

岩石·矿物

# 青海东昆仑肯德可克钴金矿床硅质岩特征及成因

潘 彤

(青海省地质调查院, 西宁 810012)

**[摘要]** 上奥陶统铁石达斯群夕卡岩化硅质岩是东昆仑肯德可克钴金矿床的主要围岩之一, 具有沉积结构构造。岩石的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Bi}$  含量高;  $\text{Fe}-\text{Mn}-(\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu}) \times 10$  三角图解中, 样品投影于热水沉积区。岩石的稀土元素组成表明含金硅质岩由热水沉积作用形成。

**[关键词]** 硅质岩 热水沉积作用 钴金矿床 东昆仑

**[中图分类号]** P618.51; P611 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 10495-5331(2008)02-0051-04

近年来, 从新疆若羌到青海都兰地区, 近千公里的东昆仑地区若干钴矿(点), 其成矿作用从古生代到中生代均有显示, 说明东昆仑具有钴多金属矿的找矿潜力。肯德可克钴金矿床就是东昆仑成矿带上典型矿床的代表。于 20 世纪 90 年代末由青海有色地质勘查局矿勘院发现, 在大量地质工作的基础上, 一些学者对其找矿意义进行了论述<sup>[1]</sup>、矿床地质特征进行总结<sup>[2]</sup>、及矿床的成因进行初步探讨<sup>[3]</sup>, 肯德可克钴金矿的主要含矿建造为硅质岩, 笔者根据夕卡岩化硅质岩岩石学、地球化学特征等探讨其形成环境。

## 1 矿床地质背景

肯德可克矿区地处柴达木盆地的西南缘祁漫塔格弧后裂陷构造带中部的加里东期火山盆地。矿区主要出露地层为上奥陶统铁石达斯群火山岩, 北部有上三叠统火山岩, 南部则有上石炭统和上泥盆统出露, 其均呈断裂接触。肯德可克钴金多金属矿床产在上奥陶统铁石达斯群中, 地层由下而上分为三岩性段, 第一岩性段为大理岩、白云质大理岩, 其底部与硅质岩接触部位有透镜状、扁豆状磁铁矿、含铜磁黄铁矿层; 第二岩性段为变泥硅质岩夹含碳钙质板岩和透辉石透闪石硅质岩, 钴金矿体主要赋存于该岩层中; 第三岩性段为变泥硅质岩夹碳质板岩、大理岩, 在硅质岩夹含碳钙质板岩中。总体来说含矿建造岩石具有如下几个特征: 硅质岩多呈层状、多层出现, 有机碳含量高, 含硫量高。厚度几米到一百

余米。在矿区地表和钻探所及的数百米深处, 没有发现大规模的侵入岩体。

## 2 硅质岩地质、岩石学特征

矿区硅质岩产于奥陶纪铁石达斯群上部岩组, 呈层状、似层状产出, 与含碳钙质板岩呈断裂接触, 沿断裂带内发育强烈的夕卡岩化作用。受后期构造热液叠加活动的影响, 矿区很难找到纯净的硅质岩。

绝大部分夕卡岩化硅质岩为灰色-浅灰色, 主要由石英和夕卡岩矿物组成, 二者含量在 95% 以上。夕卡岩化硅质岩, 其热水沉积特征还依稀可见。通常情况下, 主要矿物为石英、透辉石、阳起石、透闪石、石榴子石等, 次要矿物可见方解石、绿帘石、磷灰石和萤石等, 此外含少量黄铁矿等金属硫化物和绢云母。硅质岩中的石英一般晶粒细小, 部分达到微晶, 粒径集中在 0.01mm ~ 0.03mm, 也可见 0.001mm 级粒径, 多呈它形-半自形粒状, 其内普遍含碳泥质物和碳酸盐包体, 呈混浊状。夕卡岩矿物多呈它形-半自形粒状结构, 粒径大小不等, 多数小于 0.03mm, 通常情况下呈网脉状浸蚀硅质岩, 部分沿硅质岩原始纹层理分布, 构成条带状构造。夕卡岩化硅质岩组构复杂, 主要为块状构造、脉状构造, 次为条带状、似角砾状构造, 偶见层纹状构造。典型的结构为它形粒状变晶结构、等粒-不等粒镶嵌变晶结构, 此外还有它形微晶结构。其中层纹构造为典型的同生沉积构造, 一般由石英的结晶程度不同或矿物种类不同造成的。夕卡岩化硅质岩的组

