

文章编号: 1009-6248 (2002) 04-0065-21

北祁连山中西段塞浦路斯型铜矿特征 成矿作用及找矿标志*

杨合群, 宋忠宝, 王兴安, 李文明, 李长安, 赵东宏

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 本文总结北祁连山中西段塞浦路斯型铜矿特征及找矿标志, 获得如下认识: 成矿环境为奥陶纪亲弧扩张脊 (岛弧扩张脊和弧后扩张脊), 容矿岩石为蛇绿岩套上部火山-沉积岩系; 矿床成矿金属组合为铜锌, 贫铅; 矿床地质模型为蘑菇状, 蘑菇茎代表沿热液通道的柱状矿体, 蘑菇伞代表在热液喷流口周围海底展开的透镜状、似层状矿体, 伞翼之下为基性火山岩, 伞上常覆盖碧玉岩, 成矿环境不稳定时, 缺失碧玉岩。近喷流口位置矿体 $Cu > Zn$, 远喷流口位置矿体 $Cu < Zn$; 成矿热液起源于海水与玄武岩在高温下的反应, 成矿金属元素主要来自火山岩, 矿化剂硫来自二者; 对于露头矿, 地表存在硫化物氧化带, 对于浅隐伏矿, 地质标志是铜矿化与碧玉岩共存, 地球化学标志是以铜为主的铜-锌套合异常, 地球物理标志是存在电、磁组合异常。

关键词: 北祁连山; 亲弧扩张脊; 塞浦路斯型铜矿

中图分类号: P622 **文献标识码:** A

塞浦路斯型铜矿是与蛇绿岩套中镁铁质喷出岩有关的海底火山热液成因铜矿。北祁连山中西段, 发育奥陶纪聚敛板块边缘亲弧扩张脊 (岛弧扩张脊和弧后扩张脊) 环境形成的蛇绿岩, 沿蛇绿岩带, 断续分布有多个铜异常和铜矿化密集地段。在本区, 20 世纪 60~80 年代, 陆续发现错沟、九个泉、大岔等有露头的铜矿床, 90 年代末期^[5,6], 又评价确定了石居里 VI 号沟和 VIII 号沟等浅隐伏铜矿床。21 世纪初, 中国地质调查局设立“甘肃北祁连山错沟—寺大隆一带铜矿预测与评价”项目, 进一步扩大找矿, 在石居里 V 号沟圈定铜锌块状硫化物矿体, 在大岔东山顶 I 矿带首次圈定原生硫化铜矿体, 在纳木桥西岔和小沙石分别圈定了隐伏铜矿靶区; 在小白泉沟和小长干峡圈定了有利找矿的铜锌地球化学异常。本文仅论述区内塞浦路斯型铜矿特征, 讨论成矿作用, 总结找矿标志, 找矿进展将另文介绍。

收稿日期: 2002-05-27; **修回日期:** 2002-10-20

基金项目: 中国地质调查局“甘肃北祁连山错沟—寺大隆一带铜矿预测与评价”项目 (编号: 200010200152)

作者简介: 杨合群 (1953-), 男, 山西闻喜人, 毕业于北京大学地球化学专业, 研究员, 资源评价研究室主任, 主要从事西北地区矿产资源综合研究工作。

* 参加本文有关工作的还有李向民, 张瑞林, 邬介人, 王革成, 李新科, 耿海清, 宋治杰等。

1 成矿背景

1.1 大地构造位置

按照冯益民等(1996)的划分方案,本区位于塔里木—中朝板块南缘早古生代中期活动陆缘的走廊弧后盆地(ⅠB-1)和走廊南山岛弧(ⅠB-2)单元。

1.2 铜矿有关蛇绿岩

本区铜矿床均与奥陶纪蛇绿岩有关。按空间分布,区内蛇绿岩可分为南、北两个亚带:北亚带蛇绿岩沿错沟—石居里—长干河—桦木沟分布;南亚带蛇绿岩沿野马沟—大岔—寺大隆沟分布,野马沟之西,蛇绿岩带被柴达诺花岗岩基吞噬。

冯益民等(1996)通过北带塔洞沟蛇绿岩剖面 and 南带大岔蛇绿岩剖面研究,认为二者的形成环境分别为弧后扩张脊和岛弧扩张脊^[1]。夏林圻等(1996, 1998, 2001)将二者均归属于弧后扩张脊^[2,3,4]。这是因为相对双弧中的每条而言,它们都位于弧后。

鉴于弧后扩张脊和岛弧扩张脊均起源于岛弧轴之下地幔楔软流圈部分底劈上隆引发的弧壳拉裂作用,只不过裂开位置不同而已,我们将二者概括为亲弧扩张脊。

2 铜矿特征概论

2.1 铜矿分布

根据铜矿床、矿点、矿化点及铜异常的分布,错沟—寺大隆矿带可进一步划分为两个矿化亚带(图1):北矿化亚带,长约120 km,铜矿化密集区和铜异常沿错沟—石居里—长干河—桦木沟分布,带内已发现矿床有错沟小型铜矿,石居里Ⅵ号沟中型铜矿、Ⅷ号沟小型铜矿、Ⅴ号沟小型铜锌矿,九个泉小型铜锌矿;南矿化亚带,长约70 km,铜矿化密集区和铜异常沿大岔—寺大隆沟分布,带内已知矿床有大岔东山顶小型铜矿。

2.2 铜矿类型

本区发现铜矿床、矿点、矿化点几十处,铜矿成因类型可分为两大类:

2.2.1 与火山活动有关的海底热液喷流成因块状硫化物型铜矿

该成因铜矿以块状硫化物为代表性矿石,还常有角砾状、网脉状、浸染状矿石,有时可见条带状(纹层状)矿石。容矿岩石为中下奥陶统基性火山—沉积岩系。已确认属此成因者十余处,以错沟、石居里Ⅵ号沟、Ⅷ号沟、Ⅴ号沟、九个泉、大岔东山顶铜(锌)矿床为代表。这些铜矿就是所谓的塞浦路斯型铜矿,由于在石居里分布最为集中,也称石居里式铜矿。

2.2.2 与造山活动有关的晚期热液改造成因石英脉型和破碎带蚀变岩型铜矿

该成因铜矿点、矿化点较多,但规模较小。石英脉型铜矿,硫化物呈浸染状、团块状散布于石英脉中,例如小长干、白泉河红沟西岔脑、撒拉克滩等铜矿点。破碎带蚀变岩型铜矿,硫化物呈网脉浸染状,或含硫化物石英细脉分布于构造破碎带,有的明显沿节理、片理充填,例如错沟北、摆浪沟西岔、石居里ⅤⅡ号沟、野马沟铜矿点。容矿岩石除中下奥陶统基性火山—沉积岩系外,还有辉长岩、辉绿岩等。

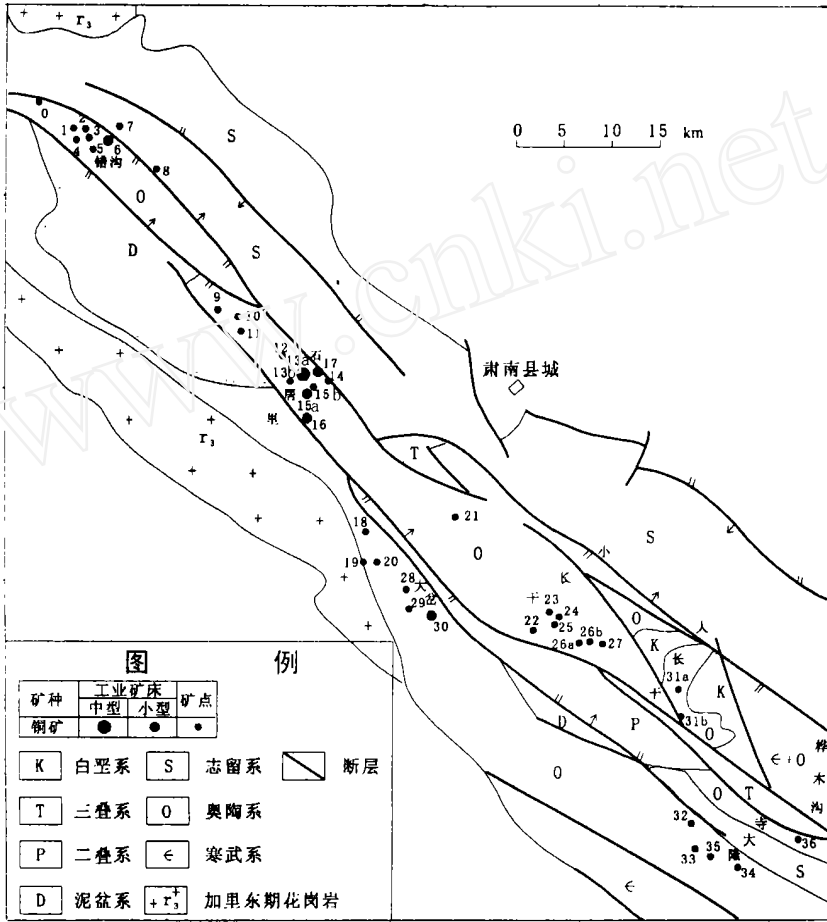


图 1 北祁连山错沟—寺大隆一带铜矿床(点)分布图

Fig. 1 Distribution map of copper ore deposits (spots) between Cuogou and Sidalong in the North Qilian M ts.

