遍发育断裂上盘下滑情况下成矿的实例。可见是上述大地构造环境和应力场特点是胶东金矿诸多控矿特点的背景，也是构造力成为成岩成矿营力的原因。

从成矿构造分析和研究指出，东亚中生代虽然总体受区域反钟向扭动应力场控制，但是在一定时段有顺钟向的构造运动，至少矿床构造研究资料表明金矿成矿阶段是一种引张的，或说是一种松弛的构造环境。这个问题需要深入全面的研究。

感谢陈毓川、翟裕生、常印佛、叶天竺、马宗晋、任纪舜、赵文津、马瑾、肖庆辉、李东旭和刘瑞珣等师长多年的帮助与指教。

### 参考文献

1. 郭振一、孙秀珠，山东省主要构造体系及其与某些矿产的关系，自：中国分省构造体系研究论文。地质矿产部地质力学研究所编。北京：地质出版社，1983. 135-148。
2. 李东旭、周济元，1986，地质力学导论。北京：地质出版社，1-343。
3. 李惠、李国义、禹斌，2006，金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果，北京：地质出版社。1-146。
4. 李四光，1973，地质力学概论，北京：科学出版社。1-100。
5. 李四光，1953，关于地质构造的三个基本概念，地质学报，33（4）：233-260。
6. 李述靖，1982，关于华夏方向构造研究的若干问题。地质力学论丛，6号，213-224。
7. 李兆麟，1986，粒间溶液与成矿作用，地质学报，60（2）：189-201。
8. 李兆麟、扬荣勇、孙晓明、李院生，1996，地质作用中的流体形成演化和成矿作用研究。地学前缘，3（4）：237-244。
9. 林文蔚、殷秀兰，1998，成矿流体的浓缩作用及浓缩方式研究，地球学报，19（2）：158-165。
10. 刘瑞珣，1988，显微构造地质学。北京：北京大学出版社。1-235。
11. 吕古贤，1991a，胶东半岛构造—岩相型式及玲珑—焦家式金矿的构造动力成岩成矿地质特征研究。中国地质科学院院报，（23）：65—80。
12. 吕古贤，1991b，关于构造物理化学的初步探讨，中国区域地质，3：245-261。
13. 吕古贤，山东玲珑金矿田和焦家金矿田成矿深度的测算与研究方法，中国科学（D辑），1997，27（4），337—342。
14. 吕古贤、孔庆存，1993，胶东玲珑—焦家式金矿地质，北京：科学出版社，1-253。
15. 吕古贤，1998，胶东玲珑—焦家式金矿床矿源岩系（序）列研究，矿床地质，17（增），935-938。
16. 吕古贤、林文蔚、罗元华，李晓波，倪师军，邓军等，1999，构造物理化学与金矿成矿预测，北京：地质出版社。1-458。
17. 吕古贤、王志刚、邓军，1997，胶东金矿新的矿床类型——变质岩系中大规模剪切带蚀变岩型金矿，地质论评，43（1）：44。
18. 裘有守、王孔海、扬广华、李才春、余汉茂、崔克英、庞庆邦、韩丹、马启波、李光远，1988，山东省招—掖金矿带区域成矿条件，沈阳：辽宁科技出版社，1-291。
19. 山东招金集团公司，2002，招远金矿集中区地质与找矿，北京：地震出版社，1-439。
20. 王义文、朱奉山、宫润潭，2002，构造同位素地球化学—胶东金矿集中区硫同位素再研究，自：中

- 国金都招远国际紧缺地质与勘查学术论坛，北京：地震出版社， 179-184。
21. 万天丰， 1993，中国东部中、新生代板内变形构造应力场及其应用，北京：地质出版社，1-102。
  22. 吴学益，1998, 构造地球化学导论。贵州：贵州科学技术出版社，1-200。
  23. 杨开庆，1982，关于构造控岩控矿与构造成岩成矿问题，地质力学论丛，6号，9—19页。
  24. 杨开庆，1986，动力成岩成矿理论的研究内容和方向，中国地质科学院地质力学研究所所刊，北京：地质出版社，(7)：1—14，页。
  25. 杨敏之、吕古贤，1996，胶东绿岩带金矿地质地球化学，北京：地质出版社， 1-228
  26. 姚凤良、刘连登、孔庆存、宫润潭，1991，胶东西北部矿状金矿，长春：吉林科学技术出版社，. 1-190。
  27. 张蕴璞、吕以发、赵惠傅，1988，山东掖县北部覆盖地区焦家式金矿成矿地质条件及成矿方向，中国金矿主要类型区域成矿条件文集，(5)，北京：地质出版社 46-84。
  28. Hutchinson R. W. . 1980, Massive Base Metal Sulphide Deposits as Guides to Tectonic Evolution. In: Strangway D. W. ed. The Continental Crust and Its Mineral Deposits. Geological Association of Canada Special Paper, 20, 659-684.