**[收稿日期]** 2007-05-11; **[修订日期]** 2007-07-18。

**[基金项目]** 国土资源部百人计划资助。

**[作者简介]** 潘彤 (1966年—), 男, 2005年毕业于吉林大学, 获博士学位, 教授级高工, 现主要从事矿产勘探技术管理工作。

构特征既反映出同生沉积的特征,又反映了后期热液蚀变特征。

### 3 硅质岩的地球化学特征

#### 3.1 主量元素特征

从夕卡岩化硅质岩全岩分析(表1)可以看出,

表1 肯德可克夕卡岩化硅质岩化学成分

| 样品编号      | 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  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 烧失量  | 总量     |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|--------|
| B1        | 47.48            | 0.02             | 16.15                          | 3.29                           | 2.03 | 0.10 | 3.68  | 8.71 | 0.40              | 9.59             | 0.30                          | 0.24                          | 6.64 | 100.12 |
| B2        | 58.64            | 0.55             | 10.53                          | 6.58                           | 2.57 | 0.13 | 2.88  | 5.05 | 0.32              | 6.83             | 0.78                          | 0.81                          | 4.54 | 99.43  |
| B3(坑道)    | 53.90            | 0.51             | 9.65                           | 2.92                           | 5.33 | 0.11 | 3.86  | 8.43 | 0.19              | 5.52             | 0.43                          | 0.67                          | 8.47 | 99.56  |
| B4(坑道)    | 52.74            | 0.75             | 10.95                          | 0.55                           | 6.17 | 0.83 | 14.80 | 6.17 | 3.34              | 6.50             | 0.30                          | 0.11                          | 2.13 | 99.86  |
| 生物成因硅质岩   | 88.04            | 0.02             | 0.84                           | 1.59                           | 0.26 | 0.30 | 0.19  | 5.07 | 0.18              | 0.16             |                               | 0.03                          | 3.40 | 100.07 |
| 火山热水沉积硅质岩 | 71.10            | 0.45             | 12.10                          | 0.50                           | 4.90 | 0.13 | 1.84  | 0.25 | 2.97              | 1.69             |                               | 0.07                          | 2.00 | 98.00  |

注:吉林省地质矿产局第五实验室测试,2004;据韩发等<sup>[4]</sup>。

另据 Rona<sup>[5][6]</sup>在研究现代洋底热液沉积物时指出,Fe、Mn和Al等主要元素的含量于区分热水沉积与非热水沉积具有重要意义。通常,海洋沉积物的Fe、Mn富集主要与热水参与有关,而Al的富集与陆源物质参与有关,可依据 $Fe/Ti (Fe+Mn)/Ti$ 、 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 来区分水沉积的海底热液沉积,海相沉积物中 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值是衡量沉积物中热水沉积含量的标志,所提出的判别值及矿区内夕卡岩化硅质岩的相应值见表2。从表2可以看出: $Fe/Ti (Fe+Mn)/Ti$ 之比平均值大于20,与判别值相符,而 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 与判别值存在少许偏差,这也可能与后期构造活动而造成其它物质的混入有关,总体来说该矿区硅质岩接近与火山活动相关热水沉积硅质岩的特征。

表3 肯德可克夕卡岩化硅质岩微量元素分析结果

| 样品编号              | Ag    | Cu      | Pb    | Zn    | Co   | Ni    | As      | Sb    | Bi     | Hg    | Au     |
|-------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|
| B1                | 0.64  | 165.0   | 37.0  | 110.0 | 23.5 | 130.0 | 1523.0  | 27.40 | 31.30  | 0.043 | 18.0   |
| B2                | 0.46  | 90.0    | 135.0 | 155.0 | 18.0 | 120.0 | 559.0   | 51.00 | 50.00  | 0.110 | 7.0    |
| B3                | 10.60 | 12700.0 | 275.0 | 550.0 | 95.0 | 154.1 | 279.2   | 15.10 | 104.00 | 0.031 | 38.0   |
| B4                | 6.90  | 47.0    | 41.0  | 81.0  | 17.5 | 135.4 | 27320.0 | 23.60 | 44.00  | 0.019 | 1560.0 |
| 页岩 <sup>[8]</sup> | 0.07  | 45      | 20    | 95    | 19   | 68    | 0.00n   | 13    | 1.5    | ?     | 0.4    |

