

李杰, 宋明春, 李世勇, 等. 胶东大邓格金多金属矿床地质地球化学特征及意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 221–237.  
Li Jie, Song Mingchun, Li Shiyong, et al. Geological and geochemical features of the Dadengge gold polymetallic deposit in Jiaodong Peninsula[J].  
Geology in China, 2016, 43(1): 221–237(in Chinese with English abstract).

# 胶东大邓格金多金属矿床地质地球化学特征及意义

李 杰<sup>1</sup> 宋明春<sup>2</sup> 李世勇<sup>3</sup> 周晓剑<sup>4</sup> 宋英昕<sup>5</sup> 丁正江<sup>6</sup>

杨立新<sup>7</sup> 王珊珊<sup>7</sup> 姜 帆<sup>7</sup> 李 倩<sup>1</sup>

(1. 石家庄经济学院资源学院, 河北 石家庄 050031; 2. 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013; 3. 山东省物化探  
勘查院, 山东 济南 250013; 4. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082; 5. 山东省地质科学研究院, 山东 济南 250013;  
6. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264200; 7. 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 威海 264209)

**摘要:** 本文介绍了大邓格金多金属矿床地质特征, 对矿床主量元素、硫同位素、氢-氧同位素及流体包裹体作了测试分析, 总结了矿床地球化学特征, 讨论了成矿物质来源及成矿物理化学条件。主量元素分析表明蚀变过程中 SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 含量增高, Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 等含量降低; 硫同位素组成  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  值为 7.0‰~7.1‰, 指示硫可能来自于均一化程度较高的统一流体库; 氢同位素组成  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  变化范围较大, 为 -83.68‰~-116.95‰, 氧同位素组成  $\delta^{18}\text{O}_{\text{K}}$  值为 -2.57‰~8.35‰, 显示了成矿流体以岩浆水与大气降水组成的混合水为主; 成矿流体主要为中温 (86~429℃)、低盐度 (1.74‰~22.38%NaCl<sub>eq</sub>), 属 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-N<sub>2</sub>-NaCl 体系。成矿期流体表现出多期、多来源特征, 体系物理化学条件的改变和流体的不混溶是导致金等成矿元素沉淀和富集的重要机制。

**关键词:** 地球化学特征; 氢氧同位素; 流体包裹体; 大邓格金多金属矿床; 胶东

**中图分类号:** P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2016)01-0221-17

## Geological and geochemical features of the Dadengge gold polymetallic deposit in Jiaodong Peninsula

LI Jie<sup>1,2</sup>, SONG Ming-chun<sup>2</sup>, LI Shi-yong<sup>3</sup>, ZHOU Xiao-jian<sup>4</sup>, SONG Ying-xin<sup>5</sup>,  
DING Zheng-jiang<sup>6</sup>, YANG Li-xin<sup>7</sup>, WANG Shan-shan<sup>7</sup>, JIANG Fan<sup>7</sup>, LI Qian<sup>1</sup>

(1. College of Resources, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2. Shandong Bureau of  
Geology and Mineral Resources, Jinan 250013, Shandong, China; 3. Geophysics and Geochemistry Research Institute in Shandong  
Province, Jinan 250013, Shandong, China; 4. Nuclear and Radiation Safety Center of MEP, Beijing 100082, China;  
5. Shandong Geological Sciences Institute, Jinan 250013, Shandong, China; 6. Shandong 3<sup>rd</sup> Exploration Institute of Geology and  
Mineral Resources, Yantai 264200, Shandong, China; 7. Shandong 6<sup>th</sup> Exploration Institute of Geology and Mineral Resources,

**收稿日期:** 2015-06-03; **改回日期:** 2015-09-17

**基金项目:** 石家庄经济学院博士科研基金(BQ201317)、泰山学者工程专项经费和山东省地矿局科技攻关项目(KY201004、KY201305)  
联合资助。

**作者简介:** 李杰, 男, 1982年生, 博士, 讲师, 地球化学专业, 从事矿床地球化学科研和教学工作; E-mail: lijiesue@163.com。

Weihai 264209, Shandong, China)

**Abstract:** In this paper, the authors described the geological features of the the Dadengge gold polymetallic deposit, analyzed major elements, REE, sulfur isotope,  $\delta D_{V-SMOW}-\delta^{18}O_{H_2O}$ , and fluid inclusions, and then summarized the geochemical features so as to find the ore-forming genesis and physicochemical conditions. Major element analyses show that the alteration zone gained  $SiO_2$ ,  $K_2O$  but lost  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  during alteration. The sulfur isotope composition ranges between 7.0‰ and 7.1‰  $\delta^{34}S_{CDT}$ , suggesting that the sulfurs were of the same origin, being a unified source. The  $\delta D_{V-SMOW}$  values range from -83.68‰ to -116.95‰, and the  $\delta^{18}O_{H_2O}$  values range from -2.57‰ to 8.35‰, suggesting that the mineralizing fluids were derived from the mixed magmatic and meteoric water. The mineralizing process took place under the condition of medium temperature (86-429°C) and low salinity (1.74%-22.38%  $NaCl_{eq}$ ), and the mineralizing fluid might have been a  $CO_2-H_2O-N_2-NaCl$  system. The mineralizing fluids of the main mineralization stage exhibited feature of multiple sources, and the change of physicochemical conditions and fluid immiscibility were the important mechanisms for deposition and enrichment of gold and other mineralizing elements.

**Key words:** geochemical features; hydrogen and oxygen isotope; fluid inclusions; Dadengge gold polymetallic deposit; Jiaodong Peninsula

**About the First author:** LI Jie, male, born in 1982, doctor, majors in geochemistry, engages in research and teaching of geochemistry of mineral deposit; E-mail: lijiesue@163.com.

**Fund Support:** Supported by Doctoral Research Foundation of Shijiazhuang University of Economics (No. BQ201317), Special Funds for Taishan scholars Project of Shandong Province, and Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources (No. KY201004, No. KY201305).

大邓格金多金属矿床是目前胶东东部地区发现的唯一一个以金为主的银、铅锌多金属矿床,位于山东省威海市经济技术开发区泊于镇大邓格村附近,距威海市区东北约22 km,近年经山东省第六地质矿产勘查院详查,评价为一处小型金-银-铅-锌多金属矿床。共圈定金、银、铜、铅、锌五种矿体19个,探获资源储量:矿石量 $114.2 \times 10^4 t$ ,矿体平均厚度1.87 m,其中:金金属量2002 kg,银金属量62881 kg,铅金属量13844 t,锌金属量7868 t<sup>[1]</sup>。本文在勘查工作的基础上总结了矿床地质特征,对矿石和围岩进行了主量、稀土元素地球化学分析,讨论了矿床硫、氢、氧同位素组成,研究了成矿流体的组成和特征,为探讨矿床成因提供了依据。

## 1 区域地质概况

大邓格金多金属矿床位于胶东半岛东部,大地构造位置处在苏鲁造山带北东端的鲁东折返带(超高压带)之威海隆起区北部。区内发育前寒武纪韧性变形带,中生代以来构造活动强烈,形成的NE向断裂构造与成矿关系密切;岩浆岩主要为中元古代海阳所基性—超基性岩组合、新元古代荣成片麻岩套、中生代侏罗纪玲珑花岗岩、白垩纪伟德山花岗

岩及少量脉岩,伟德山序列花岗岩在该区出露面积较大,呈环带状分布,呈现出成分和结构双演化的特征,出露有崮庄、洛西头、大水泊、不落耩、崖西、虎头石等单元;地层主要为古元古代荆山群、中生代白垩纪莱阳群、青山群、新生代第四系(图1)。威海东部地区分布有多处金、银、铅锌、铜、钼矿床(点),是山东省重要的有色金属矿产地<sup>[2-4]</sup>。

## 2 矿床地质特征

大邓格地区出露主要地层为古元古代荆山群和新生代第四系,荆山群岩性为透辉石大理岩、二云石英片岩、黑云片岩;岩浆岩主要为中元古代海阳所组合、新元古代荣成片麻岩套、中生代伟德山序列花岗岩,海阳所变辉长辉绿岩、斜长角闪岩、以及蛇纹岩、含橄榄透闪石岩等组合以包体形式残留于荣成岩套花岗质片麻岩中,伟德山序列石英闪长岩呈岩株状侵入于荣成岩套。区内无大的断裂构造,零星有NE向次级断裂(图2),花岗质片麻岩显示有中深层次韧性变形迹象。

大邓格金多金属矿床集中分布于南北长约1300 m(-2线~24线),地表至-408 m范围内(图3、图4)。圈定的19个矿体中I-1~I-6号为主矿体,

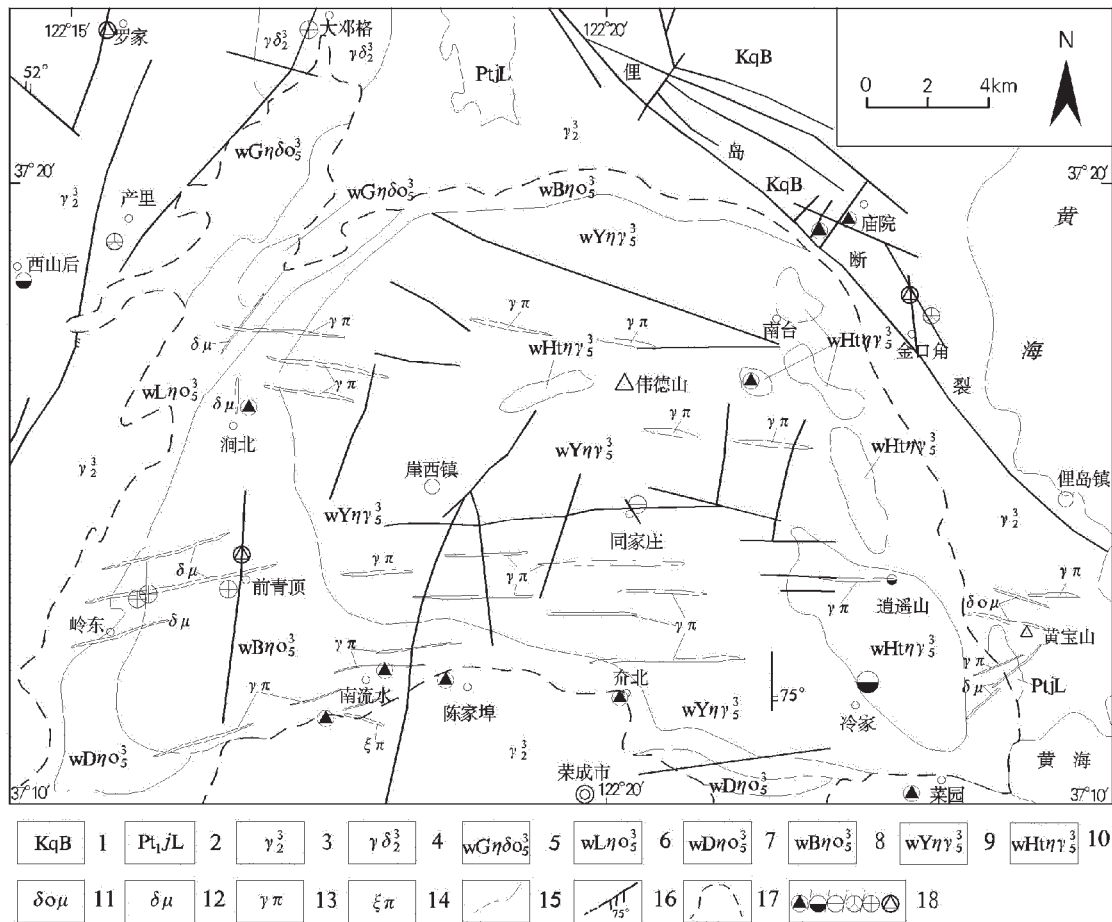


图1 胶东东部伟德山地区区域地质矿产简图(据文献[4]修改)

