

青海省乌兰乌珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因

余宏全¹ 张德全¹ 景向阳² 关 军³ 朱华平⁴ 丰成友¹ 李大新¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 青海省地质调查研究院, 青海 西宁 810012;

3. 中南冶勘资源环境工程有限公司长沙分公司, 湖南 长沙 410001;

4. 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054)

提要: 乌兰乌珠尔斑岩铜矿位于柴达木盆地西缘, 为受花岗斑岩脉控制的斑岩型铜矿。岩石化学、稀土和微量元素特征表明: 控矿花岗斑岩与围岩(似斑状)斜长花岗岩为钙碱性系列, 具轻稀土富集、显著的 δEu 负异常和 Sr、Ba、Ca 亏损特征, 形成于同碰撞造山环境, 与华力西晚期—印支期松潘—甘孜古特提斯洋俯冲碰撞闭合有关。控矿花岗斑岩及其围岩热液蚀变强烈, 显示良好的蚀变分带。主要蚀变有钾硅化、绢英岩化和青磐岩化, 控矿斑岩内部为钾化和硅化叠加绢英岩化带, 近斑岩两侧围岩为绢英岩化带, 外侧为青磐岩化带。铜矿化强度与蚀变强度有显著正相关关系。铜矿体空间分布、产状及规模受控矿花岗斑岩体控制。矿床的矿物组合、热液蚀变、硫、氧同位素和流体包裹体测温结果显示矿床形成于中高温环境, 流体和成矿物质主要来源于岩浆, 乌兰乌珠尔铜矿属与高中温岩浆热液作用有关的斑岩型铜矿。

关键词: 乌兰乌珠尔; 斑岩铜矿; 热液蚀变; 矿床地质; 矿床成因; 青海省

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)02-0306-09

乌兰乌珠尔铜矿位于柴达木盆地西缘, 东昆仑北部断裂造山带北西段。该矿床为青海地质调查研究院于 2002 年进行化探异常检查过程中新发现的中小型斑岩铜矿。该地区以大量发育多时代的中酸性侵入岩和变质程度较高的基底岩系(金水口群)为特征, 构造以北西、北西西向断裂为主。

1 矿区地质

矿床产于乌兰乌珠尔斜长花岗岩体内, 区内岩石主要为侵入岩, 仅在西南部出露有小面积的第四系冲洪积砂、砾石及少量风成砂(图 1)。

矿区主要为断裂构造, 且规模较大, 主要为北西向、北东东向及东西向断裂。北西向断裂、北东东向断裂构成区内主干断裂, 断裂面一般北倾, 倾角 $40\sim 70^\circ$, 沿走向延长 $3\sim 6 \text{ km}$, 断裂破碎蚀变带发育, 破碎带宽一般 $10\sim 30 \text{ m}$, 最宽 $50\sim 150 \text{ m}$, 沿断裂带常见花岗岩脉、花岗斑岩脉及钾长花岗岩脉侵入。

矿区分布侵入岩主要为华力西期斑状斜长花岗岩及中粒、细粒斜长花岗岩, 二者呈相变关系。其次为中酸性岩脉, 有细粒花岗岩脉、花岗斑岩脉、闪长岩脉、钾长花岗岩脉及石英脉等。

斑状斜长花岗岩体位于矿区南西侧, 呈岩基产出, 主要岩石类型为斑状斜长花岗岩, 岩石呈灰白色, 似斑状结构、块状构造, 基质为中粒结构、粗中粒结构。岩石斑晶发育, 主要由斜长石及少量钾长石组成, 颗粒巨大, 呈自形晶和半自形晶, 粒度一般 $1\sim 2 \text{ cm}$, 含量 $20\%\sim 50\%$ 。

斜长花岗岩体位于矿区中部及北部, 呈不规则状分布, 与斑状斜长花岗岩体为相变关系。岩石为灰白色、浅肉红色, 中粒、中细粒结构, 块状构造, 由长石、石英、黑云母等组成。

矿区内蚀变破碎带及其两侧的(斑状)斜长花岗岩常发生糜棱岩化, 表现为岩石片理化, 挤压破碎、矿物变形, 形成碎裂岩、糜棱岩、构造角砾岩、构造片岩等。岩石具变余糜棱结构和定向构造, 石英和长石晶体常呈眼球状或拉长状。基质成分为绢云母(36%)、石英(18%), 前者呈鳞片状, 部分向白云母过渡或已结晶为白云母, 其集合体在碎斑间定向分布, 构成显著的糜棱叶理。糜棱岩化岩石一般经历了后期绢云母化热液蚀变叠加, 伴有后期脆性变形, 使岩石又具碎裂结构。说明该地区经历了多期构造变形作用影响, 早期以韧性变形为主, 晚期以脆性变形为主。

