

青海德尔尼铜(钴)矿床研究新进展

焦建刚¹, 黄喜峰¹, 袁海潮², 陈博³, 孙涛¹, 刘瑞平³

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 西北有色地质勘查局 712 总队, 陕西 咸阳 712000; 3. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 以大比例尺地质填图和实测剖面工作为基础, 通过野外详细地质观察, 室内电子探针分析对比, 再结合前人研究成果, 论述了德尔尼铜(钴)矿床成矿晚于超基性岩, 矿床主体为海底喷流沉积成因, 同时经历了热液叠加成矿作用和构造变形。其成矿过程为: 在拉张环境下, 蛇绿岩破碎, 同时发生了海底喷流—沉积作用, 喷流物质沿蛇绿岩中的构造破碎带喷出与沉积, 并萃取了超基性岩中大量的钴, 矿体形成后又经历了构造变形。

关键词: 矿床成因; 成矿过程; 海底喷流—沉积; 德尔尼; 青海省

中图分类号: P618 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2009)01-0042-06

Progress in the Research of De'erni Cu(Co) Ore Deposit

JIAO Jian-gang¹, HUANG Xi-feng¹, YUAN Hai-chao²,

CHEN Bo³, SUN Tao¹, LIU Rui-ping³

(1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. 712 Team of Northwestern Geology Exploration Bureau for Nonferrous Metal Resources, Xi'an 712000 Shaanxi, China; 3. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Based on geological mapping and profiling combining with existing study achievements, the authors consider that the mineralization of De'erni Cu(Co) ore deposit should be later than its ultra-basic country rock. The genesis of De'erni ore deposit is mainly submarine exhalation-sedimentation, and it experiences later superimposed hydrothermal mineralization. The metallogenic process is such that in extensional tectonic setting, submarine exhalation-sedimentation occurs, the ophiolite breaks up, exhalative materials emplace in the ultra-basic rock along fault belt and extract large amount of Cobalt element from ultra-basic rock. Then, the ore bodies experience complicated tectonic events.

Key words: genesis of deposit; metallogenic process; submarine exhalation-sedimentation; De'erni; Qinghai Province

0 引言

德尔尼铜(钴)矿床位于青海省果洛藏族自治州玛沁县境内, 是一个含多种有用组分的综合性矿床, 铜、钴、硫分别达到大型规模, 锌达到中型规模(铜金属量 5.45×10^5 t, 平均品位 1.03%~1.48%; 钴金属量 2.85×10^4 t, 平均品位 0.0054%~0.0920%; 锌金属量 1.47×10^5 t, 平均品位 0.93%~2.21%; 硫 1.46×10^7 t, 平均品位 31.39%~33.48%)^[1], 并伴

生 Au、Ag、Se 等多种有益组分。长期以来, 对德尔尼矿床成因存在不同认识: ①认为是一种新类型岩浆熔离矿床, 即深部熔离-构造侵位矿床^[1-3]; ②认为与邻近花岗岩有关的热液矿床^[4-5]; ③矿床形成于海底热液作用^[6-7]。近年来, 王玉往等^[8]提出矿床形成与超基性喷出岩有关; 宋忠宝等^[9-10]提出了海底喷流—沉积成矿为主体, 以后期叠加成矿为特色的复合成因。2005 年以来, 德尔尼矿床开始正式露天开采, 笔者以矿区外围 1:2 000 大比例尺填图和

收稿日期: 2008-04-20

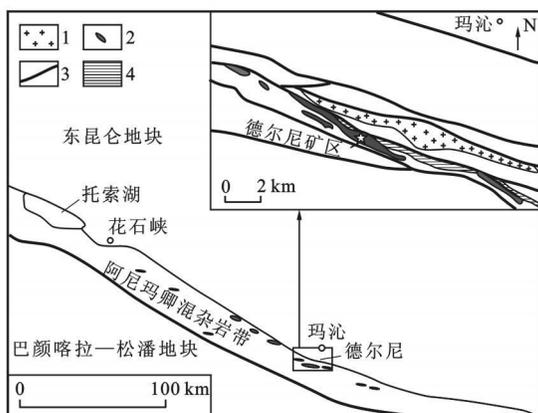
基金项目: 国家自然科学基金项目(40702015)

