

焦家金成矿带地球化学特征及深部成矿预测模型研究

尤孝才^{1,2}, 姚书振¹, 颜世强², 石玉臣²

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083; 3. 山东省地质矿产局, 济南, 250013)

作者简介: 尤孝才(1967年10月—), 男, 汉, 江苏省徐州市, 研究员, 从事地质矿产战略研究工作, 中国地质大学(武汉)在读博士。

联系电话: 010-62303033, 手机: 13522168980;

Email: yxoaocai@mail.cgs.gov.cn

yanshqi@china.com

地址: 北京市海淀区学院路40号(研一楼)

中国地质调查局发展研究中心科技处

邮编: 100083

投稿日期: 2007年3月20日

本文受山东省地矿局自立的《山东省焦家成矿带深部金矿成矿预测》科研项目支持。

摘要: 本文在充分总结分析山东省区域地球化学特征和焦家金成矿带地球化学特征的基础上, 建立焦家金成矿带地球化学找矿模型, 结合详细的区域成矿规律研究成果, 对区内深部大中型金矿床进行了预测。

关键词: 焦家金成矿带 地球化学特征 深部成矿预测模型

中图分类号:

文献标识码:

焦家金成矿带位于胶东半岛西北部, 大地构造位置处于华北地台南缘胶北地体的胶北隆起区, 西靠沂沭断裂带, 南接胶莱拗陷, 北邻龙口断陷盆地和渤海拗陷, 东接牟平—即墨构造混杂岩带, 是我国重要的金矿产区。该带相继勘查评价了焦家、新城、河西三个特大型金矿床及河东、东季、马塘、望儿山等数个大型、中型金矿床, 累计探明金储量350多吨。但其金矿勘查深度受勘查技术和开发经济技术条件的限制, 大多属于中浅部。近年来, 随着开发利用程度的不断提高, 部分矿山浅部资源出现了危机, 实现深部矿产资源的开发, 拓展找矿空间, 尤其是开拓“深部第二找矿空间”, 对实现区域经济可持续发展,

缩小与国外矿产开发发达国家在该领域的差距具有重要意义。

1 金成矿地质特征

金矿的形成是地壳一定发展时期的产物，矿床的空间定位由其所处的大地构造背景所决定。在构造岩浆活动中改造的地层在成矿作用过程中往往提供成矿物质来源，断裂构造为矿液运移和沉淀提供了良好通道和赋矿空间，岩浆活动是矿质供应和运移的主要热液来源^①。研究区内古老的基底变形变质岩系，多期多成因的岩浆活动和以北东向断裂为主的构造格架，构成了本区金矿的“三位一体”的成矿地质背景，而其外在表现是地球物理和地球化学元素组合的异常，这些是开展深部找矿预测的重要找矿标志。

1.1 地层特征

在焦家金成矿带，姚家、东季、焦家等金矿床都赋存在胶东岩群地层与玲珑花岗岩或郭家岭花岗闪长岩的断裂接触带内，地层位于矿体上盘，在接触带内发育有不同程度的蚀变与矿化。胶东岩群是一套中基性—中酸性火山碎屑沉积岩，在构造、岩浆活动和区域变质作用下使其中的金元素多次发生活化迁移，并在适宜的构造空间富集，为金的成矿提供了部分物质来源。

1.2 岩浆岩特征

岩浆岩在胶东金成矿作用中起着十分重要的作用。其中玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩与金矿形成联系密切。据“焦家金矿带 1:25 万金矿成矿预测”统计，在胶东西部地区与这两种花岗岩有关的金矿床约占胶东西部金矿床的 74%，中型至特大型有 23 个，而且，已知金矿田的空间定位，均受玲珑花岗岩与郭家岭花岗闪长岩构成的东西向的构造岩浆岩带与北东向断裂构造的交汇部位控制。从空间关系上看，绝大部分金矿均直接产在玲珑花岗岩或郭家岭花岗闪长岩中，或其边缘及外接触带。