注:吉林省地质矿产局第五实验室测试,2004;其中Au为 $10^{-9}$ ,其它均为 $10^{-6}$ 。

尤其是其富含As、Sb等元素可以作为识别热水沉积物、深海沉积物和成岩富金属的重要指标<sup>[9][10]</sup>。现代热水沉积物中,含 $As \geq 200 \times 10^{-6}$ 、 $Sb \geq 7 \times 10^{-6}$ ,本区硅质岩As、Sb的平均含量分别为 $7420.3 \times 10^{-6}$ 、 $29.28 \times 10^{-6}$ ,相对于页岩(涂和费)来说高出许多倍,反映出明显的热液喷流沉积的特点。

与生物成因硅质岩比较,夕卡岩化硅质岩明显贫SiO<sub>2</sub>,富FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;相对于火山热水活动的硅质岩,夕卡岩化硅质岩Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的含量较高,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和FeO的含量较低,而且P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量相对较低,反映出陆源成分相对偏低。

表2 海底热液沉积判别值与肯德可克夕卡岩化硅质岩相应值

| 元素比值         | Fe/Ti | (Fe+Mn)/Ti | Al/(Al+Fe+Mn) | 资料来源                |
|--------------|-------|------------|---------------|---------------------|
| 海底热液沉积判别值    | >20   | >20 ±5     | <0.35         | 据 Rona (1983, 1988) |
| 肯德可克硅质岩(4个样) | 23.46 | 24.21      | 0.45          | 本次工作                |

#### 3.2 微量元素特征

根据硅质岩微量元素分析结果(表3),可以看出,硅质岩富含多种微量元素。其中既有黑色、有色金属(Co、Ni、Bi、Cu、Pb、Zn等),又有Au、Ag等贵金属元素,显示出硅质岩为非正常沉积作用的产物<sup>[7]</sup>。

另据 Boston<sup>[11]</sup>提出的热水沉积物与非热水成因沉积物判别 $Fe-Mn-(Co+Ni+Cu) \times 10$ 三角图解中,样品全部投影于热水沉积区(图1),与红海沉积物相接近。表明本区夕卡岩化硅质岩具有热水成因特点。

#### 3.3 稀土元素特征

稀土元素作为岩石地球化学作用的指示剂已被

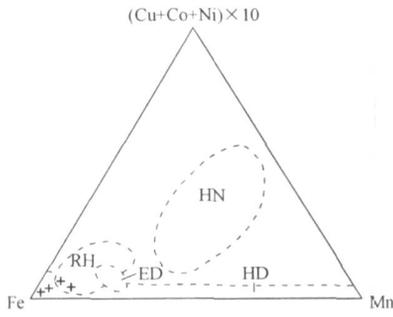


图 1 不同沉积物 Fe - Mn - (Co + Ni + Cu) ×10图解  
(据 Boston K 1973)

RH - 红海热液沉积物区; ED - RPR 区热液沉积物区; HN - 水成沉积物区; HD - 热液沉积物区; + - 肯德可克矿区硅质岩投影点

广泛应用,热水沉积岩的稀土元素更具指示性意义,可以判断其成因和物质来源,所以作者选择了矿区内夕卡岩化硅质岩进行了稀土分析,分析用等离子质谱仪(ICP-MS)测定,分析结果表明,所有夕卡岩化硅质岩稀土元素总量(REE)变化范围  $46.08 \times 10^{-6} \sim 166.79 \times 10^{-6}$  (表 4),平均值为  $117.50 \times 10^{-6}$ ; 8 件硅质岩样品都具有 LREE > HREE 的特征,但 La/Yb 比值低,说明轻重稀土比值低,重稀土相对富集。