矿床及矿点: 0. 软石窝铜矿点; 1. 大水沟铜矿点; 2. 黄须沟铜矿点; 3. 小水沟铜矿点; 4. 小水沟脑铜矿点; 5. 青羊沟铜矿点; 6. 错沟小型铜矿床; 7. 错沟北铜矿点; 8. 错沟红堂铜矿点; 9. 白居里沟铜矿点; 10. 摆浪沟西岔铜矿点; 11. 摆浪沟双岔铜矿点; 12. 塔洞沟铜矿点; 13a. 石居里VI号沟中型铜矿床; 13b. 石居里VII号沟铜矿点; 14. 石居里I号沟铜矿点; 15a. 石居里VIII号沟小型铜矿点; 15b. 石居里VIII号沟北铜矿点; 16. 九个泉小型铜矿床; 17. 石居里V号沟小型铜锌矿床; 18. 白泉河红沟西岔脑铜矿点; 19. 野马沟脑铜矿点; 20. 野马沟阴山湾铜矿点; 21. 天桥湾西岔铜矿点; 22. 小黑藏铜矿化点; 23. 小长干沟北支1号铜矿点; 24. 小长干沟北支2号铜矿点; 25. 小长干铜矿点; 26a. 小水沟西岔铜矿点; 26b. 小水沟东岔铜矿点; 27. 大水沟铜矿点; 28. 纳木桥西岔铜矿点; 29. 纳木桥东岔铜矿点; 30. 大岔东山顶小型铜矿床; 30a. 小沙石铜矿点; 31b. 大沙石铜矿点; 32. 萨拉克滩沟脑铜矿点; 33. 寺大隆铜矿点; 34. 寺大隆东岔铜矿点; 35. 石拉沟铜矿点; 36. 桦木沟铜矿点

2.3 矿床模型

宋叔和等 (1994) 根据国内外资料概括, 块状硫化物矿床总的形态为蘑菇状, 上部为由块状矿石的透镜体组成的顶盖, 下部为与顶盖垂直交切的由细脉浸染状矿化组成的根部。夏

林圻等 (2001) 指出, 火山岩系中块状硫化物矿床通常由上下两部分组成: 上部是层状和透镜状的块状矿体, 下部为网脉状和浸染状矿体, 以及被蚀变的岩筒状围岩。一般认为网脉带代表海底热液体系在靠近海底部分的流通通道, 层状体或透镜体则是硫化物在海底或近热液喷口处沉淀堆积的产物。

本区塞浦路斯型 (即石居里式) 块状硫化物矿床总体符合蘑菇状模型 (图 2), 蘑菇茎沿热液通道呈柱状下延, 柱状矿体上部和中心主要为块状、角砾状矿石, 下部和边部为网脉浸染状矿石, 其铜含量远远高于锌含量, 表现为典型的富铜矿石; 蘑菇伞在海底喷口周围展开, 主要为块状矿石, 近喷口铜含量高于锌含量, 远离喷口渐变为锌含量高于铜含量; 伞翼之下为基性火山岩, 伞上常覆盖碧玉岩, 成矿环境不稳定时, 缺失碧玉岩。例如, 石居里 V III 号沟矿床, 为典型的蘑菇状形态实例; 石居里 V I 号沟矿床, 受后期褶皱改造变化较大, 目前主要见富铜块状、角砾状矿石, 已鉴别出其中角砾为基性火山岩; 石居里 V 号沟矿床目前仅发现呈薄板状的远热液喷口块状矿石, 锌含量高于铜含量; 九个泉矿床为重叠的伞翼矿体, 矿柱已被剥蚀, 矿上缺碧玉岩, 直接被火山岩或沉积岩覆盖。

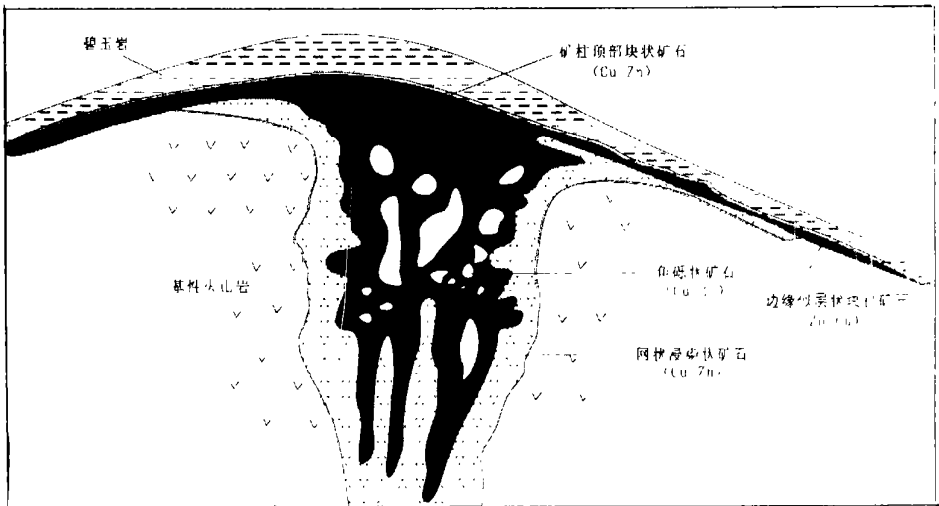


图 2 北祁连山中西段塞浦路斯型块状硫化物矿床地质模型

Fig. 2 Geological model of Cyprus-type massive sulfide deposits in mid-west section of the North Qilian Mts.

2.4 矿床成分

本区铜矿床中硫化物组成主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿; 成矿金属元素主要为 Cu-Zn 组合, 贫 Pb。多数矿床中伴生贵金属 Ag 可达综合利用指标, 而 Au 往往在晚期叠加改造矿体中才达到综合利用指标。

2.5 剥蚀程度

剥蚀程度较小的浅隐伏矿床, 地表常见零星矿化和碧玉岩, 如石居里沟 VI 号沟和 VIII 号沟矿床; 剥蚀程度较大时, 碧玉岩少见, 矿体出露地表, 发育氧化矿, 如错沟、九个泉和大岔东山顶矿床。

3 典型矿化集中区

在错沟—寺大隆铜矿带范围, 石居里地区是已知铜 (锌) 矿床分布最多的典型矿化集中区 (图 3)。该区从南到北分布有九个泉矿床、石居里Ⅷ号沟矿床、Ⅵ号沟矿床、Ⅴ号沟矿床。

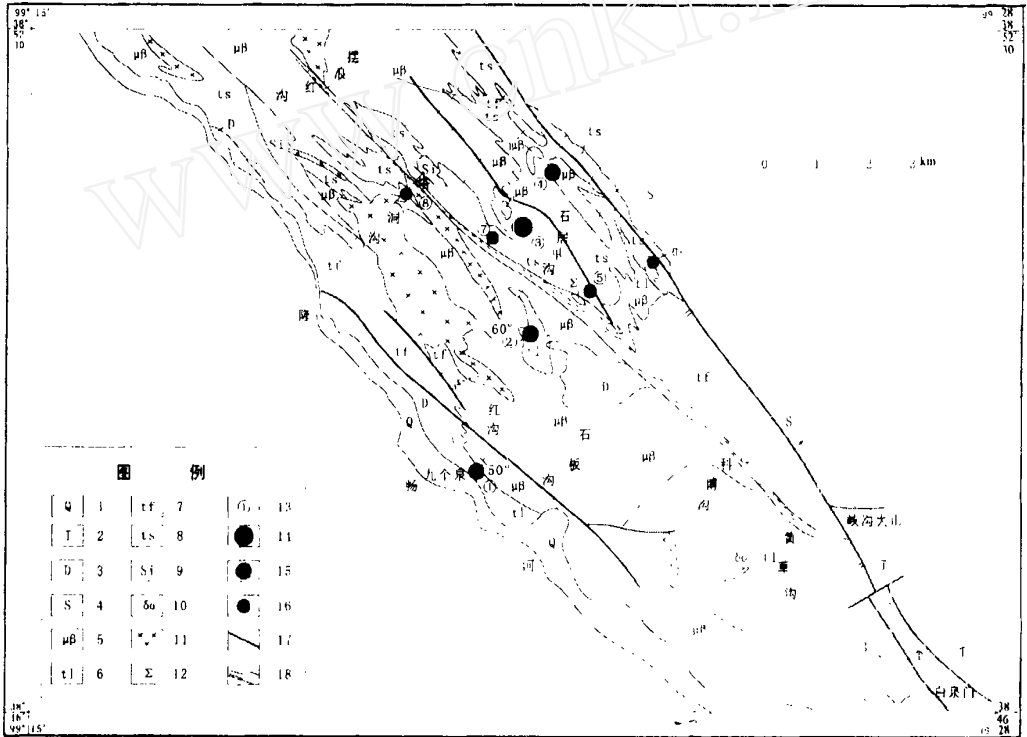


图 3 石居里铜矿化集中区地质略图

Fig. 3 Geological sketch map of Shijuli copper ore concentration area

1. 第四系冲洪积、坡积; 2. 第三系砾岩、粗砂岩; 3. 泥盆系砾岩; 4. 志留系砾岩; 5~ 9 奥陶系阴沟群 (5. 基性熔岩、凝灰熔岩; 6. 凝灰熔岩; 7. 基性凝灰岩; 8. 凝灰质砂岩、板岩; 9. 硅质岩); 10. 石英闪长岩; 11. 辉长岩类; 12. 蛇纹岩; 13. 铜 (锌) 矿床、矿点编号; 14. 中型矿床; 15. 小型矿床; 16. 矿点; 17. 断层; 18 韧性剪切带; 九个泉矿床; 石居里ⅤⅢ号沟矿床; 石居里ⅤⅠ号沟矿床; 石居里Ⅴ号沟矿床; 石居里ⅤⅢ号沟北矿点; 石居里Ⅰ号沟矿点; 石居里ⅤⅡ号沟矿点; 塔沟矿点