就焦家成矿带而言，金矿床多分布在郭家岭花岗闪长岩的内接触带、边缘及外接触带。郭家岭花岗闪长岩在金矿找矿工作中具有重要意义，而这种意义的体现与中生代形成的岩浆热液在成矿作用过程中起了热驱动的作用有关。郭家岭花岗闪长岩其内或边缘及外接触带通过的北东或北北东向断裂构造是金矿床定位的主要因素。

1.3 构造特征

在胶东金矿成矿过程中，构造起主导控制作用。胶西北地区的构造格架由韧性～脆性断裂和褶皱变形组成，其中断裂构造的控矿特征尤为明显。多方位、多时代、多

^①山东省地质矿产局第六地质队，山东省胶东西北部焦家金矿带 1:2.5 万金矿成矿预测报告，1993。

活动期、性质多变化的断裂构造相互贯通，为含矿（成矿）热液的形成和运移创造了开放的空间，并在以燕山期为主的成矿期间强烈活动发育的北东～北北东向断裂带富集成矿。以仓上一三山岛、龙莱、招平三条北东～北北东向的主干断裂带构造为代表，控制了胶东地区主要的大型和特大型金矿床；三条主干断裂带的伴生和次生断裂控制了一批中型金矿床；分布于上述断裂之间的更低序次的断裂或裂隙群控制了更多的小型金矿床或金矿点。

焦家成矿带，是区域上是龙莱弧形断裂带的一部分，由焦家主干断裂及望儿山支断裂和河西支断裂构成。焦家主干断裂控制了新城、焦家两个特大型金矿床及东季、马塘、寺庄 3 个中型以上规模的金矿床。望儿山支断裂控制了上庄、河东、望儿山 3 个中型以上规模的金矿床。河西支断裂控制了河西特大型金矿床。对金矿具有控制作用的断裂构造带，尽管其规模产状有异，发育程度不一样，但其总的特点都是由构造岩构成的宽大破碎带。断裂带内以断层泥为主裂面，上下盘对称发育着黄铁绢英岩花岗质角砾岩、碎裂岩及碎裂状花岗岩带或花岗闪长岩带，且下盘较上盘发育，并在近主裂面的下盘发育有黄铁绢英岩带。储矿地段的构造岩经蚀变矿化叠加形成蚀变热动力变质带。矿化强度、蚀变程度、矿体特征及结构构造等，严格受矿化地段的构造岩的规模、特征制约。

2 区域地球化学特征

地球化学参数是指元素平均含量值 $\bar{X} (=1/n \sum X_i)$ 、离差 $S (= \sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1))$ 和变异系数 $C_v (=S/\bar{X})$ 。平均值反映地质单元元素含量值，离差和变异系数反映背景含量的均匀程度。工作中分别除奇异值和不剔除奇异值进行统计。剔除奇异值的地球化学参数反映地层单元形成时的元素含量及元素分布的变化情况；未剔除奇异值的地球化学参数则反映后期构造、岩浆作用的叠加影响，成矿作用的程度等。胶东地区各地质单元的 Au 元素地球化学参数见表 1。

胶东地区各地质单元金元素地球化学参数统计表 表 1

| 地质时代 | 地层或单元 岩浆岩单元 | 金(剔除奇异值) | | | 金(未剔除奇异值) | | |
|------|----------------|----------|------|------|-----------|-------|------|
| | | 平均值 | 离差 | 变异系数 | 平均值 | 离差 | 变异系数 |
| | 全省 | 1.56 | 0.59 | 0.38 | 2.99 | 18.52 | 6.20 |
| 中生代 | 王氏群 | 1.46 | 0.49 | 0.33 | 1.50 | 0.57 | 0.38 |
| | 大盛群 | 1.48 | 0.44 | 0.30 | 1.58 | 0.72 | 0.46 |
| | 青山群 | 1.64 | 0.63 | 0.39 | 2.24 | 4.66 | 2.08 |
| | 莱阳群 | 1.68 | 0.75 | 0.45 | 3.81 | 33.9 | 8.91 |
| | 侏罗系 | 1.82 | 0.91 | 0.50 | 1.82 | 0.92 | 0.51 |

| | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|-------|------|
| 元古代 | 蓬莱群 | 2.03 | 0.73 | 0.36 | 2.88 | 2.72 | 0.94 |
| | 粉子山群 | 2.38 | 1.30 | 0.55 | 2.90 | 2.63 | 0.91 |
| | 荆山群 | 1.79 | 2.82 | 1.15 | 3.40 | 10.38 | 3.05 |
| 晚元古代 | 胶南群 | 1.63 | 0.45 | 0.28 | 2.98 | 6.06 | 2.03 |
| | 胶东岩群 | 1.80 | 0.95 | 0.53 | 4.47 | 11.88 | 2.65 |
| 燕山晚期 | 崂山超单元 | 1.82 | 0.67 | 0.37 | 2.16 | 3.11 | 1.44 |
| | 伟德山超单元 | 1.50 | 0.64 | 0.43 | 1.64 | 0.99 | 0.60 |
| 燕山早期 | 郭家岭超单元 | 1.76 | 0.57 | 0.32 | 9.91 | 36.9 | 3.72 |
| 印支期 | 宁津所超单元 | 1.86 | 0.86 | 0.46 | 2.12 | 1.33 | 0.62 |
| | 文登超单元 | 1.47 | 0.52 | 0.36 | 5.40 | 27.8 | 5.14 |
| 晋宁期 | 玲珑超单元 | 1.62 | 0.81 | 0.50 | 13.9 | 53.7 | 3.88 |
| | 荣成超单元 | 1.55 | 0.57 | 0.37 | 2.55 | 4.37 | 1.94 |
| 四堡期 | 海阳所超单元 | 1.65 | 0.15 | 0.09 | 1.65 | 0.19 | 0.11 |
| 阜平期 | 峰山超单元 | 1.57 | 0.65 | 0.41 | 1.98 | 2.78 | 1.41 |
| | 栖霞超单元 | 1.38 | 0.45 | 0.33 | 2.00 | 3.61 | 1.81 |

含量单位为 $\times 10^{-9}$

计算各地层单元的浓集比率 K，叠加强度 D，变异系数 C_v ，可以看出：

金元素的浓集比率 K，叠加强度 D，变异系数 C_v 都出现峰值的地质单元为胶东岩群、荆山群、莱阳群、印支期中性岩、燕山晚期中性岩、燕山晚期碱性岩、玲珑、宁津所、郭家岭超单元。其浓集比率均大于 1，玲珑、郭家岭超单元大于 6，胶东岩群、荆山群、莱阳群大于 2，说明这些地层单元的金含量较区内其它地层单元高，与地质上矿源层和矿源岩意义一致。同时它们的变异系数、叠加强度变化较大，高于平均值的 1—10 倍，表明它们的金含量变化较大，后期金元素叠加和成矿地球化学作用较强，即在这些地层单元分布区金成矿作用最强，利于成矿。

银元素的浓集比率 K，叠加强度 D，变异系数 C_v 都出现峰值的地质单元为粉子山群、吕梁期中酸性岩、晋宁期中酸性岩、燕山早期中性岩、燕山晚期中性岩、玲珑、郭家岭、伟德山超单元。说明这些地质单元的银含量较区内其它地质单元高，同时银含量的变化较大，后期的银元素叠加和成矿地球化学作用较强。即在这些地质单元中银成矿作用最强，有利于成矿。

3 焦家金成矿带地球化学场特征

3.1 区域分布特征

金元素：高背景区 ($1.77 \times 10^{-9} \sim 2.15 \times 10^{-9}$) 主要分布于元古—太古代的变质岩系及中生代侵入岩等；分布地区主要为胶北地区、胶南地区等地。总体走向在胶北隆起呈近 EW 向，与区域构造方向是一致的。