作者简介: 焦建刚(1976-), 男, 湖北武汉人, 副教授, 工学博士, 从事矿床学及数学地质研究, E-mail: jiangang@chd.edu.cn

矿区 1: 1 000 地质剖面工作为基础, 通过野外详细地质观察和室内测试分析对比, 结合前人研究成果, 对德尔尼矿床的地质及地球化学等展开研究, 就矿床成因及成矿过程提出了新的认识。

1 成矿地质背景

德尔尼铜(钴)矿床位于巴颜喀拉褶皱系阿尼玛卿褶皱带东段的阿尼玛卿前缘大断裂北侧、阿尼玛卿超基性岩带东段的德尔尼超基性岩体中部。阿尼玛卿超基性岩带呈北西或北西西向狭长带状, 长约 300 km, 由近百个岩体组成。这些岩体呈长条状、透镜状, 或互相平行, 或互相衔接, 断续延伸, 岩体规模大小不一, 相差悬殊。以往研究普遍认为阿尼玛卿超基性岩带具蛇纹岩组合特征, 微量元素判别图证明其形成于洋中脊构造环境^[11-12], 因此, 称其为阿尼玛卿混杂岩带(图 1)。其中, 最大的德尔尼超基性岩体长约 17 km, 宽 200~1 000 m, 沿近北西向的断裂带分布, 以斜辉辉橄岩为主, 次为纯橄岩、辉石岩, 岩石均已蛇纹石化。岩体的围岩为千枚状板岩夹砂岩, 前人根据古生物地理学成果^[13]确定其为下二叠统地层。并且, 在超基性岩体与千枚状板岩的内接触带常出现宽度不等的片理化蛇纹岩带, 未见烘烤变质现象, 反映岩体呈构造冷侵位产出。



1—花岗岩; 2—超基性岩体; 3—断裂; 4—韧性剪切带

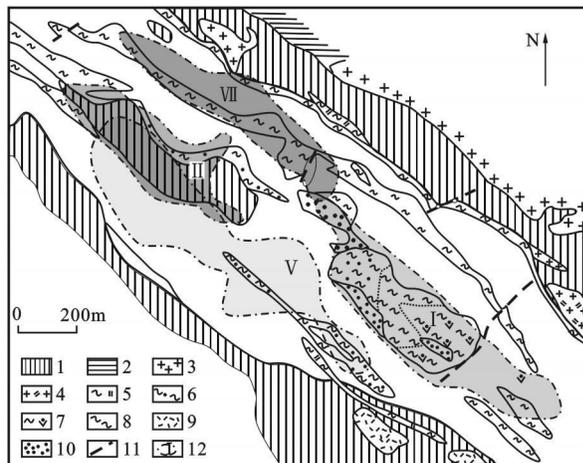
图 1 德尔尼地区构造与岩体分布

Fig. 1 Distribution Map of Structure and Ultra-basic Rock in De'erni Region

2 矿床地质

矿区内有 I、II、V、VII 4 个主矿体(图 2), 22 个小矿体, 多为埋藏不深的隐伏矿。矿体呈透镜状或似层状, 因受后期构造活动影响, 呈现出褶皱形

态(图 3)。矿体大部分直接产在超基性岩的角砾状蛇纹岩带中, 部分产在超基性岩体紧邻的含碳铁硅质板岩中, 矿体边界清楚, 与围岩界线清楚。矿体附近常见的蚀变类型呈现碳酸盐化、蛇纹石化、滑石化、绿泥石化、钠闪石化和硅化, 其中以碳酸盐化和蛇纹石化最为发育, 且与矿化有一定的空间关系。



1—下二叠统: 千枚状含碳板岩、千枚岩夹砂岩偶夹变火山岩层; 2—大理岩、结晶灰岩夹角闪片岩层; 3—花岗岩; 4—花岗闪长岩; 5—硅化、碳酸盐化蛇纹岩; 6—碳酸盐化角砾状蛇纹岩; 7—碳酸盐化蛇纹岩; 8—片状蛇纹岩; 9—变安山岩; 10—铁帽; 11—断层; 12—矿体水平投影及矿体编号