夕卡岩化硅质岩经北美页岩<sup>[12]</sup>标准化后稀土分布模式具有明显的铈负异常和铕的正异常(图 2),其配分曲线均向左略微倾斜,总体具相似性,与

表 4 肯德可克硅质岩稀土元素分析结果

| 稀土元素  | A - 1  | A - 2 | A - 3 | A - 4  | B1     | B2     | B3     | B4    |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| La    | 28.65  | 3.91  | 16.31 | 36.48  | 4.23   | 26.57  | 28.65  | 2.97  |
| Ce    | 50.69  | 10.24 | 29.57 | 70.15  | 23.50  | 52.47  | 62.07  | 7.94  |
| Pr    | 7.54   | 1.71  | 4.36  | 9.12   | 6.51   | 7.10   | 7.61   | 1.54  |
| Nd    | 27.60  | 8.77  | 16.97 | 33.07  | 44.75  | 25.13  | 25.12  | 8.29  |
| Sm    | 5.64   | 3.19  | 4.38  | 6.40   | 14.99  | 5.6    | 4.29   | 2.82  |
| Eu    | 1.16   | 0.79  | 1.13  | 0.76   | 1.54   | 1.04   | 0.88   | 0.44  |
| Gd    | 5.15   | 4.13  | 5.40  | 4.16   | 12.84  | 5.67   | 3.88   | 4.69  |
| Tb    | 0.79   | 0.75  | 0.87  | 0.52   | 1.77   | 0.89   | 0.55   | 1.13  |
| Dy    | 4.60   | 5.14  | 5.32  | 2.55   | 9.75   | 5.21   | 2.89   | 9.12  |
| Ho    | 0.92   | 0.98  | 1.12  | 0.46   | 1.86   | 1.04   | 0.60   | 1.97  |
| Er    | 2.95   | 2.95  | 3.47  | 1.28   | 5.39   | 3.03   | 1.61   | 6.57  |
| Tm    | 0.49   | 0.43  | 0.49  | 0.20   | 0.73   | 0.43   | 0.23   | 1.00  |
| Yb    | 3.57   | 2.71  | 3.44  | 1.38   | 4.71   | 2.74   | 1.37   | 6.83  |
| Lu    | 0.58   | 0.38  | 0.51  | 0.21   | 0.65   | 0.38   | 0.21   | 0.92  |
| REE   | 140.33 | 46.08 | 93.34 | 166.74 | 133.23 | 137.29 | 166.79 | 56.21 |
| La/Yb | 0.78   | 0.14  | 0.46  | 2.56   | 0.09   | 0.93   | 2.02   | 0.04  |
| Ce    | 0.741  | 0.809 | 0.763 | 0.807  | 0.673  | 0.831  | 0.838  | 0.758 |
| Eu    | 1.026  | 1.543 | 1.421 | 1.334  | 0.623  | 0.963  | 0.577  | 0.951 |

注:由武汉综合岩矿测试中心分析,2002.

大厂及国内外许多海底热水沉积岩相似。Eu 变化范围为 0.577 ~ 1.543 之间,多数样品大于 1,显示 Eu 以正异常为主; Ce 变化范围为 0.673 ~ 0.838 之间,显示 Ce 负异常。与不同的体系的稀土元素配分模式对比,尽管与正常海水有相似之处,但与洋中脊热水沉积物比较接近,表明在它们形成的过程中海水起了一定的作用。出现这种规律性特征的原因主要由于热水沉积物热水源中混入了向下渗透而后上升的海水,因此热水沉积物能够保留海水固有的 REE 低, Ce 亏损等特点,本区夕卡岩化硅质岩稀土元素特征表明其具有海底热水喷流沉积的特点。

#### 4 结论

肯德可克夕卡岩化硅质岩具有沉积作用形成的

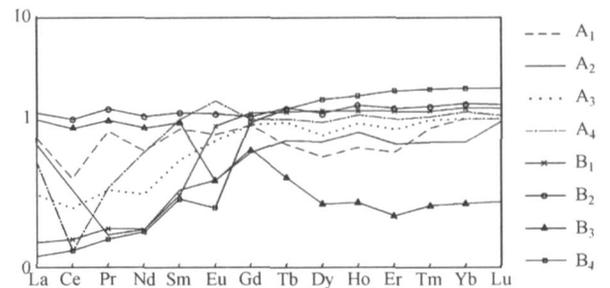


图 2 肯德可克夕卡岩化硅质岩稀土元素配分模式图

结构特征,如矿石原始纹层理分布,构成条带状构造。在岩石中的常量元素  $Fe_2O_3$  及 Co, Au, Bi 微量元素含量较高; Fe - Mn - (Co + Ni + Cu) ×10 三角图解中,夕卡岩化硅质岩样品投影于热水沉积区。稀土元素分馏作用明显,轻重稀土比值低,重稀土相