收稿日期: 2006-07-31; 改回日期: 2006-12-25

基金项目: 国家科技攻关计划(2003BA612A-07)和国家自然科学基金项目(40372051)共同资助。

作者简介: 余宏全, 男, 1965 年生, 研究员, 从事矿床地质-地球化学研究; E-mail: hongquanshe@sohu.com。

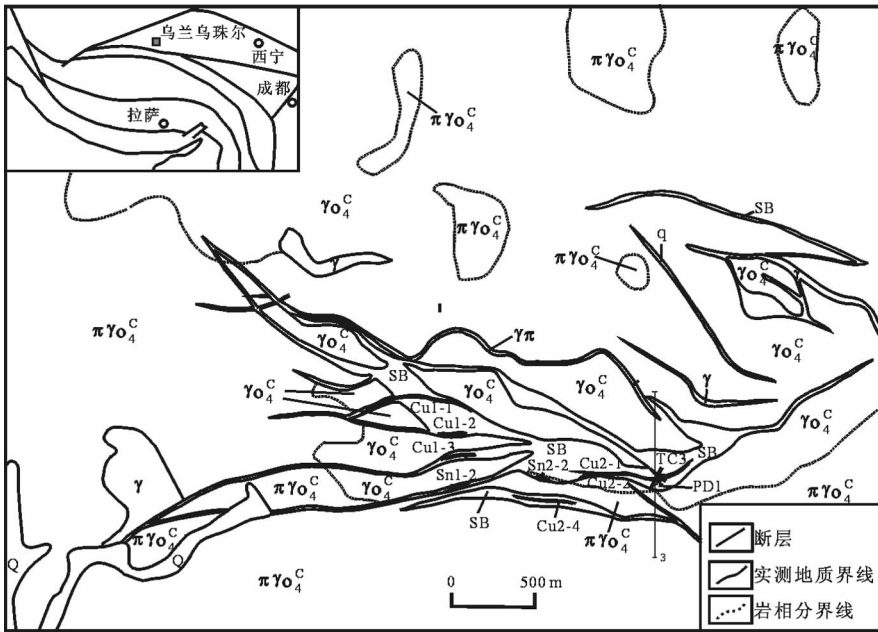


图 1 乌兰乌珠尔斑岩铜矿地质简图^①

Q—第四系;πγ₀—似斑状斜长花岗岩;γ₀—斜长花岗岩;γ—花岗岩脉;γπ—花岗岩斑岩脉;q—石英脉;SB—蚀变带;TC3—探槽及编号;Cu I-1—铜矿体及编号;Sn I—锡矿体及编号

Fig.1 Geological sketch map of the Ulan Uzhur porphyry copper deposit^①

Q-Quaternary;πγ₀-Porphyritic plagiogranite;γ₀-Plagiogranite;γ-Granite dike;γπ-Granite porphyry dike;q-Quartz;SB-Alteration zone;TC3-Trench and number;CuI-1-Copper orebody and number;SnI-Tin orebody and number

2 与成矿有关的斑岩特征

2.1 岩相学特征

乌兰乌珠尔矿区铜矿化均产于蚀变石英斑岩或花岗斑岩内部及其两侧围岩中。含矿斑岩为已蚀变的花岗斑岩,呈脉状沿北西-北西西向断裂带发育,产状与控矿断裂一致,岩脉宽一般 5~10 m,最宽 50 m,延长 500~1 500 m。

花岗斑岩呈灰色,斑状结构,块状构造。斑晶成分为斜长石(2%~5%)、长石(1%~3%)、石英(2%~5%)及少量暗色矿物,斑晶大小为 0.9~2.2 mm。斜长石被绢云母集合体或绢云母及碳酸盐岩集合体取代,只保留假象。正长石有粘土化。石英常有熔蚀现象。暗色矿物被碳酸盐集合体取代,保留柱状假象,可能是普通角闪石。基质矿物粒径为 0.1~0.6 mm,主要为斜长石(60%,大多数已绢云母化);其次为石英(20%~25%)、正长石(5%~10%)等。由于斑晶中的长石一般蚀变较强,石英受蚀变影响较小,部分手标本仅能识别出斑晶石英,因此,矿化斑岩有时也称为石英斑岩,本文统称为花岗斑岩,未加区分。

2.2 岩石化学特征

从矿区主要侵入岩的岩石化学组成(表 1)可以看出,含矿花岗斑岩的 SiO₂ 含量为 70.68%~78.43%,平均 73.63%,属酸性岩类。K₂O>Na₂O,K₂O/Na₂O 比值为 1.76~79.2,变化范围大,可能与花岗斑岩钾化有关。总体上,花岗斑岩的岩石化