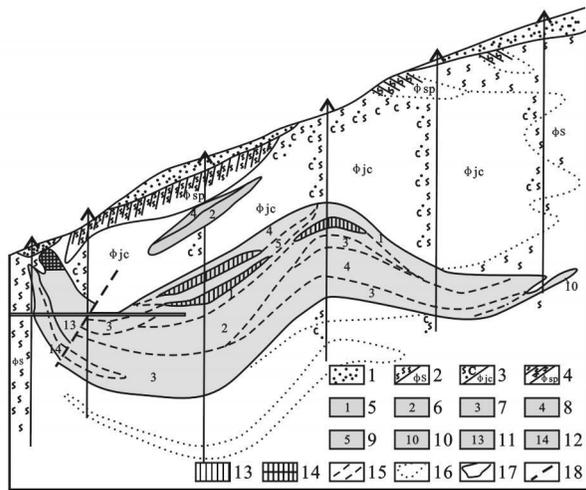
图 2 德尔尼矿床矿区地质略图^[1]

Fig. 2 Geological Sketch Map of De'erni Cu(Co) Deposit

德尔尼矿床的矿石组分较简单, 原生矿石金属矿物组成: 黄铁矿 80%~90%、磁黄铁矿 5%、磁铁矿 2%、黄铜矿 1%~2%、闪锌矿 0.5%~2.0%。矿石结构构造复杂多样, 主要为块状构造, 其次为条带状、浸染状、角砾状等, 偶有网脉状、脉状构造。矿石结构主要为半自形—他形粒状, 粒度一般小于 0.1 mm, 其次有充填、网状、交代残余结构等。矿石类型: 绝大部分为原生矿石, 局部地表有少量氧化矿石。原生矿石为块状和条带状含铜黄铁矿, 构成矿体的主体部分, 其次为含铜磁黄铁矿, 浸染状和角砾状矿分布不广, 主要存在于矿体边部。矿石工业类型以铜钴硫矿石、铜钴硫矿石、铜钴硫矿石为主。

3 矿床地球化学

德尔尼矿床岩石、矿石成矿元素含量分析, 超基性岩中 Ni 质量分数较高, 平均为 0.211%, 矿石中 Ni 质量分数较低, 平均为 0.025^[10]。4 个主矿体质量分数较高的伴生组分为 Au、Ag、Se、Cd、Ga、In, 铂族元素含量低, Pd 质量分数平均为 10×10^{-9} 。



1—第四系坡积物；2—蛇纹岩；3—碳酸盐化角砾状蛇纹岩；4—矿化片状蛇纹岩；5—铜锌钴硫矿石；6—铜锌硫矿石；7—铜铁硫矿石；8—铜矿石；9—铜硫（暂难利用）矿石；10—钴硫矿石；11—铜矿石（氧化矿）；12—铜矿石（暂难利用）；13—夹石；14—铁帽；15—矿石工业类型边界线；16—地质界线；17—矿体边界线；18—断层；引自文献 [1]

图 3 通过德尔尼 1 矿体西段的剖面

Fig. 3 Section Map of No. 1 Orebody in De'erni Cu(Co) Deposit

其他元素更低^[1]。

岩石平均化学成分显示，MgO 含量较高，镁与

表 1 德尔尼铜（钴）矿床与喀拉通克铜镍矿床中磁黄铁矿电子探针数据

Tab. 1 EPMA Data of Pyrrhotite in De'erni Cu(Co) Deposit and Karatungke Cu-Ni Deposit

