

文章编号: 0258-7106 (2006) 03-0312-09

甘肃天鹿砂岩型铜矿床地质特征及成矿模式^{*}

李大民, 孙永君, 许文进

(甘肃省地质矿产勘查开发局第四地质矿产勘查院, 甘肃 酒泉 735000)

摘 要 文章在系统总结天鹿铜矿床地质特征的基础上, 分析了成矿时代和矿床成因, 并建立了成矿模式。结果表明, 天鹿铜矿床赋存于中志留统泉脑沟山组杂色岩层中, 其成矿物质来自陆源, 主成矿期为中志留世, 属沉积砂岩型铜矿床。

关键词 地质学; 砂岩型铜矿床; 地质特征; 矿床成因; 成矿模式; 天鹿铜矿床

中图分类号: P618.14

文献标识码: A

Geological characteristics and metallogenetic model of Tianlu sandstone copper deposit in Gansu Province

LI Da Min, SUN YongJun and XU WenJin

(No.4 Geology and Mineral Exploration Team, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract

Based on systematic summarization of geological characteristics of the Tianlu copper deposit, this paper has analyzed its metallogenic epoch and genesis, and built up a metallogenetic model. The results show that the ore-bearing strata occur in variegated strata of Middle Silurian Quannaogoushan Formation, that the metallogenetic materials might have been derived from the land area, and the metallogenetic epoch is middle Silurian.

Key words: geology, sandstone copper deposit, geological characteristics, genesis of ore deposit, metallogenetic model, Tianlu copper deposit

天鹿铜矿床地处祁连山北麓的甘肃省肃南县境内, 是甘肃省地质矿产勘查开发局第四地质矿产勘查院在资料二次开发研究的基础上发现的, 伴生银、金, 规模近中型。近年来, 随着西部大开发及国土资源大调查的实施, 对北祁连地区及天鹿矿床的研究取得了一些重要成果。李金春(2000)根据赋矿岩系及矿层特征, 提出天鹿矿床属沉积改造成因铜矿; 毛景文(1999)总结了北祁连西段金属矿床的分布、演化规律, 划分了成矿期次; 刘伯崇(2005)通过研究矿石特征, 认为天鹿矿床的矿石矿物为典型的化学沉积成因的含铜硫

化物组合, 与中国及世界范围内的海相砂页岩型铜矿一致。本文在总结该矿床地质特征的基础上, 讨论了成矿时代和矿床成因, 建立了成矿模式, 其结果对深化该地区地质演化和成矿作用等的认识, 总结区域成矿规律, 指导区域找矿和成矿预测均具有一定的意义。