1—中生代白垩纪青山群(以安山岩为主);2—古元古代荆山群;3—新元古代晋宁期花岗岩;4—新元古代晋宁期花岗岩闪长岩;  
 5—中生代燕山期伟德山序列固庄单元细粒辉石角闪石英二长闪长岩;6—中生代燕山期伟德山序列洛西头单元含粗斑中粒角闪黑云石英二长岩;  
 7—中生代燕山期伟德山序列大水泊单元疏粗斑中粒含黑云角闪石英二长岩;8—中生代燕山期伟德山序列不落耒单元疏巨斑中粗粒含角闪石英二长岩;  
 9—中生代燕山期伟德山序列崖西单元疏粗斑中粒含角闪二长花岗岩;10—中生代燕山期伟德山序列虎头单元细粒二长花岗岩;  
 11—石英闪长玢岩;12—闪长玢岩;13—花岗斑岩;14—二长斑岩;15—岩性/地层界线;16—断层及产状;  
 17—伟德山岩体出露外界线;18—铜/钼/铅/锌/银/金矿床(点)

Fig. 1 Simplified geological map and distribution of main nonferrous metal deposit in the eastern area of Jiaodong Peninsula (modified after reference [4])

1—Mesozoic Cretaceous Qingshan Group (andesite); 2—Paleoproterozoic Jingshan Group; 3—Neoproterozoic Jinning period granite;  
 4— Neoproterozoic Jinning period granodiorite; 5—Mesozoic Yanshanian Weideshan granite series: Guzhuang unit, monzonitic diorite;  
 6—Luoxotou unit, adamellite; 7—Dashuipo unit, adamellite; 8—Buluojiang unit, adamellite; 9—Yaxi unit; 10—Hutoushi unit, monzonitic granite;  
 11—Porphyritic quartzdiorite; 12—Porphyritic diorite; 13—Granophyre; 14—Porphyritic monzonite; 15—Geological boundary;  
 16—Fault and its attitude; 17—Boundary of Weideshan granite; 18—Copper/molybdenum/lead/zinc/silver/gold deposits (ore spots)

其资源量占矿床总量的约96%<sup>[1]</sup>。

### 2.1 矿体特征

6个主矿体控制走向长度50~370 m;控制斜深160~453 m;矿体走向10°~35°;矿体倾角18°~60°,平均31°~41°;矿体厚度0.44~5.88 m,平均0.85~2.41 m,厚度变化系数在67%~111%,属厚度变化较稳定型矿体;主矿体金品位 $1.94 \times 10^{-6}$ ~ $5.65 \times 10^{-6}$ ,矿床金平均

品位 $3.48 \times 10^{-6}$ ,品位变化系数在56%~102%,属有用组分分布均匀型;矿床银(含独立和与金、铅共生)平均品位 $198.41 \times 10^{-6}$ ;铅(含独立和与金共生)平均品位2.04%;锌(含独立和与金、铅共生)平均品位2.49%。矿体产于荣成片麻岩套花岗岩闪长质片麻岩中的断裂裂隙中,赋存于黄铁矿化石英脉和黄铁绢英岩化碎裂岩带内,主要矿体呈似层状、大脉状产出,其

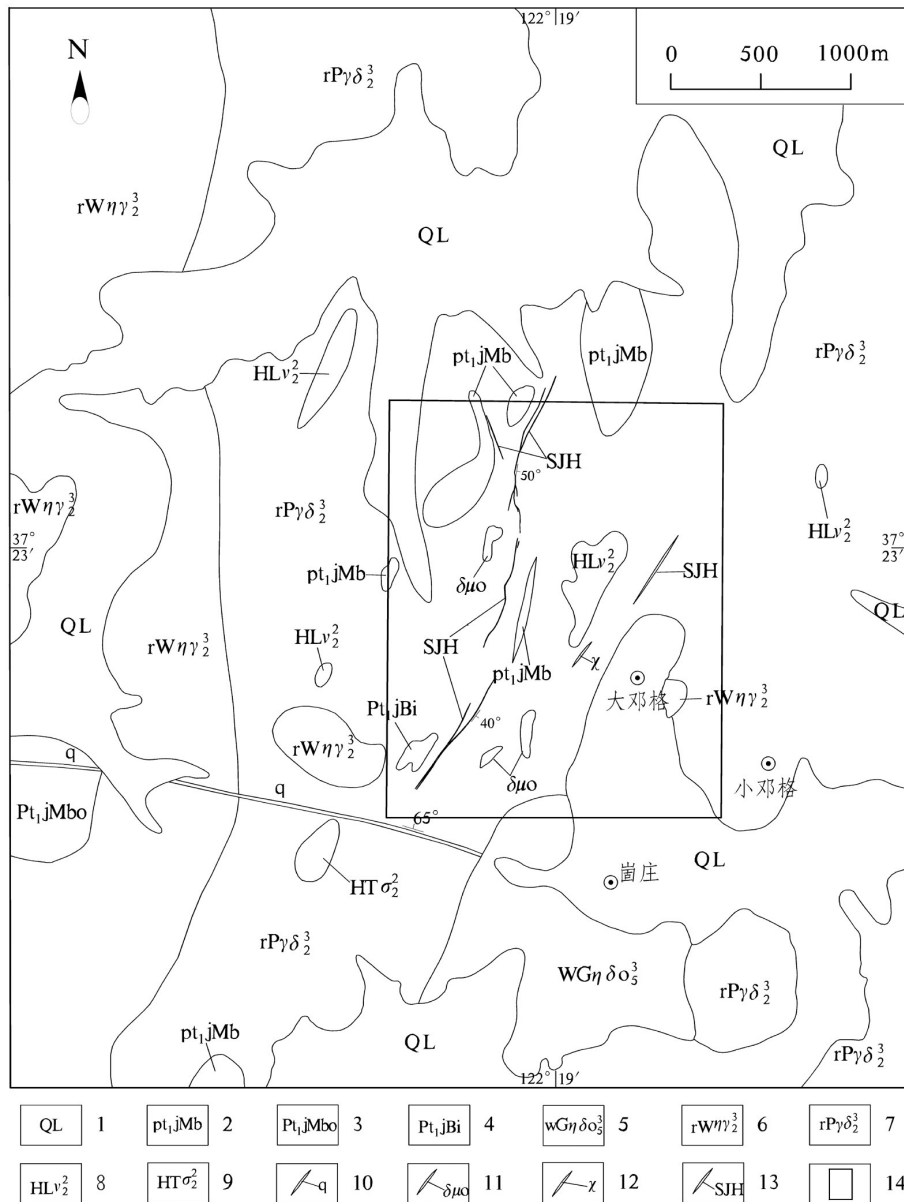


图2 大邓格金多金属矿区域地质图(据文献[1]修改)

1—新生代第四系;2—古元古代荆山群定国寺段透辉石大理岩;3—古元古代荆山群安吉村段二云石英片岩;4—古元古代荆山群安吉村段黑云片岩;5—中生代白垩纪伟德山序列固庄单元片麻状细粒辉石石英闪长岩;6—新元古代荣成片麻岩套威海单元条带状细粒含黑云二长花岗岩片麻岩;7—新元古代荣成片麻岩套泊于单元条带状中细粒含角闪黑云花岗岩闪长岩质片麻岩;8—中元古代长城纪海阳所组合老黄山单元变辉长辉绿岩、斜长角闪岩;9—中元古代长城纪海阳所组合通海单元蛇纹岩、含橄榄透闪石岩;10—石英脉;11—石英闪长玢岩;12—煌斑岩;13—黄铁绢英岩化碎裂岩;14—勘查区范围

Fig. 2 Regional geological map of the Dadengge gold polymetallic deposit (modified after reference [1])

1—Cenozoic Quaternary; 2—Proterozoic Jingshan Group Dingguosi Member: diopside marble; 3—Proterozoic Jingshan Group Anjicun Member: two-mica quartz schist; 4—Proterozoic Jingshan Group Anjicun Member: biotite schist; 5—Mesozoic Cretaceous Weideshan granite series Guzhuang unit: gneissic granule pyroxene quartz diorite; 6—Proterozoic Rongcheng banded Weihai Unit: stripped granule monzonitic granitic gneiss including biotite; 7—Proterozoic Rongcheng banded Poyu Unit: striated medium-granule biotite granodioritic gneiss including amphibole; 8—Proterozoic Changcheng period Haiyangsuo Combination Laohuangshan Unit: meta-gabbro, diabase, plagioclase amphibolite; 9—Proterozoic Changcheng period Haiyangsuo Combination Tonghai Unit: serpentinite, tremolite rock including olivine; 10—quartz; 11—Quartz diorite-porphryrite; 12—Lamprophyre; 13—Cataclasite with pyritization, sericitization and greisenization; 14—Faults; 15—Range of exploratory area