| 样品号 | DN-17-1 | DN-17-2 | DN-17-3 | DN-17-4 | K12-7-1 | K12-7-2 | K12-7-3 | K12-7-4 | K12-7-5 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| S | 38.990 | 38.040 | 38.600 | 38.610 | 39.000 | 39.180 | 39.130 | 38.970 | 38.360 |
| Pt | 0.000 | 0.233 | 0.029 | 0.409 | 0.526 | 0.205 | 0.439 | 0.000 | 0.000 |
| Fe | 59.510 | 58.540 | 60.290 | 59.830 | 60.910 | 60.470 | 59.940 | 59.270 | 60.190 |
| Cu | 0.003 | 0.049 | 0.000 | 0.049 | 0.068 | 0.042 | 0.382 | 0.000 | 0.122 |
| Pd | 0.046 | 0.041 | 0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.041 |
| Ni | 0.278 | 0.197 | 0.211 | 0.279 | 0.676 | 0.465 | 0.638 | 0.597 | 0.689 |
| Co | 0.093 | 0.116 | 0.071 | 0.085 | 0.000 | 0.144 | 0.129 | 0.155 | 0.000 |
| Co/Ni | 0.330 | 0.590 | 0.340 | 0.300 | 0.000 | 0.310 | 0.200 | 0.260 | 0.000 |
| Total | 98.924 | 97.641 | 99.278 | 99.283 | 101.180 | 100.506 | 100.658 | 99.015 | 99.402 |

注：数据由西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室分析，2008；样品号中“DN”代表德尔尼铜矿床，“K12”代表喀拉通克铜镍矿床

德尔尼铜矿床与金堆城附近的八里坡钼矿床比较，闪锌矿微量元素明显不同，八里坡钼矿床与花岗岩有关为热液成因，具有相对高的 Cd 与 Bi 含量，低的 Fe 含量，暗示德尔尼铜矿床中大量的闪锌矿不是热液成因。德尔尼铜矿床与金堆城钼矿床及喀拉通克铜镍矿床比较，其中黄铁矿的微量元素 Co 含量明显不同。德尔尼边部块状矿石中黄铁矿

铁的比值为 7.5~18.7，属镁质超基性岩。岩石化学成分与煎茶岭含镍岩体有类似之处，与小岩体型岩浆铜镍硫化物矿床的赋矿岩体特征不一致。稀土元素分析资料^[7]： ΣREE 为 $(1.643 \sim 10.025) \times 10^{-6}$ ，以 $(2.97 \sim 5.67) \times 10^{-6}$ 为主，较变质橄榄岩平均值高，较侵入超镁铁岩低，稀土配分型式不同程度表现出平坦或“U”型分布特征，与铜镍硫化物矿床相关的超镁铁岩稀土分布特点（富集轻稀土）不同。

矿床中蛇纹岩和玄武岩的 $\delta(^{18}\text{O})$ 分别为 5.75‰~10.82‰和 8.39‰~9.28‰，而矿石中方解石 $\delta(^{18}\text{O})$ 为 11.32‰~12.98‰，可见水的来源与母岩有偏离；3 个方解石样品的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值为 -2.013‰~3.83‰；硫同位素组成 $\delta(^{34}\text{S})$ 为 -6.15‰~11.45‰，平均 6.37‰，离差达 17.6‰，反映成矿过程具海相环境特征^[12]。

本研究利用了电子探针分析典型金属硫化物矿物的成分，并对热液矿床和岩浆矿床中硫化物的微量元素特征（表 1~3）。结果显示，德尔尼铜矿床与喀拉通克铜镍硫化物岩浆矿床比较，其中磁黄铁矿的 Co/Ni 为 0.2~0.6，Co < Ni，比较相似，具有岩浆成因特征^[14]，指示了德尔尼铜矿床中磁黄铁矿的物质来源可能与硫化物矿体的围岩蛇纹岩有关。

的 Co 含量较角砾状矿石中黄铁矿的 Co 含量高，喀拉通克块状铜镍矿石中黄铁矿的 Co 含量更高；德尔尼角砾状矿石中黄铁矿的微量元素与金堆城钼矿床中黄铁矿的微量元素相似，暗示德尔尼铜矿床存在热液叠加成矿过程。