学成分与围岩似斑状斜长花岗岩、斜长花岗岩相似,后者的 SiO₂ 含量为 70.68%~78.43%,平均 73.20%,K₂O>Na₂O,K₂O/Na₂O 比值为 1.47~47.57。在判断岩石系列的 SiO₂-Na₂O+K₂O 和 AFM 图解上(图 2),未出现富铁趋势,应属钙碱性系列岩石。

2.3 稀土与微量元素

从矿区主要岩石的稀土和微量元素含量(表 2)和元素图解(图 3~4)可以看出,含矿花岗斑岩与围岩(似斑状)斜长花岗岩具有相似的稀土和微量元素分布特征。一般为轻稀土富集型,LREE(轻稀土)>HREE(重稀土),花岗斑岩的 LREE/HREE 为 2.53~12.96,(似斑状)斜长花岗岩(除 WL-96 样号外)LREE/HREE 比值为 5.39~16.42,属轻稀土中等富集。稀土配分曲线表现右倾型,具有显著的 Eu 负异常,花岗斑岩的 δEu 值为 0.17~0.38,(似斑状)斜长花岗岩的 δEu 值为 0.27~0.57,显示岩浆演化过程中经历了较强烈的斜长石分离结晶作用的影响。

在微量元素图解上,花岗斑岩和(似斑状)斜长花岗岩均表现明显的 Ba、Nb、Sr、Eu 亏损,Ba、Sr、Eu 亏损主要与岩浆演化过程中经历了斜长石分离结晶作用影响有关。K、Sr、U 富集,说明岩浆岩的源岩经历过流体交代(或富集作用)作用的影响,与其形成于大陆边缘环境有关。

在花岗岩的构造环境判别 R₁-R₂ 和 Rb-(Y+Nb)图解

①青海省地质调查研究院.青海省茫崖镇乌兰乌珠尔铜矿普查设计书,2005.

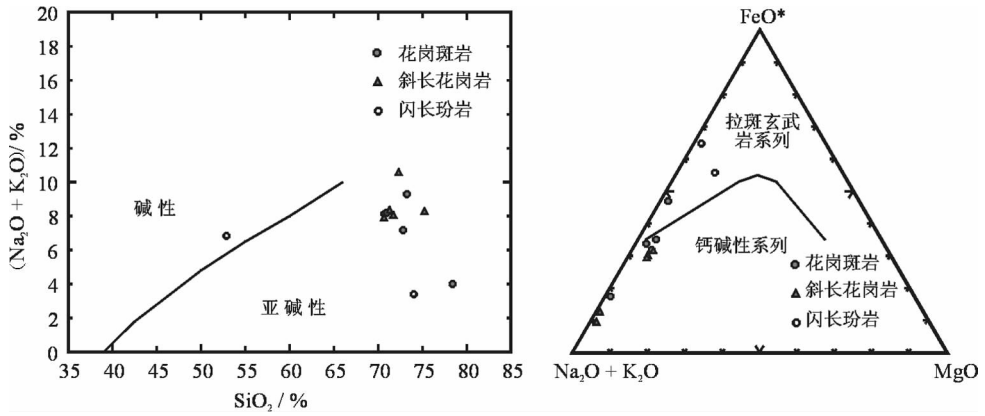


图2 乌兰乌珠尔矿区主要侵入岩 SiO₂-Na₂O+K₂O 和 AFM 图解^[1]

Fig.2 SiO₂-Na₂O+K₂O and AFM diagrams of major intrusive rocks in the Ulan Uzhur copper district^[1]

表 1 乌兰乌珠尔铜矿区主要岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of major rocks in the Ulan Uzhur copper district

