

# 甘肃东海金矿地质特征及成因探讨

刘堆富<sup>1,2</sup>, 赵立春<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 甘肃有色地质勘查局四队, 甘肃 张掖 734012;  
3. 甘肃省安西县矿管局, 甘肃 安西 735000)

摘 要: 文章阐述了东海金矿地层、构造、侵入岩、矿体特征、围岩蚀变及矿床硫、铅同位素特征, 指出了矿体受控于构造和华力西中晚期酸性侵入岩, 总结了矿化富集规律, 认为该矿床具有多成因成矿床之“五多”之特点。

关键词: 地质特征; 矿床成因; 东海金矿; 甘肃

中图分类号: P618.51; P611 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2002) 02-0097-06

## 1 区域地质概况

东海金矿位于甘肃省肃北县境内, 大地构造位置位于阴山—天山纬向构造体系西段—天山纬向构造带东端的柳园—天仓褶断带中, 由于受祁吕系西翼褶皱带、阿尔金山 NEE 向构造带和阿拉善弧形构造带西翼的干扰, 该带 EW 向构造形迹常被扭曲改造, 呈‘S’形波状展布。该带以古生界组成的褶皱、断裂和晚古生代岩浆岩带、区域动力热流变质带为主体, 构成一系列相间排列的褶皱和断裂带。有资料表明<sup>[1, 2, 3]</sup>, 该带为甘肃北山地区重要的 Au, Ag, Pb, Zn 等多金属成矿带, 典型矿床有产于该带北缘奥陶系中的东海金矿、花牛山铅锌矿、南泉银金矿、花牛山金矿, 产于该带北缘花岗岩中的拾金坡金矿, 产于该带南缘二叠系中的新金厂金矿、老金厂金矿。如图 1 所示。

## 2 矿区地质概况

### 2.1 地层

矿区出露地层除第四系冲积、洪积物外, 主要为奥陶系中统灰岩、板岩、安山岩、英安岩、细碧岩、玄武岩、火山碎屑岩, 整体呈近 EW 向展布, 构成一向 S 倾的单斜, 倾角 50°~70°。

许多研究者认为 $[M] = w(MgO) / w(MgO + < FeO >)$  是反映岩浆和岩石演化的重要参数(杨美娥等, 1981)。经计算, 玄武岩 $[M]$  值为 0.66, 火山碎屑岩 $[M]$  值为 0.59, 安山岩 $[M]$  值为 0.54, 细碧岩 $[M]$  值为 0.95, 英安岩 $[M]$  值为 0.65, 除细碧岩大于残留地幔岩 $[M]$  值(0.89~0.92)外, 其余岩石的 $[M]$  值均接近原始岩浆的 $[M]$  值(0.68~0.72), 且 $[M]$  值变化不大, 反映它们之间分异演化相差不大。

表 1 东海金矿岩石化学全分析结果一览表

Table 1 Bulk analysis of rock samples from Donghai Au deposit

| 序号 | 岩石名称  | 分 析 结 果 (w / %)  |                  |                                |                                |      |      |      |       |                  |                   |                               |                               |                               | 烧失量  | Σ      |
|----|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|--------|
|    |       | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> |      |        |
| 1  | 玄武岩   | 50.17            | 0.89             | 19.23                          | 2.80                           | 3.67 | 0.30 | 7.22 | 7.61  | 1.53             | 3.71              | 0.25                          | 2.55                          | 0.16                          | 2.64 | 102.73 |
| 2  | 火山碎屑岩 | 62.32            | 0.55             | 16.44                          | 2.76                           | 2.12 | 0.13 | 3.10 | 2.46  | 2.35             | 3.55              | 0.22                          | 2.23                          | 0.22                          | 2.97 | 101.42 |
| 3  | 安山岩   | 62.57            | 0.67             | 14.36                          | 0.66                           | 4.54 | 0.15 | 5.36 | 0.78  | 4.67             | 0.54              | 0.28                          | 1.02                          | 0.26                          | 4.25 | 100.11 |
| 4  | 细碧岩   | 44.90            | 0.47             | 10.73                          | 3.69                           | 0.55 | 0.39 | 9.56 | 23.95 | 2.81             | 0.54              | 0.18                          | 1.35                          | 0.26                          | 3.81 | 103.19 |
| 5  | 英安岩   | 73.33            | 0.40             | 10.52                          | 0.82                           | 1.74 | 0.15 | 3.28 | 2.26  | 3.46             | 1.49              | 0.16                          | 0.27                          | 0.17                          | 1.94 | 99.99  |