异常区 ($>2.15 \times 10^{-9}$) 主要分布于招-莱地区, 蓬莱地区、威海—文登地区、海阳地区、昌平莱地区等。

银元素: 高背景区 ($51.90 \times 10^{-9} \sim 62.01 \times 10^{-9}$) 主要分布在胶北隆起西部及胶南隆起和胶莱盆地东北缘的莱阳群分布区。

异常区 ($>62.01 \times 10^{-9}$) 主要分布于郭家岭超单元、荣成超单元、伟德山超单元、青山群、莱阳群等地层单元分布区。分布地区主要为文登-荣成、招远—龙口—蓬莱、栖霞—郭城—烟台、乳山等地。

3.2 水系沉积物地球化学场特征

1:20 万及 1:5 万水系沉积物测量资料均表明, 焦家成矿带处在金元素的高背景区和异常集中区。1:5 万化探将莱州—新城浓集中心分解为多个局部异常, 从南向北主要异常有: 王家庄子东、腾冯家、焦家、冷家庄子、前孙家、丁家庄、洼孙家、王家及前康家, 异常幅值 $5 \sim 200 \times 10^{-9}$, 以前孙家为最高, 局部异常面积 $4 \sim 10 \text{ km}^2$ 。这些异常有呈 NW 向分布的趋势, 但总体上呈近 EW 向。已知矿床 80% 以上分布在上述局部异常区内。

银、铋等元素的地球化学场特征基本与金元素特征相似, 元素背景场的分布与金元素吻合。银、铋是金的有效指示元素, 具有前缘作用, 其指示效能受壳层剥蚀深度的影响。

4 焦家金成矿带蚀变岩石地球化学特征

热液蚀变的意义在于对其组分的全面改造, 提高了各类组份的活性, 是新矿物形成和成矿物质富集的必要条件。本区金矿床的围岩蚀变类型主要包括钾长石化、红化、黄铁绢英岩化、硅化、碳酸盐化和绿泥石化, 并伴有金属硫化物和金银矿化[1]。

从氧化物图表变化可以看出 (表 2), 蚀变岩与围岩相比, 相对活跃的组分为 K、Na、Fe, Ca、Mg; 不活跃组份为 Si、Al、Mn, 含量变化比较平稳。从组分总量看, 蚀变岩中 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 的含量高于黑云母花岗岩而低于胶东岩群地层, 这与蚀变岩的黄铁矿化关系密切; 蚀变岩及黑云母花岗岩中 K_2O 的含量高于胶东岩群地层, 这与蚀变岩普遍发育钾化有关。

主要围岩及蚀变岩氧化物含量 表 2

| 岩 性 | 岩石化学成分 (%) | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------|------|------|-----------------------|----------------------|----------------|------|------------------------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | FeO | MgO | CaO | Na_2O | K_2O | TiO_2 | MnO | P_2O_5 |
| 黑 云 变 粒 岩 | 70.24 | 15.45 | 1.52 | 1.46 | 1.22 | 2.57 | 4.74 | 1.75 | 0.20 | 0.02 | — |
| 斜 长 角 闪 岩 | 55.68 | 14.46 | 3.72 | 5.05 | 5.21 | 8.30 | 3.84 | 1.95 | 0.46 | 0.16 | — |
| 黑 云 母 花 岗 岩 | 69.18 | 15.34 | 1.04 | 1.89 | 0.6 | 2.05 | 4.15 | 3.93 | 0.2 | 0.02 | 0.09 |
| 钾 长 石 化 花 岗 岩 | 74.09 | 14.52 | 0.41 | 0.14 | 0.29 | 0.3 | 3.78 | 5.98 | 0.09 | 0.01 | 0.05 |
| 黄铁绢英岩化花岗岩 | 74.04 | 12.59 | 1.07 | 1.08 | 0.03 | 0.38 | 3.62 | 5.43 | 0.17 | 0.03 | 0.04 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩 | 73.16 | 12.26 | 2.21 | 0.88 | 0.51 | 1.73 | 1 | 4.62 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| 黄铁绢英岩化碎裂岩 | 72.61 | 12.82 | 2.34 | 1.71 | 0.66 | 0.93 | 0.13 | 4.16 | 0.09 | 0.02 | 0.05 |