样号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	loss	Total
WL-86	蚀变花岗斑岩	73.28	0.038	14.34	1.44	0.71	0.021	0.16	0.23	2.33	6.97	0.077	1.1	100.7
WL-21	花岗斑岩	72.84	0.109	12.46	3.91	3.11	0.079	0.29	0.08	0.2	6.98	0.032	3	103.1
WL-84	花岗斑岩	70.99	0.4	14.16	2.85	1.59	0.05	0.68	1.55	2.97	5.24	0.128	0.98	101.6
WL-97	花岗斑岩	78.43	0.097	12.03	2.15	0.1	0.15	0.18	0.1	0.05	3.96	0.021	2.93	100.2
WL-84	花岗斑岩	70.99	0.4	14.16	2.85	1.59	0.05	0.68	1.55	2.97	5.24	0.128	0.98	101.59
WL-21	花岗斑岩	73.28	0.038	14.34	1.44	0.71	0.021	0.16	0.23	2.33	6.97	0.077	1.1	100.7
WL-51	浸染状铜矿石 (含矿花岗斑岩)	72.31	0.07	14.03	0.8	0.48	0.025	0.19	0.8	2.32	8.27	0.125	1	100.42
WL-85	似斑状斜长花岗岩	72.31	0.07	14.03	0.8	0.48	0.025	0.19	0.8	2.32	8.27	0.125	1	100.4
WL-87	斜长花岗岩	71.29	0.371	14.17	2.61	1.56	0.077	0.64	1.25	2.9	5.46	0.124	1.1	101.6
WL-76	斜长花岗岩	75.24	0.091	13.72	0.86	0.5	0.012	0.09	0.02	0.19	8.11	0.025	1.6	100.5
WL-93	斜长花岗岩	70.68	0.381	14.1	2.72	1.56	0.034	0.72	1.82	2.72	5.2	0.121	1.5	101.6
WL-87	斜长花岗岩	71.73	0.281	14.1	2.48	1.41	0.081	0.63	1.7	3.26	4.81	0.098	0.82	101.4
WL-93	斜长花岗岩	78.43	0.097	12.03	2.15	0.1	0.15	0.18	0.1	0.05	3.96	0.021	2.93	100.2
WL-76	斜长花岗岩	71.29	0.371	14.17	2.61	1.56	0.077	0.64	1.25	2.9	5.46	0.124	1.1	101.55
WL-96	斜长花岗岩	74.03	0.018	12.73	6.72	0.61	0.063	0.21	0.15	0.07	3.33	0.013	2.66	100.6

注:由核工业地质研究院分析;化学成分均为重量百分比(%)。

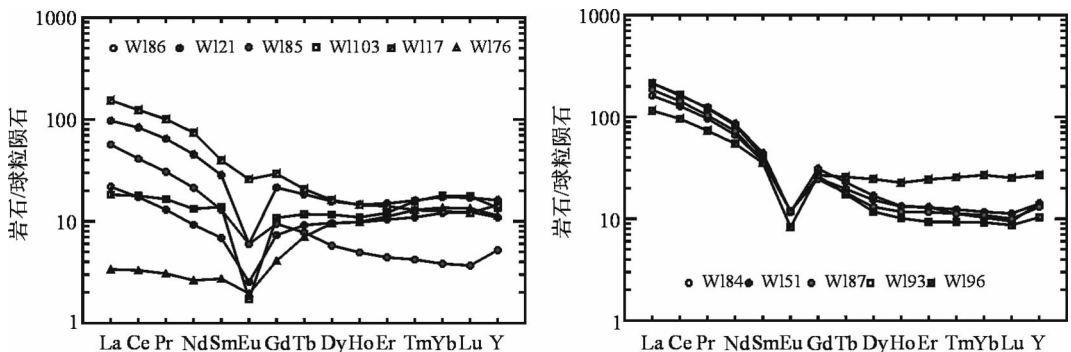


图3 乌兰乌珠尔铜矿主要侵入岩岩石/球粒陨石标准化稀土曲线

Fig.3 Rock/chondrite-normalized REE patterns for major intrusive rocks in the Ulan Uzhur copper district

表 2 乌兰乌珠尔铜矿区主要岩浆岩稀土微量元素分析

Table 2 REE and trace element analyses of major magmatic rocks in the Ulan Uzhuur copper district