测试单位: 甘肃有色地质勘查局四队。

收稿日期: 2001-11-29; 修订日期: 2002-4-3

作者简介: 刘堆富(1973-), 男, 甘肃静宁人, 地质工程师, 1996年毕业于中南工业大学(现为中南大学)资源环境与建筑工程学院, 现为中国地质大学地质专业在职硕士研究生。一直从事地质找矿和矿产资源评价工作。



系指数略大于 2, 反映其岩浆分异程度相对较高。

表 2 东海金矿岩浆岩岩石化学分析计算结果

Table 2 Petrochemical analysis of magmatic rocks in Donghai Au mine

| 序号                         | 岩石名称    | 样品数 | 分 析 结 果          |                  |                                |                                |      |      |      |      |                  |                   | (wB/%)                        |       |      |
|----------------------------|---------|-----|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------|------|
|                            |         |     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | A · R |      |
| 1                          | 黑云钾长花岗岩 | 3   | 74.64            | 0.24             | 12.00                          | 1.04                           | 0.61 | 0.07 | 0.21 | 1.22 | 4.33             | 3.76              | 0.032                         | 2.07  | 1.61 |
| 2                          | 花岗闪长岩   | 2   | 64.14            | 0.76             | 14.33                          | 0.90                           | 1.15 | 0.18 | 0.51 | 2.45 | 4.11             | 3.80              | 0.031                         | 2.96  | 1.47 |
| 3                          | 二长花岗岩   | 4   | 72.17            | 0.20             | 14.69                          | 1.09                           | 0.22 | 0.07 | 0.57 | 1.71 | 4.85             | 3.62              | 0.084                         | 2.46  | 1.52 |
| 我国酸性侵入岩平均含量 <sup>[4]</sup> |         |     | 70.82            | 0.30             | 14.20                          | 1.22                           | 1.60 | 0.05 | 0.94 | 1.83 | 4.00             | 3.52              |                               | 2.03  | 1.47 |

测试单位: 甘肃有色地质勘查局四队。

表 3 与金成矿有关的侵入岩微量元素质量分数

Table 3 Micro-element analysis of intrusive rocks related to Au ore

wB/10<sup>-6</sup>

| 岩 性                            | 样品数 | Au      | Ag    | Cu    | Pb    | Zn     | Sb   | As     | Hg    | V      | Ti      | Cr    | Ni    | Co    | W    | Sn   | Mo   | Bi   | Mn      | Ba     |
|--------------------------------|-----|---------|-------|-------|-------|--------|------|--------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|---------|--------|
| 花岗闪长岩                          | 6   | 0.00493 | 0.75  | 17.37 | 31.58 | 102.17 | 0.98 | 30.34  | 0.014 | 5.18   | 1113.25 | 16.77 | 4.82  | 4.98  | 3.56 | 2.18 | 0.96 | 0.47 | 685.40  | 369.33 |
| 二长花岗岩                          | 7   | 0.02137 | 1.18  | 18.07 | 65.09 | 211    | 3.47 | 142.04 | 0.011 | 83.86  | 4458.71 | 29.10 | 10.73 | 11.91 | 7.36 | 6.47 | 1.63 | 0.45 | 1046.43 | 504.71 |
| 北山全区酸性岩体<br>丰度值 <sup>[1]</sup> |     | 0.00279 | 0.084 | 19.50 | 21.10 | 54.20  | 0.27 | 5.50   | 0.029 | 105.40 | 3579    | 75.60 | 22.80 | 22.70 | 1.74 | 1.54 | 0.72 | 0.39 | 722     | 457.10 |