1 区域地质背景

矿区位于华北板块与柴达木板块结合带, 北祁连山造山带中段, 肃南县塔洞沟(石居里)奥陶纪弧后盆地扩张脊北侧(图1)。

^{*} 本文得到甘肃省地质矿产局切块基金项目(K1.10)的资助

第一作者简介 李大民, 男, 1971年生, 工程师, 主要从事矿产勘查及区域地质调查工作。

收稿日期 2005-03-31; 改回日期 2006-03-10。李岩编辑。

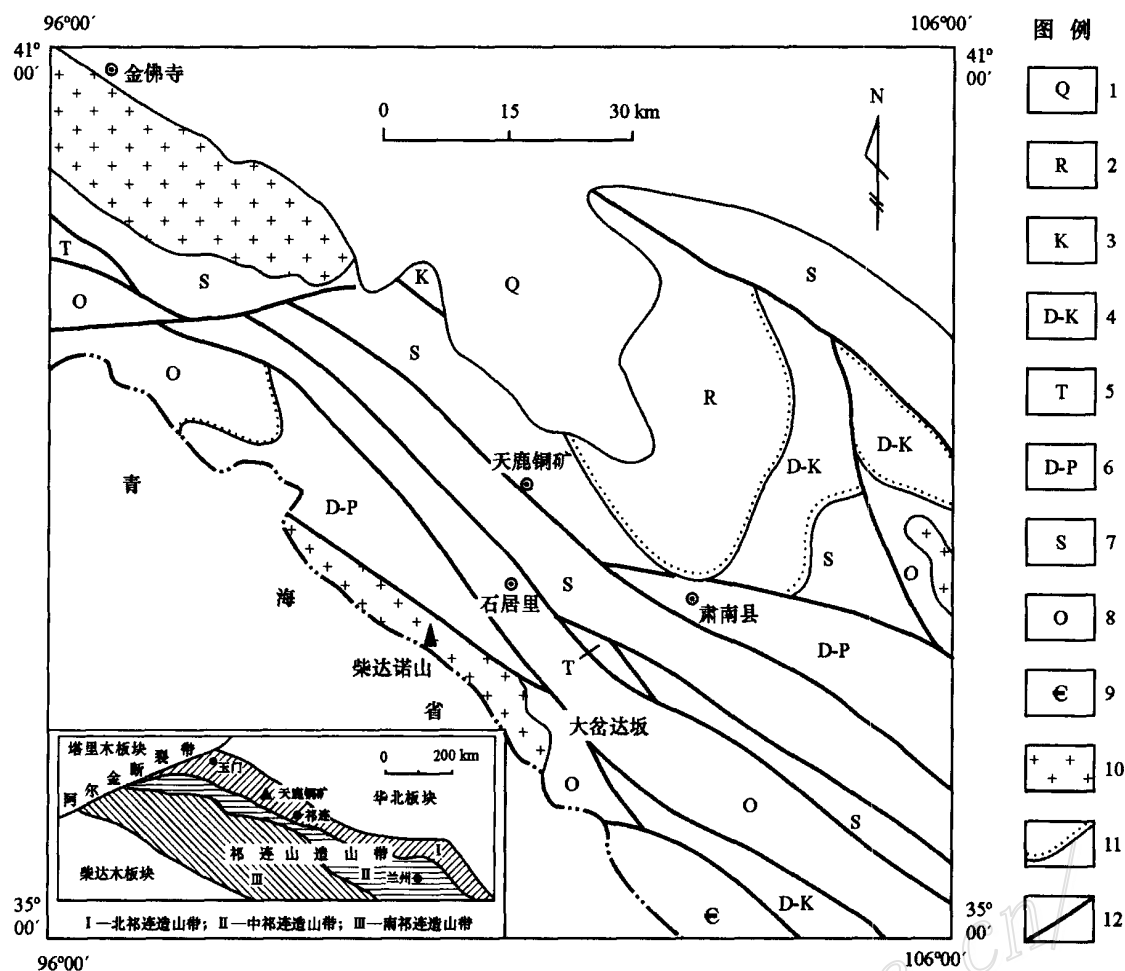


图 1 天鹿铜矿区域地质略图(据周振环等,1989)

1—第四系砂、砾石;2—第三系砂岩;3—白垩系砂岩;4—泥盆系-白垩系砾岩、砂岩、页岩;5—三叠系砂岩;6—泥盆-二叠系砾岩、砂岩、页岩;7—志留系砂岩、粉砂岩、板岩;8—奥陶系玄武岩、凝灰岩、砂岩、板岩;9—寒武系凝灰岩、千枚岩、板岩;10—海西期二长花岗岩;11—角度不整合界线;12—断裂

Fig. 1 Regional sketch geological map of the Tianlu copper deposit (after Zhou et al., 1989)

1—Quaternary sandstone, conglomerate; 2—Eocene sandstone; 3—Cretaceous sandstone; 4—Devonian-Cretaceous conglomerate, sandstone, shale; 5—Triassic sandstone; 6—Devonian-Permian conglomerate, sandstone, shale; 7—Silurian sandstone, siltstone, slates; 8—Ordovician basalts, tuff, sandstone, slates; 9—Cambrian tuff, phyllites, slates; 10—Hercynian adamellite; 11—Angular unconformity; 12—Fractures

区内地层从寒武系到第四系均有出露,主要为寒武系、奥陶系和志留系,呈 NW 向展布,与区域构造线一致。寒武系分布于柴达诺山东侧,为陆内裂谷建造(冯益民等,1996),是一套浅变质中基性-中酸性火山岩组合;奥陶系分布较广,为一套海相中基性火山-沉积岩组合;志留系在区域上延伸大于 400 km,为一套残留海盆碎屑岩建造,天鹿铜矿即赋存其中。其他地层(第四系除外)分布零星,其中泥盆系为磨拉石建造,石炭系为海陆交互相沉积,二叠系-第三系均为上叠盆地碎屑岩沉积。

区域构造线呈 NW 向展布。近于平行的逆冲断裂发育,许多地层间呈断层接触,地层断块多呈单斜

构造产出,显示出强烈的构造挤压作用。

区内岩浆活动强烈,系加里东期和华力西期侵入岩,分别以金佛寺岩体和柴达诺岩体为代表,两者都是岩基,均沿 NW 向呈凸镜状产出,岩性以二长花岗岩为主。

2 矿床地质

矿区地层主要是志留系,其次为第四系,奥陶系和石炭系零星分布(图 2)。

奥陶系小面积出露于矿区西南角,其归属为下奥陶统阴沟群上火山岩组,主要岩性有灰绿色枕状、

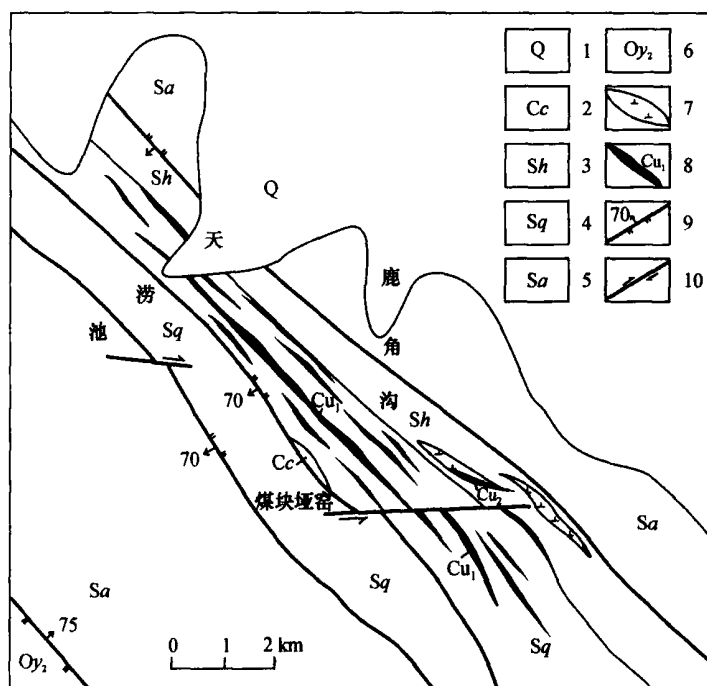


图 2 天鹿铜矿床地质略图(据魏海峰,1998^①)