样号	岩石名称	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	LREE/HREE	δ Eu		
WL-86	蚀变花岗岩	2.3	8.65	1.01	100	42.13	371.42	24.92	22.98	36.34	5.67	28.65	7.48	91.45	8.01	16.51	1.78	6.56	1.590	222.24	3.680	83.2	590.39	2.980	47.48	38.34	34.67	13.71	2.53	0.36		
WL-21	花岗岩	3.78	1.23	1.92	34.25	349.99	677.43	38.96	33.77	117.78	26.14	41.72	15.42	217.1	35.61	79.51	8.84	32.29	6.580	526.57	6	1.24	3.720	57.4	290.65	187.46	163.35	24.11	6.78	0.24		
WL-84	花岗岩	7.62	3.69	2.75	9.62	52.71	275.05	230.65	29.51	239.96	24.22	2.71	10.18	578.16	59.35	122.4	13.22	47.37	55.10	37.8	5.811	1.23	210.44	2.9	0.43	274.55	251.87	22.68	11.11	0.38		
WL-97	花岗岩	0.99	0.26	0.74	12.61	6.84	283.65	4.43	25.46	101.56	25.23	256.2	10.91	66.03	25.06	56.07	6.11	21.98	4.650	244.04	1.10	0.83	2.480	35.2	5.0	361.29	501.14	11.15	3.9	7.41	0.17	
WL-51	浸染状铜矿石	6.7	4.51	2.71	87.98	59.94	288.01	161.97	29.63	197.09	23.52	10.53	8.13	580.98	78.59	155.2	16.89	61.02	10.21	9.5	6.4	1.13	24.0	4.2	2.550	363.47	863.22	95.24	91.29	12.96	0.31	
WL-85	似斑状斜长花岗岩	3.16	0.64	1.11	6.31	30.94	328.42	71.12	10.92	40.05	4.84	22.66	9.13	240.17	20.77	39.33	4.2	15.15	2.990	522.89	2.2	0.42	1.1	0.150	950.14	91.26	82.96	8.30	10.00	0.53		
WL-87	斜长花岗岩	6.35	2.27	2.92	7.53	89.02	321.42	174.43	27.42	219.78	22.36	15.76	6.93	573.81	67.7	136.9	14.22	51.53	58.67	1.04	7.5	4.98	1	2.9	0.4	2.690	383.00	99.280	10.20	8.9	13.41	0.39
WL-93	斜长花岗岩	8.21	3.44	2.94	7.19	45.65	215.15	194.9	21.69	227.3	12.68	3.71	8.3	613.3	1.24	3.16	0.42	1.87	0.630	1.171	2.53	6.20	8.42	7.70	4.63	3.70	5.13	342.40	322.74	19.66	16.42	0.35
WL-76	斜长花岗岩	1.89	0.65	2.52	543.44	296.3	648.93	45.13	23.93	115.69	25.38	33.17	10.72	207.98	78.65	158.4	16.59	58.77	35.10	3.038	0.74	4.60	8.62	3.32	2.80	33.20	7.2	7.49	13.23	0.57	0.57	
WL-96	斜长花岗岩	8.57	3.61	3.73	9.1	169.23	333.28	138.41	56.41	171.37	24.12	13.63	15.66	327.75	42.17	91.6	10.03	38.79	160.728	199.351	92.6	0.050	9.16	6.670	9.62	27.01	191.47	35.54	5.39	0.27		
WL-103	闪长玢岩	1.72	1.11	0.54	50.91	67.31	221.67	6.43	28.54	68.7	32.66	251.5	13.15	69.39	6.69	17.02	2.26	9.4	3.190	1.53	3.14	4.30	9.33	0.10	5.64	4.440	67.56	7.4	38.71	18.03	2.15	0.14
WL-17	闪长玢岩	25.96	24.4	16.61	69.39	500	476.4	255.29	30.34	311.38	24.27	3.53	31.85	1505.2	56.4	118.4	13.75	52.87	172.25	258.95	6.171	23.3	3.5	0.463	120.46	277.92	252.83	25.09	10.08	0.75		

注:由中国科学院地质与地球物理研究所分析;稀土元素分析单位均为 10^{-6} 。

表 3 乌兰乌珠尔铜矿主要蚀变岩石成矿元素含量

Table 3 Content of ore-forming elements in major altered rocks in the Ulan Uzhuur copper district

蚀变类型	样品数	Cu	As	Sb	Bi	Hg	Au	Ag	W	Mo	Mn	Ti	V	Cr	Co	Ni	Pb	Zn	Rb	Sr	Ba
铜矿石-强蚀变带	5	6079	6021.71	1.80	327.88	41.00	9.76	8.82	24.98	1.93	311.74	1584.52	18.36	28.56	29.04	22.64	49.18	390.82	439.84	12.74	138.82
铜矿化-黄铁绢英岩	6	2030	10.61	0.76	19.38	11.67	10.82	2.08	20.62	10.38	698.23	2453.25	42.13	18.65	15.17	9.75	43.93	200.55	318.23	137.92	596.60
黄铁绢英岩	25	625	45.27	0.99	7.26	22.80	2.75	0.98	11.07	2.51	429.14	1368.14	18.26	7.36	10.19	16.99	56.13	356.27	459.16	39.24	208.44
青磐岩化岩石	5	91	30.05	0.46	101.44	27.40	2.44	1.87	4.06	1.05	475.78	1149.04	13.92	11.86	4.92	17.92	101.68	115.66	409.84	48.00	285.36
碳酸盐化-弱蚀变	5	88	5.31	0.18	11.59	27.40	0.94	1.98	10.48	4.11	540.20	2715.48	44.66	15.78	7.36	16.10	70.66	99.78	349.16	137.20	427.32
斜长花岗岩	1	14	1.69	0.10	0.86	14.00	0.78	0.14	2.50	0.69	480.90	2411.70	40.90	5.40	4.20	18.00	43.10	66.20	301.80	162.10	400.50
煌斑岩	1	23	74.10	0.42	1.35	19.00	0.56	0.12	10.50	0.57	1068.70	6743.30	150.00	32.90	18.80	32.70	43.90	165.50	319.90	282.00	738.30
钾长花岗岩	2	12	0.93	0.24	0.56	22.00	0.51	11.68	3.36	2.36	307.40	1631.40	22.20	6.80	4.80	12.55	56.10	32.25	299.85	83.35	305.00
花岗岩脉	4	41	3.09	0.58	0.86	11.50	1.15	0.07	4.23	2.25	240.50	641.43	5.00	5.00	3.80	13.30	85.88	28.23	375.13	34.03	101.75