对富集, Eu多数样品大于 1,显示 Eu以正异常为主, Ce变化范围为 0.673 ~ 0.838之间,显示 Ce负异常,与洋中脊热水沉积物比较接近,表明在夕卡岩化硅质岩形成与海底喷流热水沉积作用关系密切。此外,涂光炽<sup>[13]</sup>在列举夕卡岩的多种可能成因时,提出喷流热水沉积成因或海底热水蚀变作用所形成的夕卡岩是一个主要类型。张汉文<sup>[14]</sup>以青海铜峪沟铜为例,讨论了与铜矿体密切伴生的层状夕卡岩系热水沉积成因。王增润等<sup>[15]</sup>依据钻孔(孔深 761米)未见隐伏岩体,对澜沧“老厂型”银多金属块状硫化物矿似层状夕卡岩,通过岩石学、地球化学判断,认为该似层状夕卡岩是喷流沉积形成的,文章引用 Staton曾提出热水沉积作用成因的层状夕卡岩是由海底喷流热水沉积作用形成的,并常与块状硫化物矿体密切伴生。综上所述,结合肯德可克夕卡岩化硅质岩由热水沉积形成的,钴、金含量与热水沉积作用有关,其为肯德可克钴金铋矿提供主要物质来源,夕卡岩化硅质岩具有喷流沉积建造的特征,其成因为火山喷流热水沉积形成。

## [参考文献]

- [1] 潘彤,孙丰月.青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿特征及找矿方向[J].地质与勘探,2003,39(1):17-20.
- [2] 潘彤,马梅生,康祥瑞.东昆仑肯德可克及外围钴多金属矿找矿突破的启示[J].中国地质,2001,28(2):17-20.
- [3] 匡俊,孙丰月,等.青海东昆仑肯德可克钴铋金矿地质特征及矿床成因初探[J].吉林大学学报,2003,卷33,增刊.
- [4] 韩发,赵汝松,沈建忠, Richard W. Hutchinson,等.大厂锡多金属矿床地质及成因[M].北京:地质出版社,1997.
- [5] Rona P A. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers[M]. New York: Plenum Press, 1983, 473 - 489.
- [6] Rona P A et al Hydrothermal mineralization at oceanic ridges The Canadian Mineralogist - seafloor hydrothermal mineralization[M], 1988, 26(3): 431 - 466.
- [7] 郑明华,周渝峰,刘建明, F Vavtar,等.喷流型与浊流型层控金矿床[M].成都:四川科学技术出版社,1994,273.
- [8] Yamamoto K. Geochemical Characteristics and Deposition Environment of Cherts and Associated Rocks in the Franciscan and Shimena Terranes[J]. Sediment Geology, 1987, 52: 65 - 108.
- [9] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.
- [10] Marching V. Some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments[J]. Marine Geology, 1982, 50: 241 - 256.
- [11] Bostrom K, Kramener T, Gantner S. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Mn, Ni, and Co in Pacific pelagic sediment[J]. Chemical Geology, 1973, 11(1/2): 123 - 148.
- [12] Grömet L P, Dymek R F, et al. The "North American Shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, 48: 2469 - 2482.
- [13] 涂光炽.中国层控矿床地球化学(第三卷)[M].北京:科学出版社,1989,11-16.
- [14] 张汉文.青海铜峪沟铜矿床的热水沉积规律及形成环境——兼论热水作用与火山活动的关系[J].西北地质科学,2000,21(2):46-55.
- [15] 王增润,黄震,彭省临,等.澜沧“老厂型”银多金属块状硫化物矿床成因和成矿模式[J].中国有色金属学报,1997,7(4):1-6.

## GEOCHEMICAL FEATURES AND ORIGIN OF SILICEOUS ROCKS OF KENDEKEKE Co - Au DEPOSIT IN THE EASTERN KUNLUN METALLOGENIC BELT, QINHAI

PAN Tong

(Qin Hai Bureau of Nonferrous Metals Exploration, Xining 810012)

**Abstract:** Silicification of siliceous rocks in the lower Ordovician Tieshidasi group is one of the dominant host rocks of Kendekeke cobalt - gold deposit. The rocks have sedimentary structure. Content of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co, Au and Bi is higher comparing with non hydrothermal sedimentary siliceous rocks. Fe - Mn - (Co + Ni + Cu) ×10 triangle diagram shows hydrothermal sedimentary feature. REE composition of siliceous rocks demonstrates hydrothermal sedimentary origin.

**Key words:** siliceous rock, hydrothermal sedimentary, cobalt - gold deposit, eastern Kunlun