3.1 九个泉矿床

九个泉铜矿床位于该矿化集中区最南部, 地表出露褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、胆矾等, 1957 年由甘肃祁连山地质队发现, 1967~ 1970 年甘肃地质四队详细普查确定为小型铜矿床。含矿岩系为奥陶系阴沟群灰绿色细碧凝灰岩、细碧凝灰岩夹细碧岩、灰绿色细碧岩, 局部夹碧玉岩透镜体。矿床由东、西两个矿化带组成, 呈北西向西向展布 (图 4)。

西矿化带沿 NW 287 方向延伸, 长 280 m, 宽 10~ 60 m, 赋存有 I~ V 号铜 (锌) 矿体。矿体在带内作右行雁列, 矿体主要呈串珠状, 次为似层状、蝌蚪状、透镜状, 矿体产状 5°~

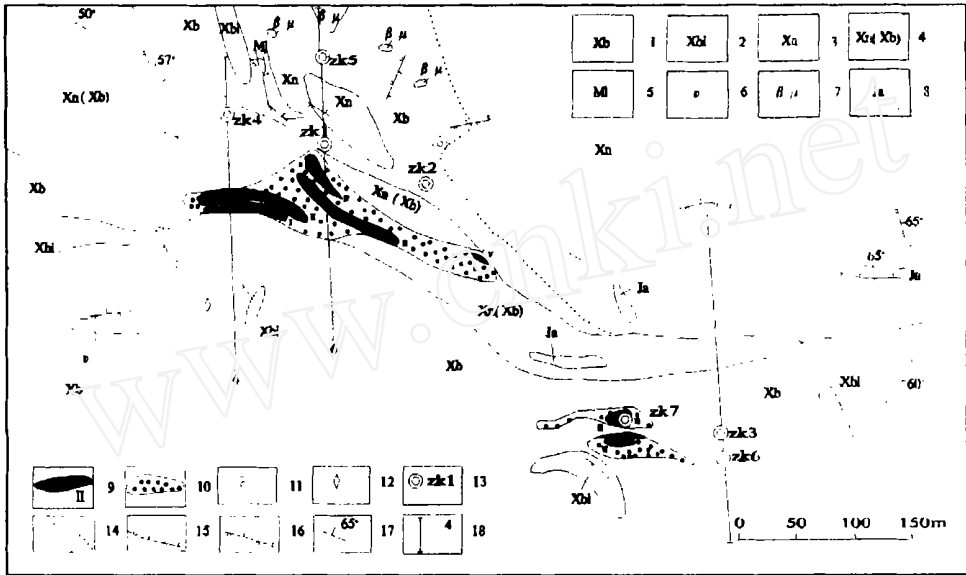


图4 九个泉铜矿床地质略图

Fig. 4 Geological sketch map of Jiugequan copper deposit

(据甘肃省第四地质队 1970, 修编)

- 1. 细碧岩; 2. 绿帘石化细碧岩; 3. 细碧凝灰岩; 4. 细碧岩与细碧凝灰岩互层; 5. 大理岩; 6. 辉长岩; 7. 辉绿岩;
- 8. 碧玉岩; 9. 铜矿体及编号; 10. 铜矿化带; 11. 硅化; 12. 碳酸盐化; 13. 钻孔及编号; 14. 实测及推测地质界线;
- 15. 正断层; 16. 逆断层; 17. 产状; 18. 勘探线及编号

18° 40' ~ 60'。西矿化带中以 II 号、III 号、IV 号矿体规模较大 (图 5)。II 号铜矿体长 92 m, 厚 2.27~ 16.70 m, 倾斜延深 56 m, 矿体产状 5° 60'; III 号铜矿体长 11m, 厚 3.68~ 5.37 m, 倾斜延深 109m, 矿体产状 18° 55'; IV 号铜矿体长 43m, 厚 0.82~ 10.51 m, 延伸 45m, 矿体产状 20° 40'。II 号矿体底板、III 号矿体顶底板附近及 IV 号矿体的大部分锌已达到工业品位, 构成铜锌矿体 (或锌矿体)。

东矿化带长 150m, 宽 10~ 40 m, 赋存有 VI~ X 号铜矿体。矿体以透镜状为主, 规模较小, 长 14~ 53 m, 平均厚度 1.16~ 5.78 m, 倾斜延深 2.05~ 68m, 产状 10° 33' ~ 46° 77'。

矿体形态与矿石构造有一定关系, 块状矿石组成的富铜矿体常呈为数众多、大小不等小透镜体产出, 沿走向、倾向断续相连作凸镜状或串珠状分布, 浸染状矿体沿走向厚度变化不大, 呈似层状出现。

原生矿石矿物组合简单, 金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿; 脉石矿物以石英为主, 其次为方解石、绿泥石; 地表的氧化矿石为褐铁矿、赤铁矿、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、胆矾及氧化残留的黄铁矿、黄铜矿等。

工业矿体主要为硫化矿石, 按矿石构造特征, 硫化矿石可分为块状矿石、条带状矿石、浸染状矿石。据甘肃省第四地质队勘查 (1969~ 1970), 块状矿石铜品位为 1.14% ~ 18.86%, 平均 3.34%; 浸染状矿石铜品位 0.31% ~ 2.80%, 平均 0.66%。各类矿石锌含量 0.15% ~

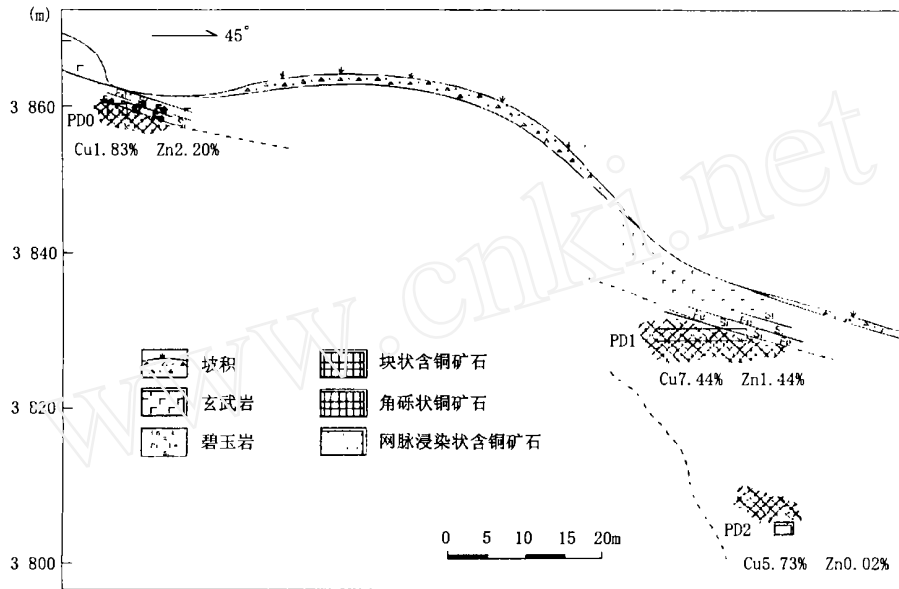


图7 石居里Ⅷ号沟铜矿床纵剖面图

Fig. 7 Portrait section of ravine 8 copper deposit in Shijuli

种矿石在矿体中由上向下, 由中心向边部依次分布, 并互为过渡关系。

已知矿体南西段, 近顶板碧玉岩下所取块状矿石样品, Cu 1.83 (%)、Zn 2.20 (%) , 铜锌矿石; 矿体北东段, 近顶板碧玉岩下所取块状矿石样品, Cu 7.44 (%)、Zn 1.44 (%) , 为铜锌矿石; 而在其之下 25 m 深处所取块状矿石样品, Cu 5.73 (%)、Zn 0.02 (%) , 为铜矿石; 网脉浸染状矿石同样也是从下向上 Zn/Cu 具增大趋势。各类矿石 Pb 含量变化于 0.001% ~ 0.017% , 均具贫 Pb 特点 (表 1)。

矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等, 脉石矿物主要为石英、绿泥石、次为黝(绿)