测试单位: 有色金属桂林矿产地质测试中心分析。其中 w(Au·Ag)/10<sup>-9</sup>

由表 3 可知, 与金成矿有关的侵入岩的 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As 等中低温亲硫元素的含量明显高于本区区域丰度值, 反映了这些岩体具有较好的 Au 等成矿元素的初始富集基础。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

矿区目前总共圈定金矿体十余条, 平面上成群展布, 多呈细脉或复脉状平行构造线方向分布, 矿化体常有分支、尖灭再现等现象。主要矿化类型为破碎蚀变岩型, 金矿体主要受控于区内走向 280°~310°和 310°~345°两组断层构造(破碎蚀变带), 分别以 3 号和 2 号矿脉为代表, 其次受控于走向近 SN 向的断层构造, 以 10 号脉为代表。此外, 还有石英脉型矿化类型, 以 7 号脉为代表。破碎蚀变岩型金矿体的含矿母岩主要为安山岩, 石英脉型金矿体的含矿母岩主要为英安岩, 如图 2 所示。

3.1.1 3 号矿脉

总体走向 285°左右, 倾向 N, 倾角 70°~81°; 长度约 285 m, 厚度 0.8~1.3 m, 金品位普遍较高, w(Au) 最高可达 16.8×10<sup>-6</sup>, Au 与 Ag, Pb, Zn 等元素高度正相关, 均在矿脉处强烈富集。以与含金矿物相关的金属硫化物的特征为标志, 矿石主要呈自形

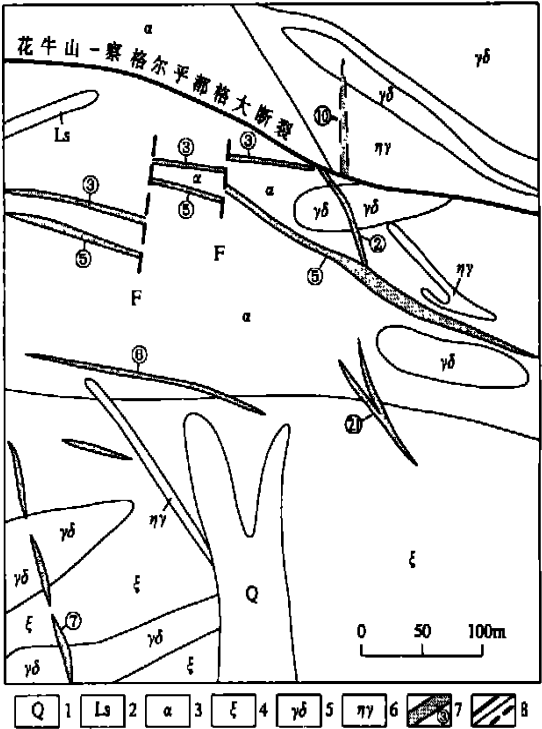


图 2 东海金矿地质略图

Fig.2 Geological sketch of Donghai Au deposit

- 1. 第四系冲积 2. 灰岩 3. 安山岩 4. 英安岩 5. 花岗闪长岩
- 6. 二长花岗岩 7. 矿体及编号 8. 断层/推测断层

一半自形—他形粒状结晶结构、溶蚀结构、交代残余结构和压碎结构, 矿石主要呈细脉浸染状构造、网状

构造和斑点状构造。金属矿物黄铁矿、毒砂、褐铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、孔雀石等常见,呈浸染状、团块状,个别处见细脉状不均匀分布,脉石矿物主要为石英和方解石,其次为绢云母。靠近矿体的围岩中金属硫化物含量明显增高,主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、孔雀石等。

3.1.2 2 号矿脉

总体走向 325 左右,倾向 SW,倾角 75 ~ 80 °;长度约 120 m,厚度 0.3 ~ 1.3 m,金品位  $w(\text{Au}) = 1.3 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6}$ ,Au 与 Ag, Pb, Zn 等元素高度正相关,均在矿脉处强烈富集。以与含金矿物相关的金属硫化物的特征为标志,矿石主要呈自形—半自形—他形粒状结晶结构、溶蚀结构、交代残余结构和压碎结构,矿石主要呈细脉浸染状构造、网状构造和斑点状构造。金属矿物黄铁矿、褐铁矿常见,偶见有方铅矿、闪锌矿、毒砂,呈浸染状、团块状,脉石矿物主要为石英和方解石,其次为绢云母。靠近矿体围岩中金属硫化物含量明显增高,主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂等。