总之，矿物电子探针分析显示，德尔尼矿床中磁黄铁矿来源可能与蛇纹岩有关，黄铁矿部分具有

表 2 德尔尼铜矿床与八里坡钼矿床的闪锌矿中电子探针数据

Tab. 2 EPMA Data of Sphalerite in De'erni Cu(Co) Deposit and Balipo Mo Deposit

| 样品号 | B001-1Zn | B001-1Zn | DN-18Zn-1 | DN-18Zn-2 | DN-18Zn-3 | DN-18Zn-4 | DN-19-1 | DN-15-1 |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| S | 32.910 | 33.110 | 33.300 | 33.310 | 32.580 | 33.210 | 33.690 | 33.550 |
| Zn | 65.320 | 64.280 | 60.310 | 61.020 | 60.050 | 60.370 | 60.260 | 60.080 |
| Cd | 1.580 | 1.850 | 0.118 | 0.070 | 0.180 | 0.121 | 0.176 | 0.081 |
| Fe | 0.057 | 0.573 | 6.200 | 5.760 | 6.650 | 5.840 | 6.270 | 6.980 |
| Cu | 0.000 | 0.814 | 0.000 | 0.076 | 0.287 | 0.177 | 0.027 | 0.141 |
| Bi | 0.062 | 0.202 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Total | 100.000 | 100.829 | 99.929 | 100.244 | 99.747 | 99.719 | 100.423 | 100.832 |

注: 数据由西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室分析, 2008; 样品号中“DN”代表德尔尼铜矿床, “B”代表八里坡钼矿床

表 3 德尔尼铜矿床与金堆城钼矿床、喀拉通克铜镍矿床中黄铁矿的电子探针数据

Tab. 3 EPMA Data of Pyrite in De'erni Cu(Co) Deposit, Jinduicheng Mo Deposit and Karatungke Cu-Ni Deposit

| 样品号 | DN-19-1 | DN-19-2 | DN-17-1 | DN-17-2 | JDC-20-1 | JDC-20-2 | K11-24-1 | K11-24-2 |
|-------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 岩石类型 | 角砾状矿石 | 角砾状矿石 | 块状矿石 | 块状矿石 | 花岗岩 | 花岗岩 | 块状矿石 | 块状矿石 |
| Se | 0.001 | 0.021 | 0.013 | 0.012 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.000 |
| S | 53.560 | 53.060 | 53.190 | 53.450 | 52.890 | 53.420 | 52.740 | 52.670 |
| Fe | 46.950 | 47.260 | 46.100 | 45.790 | 46.760 | 46.870 | 45.840 | 46.010 |
| Co | 0.084 | 0.097 | 0.500 | 0.666 | 0.094 | 0.132 | 1.230 | 1.690 |
| Zn | 0.004 | 0.064 | 0.000 | 0.114 | 0.085 | 0.007 | 0.029 | 0.031 |
| Cu | 0.043 | 0.107 | 0.068 | 0.002 | 0.000 | 0.049 | 0.036 | 0.000 |
| Total | 100.684 | 100.842 | 99.870 | 100.155 | 100.264 | 100.500 | 99.944 | 100.401 |

注: 数据由西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室分析, 2008; 样品号中“DN”代表德尔尼铜矿床, “JDC”代表金堆城钼矿床, “K1”代表喀拉通克铜镍矿床

热液成因, 闪锌矿不是热液成因。

4 矿床成因与成矿过程

长期以来, 对德尔尼矿床成因主要有 3 种不同认识, 但存在不同程度的问题:

(1) 深部熔离—构造侵位矿床观点^[1], 主要依据是: ①矿体产于超基性岩中, 矿体和岩体形成年龄明显早于矿体上覆千枚状板岩年龄(下二叠统); ②矿石以 Cu-Co 组合为主。熔离观点主要问题是矿石的物质成分、结构、构造, 尤其是 Ni 低 Co 高的特征与一般熔离矿床有很大差别。

(2) 与邻近花岗岩有关的热液矿床观点^[4], 主要依据是: ①矿床明显受构造控制, 除主要沿断裂充填于超基性岩体中之外, 矿体还赋存于花岗岩与板岩的接触带; ②矿区北侧有印支—燕山期黑云母花岗岩出露, 矿区内花岗岩脉侵入到超基性岩中; ③矿石金属矿物组合为热液矿床常见矿石组合。与花岗岩有关热液矿床观点主要问题是, 未找到成矿元素分布趋势与花岗岩之间的相关关系, 也难以解释矿体产状与地层走向一致, 矿体与围岩同步褶皱等矿体产状特征。