从微量元素变化看出, Au、Ag、Pb、Zn、Cu 为蚀变带内的活跃组份, 尤其是 Au、Ag、Pb、Zn 的变化程度高。这与蚀变岩中 Pb、Zn、Cu 等多金属硫化物含量较高且金银矿物多赋存于其中有关。

5 焦家金成矿带矿石地球化学特征

据光谱半定量分析及全分析结果, 该区域金矿石的主要化学成分有: Si、Al、K、Fe、S、Ti、P、Co、Mg、As、Mn、Pb、W、Cr、Cu、Zn、Bi、Ni、Au、Ag、Mo、Sn 等。

S、Fe 是 Au、Ag 的主要伴生元素。矿石中普遍存在有黄铁矿, 反映当时的介质处于还原环境, 有利于金的沉淀; As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Se、Te、Hg 等微量元素的原子构型相似, 常与 S、Fe 形成硫化物、砷化物、硫砷化合物或进入硫酸盐中, 构成金矿床的常见矿物。

该区金矿床的微量元素 As、Sb、Bi 的含量较高, 多数 Sb、Bi 与 Au、Ag 的含量成正比。Cu、Pb、Zn 是主要的成矿元素, 含量较高, 这些亲硫元素在矿石中以硫化物的形式存在, 当碱性溶液遇到硫化物时可向酸性转化而有利于金的沉淀。

Co、Ni 含量因矿床类型不同存在差异, Ni 含量高于 Co。蚀变岩型金矿床的 Co / Ni 值为 0.0200—0.1038。石英脉型金矿床 Co / Ni 为 0.1516。

6 地球化学找矿模型

6.1 次生异常的地球化学找矿模型

元素的含量在土壤不同的层位、粒级中有差异。在发育完整的土壤中, Au、Ag、pb 元素在土壤的 A₂层中富集, Cu、Zn 元素在土壤 B 层相对富集。在土壤不同粒级中, Au、Ag 主要在 0.3—1mm 的粒级富集。Cu、Pb、Zn、Co、Ni 元素在 0.15—0.3mm 粒级富集。

金矿体次生异常特征主要受矿床剥蚀面位置及土壤覆盖厚度的影响^①。金矿体被剥蚀时, 在残坡积物中(覆盖较浅的土壤 C 层)的次生异常元素组合复杂, 异常范围大、异常强度高, 即众所周知的异常特征高、大、全; 在土壤 A₂层中(覆盖较厚)的次生异常, 元素组合简单, 以 Au、Ag 为主, 异常强度以内、中、外分带。当金矿体隐伏时, 在土壤 A₂层中的次生异常以成矿元素 Au 为主, 异常强度以外带浓度分带为特征。

6.2 原生晕的地球化学找矿模型

^①山东省物化探勘查院. 胶东破碎带蚀变岩型金矿床地质—地球物理—地球化学找矿模型评价指标研究及预测, 1992

破碎带蚀变岩型金矿体原生晕组份是非常复杂的,异常含量高于岩石背景的元素有 Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Mn、Sr、Ba、K、F 等,异常含量低于岩石背景的元素有 Na、W、Sn、Mo、Se、Te、I。而 Pb、Zn 元素具“两栖”元素的特征,即在主断裂带中与支断裂带中金矿体原生晕特征有差异,Pb、Zn 元素异常在主断裂带金矿体中呈正异常形式,而在支断裂带金矿体中呈负异常形式。该类型金矿体的原生晕主要指示元素有 Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi 等 8 种。