3.1.3 10 号脉

总体走向近 SN 向,为坑道内新发现的隐伏矿体,与坑道内一条宽约 2 m 的云煌岩脉“相伴而行”,呈脉状,水平厚度 0.7 m,长约 50 m,整体产状 270 ° 75 °;  $w(\text{Au}) = 2.05 \times 10^{-6}$ 。以与含金矿物相关的金属硫化物的特征为标志,矿石主要呈自形—半自形—他形粒状结晶结构、溶蚀结构、交代残余结构和压碎结构,矿石主要呈细脉浸染状构造、网状构造和

斑点状构造。金属矿物黄铁矿、褐铁矿常见,偶见有方铅矿、闪锌矿、毒砂,呈浸染状、团块状,脉石矿物主要为石英和方解石,其次为绢云母。

3.1.4 7 号矿脉

总体走向 340 左右,倾向 SW,倾角 65 ~ 70 °;长度约 100 m,厚度 0.5 ~ 1.6 m,金品位  $w(\text{Au}) = 1.95 \times 10^{-6} \sim 3.00 \times 10^{-6}$ 。石英脉结晶程度较高,乳白色,半自形—自形粒状结构,脉内可见晶洞构造,晶洞内往往产有晶簇状石英集合体。以与含金矿物相关的金属硫化物和石英的组合为标志,矿石主要呈块状构造、角砾构造和晶洞构造,金属矿物黄铁矿、褐铁矿、孔雀石常见,呈浸染状、细脉状,脉石矿物主要为石英。

矿体中金以微晶形式被包含在黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿等硫化物中。黄铁矿是其中最重要的一种,特别是晶形呈五角十二面体和针状的黄铁矿,在破碎蚀变带中可见黄铁矿的假象黄钾铁矾集合体普遍存在。

3.2 围岩蚀变

矿脉两侧围岩蚀变较为发育,主要类型有硅化、绢云母化、铬云母化、绿泥石化、铁碳酸盐化、钾长石化,次为高岭土化。其中硅化、铬云母化与金矿化关系密切,为重要的近矿围岩蚀变标志。

3.3 矿床同位素特征

3.3.1 硫同位素特征

东海金矿矿体中硫化物 ( $^{34}\text{S}$ ) 值见表 4。

表 4 东海金矿矿体中硫化物 ( $^{34}\text{S}$ ) 值一览表  
Table 4 ( $^{34}\text{S}$ ) analysis of sulfides from Au ore bodies, Donghai Au deposit

| 矿体编号 | 黄铁矿                                  |                                         | 方铅矿                                  |                                         | 闪锌矿                                  |                                         |
|------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
|      | ( $^{34}\text{S}$ )/10 <sup>-3</sup> | ( $^{32}\text{S}$ )/( $^{34}\text{S}$ ) | ( $^{34}\text{S}$ )/10 <sup>-3</sup> | ( $^{32}\text{S}$ )/( $^{34}\text{S}$ ) | ( $^{34}\text{S}$ )/10 <sup>-3</sup> | ( $^{32}\text{S}$ )/( $^{34}\text{S}$ ) |
| 3 号  | - 8.3                                | 22.41                                   | - 10.1                               | 22.45                                   | - 8.3                                | 22.41                                   |
| 2 号  | 5.63                                 |                                         | - 7.95                               | 22.40                                   | - 6.07                               | 22.36                                   |
| 10 号 | - 5.0                                | 22.33                                   | - 8.5                                | 22.41                                   | - 6.09                               | 22.36                                   |
| 7 号  | 1.65                                 |                                         | 1.77                                 |                                         | 2.27                                 |                                         |