(3) 海底热液作用观点^[6], 即矿床形成于海底热液作用或火山喷气—沉积作用的观点。其主要依据是: ①赋矿超基性岩属蛇绿岩套组成部分; 主矿体顶板常为砂板岩; ②矿体呈透境状, 似层状, 顺层分布与围岩同步褶皱; ③矿石组构、矿石矿物组成和化学成分特点与块状硫化物矿床相似。结合含矿岩系岩石组成, 该矿床与塞浦路斯型块状硫化物矿床可以类比。这种观点存在的主要问题是, 不能很好解释为何未见矿体产于蛇绿岩套的其他岩石类型特别是玄武岩中, 而仅限于超基性岩中或超基性岩与含碱铁硅质板岩之间。

根据区域地质背景、矿床地质及矿床地球化学分析结果, 德尔尼矿床中超基性岩体为镁质超基性岩, 稀土元素配分曲线为平坦型, Pb 同位素图解显示为洋中脊构造环境^[12], 这些特征指示该岩体为地幔蛇绿岩套组成的一部分。另外, 矿石的 C-O-S 同位素数据范围显示, 成矿条件为海相环境特征^[12]。因此, 笔者认为矿床成因主要为海底喷流—沉积成矿作用, 这一点已经得到多数学者的认同^[6], 但矿床产出的宏观地质证据一直缺乏, 叠加成矿过程研究也不足。

自 2005 年起德尔尼矿床开始露天开采, 很多地质现象得以展现, 也为进一步认识矿床成因和成矿过程提供了很好的野外资料。首先, 矿体绝大部分直接产在超基性岩的角砾状蛇纹岩带中, 部分产在超基性岩体紧邻的含碳铁硅质板岩中, 矿体与围岩界线清楚(图 4a)。这种产出特征与岩浆铜镍硫化物矿床中块状矿体产出特征相似, 但研究表明, 超基性岩石中 Ni 的含量远高于矿石中 Ni 含量^[1], 这与岩浆铜镍硫化物矿床特征是矛盾的, 而且岩浆铜镍硫化物矿床中有大量的浸染状矿石甚至出现海绵陨铁状矿石, 这些在德尔尼矿床中是没有的。因此, 超基性岩没有给矿体提供镍, 也暗示了其成矿过程与岩浆铜镍硫化物矿床的形成过程不同。其次, 德尔尼矿床中有大量的钴, 地质研究表明, 超基性岩体与矿体接触带附近, 超基性岩体中星点状磁铁矿发生“净化”^[10], 而矿体边部钴含量增加, 钴元素和磁黄铁矿主要产出在矿体边部, 这些地质现象可能是硫化物沿超基性岩体破碎带喷出就位过程中萃取了岩体中的钴, 形成了“鞋套状”钴矿体, 因为 Co 和 Ni 的地球热动力学特征不同, Ni 主要在岩浆熔离过程中富集, 而 Co 主要在热液阶段明显富集^[14]。结果导致小矿体(具有较大的“表面积/体积”值)中平均钴品位大于大矿体(具有较小的“表面积/体积”值)中平均钴品位。矿体边部富钴而整体贫镍也暗示不是岩浆熔离矿床, 但经历了热液叠加成矿过程。另外, 矿体中有大量块状矿石, 条带状矿石也非常普遍, 以含铜黄铁矿为主。部分黄铜矿呈脉状或薄皮状充填于矿石的裂隙或表层, 还有的类似于团块状角砾, 矿体边部常见角砾状矿石(图 4b、c、d)。这些条带状矿石(图 4e、f)和角砾状矿石都是海底喷流成矿的典型矿石类型^[15-17], 也支持了本矿床为海底喷流—沉积成因。根据宏观地质现象, 矿体的围岩蛇纹岩发生片理化, 条带状矿石显示北西倾向, 指示矿床经历了后期构造变位。矿体中大量碳酸盐脉的出现和矿体边部富钴和磁黄铁矿的特征, 以及矿体边部岩体发生磁铁矿“净化”现象, 证明了成矿过程中发生了热液叠加成矿作用。