注:由河北地质矿产中心实验室分析;成矿元素分析单位除 Au、Hg 为 10^{-6} 外,均为 10^{-4} 。

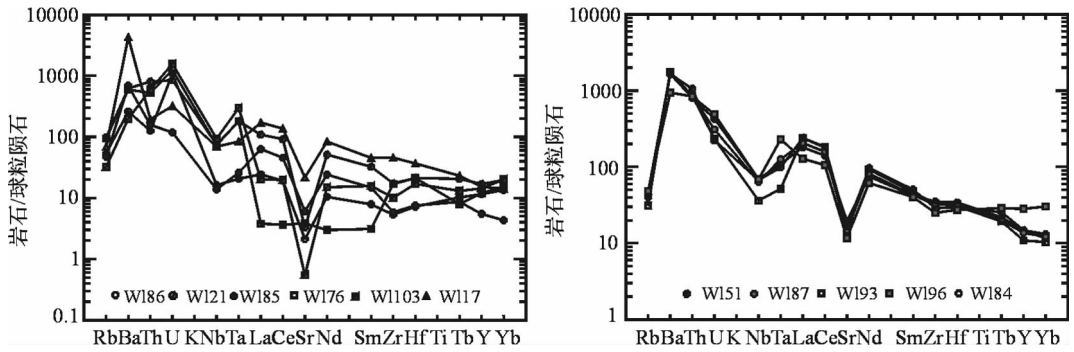


图4 乌兰乌珠尔铜矿主要侵入岩岩石/球粒陨石微量元素蛛网图

Fig.4 Rock/chondrite-normalized trace element spidergrams for major intrusive rocks in the Ulan Uzhur copper district

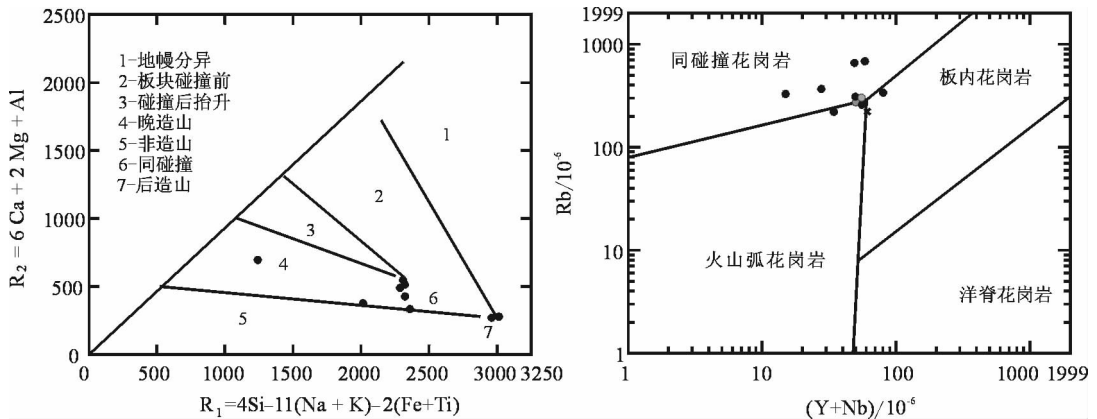


图5 乌兰乌珠尔铜矿主要侵入岩构造环境判别图^[2]

Fig.5 Tectonic setting discrimination diagrams of major intrusive rocks in the Ulan Uzhur copper district^[2]

上(图5),花岗斑岩和(似斑状)斜长花岗岩大部分落在同碰撞期花岗岩范围,可以初步得出该区域主要侵入岩形成的大地构造背景为碰撞构造环境。

3 蚀变及其分带

野外观察发现铜矿化体总是位于花岗斑岩脉内部及其两侧的蚀变破碎带中。根据对花岗斑岩脉及两侧含铜矿化带采集大量样品进行显微镜下鉴定,矿床围岩蚀变主要有钾化、绢英岩化和青磐岩化3种类型,其次为碳酸盐化和高岭土化,局部发育。

钾化:只出现在斑岩中,蚀变矿物组合为钾长石+石英(黑云母,表现为大量的热液钾长石和石英交代基质,有时交代长石斑晶,偶见细鳞片状黑云母散布于岩石中。大多数钾硅酸盐化蚀变已经被绢英岩化蚀变叠加,新生的细鳞片状绢云母穿切热液钾长石,极少见到没有绢英岩化叠加的钾化斑岩。