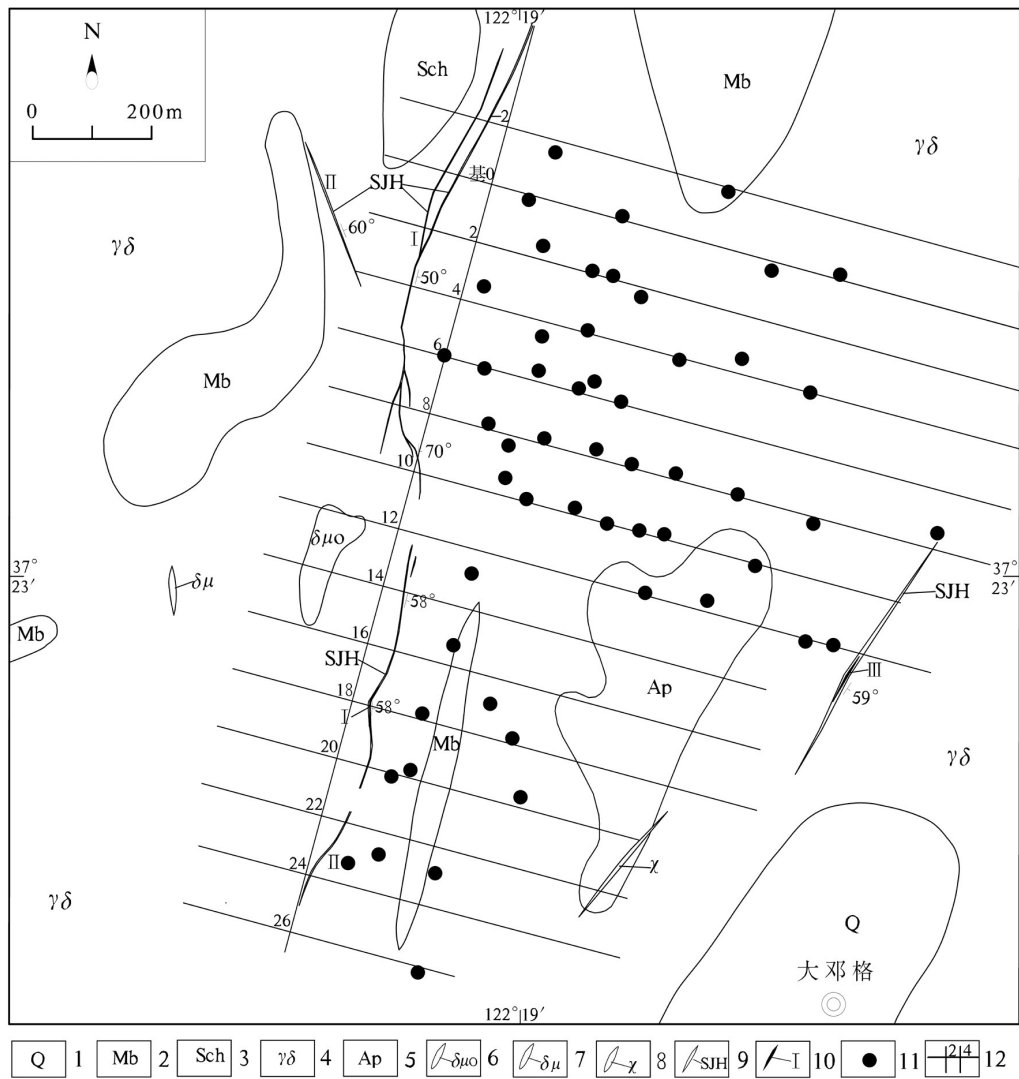


图3 大邓格金多金属矿区地质图(据文献[1]修改)

1—第四系;2—大理岩;3—黑云片岩;4—花岗闪长质片麻岩;5—斜长角闪岩;6—石英闪长玢岩;7—闪长玢岩;8—煌斑岩;9—黄铁绢英岩化碎裂岩;10—矿脉编号;11—钻孔;12—勘探线及编号

Fig. 3 Simplified geological map of the Dadengge gold polymetallic deposit (modified after reference [1])

1- Quaternary; 2-Marble; 3-Biotite schist; 4-Granodioritic gneiss; 5-Plagioclase amphibolite; 6-Quartz diorite-porphyrite; 7-Diorite-porphyrite; 8-Lamprophyre; 9-Cataclasite with pyritization, sericitization and greisenization; 10-Serial number of the mineral vein; 11-Drill hole; 12-Exploration line and its serial number

他次要矿体呈脉状、透镜状产出(图4)。

主要矿体多集中分布于同一矿化较好地段,不同矿种往往集中分布,构成多矿种同体共生矿、伴生矿。

2.1.1 I-1号主矿体

为金、银、铅、锌、铜共生矿体,是矿区主矿体之一,矿石量占矿床总量的57.2%。矿体呈似层状、脉状,具分枝复合、膨胀夹缩等特点,产状与蚀变带基

本一致。矿体赋存于I号蚀变带北段的黄铁矿石英英脉及黄铁绢英岩化碎裂岩中,赋存标高43~215 m。矿体走向控制长度380 m,最大斜深378 m。矿体平均走向10°,倾向南东,倾角30°~51°,平均35°。矿体真厚度0.44~5.88 m,平均厚度2.38 m,矿体厚度变化系数111%,属厚度变化较稳定型;金为主矿种,单样品位 $0.30 \times 10^{-6}$ ~ $4.95 \times 10^{-6}$ ,平均品位 $2.01 \times 10^{-6}$ ,品位变化系数37%,属有用组分分布均匀

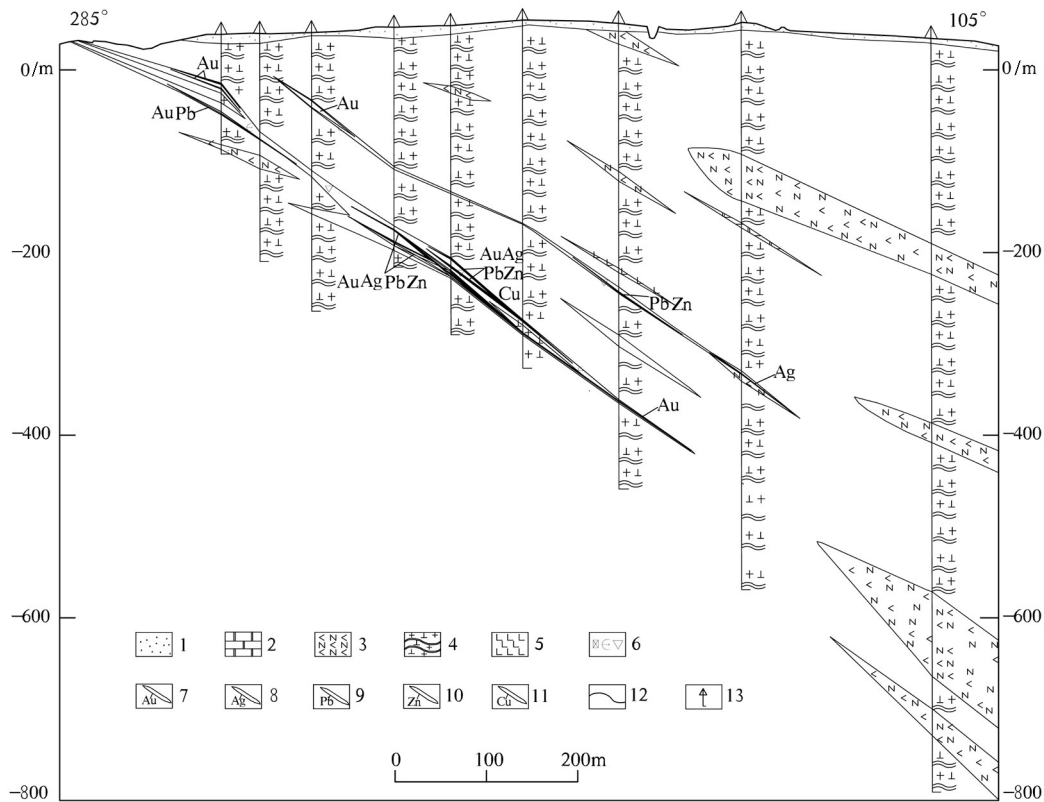


图4 大邓格金多金属矿床8号勘探线地质剖面图(据文献[1]修改)

1—第四系;2—大理岩;3—斜长角闪岩;4—花岗闪长质片麻岩;5—煌斑岩;6—黄铁绢英岩化碎裂岩;7—金矿体;  
8—银矿体;9—铅矿体;10—锌矿体;11—铜矿体;12—地质界线;13—钻孔

Fig. 4 Geological section along No. 8 exploration line in the Dadengge gold polymetallic deposit (modified after reference [1])

1—Quaternary; 2—Marble; 3—Plagioclasic amphibolite; 4—Granodioritic gneiss; 5—Lamprophyre; 6—Cataclasite with pyritization, sericitization and silicification; 7—Gold orebody; 8—Silver orebody; 9—Lead orebody; 10—Zinc orebody; 11—Copper orebody; 12—Geological boundary; 13—Drill hole

型。银单样品品位  $30.07 \times 10^{-6} \sim 465.97 \times 10^{-6}$ , 平均品位  $156.18 \times 10^{-6}$ ; 铅单样品品位  $0.01 \times 10^{-6} \sim 12.36 \times 10^{-2}$ , 平均品位  $2.23 \times 10^{-2}$ ; 锌单样品品位  $0.50 \times 10^{-6} \sim 2.52 \times 10^{-2}$ , 平均品位  $1.97 \times 10^{-2}$ 。铜只在一个工程中出现, 单样品品位  $0.78 \times 10^{-2}$ 。

### 2.1.2 I-2号矿体

也是金、银、铅、锌、铜共生矿体, 矿石量占总量的28.9%, 为I-1尖灭再现的隐伏矿体。矿体呈似层状、脉状, 具分枝复合、膨胀夹缩等特点, 产状与蚀变带基本一致。赋存于I号蚀变带北段的黄铁石英英脉及黄铁绢英岩化碎裂岩中, 赋矿标高-152~-408 m。走向长度155 m, 最大斜深345 m。矿体平均走向 $12^\circ$ , 倾向南东, 倾角 $18 \sim 40^\circ$ , 平均 $31^\circ$ 。矿体真厚度0.80~5.12 m, 平均厚度2.41 m, 矿体厚度变化系数85%, 属厚度变化较稳定型。金为

主矿种, 单样品品位  $0.60 \times 10^{-6} \sim 27.39 \times 10^{-6}$ , 平均品位  $5.93 \times 10^{-6}$ , 品位变化系数102%, 属有用组分分布均匀型。银单样品品位  $47.94 \times 10^{-6} \sim 1529.73 \times 10^{-6}$ , 平均品位  $326.71 \times 10^{-6}$ ; 铅单样品品位  $0.07 \times 10^{-6} \sim 6.00 \times 10^{-2}$ , 平均品位  $1.52 \times 10^{-2}$ ; 锌单样品品位  $0.52 \times 10^{-6} \sim 12.08 \times 10^{-2}$ , 平均品位  $2.58 \times 10^{-2}$ 。铜只在一个工程中出现, 单样品品位  $0.78 \times 10^{-2}$ 。

### 2.1.3 I-3号矿体

为金矿占主体的金、银共生矿体, 矿石量占矿床总量的6.5%, 矿体呈脉状或透镜状, 赋存于I号蚀变带中段的黄铁石英英脉及黄铁绢英岩化碎裂岩中。矿体真厚度0.47~2.66 m, 平均厚度1.21 m, 矿体厚度变化系数67%, 属厚度变化稳定型。金单样品品位  $0.10 \times 10^{-6} \sim 5.95 \times 10^{-6}$ , 平均品位  $2.32 \times 10^{-6}$ , 品位变化系数56%, 属有用组分分布均匀型。银单样

品位 $9.20 \times 10^{-6} \sim 865.00 \times 10^{-6}$ , 平均品位 $346.30 \times 10^{-6}$ 。

## 2.2 矿石特征

### 2.2.1 矿石类型

矿石包括两种自然类型:细脉—浸染状黄铁绢英岩化碎裂岩型和黄铁石英脉型,以前者为主(图5-a,b)。工业类型为低硫型多金属矿石。

#### (1) 细脉—浸染状黄铁绢英岩化碎裂岩型

浅灰—浅灰绿色,半自形或自形粒状结构,细脉浸染状构造、脉状构造。金属硫化物以黄铁矿为主,平均含量1%~2%。为矿床的主要矿石类型。

#### (2) 黄铁石英脉型

灰白色、褐灰色,致密块状结构,蜂窝状、角砾状构造。主要矿物成分为石英、黄铁矿及少量方铅矿、闪锌矿、绢云母等,以黄铁矿细脉状、浸染状、团块状等形式不均匀分布,多金属硫化物含量较高。