1—第四系砂、砾岩;2—石炭系臭牛沟组砂岩、页岩、灰岩;3—志留系早峡组变砂岩、变粉砂岩;4—志留系泉脑沟山组粉砂岩、板岩、砂岩;5—志留系肮脏沟组砂岩、砾岩、板岩、页岩;6—奥陶系阴沟群玄武岩、凝灰岩、砂岩、板岩;7—闪长岩脉;8—铜矿体及编号;9—逆冲断层及产状;10—平移断层

Fig. 2 Geological sketch map of the Tianlu copper deposit(after Wei, 1998)

1—Quaternary sandstone, conglomerate; 2—Carboniferous Chouniugou Formation sandstone, shale limestone; 3—Silurian Hanxia Formation metasandstone, metasiltstone; 4—Silurian Quannaogoushan Formation slates, siltstone, sandstone; 5—Silurian Angzangou Formation sandstone, conglomerate, shale, slates; 6—Ordovician Yingou Group upper segment basalts, tuff, sandstone, slates; 7—Diorite dykes;

8—Copper ore bodies and its serial number; 9—Thrust and attitude; 10—Strike-slip faults

块状玄武岩、细碧岩及火山碎屑岩,次有砂岩、板岩、千枚岩、硅质岩、碧玉岩、灰岩等。矿区附近该地层中产有石居里、九个泉等塞浦路斯型铜矿床(冯益民等,1996;夏林圻等,1998;2001)。

志留系广泛分布于矿区中南部,走向北西。由南西向北东依次为肮脏沟组、泉脑沟山组和早峡组。肮脏沟组分布于矿区南西和北东部,北东部岩性主要为灰绿色中-细粒岩屑砂岩、灰-黑色页岩、粉砂质页岩夹薄层状板岩、千枚岩等;南西部为“鹿角沟砾岩”^②。泉脑沟山组在区域上被称为“杂色层”(杨雨等,1997;周振环等1989)。主要岩性为灰绿、紫红色互层或夹层的泥钙铁质粉砂岩、板岩,夹有粉砂质灰岩、泥灰岩及长石岩屑砂岩等,总厚达2500 m左右,

显示为浅海沉积环境^②,铜矿即赋于其中(图3),表明地层是该矿的主控因素。早峡组为红色碎屑沉积,主要岩性是浅变质砂岩、粉砂岩,夹砂质页岩、板岩及不稳定的砂砾岩。

石炭系臭牛沟组以很小的断块分布于矿区中部,主要岩性为砂岩、灰岩、页岩。泉脑沟山组和早峡组之间为整合接触,其他地层间均呈断层接触。第四系全新统洪冲积物广布于矿区北东部的山前冲洪积扇内。

区内断裂构造发育,有北西向和近东西向两组(图2)。前者为逆冲断层,是区域断裂的一部分;后者为平移断层,对矿层(体)具有破坏作用。

矿区内岩浆活动微弱,有闪长岩脉和石英脉顺

① 魏海峰. 1998. 甘肃省肃南县天鹿铜矿床普查地质报告.

② 龚全胜, 董翰, 闫海卿. 1994. 1:5万长沟寺、白泉门幅区域地质调查报告.