德尔尼蛇纹岩年龄一直存在争议, 据矿区外围洋脊玄武岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄为(345.3 ± 7.9)Ma^[18], 可能代表本区蛇纹岩的形成时代。由于铜矿体主要赋存于蛇纹岩中, 与千枚状板岩关系没有明显穿截关系, 根据地层与岩体之间的接触关系, 结合前

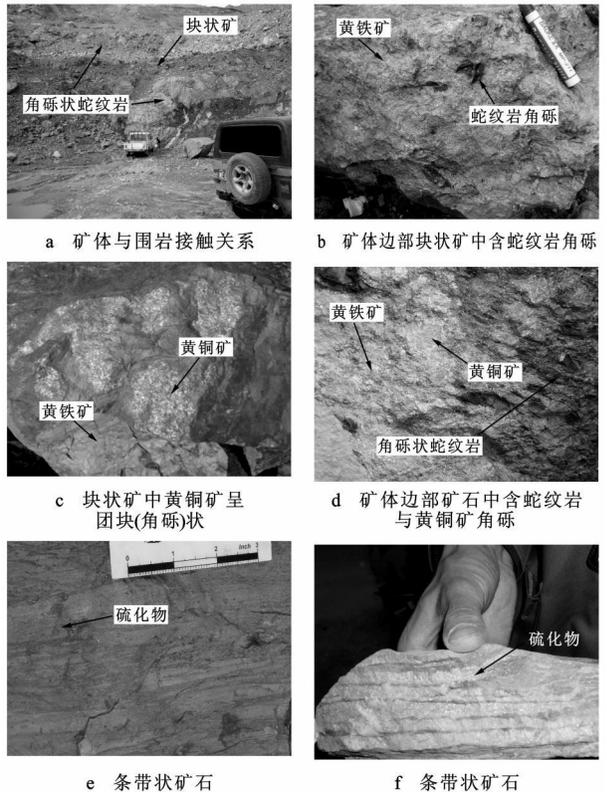


图 4 德尔尼铜(钴)矿床中矿体产出和主要矿石类型

Fig. 4 Characteristics of Orebodies and Ore Complexes in De'erni Cu(Co) Deposit

人年龄资料, 推测矿体形成于蛇绿岩之后, 下二叠统之前。若是超基性岩晚于矿体形成, 硫化物矿体会被基性岩浆的高温再次熔掉, 进入到岩浆中, 这与岩体本身不含硫化物矿石的地质事实矛盾, 也和岩体为地幔蛇绿岩残片^[6, 11](固相)的成岩理论矛盾, 因此成矿过程应该晚于超基性岩体形成时间。

综上所述, 德尔尼矿床主体为海底喷流—沉积成因, 同时经历了热液叠加成矿和构造变位过程。成矿过程为: 蛇绿岩形成后, 在拉张构造环境下, 蛇绿岩发生破碎, 同时发生了海底喷流—沉积作用, 喷流物质沿蛇绿岩中的构造破碎带喷出与沉积, 破碎带中及蛇绿岩顶板含碳铁硅质板岩中最有利于矿物质聚集, 这可能是矿体主要存在角砾状蛇纹岩中和含碳铁硅质板岩中的原因。由于热液作用萃取了超基性岩中的钴, 使形成的矿体边部富钴。矿体形成后, 经历了复杂的构造活动使矿体发生变位。

5 成矿控制因素与找矿标志

根据德尔尼矿床成因分析, 海底喷流成矿过程

中一般伴随着同生构造发生,海底喷流成矿作用使超基性岩体发生了碳酸盐化、角砾岩化,区域性的北西向构造对矿体有明显控制。因此,德尔尼地区铜成矿控制因素为碳酸盐化角砾状蛇纹岩和北西向构造带。找矿标志为碳酸盐化角砾状蛇纹岩,即在北西向构造带中寻找碳酸盐化角砾状蛇纹岩,其下部或边部存在寻找铜多金属矿体的潜力。

值得注意的是,本区碳酸盐化角砾状蛇纹岩顺北西向构造带断续分布,矿体也可能顺构造带断续分布,沿北西方向寻找碳酸盐化角砾状蛇纹岩可能是重要的找矿方向。

6 结语

随着德尔尼铜(钴)矿床的进一步开发,新的地质资料和新的科学问题需要不断研究,如德尔尼铜(钴)矿床的成矿年龄需要确定,含碳铁硅质板岩是否为蛇绿岩套的一部分需要确认,有效的找矿标志和找矿方法需要深入研究,等等。这些科学问题直接影响到本区的矿床成因认识和下一步找矿。