构造蚀变岩带控制了原生晕的空间分布,矿体形态决定了晕的形态,在平剖面上,异常形态呈两端尖灭的带状。指示元素晕的异常含量在 2—4 个数量级之间变化波动。蚀变矿化叠加程度,影响元素异常含量高低,指示元素晕的规模远大于金矿体规模,特别是成矿元素 Au。指示元素晕的组分分带不甚明显,浓度分带明显。Au、Na、K 是矿体蚀变围岩的指示元素: Au 外带 ($25—50 \times 10^{-9}$) 与构造蚀变岩相吻合,是矿化的异常标志, Au 的内带 ($>100 \times 10^{-9}$) 是金矿体的大致范围。Na 元素是蚀变岩内典型的负异常,蚀变岩愈靠近金矿体 Na 异常值愈低。金矿体内 Na 异常值最低。沿金矿体轴向,金矿体前方至少 500 米内 Au、K、Na 异常仍发育。

金矿体轴向元素序列分带从上到下: Sb—As—Cu—Bi—Au—Ag—Pb—Zn。矿前与矿后不同剥蚀面的元素组合有差异,矿前以 As、Sb、Cu、Bi 为主。矿后以 Ag、Pb、Zn 为主。花岗岩内部接触带内的金矿床和花岗岩与变质岩接触带内的金矿床的原生晕特征无本质差异。它们具有相似的轴向元素序列分带。支断裂带中金矿体轴向元素分带序列从上到下: As—Cu—Ag—Bi—Au—Sb—Pb—Zn, Pb、Zn 元素以负异常为主要特征。由元素序列分带确定的矿上元素与矿下元素的比值对判断金矿体的剥蚀面具有重要意义,当评价指标值大于 2 时是矿前剥蚀面位置(矿体隐伏),评价指标值 0—2 之间是金矿体位置,评价指标值小于 0 时是矿后剥蚀面位置。沿金矿体轴向,金矿体前方至少 500 米内 Au、K、Na 异常仍发育。

7 成矿预测

根据上述研究确定的地球化学找矿模型[2],结合详细的区域成矿规律研究成果[3],对焦家成矿带深部可能存在的中大型规模的金矿床(体)进行预测评价。本次预测研究目标体是焦家主干断裂蚀变带、望儿山断裂蚀变带及河西断裂蚀变带的深部。共圈定龙口市黄山镇姚家、龙口市王家、招远市后沟子、招远市上庄、招远市河东、招远市河西—红布、莱州市东季—新城、莱州市焦家—马塘、莱州市望儿山、莱州市寺庄和莱州市徐村院等 11 处大中型找矿靶区,矿体 25 个。部分成果已经钻探验证。

如位于招远市西北部的 **A—5 预测靶区**。矿床受焦家主干断裂带下盘的望儿山支断裂控

制，含矿蚀变带产状与断裂破碎带产状基本一致。该矿床有原生晕地球化学异常分布，其峰值为 $\text{Au}97 \times 10^{-9}$ ， $\text{Ag}421 \times 10^{-9}$ ， $\text{Pb}160 \times 10^{-6}$ ， $\text{Zn}68.4 \times 10^{-6}$ ， $\text{Bi}0.76 \times 10^{-6}$ ， $\text{Mo}44 \times 10^{-6}$ 。土壤地球化学异常峰值为 $\text{Au}0.78 \times 10^{-6}$ ， $\text{Ag}0.76 \times 10^{-6}$ ，Cu、Pb、Zn、As、Co、Ni 均有高值点。重砂异常为金+黄铁矿型，其峰值为金 0.1181×10^{-6} ，黄铁矿 0.0075×10^{-6} 。经钻探已探明①号主矿体，为第一层矿体，预测-450至-1000米标高为第二层矿体，预测资源量55905公斤，为特大型矿床。

参考文献

- [1] 郑若惠. 山东招莱地区金矿床矿石物质组成及金的伴生矿物标型特征[J]. 山东地质, 1993 (2): 73-83.
- [2] Antropova LV et al. New methods of regional exploration for blind mineralization: application in the USSR[J], *Geochem. Explor.*, 43: 157-166. 1992
- [3] 王世称、成秋明、范继璋等, 金矿资源综合信息评价方法[A], 吉林科学技术出版社, 1990