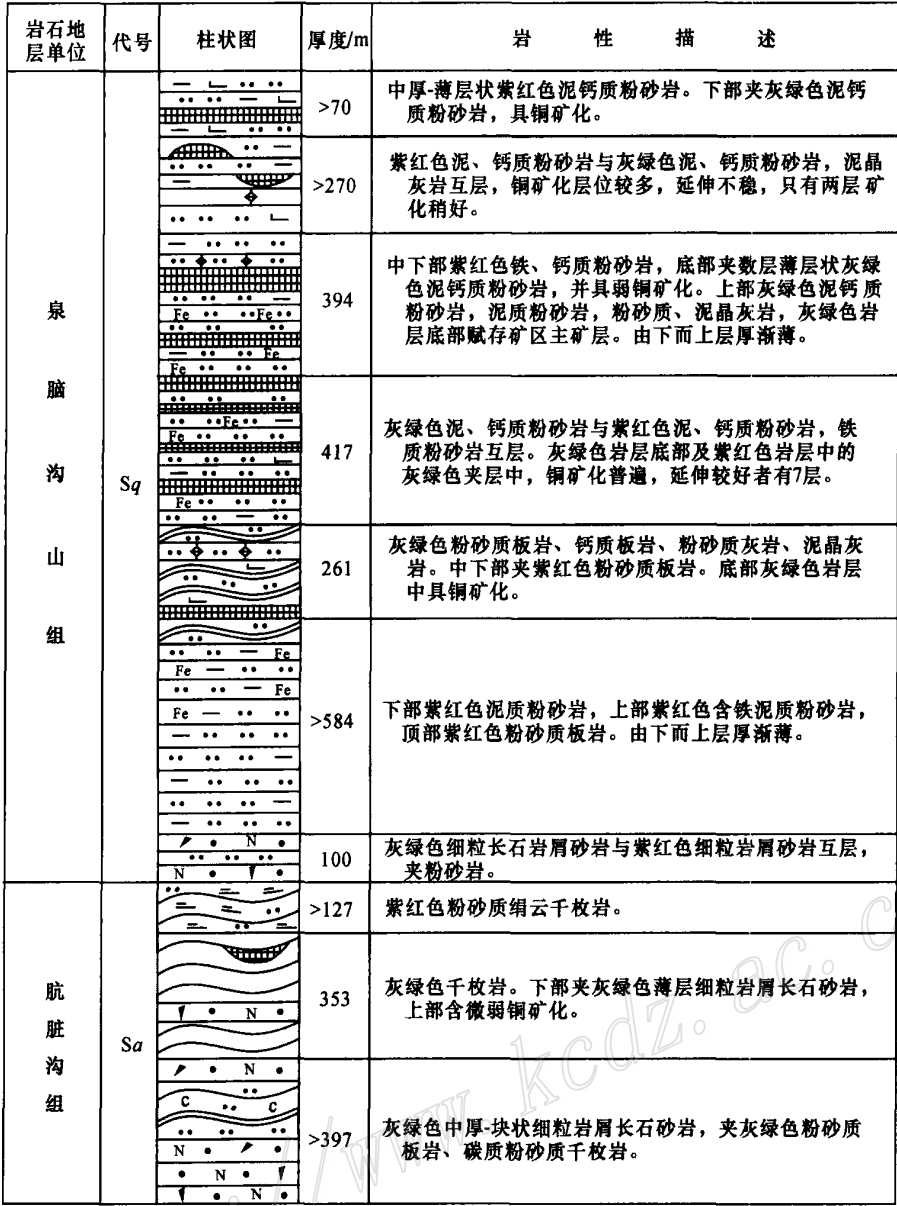


图 3 天鹿铜矿区地层柱状图(据魏海峰,1998^①修订)
Fig. 3 Stratigraphy columnar section of Tianlu copper district(after Wei, 1998)

层侵入于旱峡组中。闪长岩脉长约 1 km,宽 10 ~ 50 m,局部有铜矿化(Cu₂)^①,表明侵入岩具有一定的成矿性。

2.1 矿体特征

矿化赋存于泉脑沟山组的中、上部(图 3),展布方向与地层一致(图 2),在矿区长达 13 km,宽约 2.5 km 的范围内,铜矿化普遍存在。主要矿体较集中地分布于宽约 1 km 的范围内。区内矿(化)层有十余

层,矿(化)体主要为层状、似层状,个别矿体呈脉状、透镜状(如 Cu₂)。矿体规模悬殊,长度一般 50 ~ 600 m,最长达 6130 m,厚 0.1 ~ 3.5 m,平均品位 0.2 % ~ 1.21 %,矿体出露高差达 670 m。其中 Cu₁ 为主矿体,总长 6130 m,厚度 0.3 ~ 3.5 m,矿体产状与围岩一致,矿石品位 0.21 % ~ 2.64 %^①。矿化产于灰绿色岩层的底部或灰绿色夹层中,含矿岩性为灰绿色泥钙质粉砂岩、粉砂质泥岩等。矿体品位在走向上

① 魏海峰. 1998. 甘肃省肃南县天鹿铜矿床普查地质报告.

变化不大,但厚度方向上由矿体中部向上、下均有逐渐变贫的趋势。矿体中部被平移断层切割,断距达 1 km。其他层状、似层状矿体的特征基本与之类似。仅 Cu_2 矿体赋存于闪长岩脉内部及其接触带上,总体呈脉状,由数个小矿脉组成,长数百米,平均宽数米,矿体品位 0.55%,矿化不连续,显示出矿化与闪长岩脉有关及热液成矿的特点。

2.2 矿石特征

根据含矿岩石岩性的不同,矿石的自然类型分为 2 种。

粉砂岩型铜矿石 是矿床主要的矿石类型,含矿岩性以粉砂岩为主,有少量泥质岩、板岩和泥灰岩等。所有层状、似层状矿体均属此类。根据矿石矿物组合特征,该类型矿石可进一步细划为 6 个亚类,并具有垂向分带性,自下而上为:辉铜矿矿石、辉铜矿-斑铜矿矿石、斑铜矿矿石、黄铜矿-斑铜矿矿石、黄铜矿矿石和黄铁矿-黄铜矿矿石。其中辉铜矿矿石、斑铜矿矿石和黄铜矿矿石是主要的矿石亚类。

闪长岩型铜矿石 仅构成了 Cu_2 号矿体,按照矿石矿物不同,分铜蓝矿石和黄铁矿-黄铜矿矿石两个亚类。

矿石结构较为复杂,总体有 3 大类、10 亚类,见表 1。

其中,结晶结构是主要的结构类型,半自形-他形晶粒状结构是最主要的亚类(刘伯崇等,2005,照片 1)。该结构中,矿石矿物呈半自形-他形较均匀地分散于矿石中,局部呈自形晶,伴随石英-方解石呈细脉充填产出。矿石矿物粒径较大,一般 0.005~0.07 mm,沿裂隙充填者粒度较大,粒径可达 0.07~1.4 mm。