### 2.2.2 矿石物质组成

矿石中主要矿石矿物为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、银金矿,少量褐铁矿、黄铜矿等。脉石矿物主要有:石英、斜长石、绢云母、方解石等,少量磁铁矿、绿帘石等。

(1) 银金矿:矿石中的金矿物属金银系列矿物,以银金矿为主,次为金银矿。金矿物的最高成色为774,最低成色为297,平均成色为532。赋存状态以晶隙金、裂隙金为主,少量包体金。金矿物以微细粒金为主,细粒金次之,中粒金少量,未见粗粒、巨粒金。金矿物形态以角粒状为主,麦粒状、枝叉状、长角粒状、浑圆粒状次之,尖角粒状、针状、片状少量。

(2) 黄铁矿:是主要的载金矿物,多呈浅黄色,强金属光泽,半自形粒状和不规则粒状,稀疏或稠密浸染状分布于脉石矿物中,或呈脉状填充于裂隙中。金品位与黄铁矿含量一般呈正相关。黄铁矿粒度一般为0.01~2 mm,最大可达5 mm。成矿期各成矿阶段的黄铁矿存在差异:金—石英—黄铁矿阶段的黄铁矿多呈不规则粒状,少量呈立方体,浅黄色,强金属光泽,具裂纹,粒度较粗者常与石英呈脉状集合体;金—石英—多金属硫化物阶段中的黄铁矿可分为两个世代,第一世代的黄铁矿以五角十二面体和细粒状为主,少量碎块状,灰黄色,光泽暗,常与黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等呈细脉状、网脉状分布,第二世代黄铁矿以八面体、五角十二面体为主,少量立方体和细粒状,常与方铅矿、闪锌矿共生,呈细

脉状、网脉状分布。

(3) 黄铜矿:是矿石中重要的金属矿物,呈铜黄色,他形晶粒状,少数为不规则状,沿早期黄铁矿、石英裂隙充填分布,在黄铜矿中可偶见包体金,有时黄铜矿单独或与方铅矿、闪锌矿连晶浸染于脉石中,少量呈乳滴状嵌布于闪锌矿中。

(4) 闪锌矿:一般为他形晶体,部分呈不规则棱角状,黑褐色、黄褐色,单独或与黄铁矿、方铅矿、黄铜矿连晶浸染于脉石中,粒度0.01~0.5 mm。

(5) 方铅矿:一般呈铅灰色,多呈粗粒状集合体充填在脉石中,或黄铁矿裂隙中,常与闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿连晶共生,粒度0.02~1 mm,粗大的方铅矿中有时含有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿及脉石的细小包裹体。

(6) 石英:为矿石内主要脉石矿物,贯穿于整个成矿过程的始终。不同成矿阶段的石英具不同的特征:主成矿期的石英为灰白—灰色,呈半自形—自形柱状、粒状,不具波状消光,玻璃光泽,常与多金属硫化物构成细脉状或网脉状,沿裂隙充填;金—石英—多金属硫化物阶段的石英,因其包有较多细粒浸染状硫化物,颜色较其他成矿阶段深;晚期石英呈自形柱粒状,颗粒细小,呈细脉状分布;原岩残留石英呈碎粒状,具棱角,波状消光强烈,有重结晶现象。

(7) 绢云母:呈细小鳞片状集合体,浅黄—黄绿色,多数丝绸光泽,少数玻璃光泽。在绢云母片中有细粒或微粒金。

### 2.2.3 矿石结构、构造

#### (1) 矿石结构

矿石中常见结构有半自形粒状结构、半自形—他形粒状结构,其次有填隙结构、反应边结构和镶嵌结构、交代残余结构、交代假象结构、文象结构和乳滴状结构等(图5-c~f)。

半自形粒状结构:矿石中金属硫化物主要呈半自形晶粒分布于脉石矿物中,构成半自形粒状结构。

半自形—他形粒状结构:矿石中的黄铁矿和方铅矿呈半自形粒状,黄铜矿、辉铜矿等呈它形或不规则状分布,构成半自形—他形粒状结构。

填隙结构:矿石中闪锌矿、方铅矿、黄铜矿以单体或集合体充填于黄铁矿、石英裂隙或晶隙中。

反应边结构:黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等边部被

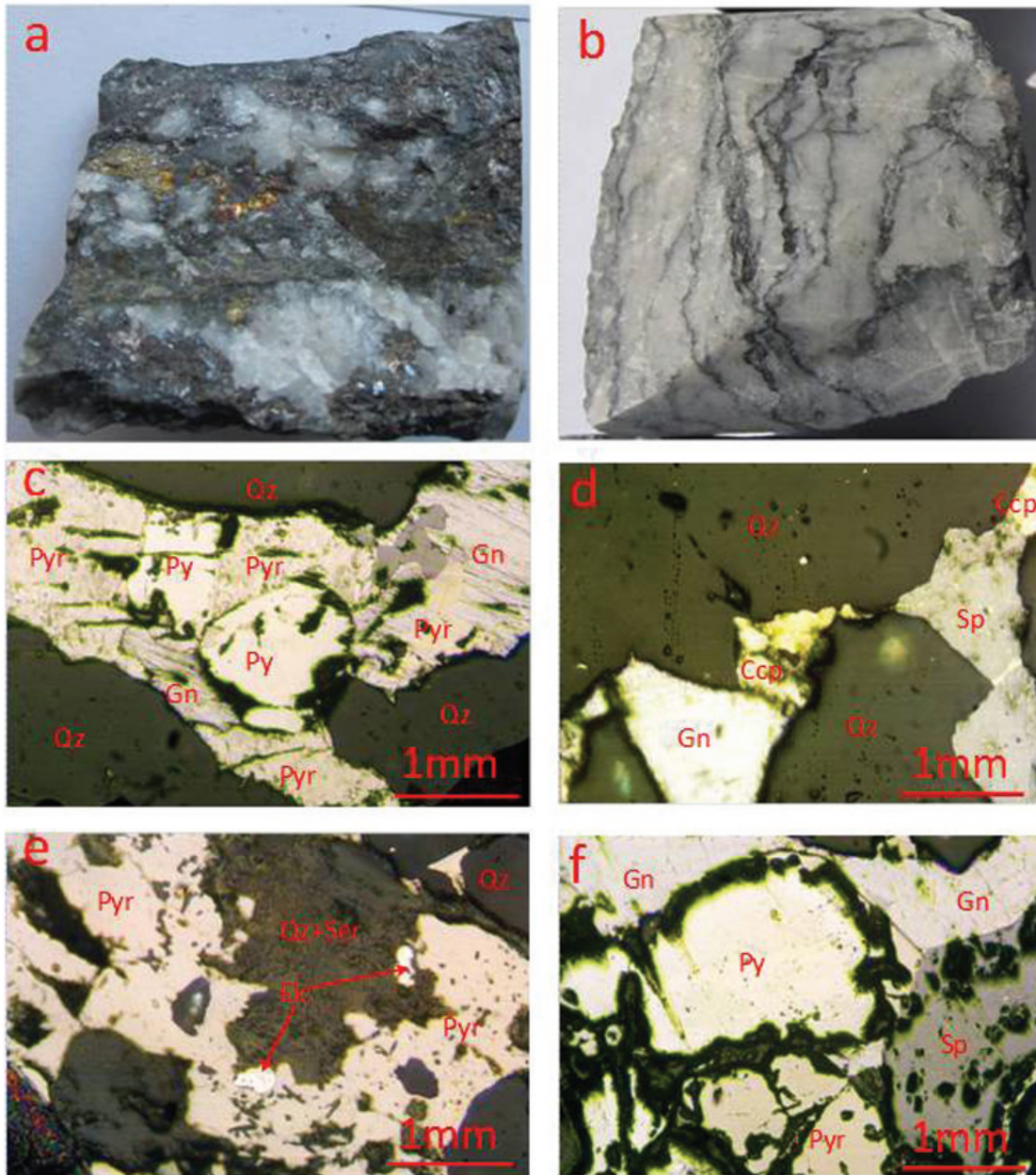


图5 大邓格多金属矿床矿石及显微照片

Py—黄铁矿；Ccp—黄铜矿；Pyr—磁黄铁矿；Qz—石英；Ser—绢云母；Gn—方铅矿；Sp—闪锌矿；Ele—银金矿；a—黄铁绢英岩化碎裂岩型矿石（内有石英脉）（金—银—铜—铅—锌共生），ZK802，221 m；b—黄铁石英脉型矿石（铅—铜—金—银共生），ZK604，140 m；c—方铅矿（他形）沿黄铁矿、磁黄铁矿、石英晶隙嵌布；d—黄铜矿微粒以不混溶体被包于闪锌矿之中（乳浊状），或呈他形粒状集合体产出；e—银金矿沿磁黄铁矿与石英和绢云母边缘嵌布；f—闪锌矿、方铅矿（他形）与黄铁矿、磁黄铁矿（半自形）共生

Fig. 5 Micrograph of ores in the Dadengge gold polymetallic deposit

Py—Pyrite; Ccp—Chalcopyrite; Pyr—Pyrrhotite; Qz—Quartz; Ser—Sericite; Gn—Galena; Sp—Sphalerite; Ele—Electrum; a—Cataclasite type ore with pyritization, sericitization and silicification (quartz included) (composite orebody of Au—Ag—Cu—Pb—Zn), ZK802, 221 m; b—Pyrite and quartz vein type ore (composite orebody of Pb—Cu—Au—Ag), ZK604, 140 m; c—Galena (allotriomorphic) distributed along crystals' slits of pyrite, pyrrhotite, quartz; d—Chalcopyrite inlaid in sphalerite (opacification), or exhibiting allotriomorphic granular aggregation; e—Electrum inlaid along edge of quartz and sericite; f—Sphalerite and galena (allotriomorphic) associated with pyrite and pyrrhotite (subhedron)



辉铜矿交代,包围在边部形成反应边结构。

交代残余结构:黄铁矿被黄铜矿、方铅矿、闪锌矿强烈交代形成交代残余结构。

### (2) 矿石构造

矿石构造主要有蜂窝状构造、角砾状构造、浸染状构造、团块状构造、脉状、细脉浸染状构造、斑点状构造、交错脉状构造等。

蜂窝状构造:矿石中的黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等硫化物氧化生成褐铁矿、孔雀石等,大部分流失或呈粉末状弥散在矿石中,构成蜂窝状构造。