表 1 石居里Ⅷ号沟铜矿床的矿石成分

Tab. 1 Ore composition of ravine 8 copper deposit in Shijuli

样号	岩、矿石名称	S (%)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Ag (10^{-6})	现矿体中分布位置	在成矿体系中位置
S ₈ PD ₁ B1	块状铜锌矿石	41.88	1.83	2.20	0.0170	9.80	南西段上部	远热液喷口
S ₈ PD ₁ B9	碧玉岩(矿体顶板)	2.44	0.30	0.20	0.1071	1.50	北东段上部	热液喷口上部
S ₈ PD ₁ B2	块状铜锌矿石	28.32	7.44	1.44	0.0115	5.20		
S ₈ PD ₁ B8	网脉浸染状铜矿石	8.40	2.46	0.21	0.0050	1.15		
S ₈ PD ₁ B3	网脉浸染状铜矿石	15.58	0.39	0.24	0.0051	0.98		
S ₈ PD ₁ B4	角砾状铜矿石	28.32	13.44	0.06	0.0075	2.40		
S ₈ PD ₂ B2	块状铜矿石	35.81	5.73	0.02	0.0010	1.80	北东段下部	热液喷口下部
S ₈ PD ₂ B3	网脉浸染状铜矿石	6.37	0.24	0.003	0.0145	0.70		

注: 由西安地矿所测试中心测试, 1998, 2000。

帘石、方解石。

矿体两侧围岩蚀变有绿泥石化、帘石化、硅化、碳酸盐化等, 其中硅化与矿化关系最为密切, 石英与硫化物相伴产出。

从上述资料可知, 矿体北东段块状矿石边部过渡为角砾状、网脉状矿石, 又表现铜含量高于锌含量, 判断形成于近热液喷口的位置; 矿体南西段仅见块状矿石, 并且锌含量高于铜含量, 判断形成于远热液喷口位置。按蘑菇状的矿床地质模型, 推断矿体向北东还有一半尚未控制。近矿火山岩层序从下向上为: 基性火山岩—块状矿石—碧玉岩—基性火山岩, 说明成矿环境比较稳定, 具有比较完整的成矿过程。

3.3 石居里VI号沟铜矿床

该铜矿床位于石居里VI号沟上游, 原为矿点, 地表仅出露小矿化体, 直接线索主要为褐铁矿、孔雀石、黄铜矿、碧玉岩、次生石英岩(图8)。1969~1970年有过地质普查和物化探工作, 直到1998年西安地矿所和甘肃地勘局重新普查确定为矿床, 规模中等, 是本矿带内已知最大的铜矿床。

石居里矿区总体构造线方向为北西向, VI号沟一带构造线走向有明显向北东凸出的扭曲, 存在倒转背斜构造。背斜轴北东—南西走向, 延长约300~500m, 南东翼倒转, 核部为VI号沟主矿体的赋存部位, 矿体两侧为紫红色碧玉岩, 向外两翼岩性基本相同, 仅由于断裂破坏, 厚度稍有变化(图9)。主要岩性为青灰色—暗灰色硅质岩, 灰色凝灰岩质砂岩夹紫红色粉砂质板岩。在南东翼紫红色碧玉岩与青灰色硅质岩之间, 夹有宽约40m的灰绿色基性熔岩。从背斜构造的产状分析, 其与矿区主构造线方向极不协调, 呈近于直交的关系, 应属叠加的局部构造。隐伏的工业铜矿体呈陡立不规则板柱状, 走向约北东30°, 向北东倾伏, 倾伏角约47°。工程已控制的矿体长度约60m, 在3593.56m中段见矿体北东端被断层破碎带截断, 另一侧矿体有待探明。矿体厚度12~31m, 平均24m; 矿体延深已超过90m仍未尖灭。矿体围岩为碧玉岩和次生石英岩。

矿石矿物以黄铁矿、黄铜矿为主, 少量闪锌矿; 脉石矿物主要为石英, 次为绿泥石、黝(绿)帘石、方解石、偶见钠长石。黄铁矿多呈自形-他形粒状。黄铜矿、闪锌矿多呈他形充填于黄铁矿粒间, 也有的呈他形粒状分布于石英集合体中, 还有少量黄铜矿呈乳浊状分布于闪锌矿中。矿石类型按构造特征划分为块状-角砾状和网脉状-浸染状两大类。矿体主要由块状-角砾状矿石组成, 厚11~22m, 平均16m, 由上向下有变厚趋势, 矿石中的岩石角砾鉴定为蚀变基性火山岩, 靠近矿体边部见有碧玉岩团块。矿体南东侧局部分布碧玉岩型网脉状矿石或者碧玉岩; 矿体北西侧分布破碎带蚀变型网脉浸染状矿石, 最厚达15m, 膨缩变化大, 含矿岩石为次生石英岩, 向外过渡为含碧玉岩残块的次生石英岩和碧玉岩, 说明此处的次生石英岩是碧玉岩经热液蚀变改造的结果。

对矿体所采基本化学样分析表明, 块状-角砾状矿石Cu品位主要变化于1.80%~12.81%; Zn含量主要变化于0.01%~0.38%, 局部块状矿石Zn含量达0.78%~1.22%。网脉状—浸染状矿石Cu品位主要变化于0.46%~2.78%; Zn含量普遍较低, 变化于0.02%~0.29%。各类矿石Pb含量变化于0.002%~0.023%, 说明矿石贫Pb。利用组合样所作矿石多元素分析结果列于表2。从表中数据可知, 该矿床中块状角砾状矿石与次生石英岩型网脉浸染状矿石间有显著的地球化学差异, Cu、S含量前者远大于后者, 而As、Au含量前者远低于后者。

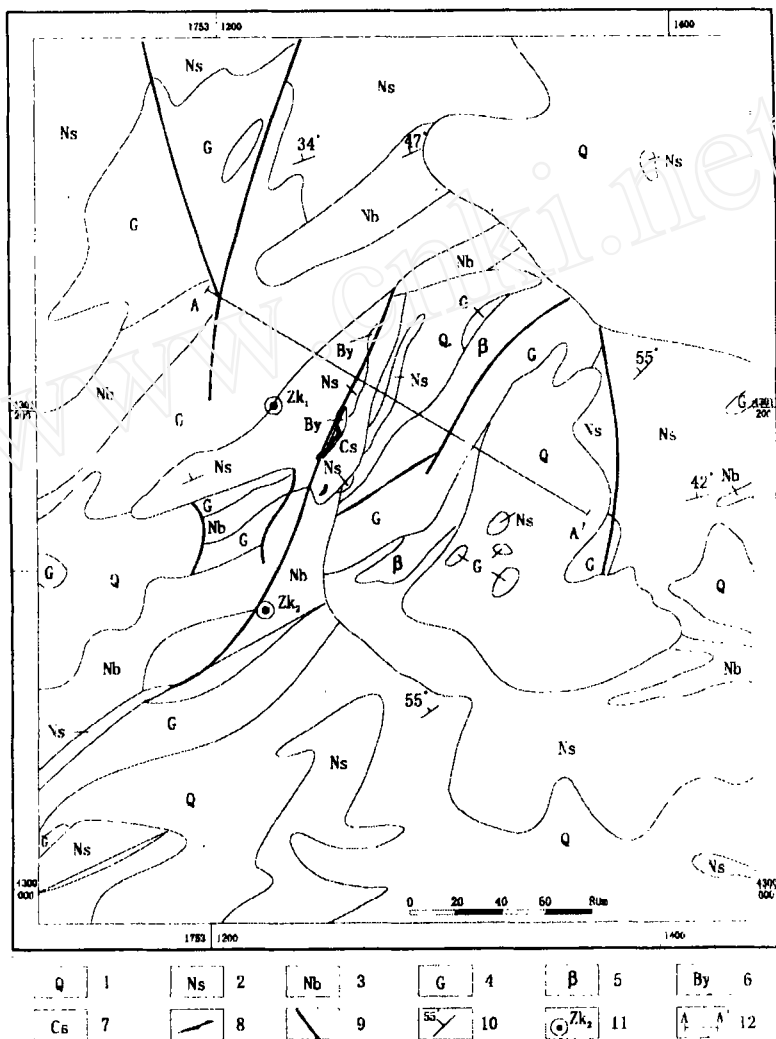


图8 石居里VI号沟铜矿床地质略图

Fig. 8 Geological sketch map of ravine 6 copper deposit in Shijuli

(据甘肃四队, 1970 修编)

1. 第四系; 2. 凝灰质砂岩; 3. 凝灰质板岩; 4. 硅质岩; 5. 细碧岩; 6. 碧玉岩; 7. 次生石英岩; 8. 铜矿化体;
9. 断层; 10. 产状; 11. 钻孔及编号; 12. 剖面线

表2 石居里VI号铜矿床的矿石成分

Tab. 2 Ore composition of ravine 6 copper deposit in Shijuli

矿石类型	样号	Cu (10^{-2})	Zn (10^{-2})	S (10^{-2})	Pb (10^{-2})	Ni (10^{-2})	Co (10^{-2})	As (10^{-6})	Te (10^{-6})	Ag (10^{-6})	Au (10^{-9})
块状角砾状矿	ZH1	8.89	0.30	25.59	0.005 2	0.000	0.027 9	49.18	5.00	7.5	88.11
	ZH2	5.84	0.12	24.41	0.000 2	0.000	0.087 3	79.66	6.30	7.0	37.89
网脉浸染状矿	ZH3	1.49	0.06	14.41	0.005 5	0.000	0.019 9	396.4	4.90	7.0	109.02
	ZH4	1.16	0.05	12.56	0.002 0	0.000	0.006 3	144.8	3.90	8.0	210.36