矿石构造主要呈条带状,次有细脉浸染状、脉状、团块状构造等。

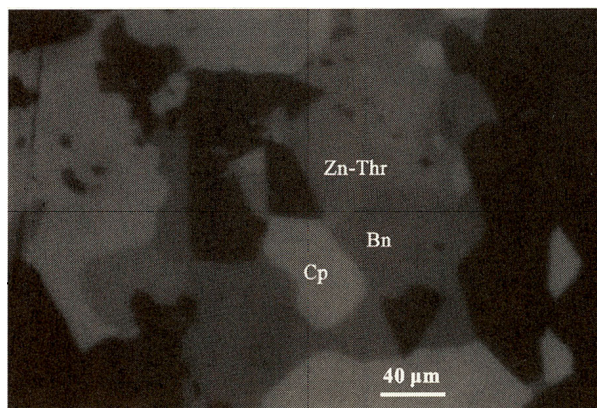
条带状构造是主要的矿石构造,存在于粉砂岩型铜矿石中(照片 2)。矿石矿物沿层理呈条带状分布,条带一般宽 0.2~2 cm。矿石矿物的种类、含量、结构及碎屑成分的不同构成了矿石的条带状构造。在粒度较大的粉砂岩条带中,陆源碎屑及矿质丰富,矿石矿物粒度较大,含量较高。随着泥质增高,物源供应不足,矿质相应减少,故而矿石矿物减少,粒度变小。在碳酸盐岩碎屑含量高的条带中,矿石矿物较集中分布。

细脉浸染状构造存在于闪长岩型矿石中,矿石矿物在闪长岩及其裂隙中呈细脉状、浸染状、星点状

表 1 天鹿铜矿床矿石结构分类表

Table 1 Classification of ore textures in the Tianlu copper deposit

类型	亚类
结晶结构	半自形-他形晶粒状结构,互边结构,共结、文象结构,包含结构
交代结构	边缘交代结构,交代残余结构,假象、骸晶结构
出溶结构	结状结构,叶片状、钩状结构,乳滴状结构



照片 1 矿石的半自形-他形晶粒状结构(光片)

Cp—黄铜矿;Bn—斑铜矿;Zn-Thr—锌黝铜矿

Photo. 1 Subhedral-anhedral granular texture of ore



照片 2 矿石的条带状构造

Photo. 2 Banded structure of ore

分布。脉状构造主要见于粉砂岩型铜矿石中,矿石矿物沿裂隙分布,局部岩石破碎,形成网脉状构造、团块状构造等。

矿石矿物成分见表 2。作为主要类型的粉砂岩型铜矿石,矿物成分在垂向上具有明显的分带性——矿层下部以辉铜矿为主,中部主要是斑铜矿,上部以黄铁矿、黄铜矿为主。自下而上,各类铜矿物含量呈少—多—少的规律分布。反映了氧化-还原条件

表 2 天鹿铜矿床矿物成分表
Table 2 Mineral composition of the Tianlu copper deposit

矿石类型	矿石矿物		脉石矿物	
	主要矿物	次要矿物	主要矿物	次要矿物
粉砂岩型铜矿石	斑铜矿、黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿	铜兰、孔雀石、褐铁矿、蓝铜矿、磁铁矿、偶见方铅矿、闪锌矿、自然铜、白铅矿、铅矾、赤铁矿等	石英、方解石、斜长石、泥质胶结物	绢云母、绿泥石、钾长石、白云母、电气石、锆石、榍石、炭质等
闪长岩型铜矿石	辉铜矿、黄铁矿、斑铜矿、铜兰、褐铁矿	孔雀石、磁铁矿、少量蓝铜矿、钛铁矿	斜长石、绿泥石	方解石、绿帘石、石英、绢云母、少量钾长石、阳起石、透闪石、磷灰石、锆石、榍石等

表 3 天鹿铜矿床矿石化学成分表[●]
Table 3 Chemical composition of ores from the Tianlu copper deposit

样号	矿石名称	w(B) / %																
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	总计	Cu
1	辉铜矿矿石	59.81	12.47	0.65	4.05	5.55	1.39	4.42	2.40	1.45	0.13	0.12	0.35	3.92	3.72	0.13	100.83	0.32
2	斑铜矿矿石	57.34	13.21	0.65	4.95	6.06	0.90	4.64	2.45	1.45	0.13	0.13	1.20	4.86	2.96	0.12	101.08	1.18
3	黄铁矿-黄铜矿矿石	57.92	12.77	0.71	5.70	5.17	1.21	4.12	2.25	1.60	0.13	0.14	1.32	4.92	2.88	0.13	100.97	0.40
4	混合矿石*	58.66	12.86	0.67	4.65	6.31	0.86	4.46	2.25	1.65	0.13	0.14	0.59	3.92	3.22	0.09	100.46	1.18
5	闪长岩铜矿石	53.15	17.20	1.11	4.13	4.26	2.16	4.22	1.08	5.40	0.30	0.10	0.19	3.80	2.60	0.02	99.72	0.59
6	闪长岩铜矿石	53.36	17.78	1.05	3.08	4.90	3.66	3.78	0.63	5.70	0.30	0.09	0.37	2.92	1.46	0.06	99.34	1.22
7	铜矿化闪长岩	52.66	17.83	1.18	4.43	4.47	1.84	4.72	1.05	5.60	0.30	0.11	0.15	2.92	1.94	0.06	99.26	0.55