角砾状构造:早期形成的石英被后期构造活动挤压破碎,又被晚期的石英和硫化物等胶结,构成角砾状构造。

团块状构造:矿石中的黄铁矿、方铅矿集中分布形成团块状,构成团块状构造。

脉状构造:多金属硫化物、黄铁矿、黄铜矿在矿石中呈细脉状充填分布。脉宽一般在0.5~3 mm。

细脉浸染状构造:矿石中金属硫化物呈星点状均匀散布或局部不规则相对集中分布于石英颗粒内,形成浸染状构造;同时也呈细脉状沿矿石裂隙填充分布,构成细脉浸染状构造。

浸染状构造:矿石中主要金属矿物黄铁矿、闪锌矿呈星点状均匀分布,按其聚集程度又可进一步划分为稀疏浸染状、稠密浸染状及斑点状构造。

### 2.2.4 围岩蚀变特征

区内围岩蚀变沿断裂构造带发育,蚀变类型主要为绢云母化、硅化、黄铁矿化、多金属硫化物矿化及碳酸盐化。蚀变带内围岩岩性、结构构造与矿体无明显差异,围岩金属硫化物含量及金含量较低,蚀变带中见有呈浸染状、细脉状、网脉状产出的黄铁矿等金属硫化物金含量高。

绢云母化:广泛发育于矿化蚀变带及其边部。为长石经热液交代形成的鳞片状、羽毛状绢云母分布于矿物表面及裂隙中。

硅化:强烈发育于矿化蚀变带中心部位,热液携带的硅质及长石绢云母化析出的硅质形成硅化石英和热液石英充填于岩石或矿物裂隙及晶隙中。

黄铁矿化:分布于矿化蚀变带中心部位,与绢云母化、硅化构成黄铁绢英岩化,并伴随强烈的金、多金属硫化物矿化。

碳酸盐化:热液中携带的钙质及二氧化碳形成低

温方解石脉与低温石英脉共同充填于岩石裂隙中。

### 2.3 控矿因素

大邓格金多金属矿床主要赋存于新元古代荣成片麻岩套中,荣成片麻岩套为改造重熔形成的半原地型花岗岩,其交代融熔了部分古元古代荆山群(荆山群中有较多原岩为中基性—中酸性火山岩建造的变质岩,为金矿初始矿源层),之后该区经历了多期区域变质和韧性剪切作用,原始矿源层中的金、银等成矿物质活化迁移,形成金高背景地球化学区。中生代燕山期岩浆活动(伟德山期花岗岩)不但为成矿提供了热源,而且带来了携带部分成矿物质的幔源流体,热液流体在运移过程中与围岩充分交代反应,并进一步活化、萃取多金属成矿物质,在断裂破碎带内富集成矿。

## 3 矿床地球化学特征

分析样品采自大邓格金多金属矿床6号勘探线(ZK604)、8号勘探线(ZK801、ZK802、ZK803、ZK805、ZK806、ZK808、ZK810)、10号勘探线(ZK1002)钻孔中的矿体(全岩及石英单矿物)及近矿围岩。

样品测试由核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。主量元素分析采用X射线荧光光谱法,型号为飞利浦PW2404X射线荧光光谱仪;硫、氢、氧同位素组成用Finnigan MAT-251仪器测试完成。

### 3.1 主量元素

大邓格金多金属矿床矿石和近矿围岩的主量元素分析结果见表1,矿石SiO<sub>2</sub>含量61.15%~79.06%,总体较围岩(56.98%~71.90%)高,矿石Na<sub>2</sub>O含量(0.08%~0.48%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量(0.81%~12.93%)明显低于围岩Na<sub>2</sub>O(3.85%~4.12%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(13.65%~16.72%)。在K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O图解(图6)上,矿石投点多落在超钾质岩系列区,仅ZK805-1投点落在钾玄岩系列区,围岩全部投点于钾玄岩系列区,指示成矿过程钠质含量减少、钾质相对增加,成矿过程中发生明显的钾化。

大邓格金多金属矿床赋矿围岩为荣成片麻岩套,其在成矿过程中受到了含水热液流体的改造,富含SiO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O的流体与围岩进行水岩相互作用,原岩中的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O等组分被带出。

表1 大邓格金多金属矿床矿石及围岩主量元素分析结果(%)

**Table 1 Major element content of orebodies and country rocks in the Dagengge gold polymetallic deposit**

序号	样品编号	取样位置/m	岩性	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	总和	
1	ZK805-1	414.30	矿 石	SJH	61.15	0.81	12.25	9.72	2.94	15.51	0.13	0.02	1.57	0.04	0.14	5.33	109.61
2	ZK808-1	262.60		SJH	74.95	12.93	1.84	1.34	0.64	1.75	0.48	5.42	0.09	0.34	0.08	1.43	101.29
3	ZK1002-1	266.50		SJH	79.06	4.82	4.16	0.72	0.66	4.42	0.08	1.55	0.05	0.32	0.30	4.51	100.65
4	ZK805-2	481.20	围 岩	πγ	71.71	14.24	1.42	0.57	0.31	0.67	4.12	5.88	0.08	0.21	0.07	1.27	100.55
5	DDG-17	地表		νηδ	56.98	16.72	6.60	3.81	4.67	6.77	4.04	2.29	0.10	0.65	0.38	0.79	103.80
6	WH-1	外围		ηγ	71.90	13.65	1.01	1.87	0.60	1.54	4.01	3.83	0.06	0.27	0.09	0.36	99.19
7	PYJ-1	外围		γδ	64.30	15.46	2.75	3.52	1.85	4.43	3.85	2.09	0.15	0.46	0.10	-	98.96

注: SJH—黄铁绢英岩化碎裂岩; πγ—斑状花岗岩; νηδ—辉石二长闪长岩; ηγ—一条带状片麻状细粒黑云二长花岗岩; γδ—一条纹片麻状中细粒含角闪黑云花岗岩闪长岩; 6号样引自文献[5]; 7号样引自文献[6]。

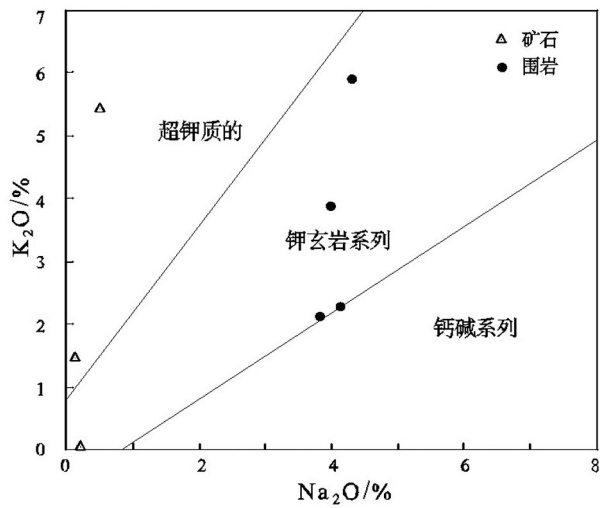


图6 大邓格金多金属矿床矿石及围岩K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O图解(底图据文献[7])

Fig.6 Diagrams of K<sub>2</sub>O versus Na<sub>2</sub>O of ores and country rocks in the Dadengge polymetallic deposit (after reference [7])

### 3.2 稳定同位素地球化学

#### 3.2.1 硫同位素

在大邓格矿区 ZK604、ZK803 钻孔岩心中的铅(锌)矿体中选取了 2 件闪锌矿单矿物作了硫同位

素分析(表 2), δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub>=7.0‰~7.1‰, 平均 7.05‰, 分布相对集中, 均一化程度较高<sup>[8-11]</sup>, 与胶东主要金矿床硫同位素组成相一致, 与中生代花岗岩类硫同位素组成变化范围接近, 而与区域上较老的变质基底地层(如胶东岩群 δ<sup>34</sup>S 平均值为 4.99‰<sup>[12]</sup>、荆山群变质岩中黄铁矿 δ<sup>34</sup>S 值为 9.3‰~9.8‰<sup>[13]</sup>、斜长角闪岩 δ<sup>34</sup>S 值为 0.0‰~1.7‰<sup>[14]</sup>)硫同位素组成差别较大(图 7)。胶东大多数金矿硫同位素组成变化范围较小, 指示了硫来源的一致性<sup>[15-16]</sup>。矿床硫同位素组成与该区中生代主要岩浆岩硫同位素组成变化范围相近, 反映了在地质演化过程中随着壳幔相互混合作用不断进行, 在中生代金矿大规模成矿作用发生时, 该区域硫同位素已基本均一化, 并为该区与中生代花岗岩类有关的金矿床提供了统一的硫源。

#### 3.2.2 氢、氧同位素

在大邓格矿区 ZK804、ZK805、ZK1002 钻孔岩心中采集了 4 件矿石(矿石类型为黄铁绢英岩化碎裂岩)样品, 对其中石英包裹体进行了氢、氧同位素测试, 据石英-水的氧同位素分馏系数与温度的关系公式:

$$1000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.42\times 10^6\times T^{-2}-2.86^{[18]}$$

按流体包裹体均一温度平均值(300℃)和已经测

表 2 大邓格金多金属矿床硫同位素组成

Table 2 Sulfur isotope composition of the Dadengge gold polymetallic deposit

序号	样品编号	取样位置/m	矿体编号	岩性	测试对象	δ <sup>34</sup> S <sub>v-CDT</sub> /‰
1	ZK604-1	134.00	锌矿体	绢英岩化碎裂岩	闪锌矿	7.0
2	ZK803	85.00	铅锌矿体	花岗质碎裂岩	闪锌矿	7.1