绢英岩化:广泛地发育在斑岩及其近侧围岩(花岗岩)中,矿物组合为绢云母+石英+黄铁矿(黄铜矿),细鳞片状绢云母常呈网状、浸染状、脉状或团块状集合体交代围岩中的长石。一些强绢英岩化的岩石,通常是糜棱岩,说明蚀变不但

与斑岩有关,且可能与韧性剪切变形同时发生,并且在绢英岩化蚀变之后还发生过区域变形作用。这种现象在新生代以前的斑岩铜矿(如多宝山斑岩铜矿)中是常见的。

青磐岩化:发育在较远离斑岩的外接触带花岗岩中,典型的矿物组合是碳酸盐(方解石为主)+绿泥石+钠长石(绿帘石),含少量星点状黄铁矿。方解石呈细网脉状、团块状或浸染状交代长石,绿泥石交代黑云母和角闪石,斜长石被钠长石交代。随着与斑岩接触带距离的增加,青磐岩化蚀变强度逐步变弱。

自斑岩脉中心向外,可以划分出3个主要的蚀变带(图6):

钾化-绢英岩化叠加带:大多数发育在斑岩内,早期为钾化带,被强烈的绢英岩化蚀变叠加,由于蚀变叠加改造,多数的斑岩脉内已不能识别出单独的钾化带,往往是二者叠加的结果,伴有细脉浸染状黄铁矿和黄铜矿化。

绢英岩化带:对称地分布于紧靠斑岩两侧接触带的华力西期花岗岩中,韧性变形和构造破碎强烈,有脉状和细脉浸染状矿化。

青磐岩化带:在远离接触带的华力西期斜长花岗岩中发育。蚀变带总体走向与斑岩脉走向一致,平面上呈面状分布,

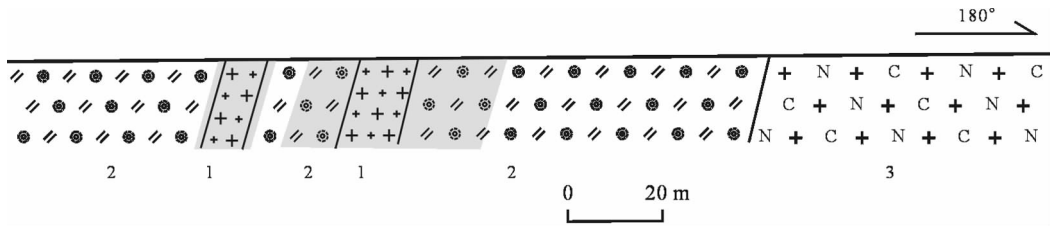


图 6 乌兰乌珠尔铜矿 PD1 坑道素描图

1—含矿花岗斑岩(钾化+绢英岩化);2—绢英岩化蚀变斜长花岗岩;3—青磐岩化斜长花岗岩;
Cu-II-3—铜矿体及编号(图中阴影部分)

Fig.6 Sketch of tunnel PD1 of the Ulan Uzhur copper deposit

1—Mineralized granite-porphry (potassic+ phyllic alteration);2—Phyllic-altered plagiogranite;
3—Propylitic-altered plagiogranite;Cu-II-3—Copper orebody and number (shaded part in the figure)

沿斑岩脉延伸方向呈线状展布。蚀变带之间没有截然的界线,通常是过渡关系。其中,钾化-绢英岩化叠加带最窄,大多与斑岩脉的出露宽度相对应,宽 5~20 m。绢英岩化带的宽度变化大(从数米到 80 m);青磐岩化带宽度中等,但远离接触带的青磐岩化带强度很低,宽度在几十米到 1 000 m,在远离构造破碎带数千米范围局部还能见到青磐岩化现象。铜矿化主要与钾化和绢英岩化有关,蚀变越强铜矿化越好(表 3),尤其是有热液石英大量出现时,硫化物含量明显增高。

乌兰乌珠尔铜矿的蚀变类型和分带特征与典型斑岩铜矿特征一致,其差异主要表现在:① 蚀变带受斑岩脉控制而呈线状分布,不同于小岩株控制的斑岩铜矿,其蚀变带环绕岩体呈环带状分布;② 硅化和细网脉状石英脉不是非常发育,其对矿化的影响还有待于进一步研究。

4 矿体特征

4.1 矿石化学成分

矿床的有用组分主要为 Cu,其次为 Sn,部分地段可以圈出单独的锡矿体,锡矿体一般与铜矿体不重叠。铜矿化主要在绢英岩化蚀变岩和钾化-绢英岩化蚀变带中发育,铜矿化的金属矿物组合主要为:黄铁矿+磁黄铁矿+黄铜矿,它们主要呈浸染状,其次呈团块状或细—网脉状集合体产出。