野外工作得到了西安地质矿产研究所宋忠宝研究员多方指导,王升勤、陈向阳等也提供了帮助,德尔尼矿区地测科对研究工作提供了帮助,在这里一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 章午生. 德尔尼铜矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [2] 章午生. 块状硫化物矿床的一个特殊类型——德尔尼铜矿[J]. 甘肃地质学报, 1995, 4(2): 22-31.
- [3] 章午生, 陈杰. 超基性岩中含铜、钴块状硫化物矿床——德尔尼铜矿成因新认识[J]. 青海地质, 1996, 5(1): 37-52.
- [4] 段国莲. 论德尔尼黄铁矿型铜钴矿床的成矿规律[J]. 化工矿产地质, 1996, 18(2): 92-100.

- [5] 段国莲. 论德尔尼黄铁矿型铜钴矿床的地质特征及其与塞浦路斯铜矿的区别[J]. 化工矿产地质, 1998, 20(4): 287-294.
- [6] 杨经绥, 郑新华, 王希斌, 等. 德尔尼 Cu-Co-Zn 硫化物矿床的成因探讨新进展——兼论矿床围岩是蛇绿岩地幔橄辉岩而不是超基性火山岩[J]. 地质前缘, 1999, 6(1): 179-180.
- [7] 祝新友, 姜福芝, 王玉往. 超镁铁岩的 REE 特点及其对青海德尔尼铜钴矿的成因意义[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996, 5(3): 162-168.
- [8] 王玉往, 秦克章. VAMSD 矿床系列最基性端员——青海省德尔尼大型铜钴矿床的地质特征和成因类型[J]. 矿床地质, 1997, 16(1): 1-10.
- [9] 宋忠宝, 陈向阳, 任有祥, 等. 东昆仑德尔尼铜矿“碳质(砂)板岩”的岩类学、岩石化学及其地质意义[J]. 西北地质, 2008, 41(4): 77-81.
- [10] 宋忠宝, 王轩, 任有祥, 等. 东昆仑德尔尼矿床中矿床(体)的叠加成矿作用研究[J]. 西北地质, 2007, 40(4): 1-6.
- [11] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 2004, 31(3): 225-239.
- [12] 史仁灯. 青海省玛沁县德尔尼铜矿成矿地质背景研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 1999.
- [13] 王永标, 杨浩. 东昆仑—阿尼玛卿—巴颜喀拉地区早二叠世的生物古地理特征[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(8): 775-780.
- [14] 潘兆鲁, 赵爱醒, 潘虹钰. 结晶学及矿物学(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [15] 李强, 王兵岐, 马治国, 等. 南秦岭凤太盆地金矿与铅锌矿的成矿模式[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 15-21.
- [16] 曾荣, 刘淑文, 薛春纪, 等. 南秦岭古生代盆地演化中幕式流体过程及成岩成矿效应[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 234-239.
- [17] 王涛, 刘淑文, 魏合明, 等. 热水沉积矿床研究的现状与趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 6-10.
- [18] 陈亮, 孙勇, 裴先治, 等. 德尔尼蛇绿岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(5): 424-426.

(上接第 33 页)

(4) 青海省主要矿产的资源查明率为煤 13.07%、铁 16.65%、铜 14.24%、铅 15.35%、锌 17.87%、岩金 3.64%。这充分说明青海省主要优势与战略性矿产资源的进一步找矿空间和潜力是十分巨大的。

参考文献:

- [1] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.

- [2] 施俊法, 李友枝, 金庆花, 等. 世界矿情(亚洲卷)[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [3] 西安地质矿产研究所. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [4] 贾群子, 杨忠堂, 肖朝阳, 等. 祁连山铜金钴铅锌矿床成矿规律和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [5] 任有祥, 彭礼贵, 李智佩, 等. 北祁连山清水沟—白柳沟矿田块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000.