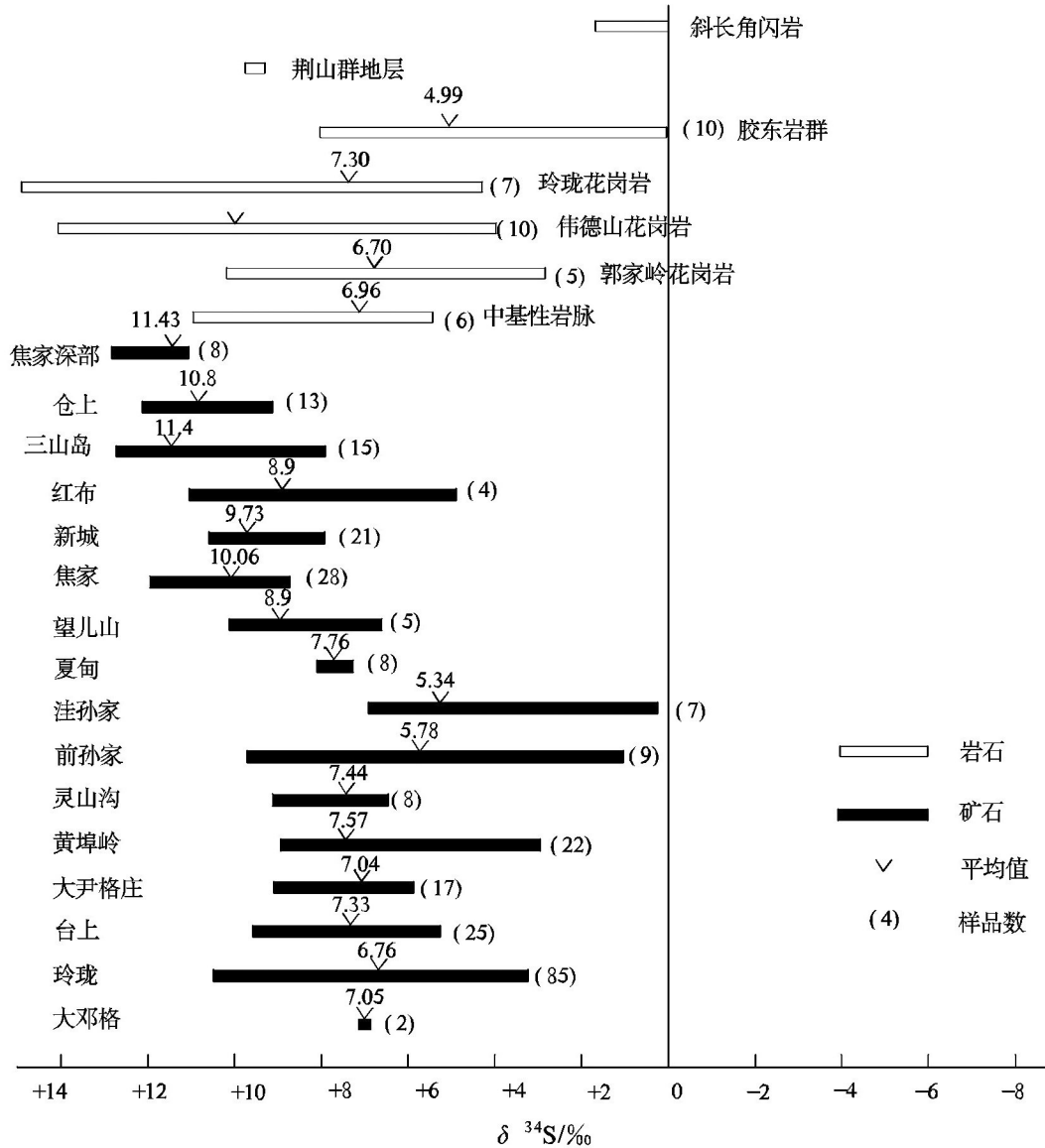


图7 胶东地区主要金矿床及围岩硫同位素组成(大邓格数据为本次测得,其余资料据文献[12-14, 17])

Fig.7 Diagram showing sulfur isotope compositions of ores and country rocks of gold deposits in Jiaodong Peninsula (data of the Dadengge deposit after this paper, and the others after references [12-14] and [17])

得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英V-SMOW}}$ 值计算出矿化蚀变时的流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值。并与胶东典型金矿床矿石流体氢氧同位素组合作了对比(表3)。

大邓格金多金属矿成矿流体中的 $\delta\text{D}$ 变化范围不大,介于 $-101.8\text{‰} \sim -91.3\text{‰}$ ,与焦家深部金矿床 $\delta\text{D}$ 值变化区间( $-116.96\text{‰} \sim -83.68\text{‰}$ <sup>[19]</sup>)一致,但变化范围更集中,低于玲珑金矿床 $\delta\text{D}$ 值( $-93\text{‰} \sim -54\text{‰}$ <sup>[20-21]</sup>)。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值变化范围较大,在 $5.0\text{‰} \sim 16.0\text{‰}$ 之间,对应的在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $-2.57\text{‰} \sim 8.35\text{‰}$ ,变化范围较焦家深部金矿床( $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $4.11\text{‰} \sim$

$8.35\text{‰}$ )和玲珑金矿床( $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $3.2\text{‰} \sim 7.2\text{‰}$ )宽泛。根据 Ohmoto<sup>[23]</sup>和 Sheppard<sup>[24]</sup>建议, $\delta\text{D}$ 值在 $-80\text{‰} \sim -40\text{‰}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 水值在 $5.5\text{‰} \sim 9.5\text{‰}$ 为岩浆水,大邓格矿床流体氢氧同位素值不属岩浆水范畴。把这些数据投影到 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}-\delta\text{D}$ 图解(图8)上,指示成矿流体具岩浆水和大气降水混合的特点。胶东典型金矿床氢氧同位素也主要投点于岩浆水和大气降水组成的混合水区域,玲珑石英脉型金矿有部分数据落入岩浆水范围内,可能指示石英脉型金矿的部分成矿流体直接来自深源的岩浆热液。大

表3 大邓格金多金属矿床及胶东典型金矿床氢-氧同位素组成表

Table 3 Hydrogen and oxygen isotope composition of the Dadengge deposit and the typical gold deposits in Jiaodong

矿床	样品编号	取样位置/m	测试矿物	岩性	$\delta D_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}/\text{‰}$	数据来源
大邓格 金多金 属矿床	ZK804-1-a	328.70	石英	SJH	-92.50	16.00	8.35	本文
	ZK804-2-a	342.50	石英	SJH	-91.30	13.20	5.57	
	ZK805-1-a	414.30	石英	SJH	-101.80	5.00	-2.57	
	ZK1002-1-a	266.50	石英	SJH	-92.10	8.60	1.01	
焦家 深部 金矿床	ZK634		石英	S $\gamma$ JH	-90.16	12.88	4.95	文献[19]
	ZK615-6		石英	SJH	-92.76	13.24	5.31	
	ZK634-9		石英	S $\gamma$ JH	-83.68	12.04	4.11	
	ZK622-3		石英	SJH	-116.96	16.28	8.35	
	ZK667-11		石英	S $\gamma$ JH	-91.38	13.04	5.11	
	ZK622-5		石英	S $\gamma$ JH	-87.15	12.45	4.52	
玲珑 金矿床			石英		-85.00	13.60	4.20	文献[20]
			石英		-76.00	14.10	4.00	
			石英		-93.00	12.60	3.20	
			石英		-76.00	13.70	4.30	文献[21]
			石英		-62.00	13.20	3.80	
			石英		-64.00	12.20	6.10	
			石英		-54.00	16.60	7.20	
		石英		-58.00	15.00	7.20		
玲珑花岗岩			花岗岩全岩	$\gamma$	-68.40	8.30	4.70~7.60	文献[22]
郭家岭花岗岩			花岗岩全岩	$\gamma$	-62.40	10.10	7.10~9.10	

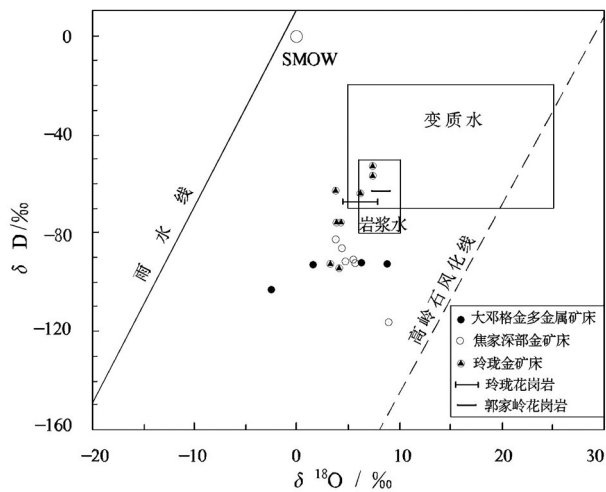
图8 大邓格金多金属矿床及胶东典型金矿床 $\delta^{18}O-\delta D$ 图解  
(大邓格数据为本次测得,其余资料据文献[19-22])

Fig. 8  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  diagram for the Dadengge deposit and typical gold deposits in Jiaodong area (data of the Dadengge deposit after this paper, and the others after references [19-22])

邓格矿床氢氧同位素投点较胶东典型金矿床更靠近雨水线,说明有更多的大气降水参与到成矿系统,可能体系处于相对更加开放的系统,有利于流体的混合<sup>[25-31]</sup>。

## 4 成矿流体特征

### 4.1 包裹体岩相学特征

大邓格金多金属矿床矿石流体包裹体主要寄主矿物为石英和方解石,包裹体形态规则,长轴大小介于2~15  $\mu\text{m}$ ,个别达20  $\mu\text{m}$ ,一般在8  $\mu\text{m}$ 左右。包裹体成群、成带分布,以原生为主,少量假次生和次生包裹体,本次研究均选择原生包裹体。从相态看,可分为富液相包裹体(I型,数量约占75%)、 $\text{CO}_2$ 两相包裹体(II型,数量约占9%)和 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体(III型,数量约占16%)3种类型,气液比变化较大,从10%~80%均有产出,以气液比10%~30%的I型最常见(表4,图9)。

### 4.2 包裹体均一温度及盐度

大邓格矿床石英、方解石矿物中流体包裹体均一温度( $T_h$ )变化范围为86~429 $^{\circ}\text{C}$ (表4),变化范围较大,平均值为261 $^{\circ}\text{C}$ ,根据均一温度分布直方图(图10-a),I型富液相包裹体和III型 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体的均一温度明显集中在300~320 $^{\circ}\text{C}$ 。推断石英(方解石)的形成至少经历了两个成矿期阶段,以120 $^{\circ}\text{C}$ 和以300 $^{\circ}\text{C}$ 为温度中心。以300 $^{\circ}\text{C}$ 为中心的寄

表4 大邓格金多金属矿床流体包裹体显微测温结果

Table 4 Microthermometric data of fluid inclusions in the Dadengge gold polymetallic deposit

样号	岩石类型	取样位置	测试矿物	包裹体类型	气液比/%	$T_{HCO_2}/^{\circ}C$	$T_h/^{\circ}C$	盐度/(%NaCl)	密度/(g/cm <sup>3</sup> )
ZK804-1	SJH	342.50 m I-6号矿体	石英	富液相包裹体	10~30		283~321	4.8~12.42	0.74~0.87
				CO <sub>2</sub> 两相包裹体	30	31.60			
				H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	30~80	28.20~31.00	282~360	4.87~12.45	0.65~0.89
ZK808-2	SJH	269.60m I-6号矿体	石英	富液相包裹体	20~40		212~412	4.26~11.75	0.66~0.94
				CO <sub>2</sub> 两相包裹体	40~60	26.00~29.20			
				H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	20~60	23.60~28.60	280~429	4.14~11.65	0.68~0.77
ZK808-4	SJH	273.60 m I-2号矿体	方解石	富液相包裹体	5~10		86~126	9.08~14.97	1.00~1.07
				石英	富液相包裹体	10		255	22.38
ZK1005-1	SJH	226.80 m I-2号矿体	石英	富液相包裹体	8~20		96~129	1.74~4.96	0.97~0.98
ZK1002-1	SJH	266.50 m I-2号矿体	石英	富液相包裹体	5~20		142~317	2.07~20.45	0.76~1.08

主石英颗粒较粗,是在成矿早期形成的。以120°C为中心的寄主细粒石英和大量方解石属于成矿晚期产物。热液活动过程,随着温度的下降,挥发分的比例不断下降,流体成分由富含CO<sub>2</sub>演变为水溶液,CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比值在早期热液成矿之后突然降低,表明发生了CO<sub>2</sub>逸失为特征的不混溶或沸腾现象,故流体包裹体测定的均一温度可代表最低成矿温度,据此推断大邓格金多金属矿床成矿期温度为中温。

流体包裹体的盐度变化范围较大(表4,图10-b),大致为1.74%~22.38%,平均9.12%,集中分布在6.00%~10.50%,推断由多期热液活动改造围岩造成,但总体表现为低盐度流体。