由成都地质学院同位素地质研究室测定。

由表 4 可知,黄铁矿的 ( $^{34}\text{S}$ ) 值有正值亦有负值,方铅矿和闪锌矿的 ( $^{34}\text{S}$ ) 值以负值为主,矿石中硫同位素 ( $^{34}\text{S}$ ) 值变化区间为  $5.63 \times 10^{-3} \sim - 10.1 \times 10^{-3}$ , ( $^{32}\text{S}$ )/(  $^{34}\text{S}$ ) 为 22.33 ~ 22.41,与陨硫相

近。 ( $^{34}\text{S}$ ) 值变化范围较小,显示了岩浆硫的特点。

3.3.2 铅同位素特征

东海金矿矿石铅同位素组成见表 5。

表 5 东海金矿矿石铅同位素组成一览表  
Table 5 Pb isotope composition of ore of Donghai Au deposit

| 矿体编号 | 同位素组成                                   |                                         |                                         | 模式年龄(M a) |
|------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|
|      | $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ | $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ | $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ | DOL 法     |
| 3 号  | 18.629                                  | 15.845                                  | 39.106                                  | 300.0     |
| 2 号  | 18.185                                  | 15.630                                  | 38.254                                  | 361.7     |
| 10 号 | 18.727                                  | 15.968                                  | 39.506                                  | 375.4     |
| 7 号  | 18.357                                  | 15.588                                  | 38.218                                  | 186.8     |

测试单位: 成都地质学院同位素地质研究室。

由表 5 可知,  $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  值为 18.185 ~ 18.727,  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  值为 15.588 ~ 15.968,  $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  值为 38.218 ~ 39.506, 比值变化范围较小, 模式年龄较分散, 而且属多时代。根据 DOL 法计算矿石铅的铅模式年龄为 186.8 ~ 375.4 Ma, 其中 180 Ma 左右的占 25%, 300 Ma 左右的占 25%, 365 Ma 左右的占 50%。这三组同位素可分别代表:

- (1) 第一组与矿区北 5 km 处和南 6 km 处的印支期黑云钾长花岗岩的成岩时代相近(岩体同位素年龄值为 186.3 ~ 204.8 Ma<sup>[2]</sup>)。
- (2) 第二组与矿区中部华力西晚期二长花岗岩的成岩时代相近(岩体同位素年龄值为 294.7 ~ 312.2 Ma<sup>[2]</sup>)。
- (3) 第三组与矿区中部华力西中期花岗闪长岩的成岩时代相近(岩体同位素年龄值为 386.08 Ma<sup>[2]</sup>)。

由此可知, 铅主要来源于上述三期不同时代的侵入岩, 同时也说明了侵入岩与成矿的关系密不可分。

3.4 矿物包裹体测温

矿区矿物包裹体用爆裂法测得温度见表 6。

表 6 东海金矿矿物包裹体爆裂法测温一览表  
Table 6 Dercepitation temperature of inclusions from Donghai Au deposit

| 矿体编号 | 测定矿物 | 爆裂温度( )   |
|------|------|-----------|
| 3 号  | 黄铁矿  | 273 ~ 595 |
| 2 号  | 方铅矿  | 263 ~ 473 |
| 10 号 | 闪锌矿  | 257 ~ 590 |
| 7 号  | 石英   | 305 ~ 460 |

由甘肃省地质矿产研究所测定。

由表 6 所得结果并结合矿物组合和围岩蚀变,

认为该矿床成矿温度属中—高温。

4 矿化富集规律及矿床成因探讨

4.1 富矿地段特征

- (1) 富矿地段断层、层间裂隙发育。断层、层间裂隙越发育, 则矿体越密集, 并且集中成群出现。
- (2) 富矿地段酸性岩小侵入体大多数靠近深大断裂或大断层。
- (3) 伴生 Ag, Pb, Zn, As, Sb 等综合异常是富矿地段的重要化探异常标志。对在区内一些第四系覆盖区所发现的以 Ag, Pb, Zn, As, Sb 为主并显示了弱 Au 异常的部位, 应该积极地进行异常检查与评价。