注: 组合样分析结果 (据杨合群等, 2000)。

硅化与成矿关系密切, 各类矿石中均有石英与硫化物密切相伴。矿体北西侧碧玉岩强烈次生石英岩化, 由碧玉岩向近矿方向逐渐过渡为含碧玉岩残块次生石英岩和次生石英岩型网脉浸染状铜矿石。矿体内的基性火山岩角砾多绿泥石化、帘石化及碳酸盐化, 偶见残留少量钠长石。

根据上述资料分析, 该矿床中块状一角砾状矿石为海底热液喷流成因, 所含基性火山岩角砾指示形成于热液喷口位置, 也指示成矿时矿体之下为基性火山岩。恢复近矿原始层序, 从下向上为: 基性火山岩—块状矿石—碧玉岩—凝灰质砂岩—基性火山岩—硅质岩, 说明成矿环境比较稳定, 具完整成矿过程。

成矿后该矿床受到过强烈改造, 顶部碧玉岩褶皱后包于矿体周围, 北西侧碧玉岩破碎非常强烈, 改造热液活化部分矿质迁移, 沿碧玉岩的网状裂隙充填与渗入, 形成网脉浸染状矿石, 碧玉岩也重结晶形成次生石英岩, 局部仍有碧玉岩残块, 此过程形成的次生石英岩型铜矿石, 虽然铜品位远低于海底热液喷流形成的块状及角砾状矿石, 但伴生金含量显著提高, 达到综合利用指标。

3.4 石居里 V 号沟铜矿床

该矿床位于石居里矿化集中区最北部, 1998 年, 西安地

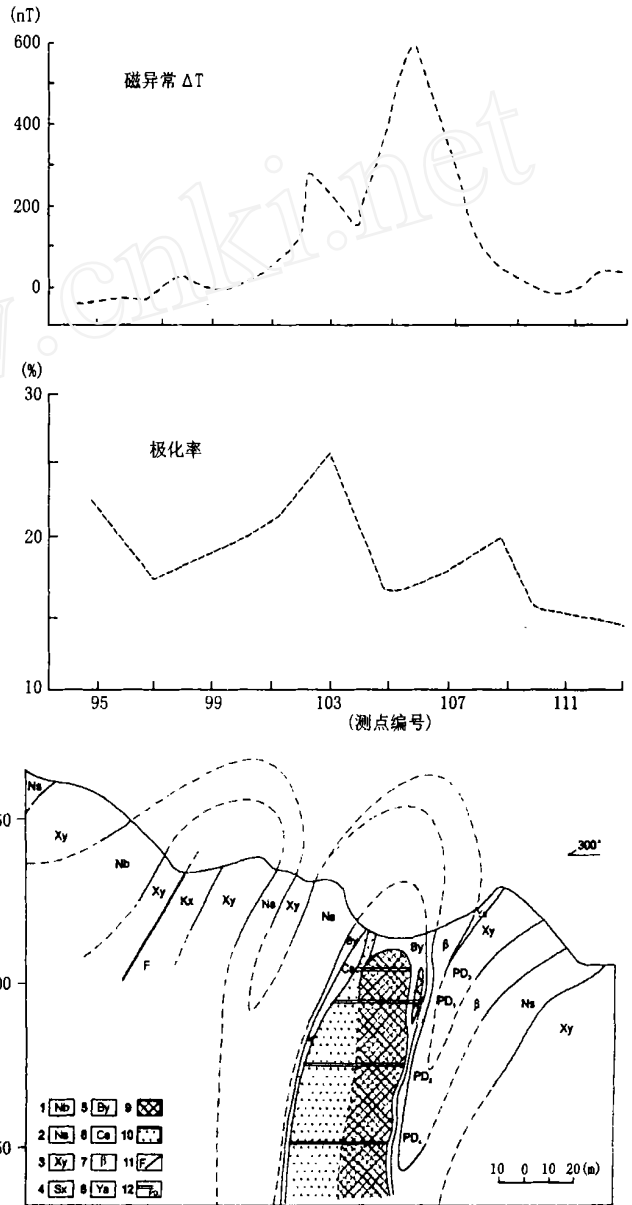


图 9 石居里 VI 号沟矿床综合剖面示意图

Fig. 9 Sketch of integrate section for ravine 6 copper deposit in Shijuli

- 1. 凝灰质板岩; 2. 凝灰质砂岩; 3. 硅质岩; 4. 矿化硅质岩; 5. 碧玉岩;
- 6. 次生石英岩; 7. 细碧岩; 8. 凝灰岩; 9. 块状角砾状矿石; 10. 网脉浸染状矿石; 11. 断层; 12. 探洞及其编号

质矿产研究所根据 1:1 万地质草测铜矿化与碧玉岩共存现象, 预测石居里 V 号沟为找铜矿有利地段。本项目 2001 年对石居里 V 号沟铜矿点进行了重点检查评价, 确定为小型铜锌矿床。

3.4.1 含矿岩系

通过实测地质剖面 and 1:2000 地质草测查明 (图 10), 石居里 V 号沟出露地层主要为奥陶系基性火山熔岩和火山碎屑岩, 总体倾向东北 ($NE20^{\circ} \sim 70^{\circ}$), 倾角 $40^{\circ} \sim 78^{\circ}$; 地层时代南

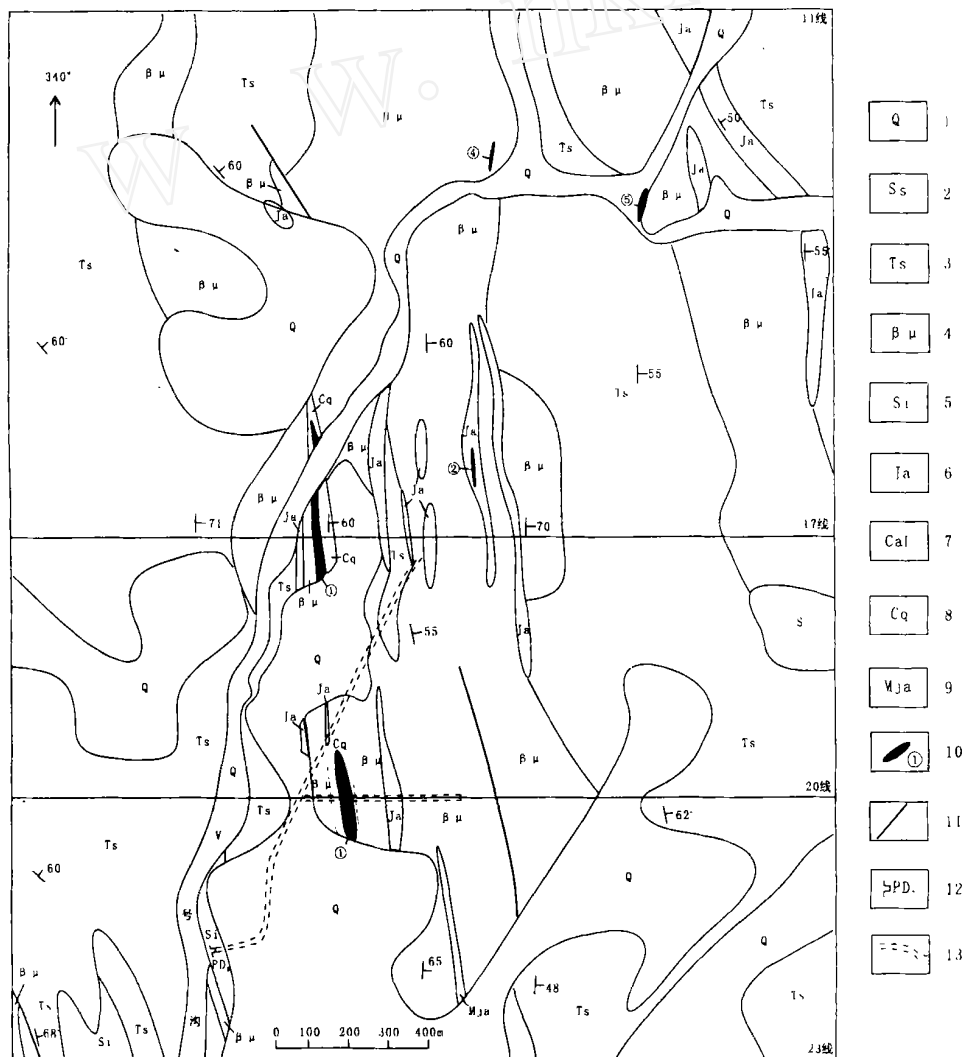


图 10 石居里 V 号沟铜锌矿床地质略图

Fig. 10 Geological sketch map of ravine 5 copper-zinc deposit in Shijuli

1. 第四系冲积物、残坡积物, 奥陶系; 2. 砂岩; 3. 凝灰质砂岩; 4. 细碧岩; 5. 硅质岩; 6. 碧玉岩;
7. 炭质板岩; 8. 次生石英岩; 9. 不纯硅质岩; 10. 铜矿体; 11. 断层; 12. 硐口; 13. 平硐投影

西老而北东新。自上而下由三部分组成:

上部凝灰质砂岩 深灰绿色—深灰褐色, 厚层状产出, 以凝灰质细砂岩为主, 次为凝灰质粉砂岩, 局部夹有细碧岩薄层。

中部块状细碧岩夹碧玉岩、次生石英岩 岩性较为复杂, 以块状细碧岩为主, 其中夹有碧玉岩、凝灰质砂岩、次生石英岩、硅质岩、硫化物矿体等。

下部凝灰质细砂岩, 深灰褐色—深灰绿色, 厚层状产出。矿区西南部凝灰质砂岩中出露较多硅质岩夹层, 向南西方向逐渐相变为黑色碳质板岩。

3.4.2 矿体形态、产状、规模

主矿体(1号)形态呈陡立的不规则板状, 走向北西(335°)延伸, 倾向北东(65°), 倾角约74°。该矿体在地表已控制的长度将近250m。除17线和20线典型剖面有刻槽样分析和物探异常共同控制外, 中间隐伏地段在18线和19线均显示物探异常, 表明矿体连续。向北西, 16线北西侧的民采探矿PD2平硐口地下挖出原生矿体, 其上为次生石英岩, 再向北西地形急剧上升, 矿体隐伏。在地下深部3586m中段有见矿平硐(PD6)。工程已控制的矿体水平宽度变化于0.8~11m。

3.4.3 矿石成分

主矿体(1号)主要由块状矿石组成, 矿石矿物主要为黄铁矿, 次为黄铜矿、闪锌矿、斑铜矿; 脉石矿物主要为石英, 次为绿泥石、方解石、黝帘石、绿帘石等。基本样化学分析结果表明(表3), 主矿体硫化矿石品位锌显著高于铜, Cu品位变化于0.422%~3.77%, 平均1.38%; Zn品位变化于1.69%~8.23%, 平均3.93%。矿石工业类型为铜锌型。

表3 石居里V号沟铜矿床的矿石成分

Tab. 3 Ore composition of ravine 5 copper deposit in Shijuli

位置	样品编号	岩矿石名称	样长(m)	采样方法	Cu(%)	Zn(%)
PD2 硐口	S5PD2H1	块状铜锌矿石	0.8	拣块	0.69	4.04
17 线矿坑	S5A-A H4				0.43	3.55
PD6 平硐	S5PD6H10		1	刻槽	1.31	3.79
	S5PD6H11		1		1.05	8.23
	S5PD6H12		1		0.42	2.29
	S5PD6H13		1		3.77	1.69

测定者: 西安地矿所测试中心, 2001。

伴生组分采取S5PD6H10~S5PD6H13四个刻槽矿石样品组合成一个组合样(编号为ZH-2), 由西安地质矿产研究所实验测试中心分析。伴生有益组分S 33.24%, Pb 0.07%, Co 59×10^{-6} , Ni 129×10^{-6} , Te 5.5×10^{-6} , Au 32×10^{-9} , Ag 25×10^{-6} 。按有关规范中伴生有益组分评价的参考指标S与Ag具有综合利用价值。有害组分MgO 0.08%, F 138×10^{-6} , As 221×10^{-6} 。硫化铜(锌)矿石一般采用浮选法选矿, 有关规范要求铜精矿中Cu品位达到8%~28%, MgO < 5%, F < 0.1%, As < 0.3%。主矿体中有害组分MgO、F的含量远低于工业指标。由于MgO和F赋存于脉石矿物中, 经过浮选后, 铜精矿中MgO和F的含量会比原矿进一步降低。As在选矿过程即使富集10倍, 也不超标。

3.4.4 围岩蚀变

近围蚀变主要为硅化、次生石英岩化、绿泥石化和绿帘石化。

从已有资料看,石居里V号沟矿床已发现矿体呈薄板状,产状与地层整合,主要为铜锌块状硫化物矿石,并且锌含量远高于铜含量,推断形成于远热液喷口位置。今后需注意追寻近热液喷口富铜矿体。

4 成矿作用

4.1 成矿环境

近年绝大多数学者已公认块状硫化物矿床为海底热液喷流成因。夏林圻等(1996, 1998)^[2,3]总结指出,海底块状硫化物矿床的形成几乎无一例外地与拉张环境有关。因为拉张环境下由于地幔柱(或热点)上隆相应岩石圈减薄造成高热流背景,以及拉张环境下地表和浅部存在的巨大火山岩浆体,都可以作为“热引擎”或“热中心”诱发产生形成块状硫化物矿床所必需的海底热卤水对流循环体系。

已知有利于海底块状硫化物矿床形成的地质构造环境主要有:大陆裂谷;大洋扩张脊;岛弧裂谷或扩张脊;弧后裂谷或扩张脊。不同地质构造环境发育不同火山岩,进而控制不同的成矿元素组合。众所周知,裂谷环境发育双峰式火山岩,即主要为基性火山岩和酸性火山岩;扩张脊环境发育蛇绿岩,其中火山岩主要为基性火山岩。以酸性火山岩为成矿母岩时,块状硫化物总体金属元素组合为Cu+Zn+Pb;以基性火山岩为成矿母岩时,块状硫化物总体金属元素组合为Cu+Zn,贫Pb。

本区奥陶纪弧后扩张脊和岛弧扩张脊这两种拉张环境,十分发育基性火山岩,是形成铜-锌型块状硫化物矿床的有利背景条件。

4.2 成矿物质来源

火山成因块状硫化物矿床是海水与火山岩在高温背景下作用的产物,成矿物质必定来源于二者之中。Rona(1983)曾对洋底热泉进行分析,并用海水在350℃与玄武岩反应,将与玄武岩反应的热液同普通海水对比表明,Si、Fe、Cu、Zn、H₂S、Mn等发生强烈富集。近年,对本区硫化物矿床的研究,获得了相关的同位素信息,可以证明成矿热液与玄武岩、海水的密切关系。

4.2.1 硅同位素信息

硅同位素对于硅的来源具有一定指示意义。碧玉岩为含有赤铁矿微粒的硅质岩,是典型的含铁硅质岩,属最常见的喷流岩之一。在本区,碧玉岩常与块状硫化物矿石相伴,并且比矿石分布更广。矿石中,石英是矿液中沉淀出的主要脉石矿物。我们曾对石居里典型铜矿床的碧玉岩和矿石中石英进行过硅同位素测定, $\delta^{30}\text{Si}$ 值变化于-0.1‰~-0.9‰之间,平均为-0.4‰(表4)。

据丁悌平(1994)资料,玄武-安山岩类样品(36个) $\delta^{30}\text{Si}$ 值分布于-0.1‰~-1.0‰的范围内,平均值为-0.58‰;花岗岩类样品(50个) $\delta^{30}\text{Si}$ 值数据分布于-0.4‰~-0.4‰的范围内,平均值为-0.12‰。人们已对马里亚纳海底黑烟囱的硅质沉淀物进行研究,高于100℃采样点的黑色硅质沉淀物 $\delta^{30}\text{Si}$ 值(-0.4‰~-0.6‰)接近玄武岩-安山岩类 $\delta^{30}\text{Si}$ 值,

证明其硅质来源为海底中基性火山岩。

从上述资料对比看, 本区铜矿有关碧玉岩和石英的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值 (- 0.1‰~ - 0.9‰) 也近似于玄武-安山岩类 $\delta^{30}\text{Si}$ 值, 推断其硅质与中基性火山岩有密切关系。

4.2.2 铅同位素信息

玄武岩中 U 和 Th 含量非常低, 因此放射性成因铅非常少; 硫化物有类似特点, 形成后随时间变化不大。石居里、九个泉典型矿床铜矿石与矿区玄武岩铅同位素组成对比于表 5。由表 5 可知, 石居里铜矿石和九个泉铜矿石中黄铁矿、黄铜矿的铅同位素组成同区内玄武岩的铅同位素组成相近, 由此为线索推断本区成矿金属主要来源于玄武岩。

表 4 石居里铜矿区碧玉岩和石英的硅同位素组成
Tab. 4 Silicon isotope constitution of jaspilite and quartz in copper ore district of Shijuli

样号	样品名称	产况	$\delta^{30}\text{Si}$ (‰)	$\delta^{30}\text{Si}$ 平均值 (‰)
SD 159B 37	碧玉岩	远矿	- 0.2	- 0.4
S ₆ PD 1B02	碧玉岩	近矿	- 0.2	
S ₆ PD 1B03	碧玉岩	近矿	- 0.1	
S ₆ PD 2B02	碧玉岩	近矿	- 0.9	
S ₆ PD 4B04	碧玉岩	近矿	- 0.8	
S ₈ PD 1B09	碧玉岩	近矿	- 0.2	
S ₆ PD 1B05	石英	矿石中	- 0.5	

测定者: 中国地质科学院矿产资源研究所同位素室; 采用 NBS- 28 标准, 2000。

表 5 石居里铜矿化集中区硫化物和玄武岩的铅同位素组成

Tab. 5 Lead isotope constitution of sulfides and basalts in Shijuli copper ore concentration area