注：* 由辉铜矿矿石、斑铜矿矿石、黄铁矿-黄铜矿矿石组成；1~4 号为粉砂岩型铜矿石。测试方法及仪器：TiO₂、P₂O₅ 用 72E 分光光度仪，K₂O、Na₂O、MnO₂ 用 GGX-6 型原子吸收分光光度仪，CO₂、H₂O⁺、H₂O⁻ 为重量法，其他项目用定量法。测试单位：甘肃省地质矿产勘查局第四地质矿产勘查院。

表 4 天鹿铜矿床矿石微量元素特征表[●]
Table 4 Trace element characteristics of ores from the Tianlu copper deposit

矿体编号	矿石类型	样数	w _B / 10 ⁻⁶																
			Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Ba	As	Sb	Mo	Ga	Ge	V	Ti	Sr	Zr
Cu ₁	粉砂岩型铜矿石	64	4070	32.9	124.4	14.2	81.7	18.2	148.3	309.1	16.0	8.9	7.6	30.8	1.14	138.3	1250	237.5	42.5
Cu ₂	闪长岩型铜矿石	6	3600	40.4	116.0	33.0	23.4	21.0	100.0	250.0	15.0	10.0	1.7			210.0	1300	250.0	40.0
矿区背景值			44.5	19.6	141.8	0.5	53.1	13.4	132.9	337.6	17.7	11.5	1.1	25.5	1.35	90.8	1190	200.0	42.8

测试方法及仪器：WPG-100 型发射光谱仪测试。测试单位：甘肃省地质矿产勘查局第四地质矿产勘查院。

转化对铜矿物形成的影响(陈根文等,1999;黄满湘,1999;庄汉平等,1996)。

矿石化学成分见表 3。

表 3 显示,CaO、CO₂、SO₃、MnO₂ 的含量由辉铜矿矿石→斑铜矿矿石→黄铁矿矿石逐渐升高,而 Fe₂O₃ + FeO、H₂O 则存在相反的趋势,显示出化学成分、矿物成分及氧化-还原条件变化的一致性。K₂O

+ Na₂O 的含量在矿层中较稳定。

矿石的微量元素特征见表 4。

由表 4 可知,矿石中 Cu、Ag 元素均具有很强的富集性,与矿床的有益组分和矿物成分相吻合;Mo、Pb、V、Ni、Co、Sr 等元素具有弱富集特征。

2.3 成矿时代

天鹿铜矿床赋存于中志留统泉脑沟山组中,个

● 魏海峰,1998. 甘肃省肃南县天鹿铜矿床普查地质报告。

别矿体(Cu_2)产于侵入早峡组内的闪长岩脉之中。矿床特征研究表明,除 Cu_2 号矿体外,整个矿床受泉脑沟山组的严格控制,并具有明显的沉积特点,而包括泉脑沟山组在内的整个志留系,是早古生代晚期残留海盆环境下的产物(冯益民等,1996)。可见矿床与地层同期形成,即粉砂岩型铜矿形成于中志留世。 Cu_2 号矿体产于闪长岩脉内及其接触带上,是砂岩型铜矿形成后,顺层侵位的脉岩使地层或矿层中的铜质再次富集形成的。综上所述,本矿床的形成时代为志留纪。

3 矿床成因讨论

包括赋矿地层在内的志留系为一套陆源碎屑建造,其碎屑中岩屑的主要成分为浅变质岩、基性火山岩、碧玉岩、硅质岩、灰岩及脉石英等,这些碎屑的成分及岩石组合与阴沟群的岩性、岩石组合十分相似。表明阴沟群是含矿岩系中碎(岩)屑的供应者。该地层不仅产有石居里、九个泉、错沟等海底喷流沉积型铜矿床(冯益民等,1996;夏林圻等,1998;2001),而且具有很高的铜丰度值(表5),构成了区域上铜矿源层^①。因此认为,奥陶纪火山-沉积岩系是成矿的物质来源。

矿床沉积特征明显。矿体呈层状,延伸稳定,产状与地层一致;矿石矿物沿层理分布,形成条带状构造;赋矿岩石——灰绿色粉砂岩形成于还原环境,其底板的紫红色岩层为氧化环境的产物,表明矿石矿

物是沉积环境由氧化态转为还原态之后形成的(陈根文等,1999;黄满湘,1999;庄汉平等,1996);此外,矿石中 $w_{\text{Co}}/w_{\text{Ni}}$ 值 $\ll 1$ (表4),也显示出矿床的沉积成因。