(4) 富矿地段蚀变强、种类多、厚度大, 地表主要有硅化、黄铁矿化(褐铁矿化)、绢云母化、绿泥石化、铁碳酸盐化、钾长石化, 其次为高岭土化, 近地表主要有硅化、黄铁矿化、方铅矿化、闪锌矿化、毒砂化, 其次为孔雀石化、黄铜矿化。

(5) 矿石呈角砾状, 黄铁矿呈五角十二面体、针状(或黄铁矿强烈压碎), 毒砂呈星散状分布, 方铅矿、闪锌矿呈浸染状分布。

(6) 有石英细脉穿插, 局部见梳状石英、水晶芽。

4.2 矿床成因探讨

综上所述, 笔者认为东海金矿具有陈国达院士 1979 年提出的“多因复成矿床”<sup>[6, 7]</sup>的特点:

多成矿大地构造演化阶段; 多成矿类型; 多控矿因素; 多成矿作用; 多成矿物质来源。

矿区在沉积阶段只是初步富集, 未能形成工业矿体, 随着本区华力西期和印支期地壳运动和演化, 岩浆活动频繁, 褶皱、断裂构造发育, 特别是花牛山—察格尔呼都格大断裂的多次活动和复活, 又有多期岩浆活动所提供的热源, 这样就使得原来沉积的

“胚胎矿”得以溶解活化,再加上多次外来成矿物质的补充,因此而形成了具有工业价值的矿体。具有工业价值的矿体形成后,在漫长的地质年代里经风化、氧化、淋滤富集等地质作用形成了矿脉近地表氧化矿石带,对金的进一步富集有重要影响。

致谢: 本文写作过程中得到了 安涛高级工程师的悉心指导,在此致以谢意。

参考文献:

[ 1] 李学颖,东云先,何养祯,等. 甘肃北山地质调查报告[ R]. 兰州: 甘肃有色地质勘查局,1998.

[ 2] 中华人民共和国区域地质调查报告(长流水幅 1: 50000)[ R].

兰州: 甘肃地质矿产局, 1987.

[ 3] 甘肃地质矿产局. 甘肃省区域地质志[ M]. 北京: 地质出版社, 1989.

[ 4] 鄢民才,迟清华,顾铁新,等. 中国火成岩化学元素的丰度与分布[ J]. 地球化学, 1996, 25( 5) .

[ 5] 姜福芝. 祁连山及邻区与海相火山岩有关的铜多金属矿产勘查与评价研究[ R]. 有色北京地质研究所, 1995.

[ 6] 陈国达. 从地壳演化规律看多因复成矿床[ R]. 湖南地质学会会讯, 1979, ( 2): 1-22.

[ 7] Chen Guoda. Polygenetic Compound Ore Deposits and Their Origin in the Context of Crustal Evolution Regularities[ J], ( for the Symposium. Int. Assoc. Gen. Ore Dep. ( IAGOD) , Sep, 1982, Tbilisi, USSR ) Bull Changsha Inst. Geotectonic. Academia Sinica, 1982, ( 1) . Geotectonica and Metallogenia, 6 ( 1): 1-33.

GEOLOGICAL FEATURES AND ORIGIN OF DONGHAI  
GOLD DEPOSIT IN GANSU

LIU Dui-fu<sup>1, 2</sup>, ZHAO Li-chun<sup>3</sup>

( 1. China University of Geosciences ( Wuhan) , Wuhan 430074, China;  
2. The 4th Geoteam of the Gansu Nonfero Geoexploration Bureau, Zhangye 734012, China;  
3. the Anxi Mineral Managing Bureau of, Anxi 735000, China)

**Abstract:** The article elaborated scientifically the features of stratigraphy, structure, volcanic rocks, alteration of wall rocks and ore bodies. Ore bodies are controlled by structures and Middle-Late Variscian intrussive rock, volcanic rocks, and then is summarized the regular patterns of mineral concentration. At last the author made a discussion about the origin of Donghai gold deposit in Gansu. i. e. polygenetic compound ore deposit.

**Key words:** geological features; ore genesis; Donghai gold deposit; Gansu