序号	样号	样品名称	产地	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	Th/U
1	83106	玄武岩	九个泉	18.408	15.499	38.215	9.27	3.63
2	90609	玄武岩	九个泉	18.099	15.549	38.215	9.39	3.79
3	83105	玄武岩	九个泉	18.340	15.485	38.064	9.25	3.59
4	90410	玄武岩	石居里	17.902	15.508	37.962	9.34	3.78
5	72814	黄铁矿	九个泉	18.02	15.55	37.39	9.39	3.61
6	73116	黄铁矿	石居里 VI 沟	17.58	15.50	37.32	9.37	3.81
7	S ₆ PD 1B05	黄铁矿	石居里 VI 沟	17.544	15.428	37.167	9.23	3.60
8	S ₆ PD 1B05	黄铜矿	石居里 VI 沟	17.585	15.417	37.094	9.20	3.54
9	S ₆ PD 1B08	黄铁矿	石居里 VI 沟	17.499	15.405	37.110	9.19	3.59
10	S ₆ PD 1B08	黄铜矿	石居里 VI 沟	17.706	15.440	37.358	9.23	3.60
11	S ₈ PD 1B04	黄铁矿	石居里 VIII 沟	17.814	15.498	37.602	9.33	3.67
12	S ₈ PD 1B04	黄铜矿	石居里 VIII 沟	17.502	15.410	37.081	9.20	3.58
13	S ₈ PD 1B02	黄铁矿	石居里 VIII 沟	18.068	15.573	38.092	9.45	3.76
14	S ₈ PD 1B02	黄铜矿	石居里 VIII 沟	17.355	15.383	36.993	9.17	3.61

注: 1~ 6 号据夏林圻等 (1998); 7~ 14 号样由宜昌地矿所同位素室测定, 2000。

4.2.3 硫同位素信息

硫同位素组成可为硫的来源提供信息。石居里、九个泉的硫同位素分析结果列于表 6。

九个泉、石居里 VI 和 VIII 号沟块状硫化型铜矿, 属弧后扩张脊火山活动有关的海底热液喷流成矿产物, 黄铁矿和黄铜矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 1.5‰~ 8.8‰ 之间。按地质环境考虑海水硫酸盐还原硫和玄武岩中幔源硫两端员不同比例的混合。据 Sangster (1976)^[10] 研究资

料, 奥陶纪海水硫酸盐 δ^4S 值为 27.5‰, 该时期海水沉积硫化物 δ^4S 值比海水硫酸盐低约 15.6‰, 可推算海水还原硫的 δ^4S 值约为 12‰; 幔源硫的理论值为 $\delta^4S = 0$ 。将上述 1.5‰ ~ 8.88‰ 的值解释为这两个端员的不同比例混合是合理的。总之, 矿化剂硫来源于火山岩源与海水源的不同比例混合。

石居里 VII 号沟破碎带蚀变岩型铜矿点, 属造山活动有关的晚期热液改造成矿产物, 黄铁矿和黄铜矿的硫同位素 δ^4S 值变化于 3.8‰, 也落于上述数值范围内, 暗示其成矿物质继承了海底火山活动期海水源与幔源的混合硫, 推断为活化岩石中分散的硫化物或先期矿石中硫化物迁移沉淀的结果。

4.3 热动力来源

4.3.1 海底火山岩浆的热能

奥陶纪岛弧扩张脊和弧后扩张脊, 海底幔源火山岩浆活动不仅提供了物源, 而且提供了热源。本区火山集块岩、火山角砾岩的存在, 证明处于火山活动热中心。火山岩成分属分异型以及有关辉长岩、辉绿岩的存在, 均显示有岩浆房存在, 可以作为诱发产生形成块状硫化物铜-锌矿床所必需的海底热卤水对流循环体系的“热引擎”。

4.3.2 造山运动转化的热能

自志留纪始, 转入碰撞造山, 石炭纪开始转入陆内造山^[4]。板块的水平动能, 除部分地转化为上隆山体的势能外, 还大量地转化为热能, 表现为区域变质、局部动力变质、壳源岩浆活动等, 这些热能可引起热液活动, 使硫化物能够再度活化迁移。造山运动转化的热能是区内众多破碎带蚀变岩型和石英脉型铜(金、银)矿点、矿化点的热源。

4.4 成矿作用讨论

通过对前人和本次工作所获大量实际资料综合分析, 可初步建立区域成矿模式。本区各类铜矿主要形成于如下两大成矿作用。

4.4.1 火山热动力成矿作用

在奥陶纪弧后扩张脊和岛弧扩张脊环境, 海底幔源基性火山岩浆喷发, 带来丰富的成矿物质。喷发间歇期, 海底的熔岩冷却过程, 产生大量裂隙, 可导致海水渗滤。扩张脊的高热流背景, 特别是熔岩之下存在的浅部岩浆房作为“热引擎”可驱动海底热卤水对流循环。经水岩作用, 可以浸出火山岩中多种元素。根据已有实验资料, Si、Fe、Cu、Zn、Pb 等元素氯化物的溶解度均与温度正相关 (Davidson, 1992), 因此富含 NaCl 的海水加热后, 可以有

表 6 石居里铜矿化集中区硫化物的硫同位素组成

Tab. 6 Sulfur isotope constitution of sulfides in Shijuli copper ore concentration area

序号	样号	矿物	δ^4S ‰	产地
1	S ₈ PD _i B02	黄铁矿	8.88	石居里 VIII沟
2	S ₈ PD _i B02	黄铜矿	4.95	
3	S ₈ PD _i B04	黄铁矿	7.47	
4	S ₈ PD _i B04	黄铜矿	6.92	
5	S ₆ PD _i B05	黄铁矿	8.09	石居里 VI沟
6	S ₆ PD _i B05	黄铜矿	7.93	
7	S ₆ PD _i B08	黄铁矿	7.90	
8	S ₆ PD _i B08	黄铜矿	7.94	
9	73116	黄铁矿	5.6	
10	73116	黄铜矿	6.3	
11	72808	黄铜矿+黄铁矿	1.5	九个泉
12	72814	黄铜矿+黄铁矿	3.2	
13	73107	黄铜矿	3.8	石居里 VII号沟

注: 1~8 由宜昌地矿所同位素室测定, 2000; 9~13 据夏林圻等 (1998)。

效地萃取矿质, 渗滤的海水 SO_4^{2-} 被大量地还原为 HS^- (Rona, 1983)^[9], 同时, 玄武岩发生蚀变, 形成细碧岩或细碧质玄武岩。基性火山岩贫 Pb, 决定了成矿热液贫 Pb。

含矿热液在“热引擎”推动下, 沿熔岩中张断裂系统向上运移, 随物化条件改变, 在喷流裂隙上部和中心形成块状矿石, 包裹断裂中角砾较多时形成角砾状矿石, 喷流裂隙下部和边部形成网脉状矿石。如果有热液脉动性变化, 可沉淀形成条带状矿石。由于温度控制, 产生元素分带现象, 从热液喷口由下向上、由近到远, Cu/Zn 值逐渐降低。

成矿过程, 热液既沉淀硫化物也沉淀硅质, 因此石英是最常见的脉石矿物; 热液对围岩作用, 发生硅化、绿泥石化等蚀变。成矿环境稳定时, 溶液中残余 SO_2 和 Fe^{3+} , 最终可沉淀为含赤铁矿硅质岩-碧玉岩(图 11), 覆盖于硫化物矿体之上, 如石居里 V、VI、VII 号沟矿床。成矿环境不稳定时, 缺失碧玉岩, 如九个泉矿床。热液缺硫时, 直接形成铁矿和/或碧玉岩, 不产生块状硫化物。

正是根据上述成矿作用, 我们将本区块状硫化物型铜(锌)矿归属于海底热液喷流成因。

4.4.2 造山热动力成矿作用

奥陶纪之后, 逐步发生碰撞造山和陆内造山, 构造运动不仅使岩层发生褶皱倾斜及断裂破碎等, 动能转化的热能形成了变质热背景, 深部积聚的热能使地壳物质部分熔融产生中酸性岩浆并向上侵位。与造山热动力有关的热液活动, 不仅可使原有矿床受到改造, 也可使岩石中分散的硫化物活化迁移, 沿一些构造裂隙充填成矿, 形成破碎带蚀变岩型或石英脉型铜(金、银)矿。

由于造山热动力成矿与海底火山热动力成矿相比, 在时间上相对较晚, 物质上有继承性, 我们将本区破碎带蚀变岩型或石英脉型铜(金、银)矿归属于晚期热液改造成因。

5 找矿标志

5.1 背景标志

海底各类扩张脊是形成塞浦路斯型块状硫化物矿床的有利构造环境, 其标志是矿带范围断续出露有蛇绿岩套。例如石居里、九个泉、错沟矿床形成于弧后扩张脊环境, 大岔矿床形成于岛弧扩张脊环境。

5.2 岩石标志

5.2.1 细碧岩类

虽然塞浦路斯型块状硫化物矿床归属与海相镁铁质喷出岩有关矿床, 但相对原始的玄武岩类一般与矿无缘, 只有细碧岩类岩石与该类块状硫化物矿床有着密切的专属性关系。根据目前多数学者的意见, 细碧岩类的出现, 标志着海水与玄武岩之间水岩反应作用的存在。已研究确认, 石居里、九个泉、大岔等矿区都存在有大量细碧岩类岩石。

5.2.2 喷流岩类

塞浦路斯型块状硫化物矿床为海底热液喷流成因, 而喷流岩与喷流矿常有一定相伴关系, 在时空分布上范围更大, 目标更明显。喷流岩类的出现, 标志着热液喷流活动的存在。本区喷流岩主要为含微细粒赤铁矿硅质岩-碧玉岩, 大体有 2 种产态: 一种是脉状碧玉岩, 分布于火山-沉积岩裂隙之中; 另一种是层状碧玉岩, 在火山-沉积岩系中呈透镜状夹层。有些矿床,