#### 4.3 包裹体气相成分

成矿早期黄铁矿-石英阶段矿石中的石英气液两相包裹体和H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>三相包裹体激光拉曼探针测试结果(表5)显示,包裹体富含CO<sub>2</sub>,含量为3.37×10<sup>-6</sup>~17.56×10<sup>-6</sup>,在拉曼谱图上主要出现了CO<sub>2</sub>特征峰(1386~1389 cm<sup>-1</sup>和1283~1286 cm<sup>-1</sup>),主成矿阶段(热液成矿早期)含CO<sub>2</sub>包裹体中有时还出现了CH<sub>4</sub>特征峰(2911~2916 cm<sup>-1</sup>),说明包裹体中除CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O外,还含有少量的CH<sub>4</sub>等气体,这也与H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>三相包裹体的部分均一温度 $T_{HCO_2}$ 低于CO<sub>2</sub>的临近温度31.1°C相一致。包裹体中普遍含有较稳定量的N<sub>2</sub>,表明该体系持续为开放体系。结合包裹体岩相学特征,大邓格金多金属矿床成矿流体为H<sub>2</sub>O-

CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-NaCl体系。

前人对胶东地区金矿研究表明金主成矿期流体包裹体以富含CO<sub>2</sub>为特征,成矿晚期普遍出现碳酸盐脉或石英碳酸盐脉,脉中方解石等矿物中的流体包裹体也表现出高CO<sub>2</sub>的特点。关于流体中CO<sub>2</sub>的来源存在不同认识:毛景文等<sup>[13]</sup>认为,胶东金矿成矿系统中富含CO<sub>2</sub>,在一定程度上反映出成矿作用是地幔活动在表壳的响应,可能来自于地幔排气作用;赫英等<sup>[32]</sup>研究指出,在地幔熔融和交代过程中可以形成富金和CO<sub>2</sub>流体,这些流体在岩浆去气过程中上升到地壳,并与地壳流体混合,参与成矿作用。大邓格金多金属矿床流体包裹体中含有大量CO<sub>2</sub>,反映成矿过程中有深部幔源流体的参与,可能与该区大量发育的伟德山壳幔混合成因花岗岩有关<sup>[33]</sup>。

## 5 结 论

(1)主量元素研究表明:大邓格金多金属矿床的赋矿围岩(荣成岩套片麻状花岗闪长岩-二长花岗岩系列)受到了热液流体的改造,富含SiO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O的流体与围岩进行水岩相互作用,原岩中的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O等组分被带出,表现为钠质含量减少、钾质相对增加,成矿过程中发生明显的钾化。

(2)矿床 $\delta^{34}S_{CDT}$ 值介于7.0‰~7.1‰,平均7.05‰,分布集中,均一化程度较高,与胶东主要金矿床及

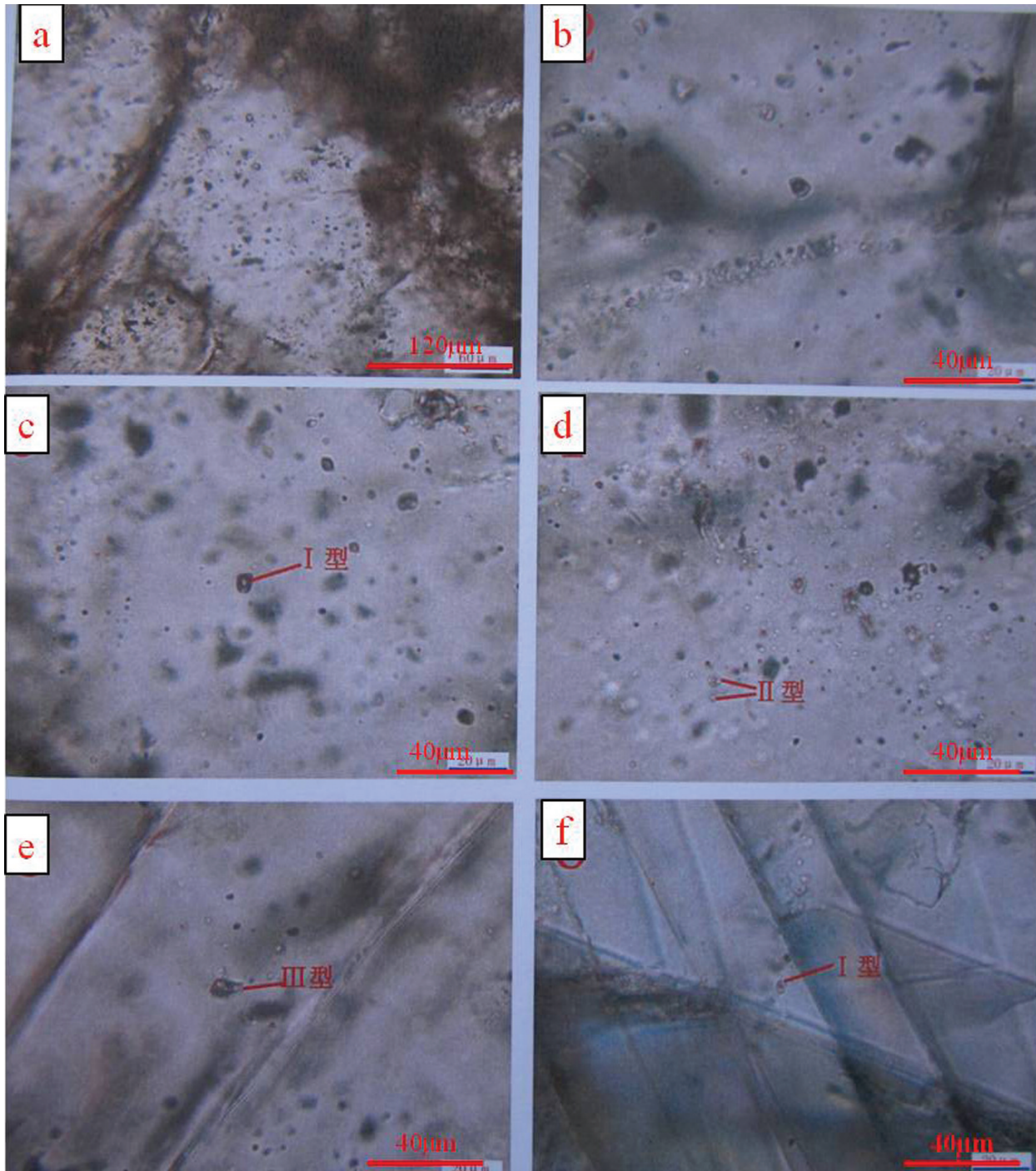


图9 大邓格金多金属矿床流体包裹体特征

a—石英中成群分布的包裹体;b—方解石中成群分布的包裹体;c—石英中无色—灰色 I 型富液相包裹体;d—石英中深灰色 II 型  $\text{CO}_2$  两相包裹体;e—石英中 III 型  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  三相包裹体;f—方解石中无色—灰色 I 型富液相包裹体

Fig. 9 Characteristics of fluid inclusions in the Dadengge gold polymetallic deposit

a—Inclusion group in quartz;b—Inclusion group in calcite;c— I type rich liquid inclusions in quartz;d— II type  $\text{V}_{\text{CO}_2}-\text{L}_{\text{CO}_2}$  inclusions in quartz; e— III type rich  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  three-phase inclusions in quartz; f— I type rich liquid inclusions in calcite

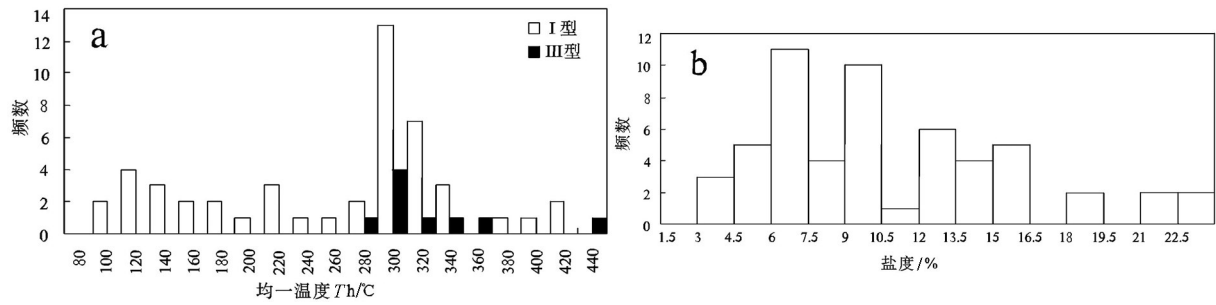


图10 大邓格矿石英及方解石中流体包裹体样品均一温度(a)和盐度(b)分布直方图

Fig. 10 Histograms of homogenization temperature (a) and salinity (b) for quartz and calcite fluid inclusions in the Dadengge gold polymetallic deposit

表5 大邓格金及多金属矿床流体包裹体气相成分表

Table 5 Gas phase composition of inclusions in the Dadengge gold polymetallic deposit

样品 编号	测试矿物	源岩	含量 / 10 <sup>-6</sup>					
			H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O(气相)
ZK804-1	石英	黄铁绢英岩化碎裂岩	0.81	1.12	0.25	0.24	17.56	1.76×10 <sup>5</sup>
ZK1002-1	石英	黄铁绢英岩化碎裂岩	0.17	3.01	0.21	0.29	3.37	3.93×10 <sup>4</sup>

中生代花岗岩类硫同位素组成基本一致,而与古老变质基底相差较大。推测在中生代金矿大规模成矿作用发生时,硫同位素已基本均一化,为金及多金属矿床提供了统一的硫源。

(3)成矿流体中  $\delta D_{V-SMOW}$  值介于  $-101.8‰ \sim -91.3‰$ ,  $\delta^{18}O_{水}$  值为  $-2.57‰ \sim 8.35‰$ , 指示成矿流体主要为岩浆水和大气降水组成的混合水。与胶东典型金矿床比较,显示有更多的大气降水参与到多金属矿成矿系统,说明体系处于相对更加开放的系统,有利于流体的混合。

(4)流体包裹体形态规则,一般在  $8 \mu m$  左右,成群、成带分布,按相态可分为富液相包裹体、 $H_2O-CO_2$ 三相包裹体及气体包裹体三类。包裹体测温显示成矿作用至少经历了早期  $300^\circ C$  左右和晚期  $120^\circ C$  左右两个成矿阶段。流体包裹体的盐度变化范围较大,为  $1.74\% \sim 22.38\%$ , 平均  $9.12\%$ , 集中分布在  $6.00\% \sim 10.50\%$ , 推断受多期热液活动影响,总体表现为低盐度流体。

(5)包裹体成分测试显示,包裹体富含  $CO_2$ , 有少量的  $CH_4$  等气体。包裹体中普遍含有  $N_2$ , 且含量稳定。表明大邓格金多金属矿床成矿流体为  $H_2O-CO_2-N_2-NaCl$  体系。

致谢: 感谢山东省第六地质矿产勘查院提供的

基础地质资料以及对野外工作的支持与帮助!