天鹿铜矿床除具沉积特征外,产于闪长岩脉中的唯一铜矿体 Cu_2 则是岩浆-热液成矿作用的表现。

综上所述,矿床属沉积砂岩型铜矿床。成矿后,叠加了较弱的岩浆-热液型铜矿化。

4 成矿模式

志留纪,矿区处于板块构造体制末期的残留海盆环境中,周围是隆起的以阴沟群为主的火山-沉积岩系,这些富Cu的岩层风化剥蚀后,被迁移到残留海盆中,在构造运动和环境频繁变换的条件下,形成了红、绿交替的含矿建造。在还原状态阶段,在相对平静而局限的水域,由于含Cu胶体及铜离子浓度的增加,首先沉淀出辉铜矿。随着含Cu胶体和铜离子浓度的进一步增加及还原程度的加强,相继形成了斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿等硫化物,它们与同期沉积的碎屑一起构成了具有条带状构造的粉砂岩型铜矿石(图4)。

粉砂岩型铜矿形成后,强烈的后造山运动诱发了岩浆活动,在岩浆上升、就位的过程中,遭遇了具有高铜丰度值的地层或矿层,使其中的矿质活化并伴随岩浆的就位而富集,形成了闪长岩型铜矿。

表5 石居里地区阴沟群主要微量元素特征($u_p/10^{-6}$)^{②③}

Table 5 Characteristics of main trace elements in Yingou Group of Shijuli area ($u_p/10^{-6}$)

岩石类型	样品数	Cu	Zn	Pb	Co	Ni	Mo	As	Ag	Au
硅质岩	4	88.0	56.5	79.3	12.3	24.6	1.40	24.4	1.0	0.0076
碧玉岩	8	793.6	469.2	180.0	17.7	53.5	2.41	59.2	1.3	0.0093
凝灰质砂岩、粉砂岩	12	127.9	128.1	63.6	25.5	83.2	0.87	26.3	2.6	0.0176
凝灰岩	8	140.3	136.5	22.3	29.6	76.4	1.14	14.8	0.5	0.0060
细碧岩	13	155.2	136.5	14.5	41.5	72.4	1.29	11.4	0.4	0.0047
玄武岩	17	101.5	106.0	19.1	37.9	65.6	1.25	7.9	1.5	0.0059
辉绿岩脉	2	150.0	150.0	8.0	35.5	70.5	1.10	13.0	0.2	-
次生石英岩	4	1125.0	1775.0	66.2	77.0	26.5	11.20	127.2	4.3	0.0518
板岩	4	115.3	158.0	106.5	35.3	156.0	0.93	20.6	2.4	0.0229
平均值		255.0	253.0	54.4	33.9	70.3	1.85	26.5	1.5	0.0118
地壳丰度值(维氏,1962)*		47.0	83.0	16.0	18.0	58.0	1.10	1.7	0.07	0.0043

* 据武汉地质学院地球化学教研室,1979。

① 杨兴吉,李大民.2004.甘肃省祁连山中西段成矿区划研究报告。

② 白祖三,王均授,雷淑国.1994.甘肃省北祁连西段铜铅锌金成矿带成矿区划报告。

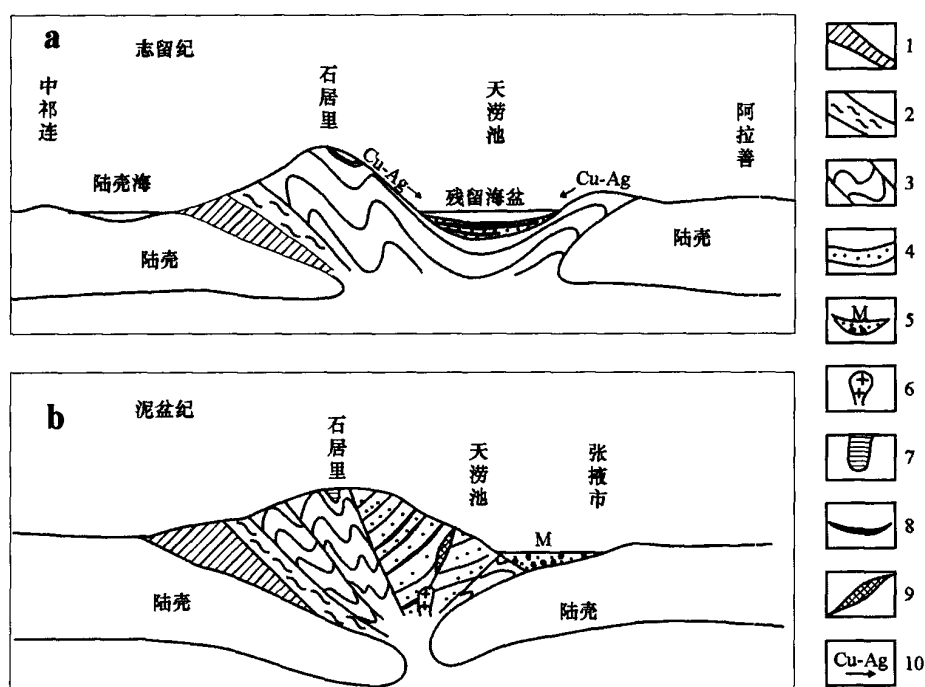


图 4 天鹿铜矿床成矿模式图(据冯益民等,1996)

1—仰冲洋壳残片;2—俯冲杂岩带;3—富含矿质的火山-沉积岩系;4—海相碎屑岩沉积;5—磨拉石建造;6—中酸性岩浆岩;7—塞浦路斯型铜矿体;8—粉砂岩型铜矿体;9—岩浆-热液(闪长岩)型铜矿体;10—矿质及其运移方向