改造时部分矿质再活化外迁扩散造成的。例如本区规模最大的石居里 VI 号沟和 VIII 号沟铜矿床地表显示零星铜矿化。

5.4 化探标志

区域或矿区化探测量, 存在以铜为主的铜锌套合异常、铜异常; 或者重砂测量存在铜矿物异常。例如: 在区域水系沉积物测量中, 石居里和九个泉铜矿区均位于摆浪红沟—峡沟大山之间的铜异常内; 在石居里沟矿区沟系分散流测量中, VI 号沟和 VIII 号沟 (南) 矿床之下沟系均有铜、锌分散流异常相伴出现 (图 12)。

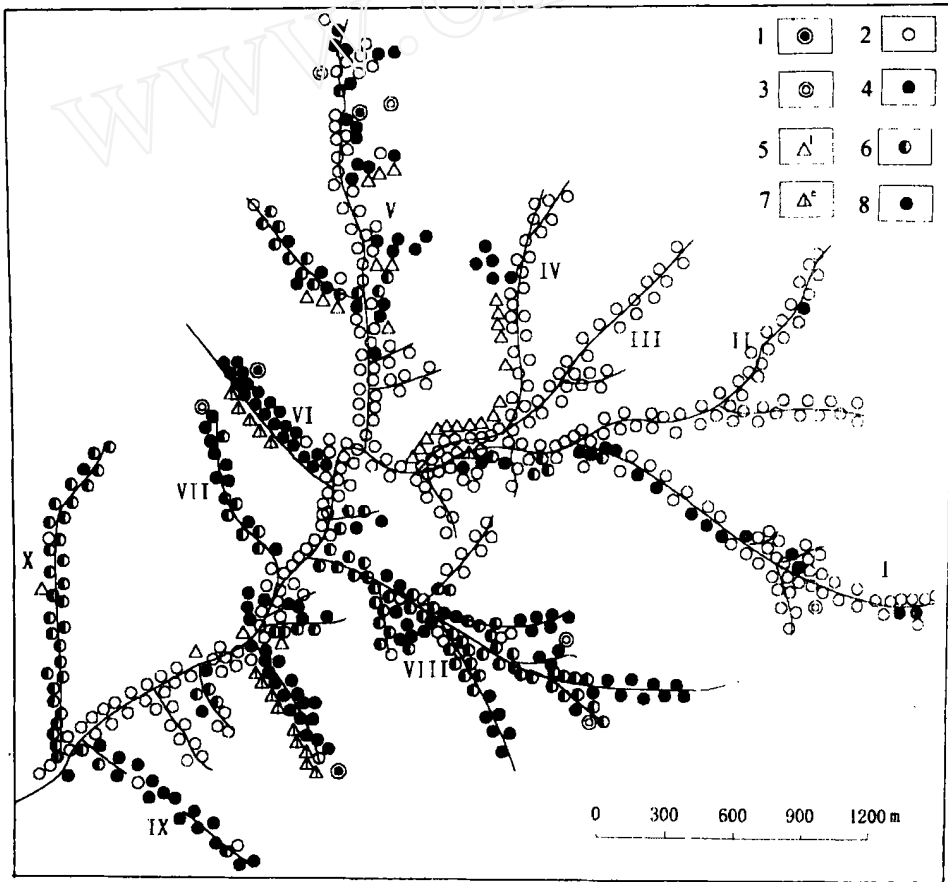


图 12 石居里沟水系分散流 Cu、Zn 分布图

Fig. 12 Copper and zinc distribution map of dispersion train in Shijuli

(据甘肃省地质局物探队, 1972 修编)

- 1. 铜矿床; 2. 铜含量小于 55×10^{-6} ; 3. 铜矿(化)点; 4. 铜含量 $(55 \sim 80) \times 10^{-6}$, 一级异常; 5. 锌含量 $(100 \sim 300) \times 10^{-6}$;
- 6. 铜含量 $(80 \sim 120) \times 10^{-6}$, 二级异常; 7. 锌含量大于 300×10^{-6} ; 8. 铜含量大于 120×10^{-6} , 三级异常

5.5 物探标志

5.5.1 电法异常

硫化物矿体赋存地段, 存在低电阻、高激化率异常, 在错沟、九个泉、石居里 VI 号沟铜

矿床均已得到证实。在有碳质岩石分布的矿区, 须注意结合地质情况、基岩原生晕异常或者其他类型(例如重、磁等)异常排除多解性。

5.5.2 磁法异常

碧玉岩分布地段, 一般显示有磁异常。原因在于本区碧玉岩中除含赤铁矿外, 还常常含有少量磁铁矿。高精度磁测在物探勘查中可起一定辅助作用。例如在石居里V I号沟, 隐伏矿体分布区存在电、磁组合异常(图9); 碳质板岩分布区只有电异常, 没有磁异常。

6 结语

本文总结北祁连山中西段塞浦路斯型铜矿特征及找矿标志, 主要获得如下认识:

(1) 成矿环境为奥陶纪亲弧扩张脊(岛弧扩张脊和弧后扩张脊); 容矿岩石为蛇绿岩套上部火山-沉积岩系。

(2) 矿床地质模型为蘑菇状, 蘑菇茎代表沿热液通道的柱状矿体, 蘑菇伞代表在热液喷口周围海底展开的透镜状、似层状矿体, 伞翼之下为基性火山岩, 伞上常覆盖碧玉岩, 成矿环境不稳定时, 缺失碧玉岩。

(3) 主要成矿金属为铜锌组合, 贫铅; 从热液喷口由下向上、由近到远, Cu/Zn 值逐渐降低。

(4) 成矿热液起源于海水与玄武岩在高温下的反应, 成矿金属元素主要来自火山岩, 氧化剂硫来自二者。

(5) 对于露头矿, 地表存在硫化物氧化带; 对于浅隐伏矿, 地质标志是铜矿化与碧玉岩共存, 地球化学标志是以铜为主的铜、锌套合异常, 地球物理标志是存在电、磁组合异常。

鸣谢: 本文经李文渊研究员审阅, 并提出宝贵修改意见, 在此谨致谢意!

参考文献:

- [1] 冯益民, 何世平. 祁连山大地构造与造山作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [2] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 北祁连山海相火山岩岩石成因 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连山及邻区火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [4] 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 北祁连山构造—火山岩浆—成矿动力学 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2001.
- [5] 李文渊, 杨合群, 赵东宏, 等. 北祁连发现塞浦路斯型铜矿床 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (3).
- [6] 杨合群, 李文渊, 赵东宏, 等. 北祁连山石居里沟富铜矿床成矿特征 [J]. 地质与勘探, 2000, 36 (6): 20-22.
- [7] 周志强, 曹宣铎, 等. 祁连山东部早古生代地层和沉积—构造演化 [J]. 西北地质, 1996, 17 (1): 1-58 (原西北地质科学).
- [8] 丁悌平, 蒋少涌, 万德芳, 等. 硅同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [9] Roma, P.A. et al. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers [M]. New York: Plenum Press, 1983.
- [10] Sangster, D.F., Sulphur and lead isotopes in strata-bound deposits, in Wolf, K.H., ed., Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Amsterdam, Elsevier, 1976, 2: 219-266.

The characteristics, mineralization and prospecting indications of Cyprus-type copper deposits in mid-west section of the North Qilian mountains, China

YANG He-qun, SONG Zhong-bao, WANG Xing-an, LI Wen-ming,
LI Chang-an, ZHAO Dong-hong

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Shaanxi Xi'an, 710054, China)

Abstract: The characteristics and prospecting indications of Cyprus-type copper deposits in mid-west sect of the North Qilian mountains are summarized in the paper. And the conclusions are as follows:

(1) The metallogenic setting was arc-related spreading ocean ridges (island arc and back-arc spreading ocean ridges) in Ordovician period. The host rock belongs to volcanic rocks or volcanic-sedimentary rocks in the upper part of ophiolite suite. The assemblage of main metallogenic metals was Cu-Zn type.

(2) The geological model of the deposits was mushroom-shaped. The stem of mushroom delegated columnar ore body along pathway of the hydrothermal solution and the umbrella of mushroom delegated lenticular and stratiform-like ore body spreading in the seabed near the spout of the hydrothermal solution, as well as under limb of the umbrella, there is basic volcanic rock. The umbrella is often covered by jaspilite, but no jaspilite exists when the metallogenic setting was not steady. The ore body was Cu > Zn near the spout of the hydrothermal solution, and Cu < Zn far from the spout of the hydrothermal solution.

(3) The hydrothermal ore-forming solution originated from reaction between seawater and basaltic rocks at high temperature, in which the ore-forming metal elements came from the basaltic rocks and the sulfur from both the former and the latter.

(4) There is oxidized zone of sulfide in the outcrop deposits. The superficial hidden deposits, there exist geological indication of copper mineralization and jaspilite, geochemical indication of copper and zinc register abnormality and geophysical indication of electricity and magnetism assembled abnormality.

Key words: the North Qilian mountains; arc-related spreading ocean ridges; Cyprus-type copper deposits