参考文献(References):

[1] 山东省第六地质矿产勘查院. 山东省威海市经济技术开发区大邓格矿区金及多金属矿详查报告[R]. 2012. Shandong Provincial 6th Exploration Institute of Geology and Mineral Resources. Detailed survey report of Dadengge complex deposit in Economy and Technology Development Area of Weihai City, Shandong Province[R]. 2012, (in Chinese).

[2] 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 山东矿床[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2006: 384-386. Kong Qingyou, Zhang Tianzhen, Yu Xuefeng, et al. Shandong Deposits [M]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Publishing House, 2006: 384-386(in Chinese).

[3] 于学贵, 等. 山东省威海地质矿产概论[R]. 威海市地质矿产处内部资料, 1999: 7. Yu Xuegui, et al. Generality of Geology and Mineral in Weihai City, Shandong Province[R]. Inner Data of Department of Geology and Mineral in Weihai City, 1999: 7(in Chinese).

[4] 丁正江, 孙丰月, 刘福来, 等. 胶东伟德山地区铜钼多金属矿锆石 U-Pb法测年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(2):607-618. Ding Zhengjiang, Sun Fengyue, Liu Fulai, et al. U-Pb dating of zircons from the Weideshan molybdenum copper polymetallic deposit in Jiaodong Peninsula, China, and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(2): 607-618(in

- Chinese with English abstract).
- [5] 王兰中, 王来明. 荣成超单元的基本特征[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 13-23.  
Wang Lanzhong, Wang Laiming. Basic features of Rongcheng Superunit[J]. Shandong Geology, 1994, 10(2): 13-23(in Chinese with English abstract).
- [6] 张丕建, 刘殿浩. 胶东东部荣成超单元的岩石谱系划分及成因探讨[J]. 山东地质, 1998, 14(2): 19-26.  
Zhang Peijian, Liu Dianhao. Classification of rock pedigree of Rongcheng Superunit and discussion on its origin[J]. Shandong Geology, 1998, 14(2): 19-26(in Chinese with English abstract).
- [7] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(2): 247-263.
- [8] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2004.  
Han Yinwen, Ma Zhendong. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).
- [9] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社. 1985.  
Qiu Jiexiang. Magmatic Petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985(in Chinese).
- [10] 于炳松, 赵志丹, 苏尚国. 岩石学[M]. 北京:地质出版社, 2011.  
Yu Bingsong, Zhao Zhidan, Su Shangguo. Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011(in Chinese).
- [11] 李杰, 李世勇, 毕明光, 等. 胶东地区早白垩世金-铜-铅-锌矿床成矿作用及成矿模式[M]. 北京:地质出版社, 2015.  
Li Jie, Li Shiyong, Bi Mingguang, et al. Metallization and Metallogenetic Model of Early Cretaceous Au-Mo-Cu-Pb-Zn Nonferrous Metal Deposits in Jiaodong Peninsula [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015(in Chinese).
- [12] 李俊健. 华北陆块主要成矿区带成矿规律和找矿方向研究[M]. 天津:天津科技出版社, 2006: 297-312.  
Li Junjian. Metallogeny and Prospecting Direction of Main Metallogenetic Belts in North China Block[M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2006: 297-312(in Chinese).
- [13] 毛景文, 李厚民, 王义天, 等. 地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 839-857.  
Mao Jingwen, Li Houmin, Wang Yitian, et al. The relationship between mantle-derived fluid and gold ore-formation in the eastern Shandong Peninsula: Evidences from D-O-C-S isotopes[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 839-857 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张竹如, 陈世祯. 胶东金矿成矿域胶莱盆地中超大型金矿床找矿远景[J]. 地球化学, 1999, 28(3): 203-212.  
Zhang Zhuru, Chen Shizhen. Superlarge gold deposit exploration perspective in Jiaolai Basin of Jiaodong gold metallogenetic domain[J]. Geochimica, 1999, 28(3): 203-212(in Chinese with English abstract).
- [15] 侯明兰, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 胶东蓬莱金成矿区的S-Pb同位素地球化学和Rb-Sr同位素年代学研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2525-2533.  
Hou Minglan, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, et al. S-Pb isotope geochemistry and Rb-Sr geochronology of the Penglai gold field in the eastern Shandong Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2525-2533(in Chinese with English abstract).
- [16] 张连昌, 沈远超, 曾庆栋, 等. 山东中生代胶莱盆地北缘金矿床硫铅同位素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 380-384.  
Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, et al. Sulfur and lead isotopic geochemistry of gold deposits at the northern margin of Jiaolai Basin, east Shandong[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(4): 380-384(in Chinese with English abstract).
- [17] 宋明春, 宋英昕, 沈昆, 等. 胶东焦家深部金矿床地球化学特征及有关问题讨论[J]. 地球化学, 2013, 42(3): 2749-289.  
Song Mingchun, Song Yingxin, Shen Kun, et al. Geochemical features of deeply-seated gold deposit and discussions on some associated problems in Jiaodong gold ore field, Shandong Peninsula, China[J]. Geochimica, 2013, 42(3): 2749-289(in Chinese with English abstract).
- [18] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.  
Zhang Ligang. Geological Application for the Stable Isotope[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985(in Chinese).
- [19] 宋明春, 崔书学, 伊丕厚, 等. 胶西北金矿集中区深部大型-超大型金矿找矿与成矿模式[M]. 北京:地质出版社, 2010: 173-214.  
Song Mingchun, Cui Shuxue, Yi Pihou, et al. Prospecting and Metallogenetic Model of Large and Super-large-scale Deep-seated Gold Deposits in Northwestern Shandong Peninsula Concentration Region of Gold Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 173-214(in Chinese).
- [20] 张理刚, 陈振胜, 刘敬秀, 等. 焦家式金矿水-岩交换作用: 成矿流体来源及成因[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 193-200.  
Zhang Ligang, Chen Zhensheng, Liu Jingxiu, et al. Water-rock exchange in the Jiaojia type gold deposit: A study of hydrogen and oxygen isotopic compositions of ore-formation fluids[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(3): 193-200(in Chinese with English abstract).
- [21] 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山, 等. 胶东两大成因系列金矿石包裹体氢氧同位素及成矿流体组分地球化学研究[J]. 矿物学报, 1991, 11(4): 363-369.  
Yang Zhongfang, Xu Jingkui, Zhao Lunshan, et al. Geochemical studies of hydrogen and oxygen isotopes and ore-forming fluid



- compositions of fluid inclusions in quartz from two types of gold deposits in Jiaodong[J]. *Acta Mineral Sinica*, 1991, 11(4): 363–369(in Chinese with English abstract).
- [22] 徐金芳, 沈步云, 牛良柱, 等. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类的研究[J]. *山东地质*, 1989, 5(2):1–110.  
Xu Jinfang, Shen Buyun, Niu Liangzhu, et al. Study of the granitoids related to gold deposits in Jiaodong Block, Shandong Province[J]. *Shandong Geology*, 1989, 5(2): 1–110(in Chinese with English abstract).
- [23] Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits[J]. *Reviews of Mineralogy*, 1986, 16: 491–559.
- [24] Sheppard S M F. Characterization and isotopic variations in natural waters[J]. *Reviews of Mineralogy*, 1986, 16: 165–183.
- [25] 侯明兰, 蒋少涌, 沈昆, 等. 胶东蓬莱金矿区流体包裹体和氢氧同位素地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2241–2256.  
Hou Minglan, Jiang Shaoyong, Shen Kun, et al. Fluid inclusion and H–O isotope study of gold mineralization in the Penglai gold field, Eastern Shandong[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2241–2256(in Chinese with English abstract).
- [26] 张连昌, 沈远超, 李厚民, 等. 胶东地区金矿床流体包裹体的He, Ar同位素组成及成矿流体来源示踪[J]. *岩石学报*, 2002, 18(4): 559–565.  
Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Li Houmin, et al. Helium and argon isotopic compositions of fluid inclusions and tracing to the source of ore-forming fluids for Jiaodong gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(4): 559–565(in Chinese with English abstract).
- [27] 李建威, 毕诗健, Vasconcelos Paulo. 胶东苏鲁地体范家埠金矿成矿作用与矿床成因浅析: 兼与胶北地体金矿对比[J]. *高校地质学报*, 2010, 16(2):125–142.  
Li Jianwei, Bi Shijian, Vasconcelos Paulo. Mineralization and genesis of the Fanjiabu gold deposit in the Sulu Ultrahigh Pressure Metamorphic Terrane, with a comparison to the gold mineralization in the Jiaobei Terrane[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2010, 16(2):125–142(in Chinese with English abstract).
- [28] 齐钺宇, 张志, 祝新友, 等. 湖南黄沙坪钨钼多金属矿床矽卡岩地球化学特征及其地质意义[J]. *中国地质*, 2012, 39(2): 338–348.  
Qi Fanyu, Zhang Zhi, Zhu Xinyou, et al. Skarn geochemistry of the Huangshaping W–Mo polymetallic deposit in Hunan and its geological significance[J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 338–348(in Chinese with English abstract).
- [29] 王喜龙, 刘家军, 翟德高, 等. 内蒙古林西边家大院银多金属矿床同位素地球化学特征及成矿物质来源探讨[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1288–1303.  
Wang Xilong, Liu Jiajun, Zhai Degao, et al. A study of isotope geochemistry and sources of ore-forming materials of the Bianjiadayuan silver polymetallic deposit in Linxi, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1288–1303(in Chinese with English abstract).
- [30] 胡正华, 王先广, 李永明, 等. 长江中下游九瑞矿集区宝山铜多金属矿床辉钼矿Re–Os年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2015, (2): 585–596.  
Hu Zhenghua, Wang Xianguang, Li Yongming, et al. Re–Os age of molybdenite from the Baoshan copper polymetallic deposit in the Jiurui ore concentration area along the middle–lower Yangtze River region and its geological significance[J]. *Geology in China*, 2015, (2): 585–596(in Chinese with English abstract).
- [31] 李杰, 宋明春, 王美云, 等. 胶东尚家庄钼矿床Re–Os同位素年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2013, 40(5):1612–1621.  
Li Jie, Song Mingchun, Wang Meiyun, et al. The molybdenite Re–Os age and genetic analysis of the Shangjiashuang Mo deposit in Jiaodong area[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5):1612–1621 (in Chinese with English abstract).
- [32] 赫英, 毛景文, 王瑞廷, 等. 幔源岩浆去气形成富二氧化碳含金流体——可能性与现实性[J]. *地学前缘*, 2001, 8(4):265–270.  
He Ying, Mao Jingwen, Wang Ruiting, et al. Carbon dioxide rich and gold bearing fluids degassed from mantle derived magma—reality and possibility[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(4): 265–270(in Chinese with English abstract).
- [33] 宋明春, 宋英昕, 李杰, 等. 胶东与白垩纪花岗岩有关的金及有色金属矿床成矿系列[J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(5): 828–843.  
Song Mingchun, Song Yingxin, Li Jie, et al. Metallogenic series of gold and nonferrous metal deposits related to Cretaceous granites in eastern Shandong Peninsula, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015, 39 (5): 828–843(in Chinese with English abstract).