Fig. 4 Metallogenic model for the Tianlu copper deposit (after Feng et al., 1996)

1—Remnant of overriding oceanic crust; 2—Zone of subducting migmatic complex; 3—Mineral-bearing volcano-sedimentary rocks; 4—Marine clastic sediments; 5—Molasse formation; 6—Intermediate-acid magmatic rocks; 7—Copper ore body of Cyprus type; 8—Siltstone copper ore body; 9—Magmatic hydrothermal (diorite) copper ore body; 10—Ore materials and their moving direction

References

- Chen G W and Deng Y Q. 1999. The multi-stage de-water metallogenic model of Wadizhou copper deposit, Yunnan Province [J]. Mineral Deposits, 13(5): 279 ~ 282 (in Chinese with English abstract).
- Feng Y M and He S P. 1996. Geotectonics and orogeny of the Qilian Mountains, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 135p (in Chinese).
- Huang M X. 1999. A study on metallogenic mechanism for Mayang copper deposit, Hunan Province [J]. Geotectonics et Metallogenia, 23(1): 42 ~ 49 (in Chinese with English abstract).
- Li J C. 2000. Features of sedimentary copper deposits of Silurian system in North Qilian area, Gansu Province [J]. Acta Geologica Gansu, 9(2): 19 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Liu B C, Li J C and Ma Y H. 2005. Characteristics of siltstone copper ore in Tianlu copper deposit [J]. Northwestern Geol., 38(3): 41 ~ 47 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Ren F S, Zuo G C, Zhang Z H, Yang J M, Wang Z L and Ye D J. 1999. Temporal and spatial distribution and evolution of ore deposits in the west sector of the northern Qilian mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 73(1): 73 ~ 82 (in Chinese with English abstract).
- Wuhan College of Geology. 1979. Geochemistry [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 373p (in Chinese).
- Xia L Q, Xia Z C, Ren Y X, Zuo G C, Qiu J X, Peng L G, Wang D W, Yang W R, Wu J R, Xia W H, Qin G J and Yu P S. 1998. Volcanism and metallogenic of the Qilian Mountain and neighboring [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 215p (in Chinese).
- Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y, Yang H Q, Li Z P, Yang J G, Li W Y, Zhao D H, Song Z B, Li X M and Yu P S. 2001. Structures volcanic magmas - metallogenic power theory of north Qilian [M]. Beijing: China Univ. Geosci. Press. 296p (in Chinese).
- Yang Y, Fan G L and Yao G J. 1997. Stratigraphy (lithostratic) of Gansu Province, multiple classification and correlation of the stratigraphy of China (62) [M]. Wuhan: China Univ. Geosci. Press. 1 ~ 314 (in Chinese).
- Zhou Z H, Zhao R S and Mao J H. 1989. Regional geology of Gansu Province (The People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources geological memoirs, series 1, number 19) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 691p (in Chinese).

Zhuang H P, Ran C Y, He M Q and Lu J L. 1996. Evidence and mechanism of water-rock interaction during mineralization of sandstone-hosted copper deposits in central Yunnan Province[J]. Earth Sci., 21(3): 327 ~ 331 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈根文, 邓永清. 1999. 云南凹地直铜矿多阶段脱水成矿模式[J]. 矿产地质, 13(5): 279 ~ 282.
- 冯益民, 何世平. 1996. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京: 地质出版社. 135 页.
- 黄满湘. 1999. 湖南麻阳铜矿成矿机制探讨[J]. 大地构造与成矿学, 23(1): 42 ~ 49.
- 李金春. 2000. 甘肃北祁连山志留系沉积岩铜矿特征[J]. 甘肃地质学报, 9(2): 19 ~ 27.
- 刘伯崇, 李金春, 马云海. 2005. 天鹿铜矿床粉砂岩型铜矿石特征[J]. 西北地质, 38(3): 41 ~ 47.
- 毛景文, 张招崇, 任丰寿, 左国朝, 张作衡, 杨建民, 王志良, 叶得金. 1999. 北祁连山金属矿床时空分布和生成演化[J]. 地质学报, 73(1): 73 ~ 82.
- 武汉地质学院地球化学教研室. 1979. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 373 页.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 左国朝, 邱家骧, 彭礼贵, 王大伟, 杨巍然, 郭介人, 夏卫华, 覃功炯, 于浦生. 1998. 祁连山及邻区火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社. 215 页.
- 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 杨合群, 李智佩, 杨建国, 李文渊, 赵东宏, 宋忠宝, 李向民, 于浦生. 2001. 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. 296 页.
- 杨雨, 范国林, 姚国金. 1997. 甘肃省岩石地层(全国地层多重划分对比研究, 62)[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 314 页.
- 周振环, 赵茹石, 毛金海. 1989. 甘肃省区域地质志(中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一. 区域地质, 第 19 号)[M]. 北京: 地质出版社. 691 页.
- 庄汉平, 冉崇英, 何明勤, 卢家烂. 1996. 滇中砂岩铜矿成矿过程中水-岩反应的证据与机理[J]. 地球科学, 21(3): 327 ~ 331.