从矿石中常见成矿元素的含量(表 3)可以看出,本区铜矿石 As 和 Sn 含量较高,其他元素含量均较低,且与非矿化岩石含量差异不大。As 含量高与矿石含毒砂有关。此外,从表 3 还可以看出,从铜矿石(强烈蚀变带)→铜矿化蚀变岩→黄铁绢英岩→青磐岩化岩石→弱蚀变岩石(碳酸盐化)→未蚀变斜长花岗岩和花岗斑岩脉,铜含量出现规律性降低,说明铜矿化强度与蚀变强度密切相关。

4.2 矿体

乌兰乌珠尔铜矿已发现 I、II 两个铜矿化带,现已圈出 9 个铜矿体和 6 条锡矿(化)体。I 矿带位于矿区西部,呈北西向展布;II 矿带位于矿区东部,近东西向展布,矿化带内部分枝复合常见,沿矿化带含矿斑岩分布不连续,但蚀变带基本

连续。铜矿体主要集中分布在二道沟、三道沟沟脑,多产于东西向断裂与北西向断裂交汇部位。主矿体呈层状、板状,其他矿体呈透镜状。主矿体长 200~560 m,其他矿体较小。矿体一般呈东西向展布,北倾,倾角 40~70°,与花岗斑岩脉产状一致(图 7)。矿体平均品位 Cu 为 0.23%~0.58%。矿体与围岩无明显界线,矿体的圈定需依靠化学分析结果。以 Cu II-3 和 Cu II-4 规模最大,占其总储量的 70%。

以主矿体 Cu II-3 为例,该矿体为隐伏矿体,是规模最大的铜矿体,地表未出露,在 PD1 硐探和钻孔 ZK701 见到,PD1 硐探中矿体厚度为 38.9 m(图 8),含矿岩石为花岗斑岩,岩石破碎强烈,Cu 平均品位 0.68%,最高 2.2%。铜元素分布较均匀,其品位变化系数为 65%,矿体连续性较好^②。

乌兰乌珠尔矿区锡矿体规模较小,矿体呈透镜状,多数为东西向展布,个别北西向展布;矿体以北倾为主,个别南倾,矿体产于断裂中,但矿体产出位置与铜矿体不同。矿体平均厚度 0.5~3.1 m,平均品位 0.14%~0.28%。主要矿石类型有花岗岩脉锡矿石、花岗斑岩脉锡矿石、蚀变花岗岩锡矿石。

4.3 矿石

乌兰乌珠尔铜矿的铜矿石为矿化的花岗斑岩和斜长花岗岩组成,矿石与围岩为渐变过渡。矿石一般具浸染状、稀疏浸染状、细脉浸染状、细脉(网脉)状构造,半自形—他形粒状结构、交代结构、变余斑状结构。

矿石中主要金属矿物有黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、毒砂,少量磁铁矿,以黄铁矿和黄铜矿最常见。氧化带见孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿、黄钾铁矾等次生矿物。原生金属矿物生成顺序,磁铁矿→黄铁矿、白铁矿→黄铜矿。脉石矿物主要有钾长石、斜长石、石英、绢云母等。

黄铁矿:分布广,在钾化-绢英岩化带、绢英岩化带、青磐岩化带均有分布,而以绢英岩化带最为发育。黄白色,半自形—他形粒状,粒度 0.024 mm,浸染状、细脉状分布。

黄铜矿:是最主要的含铜矿物,主要在钾化-绢英岩化带、绢英岩化带,浸染状、细脉状分布,局部呈团块状,粒度 0.02~0.9 mm,局部见黄铜矿包裹黄铁矿、白铁矿。

②青海省地质调查研究院. 青海省茫崖镇乌兰乌珠尔铜矿普查设计书, 2005.

表4 乌兰乌珠尔铜矿硫同位素和氧同位素测试结果

Table 4 Sulfur and oxygen isotope analyses of the Ulan Uzhur copper deposit

样号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}(\%)$	样号	测试矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\%)$
WL-41	黄铁矿	4.5	WL-41	石英	12.8
WL-42	黄铁矿	4.1	WL-42	石英	11.3
WL-42	黄铜矿	3.4			

注:由中国地质科学院矿产资源研究所分析。

多在5~15 μm 。其中脉石英主要发育富液相包裹体,均一温度为241~381 $^{\circ}\text{C}$,平均328 $^{\circ}\text{C}$ (表5),盐度(NaCl)为4.8%~4.9%。斑晶石英有富液相、富气相和含石盐(和钾石盐)子晶的流体包裹体发育(图8),富液相包裹体的均一温度范围为294~315 $^{\circ}\text{C}$,平均369 $^{\circ}\text{C}$,盐度(NaCl)为3.8%~9.73%,平均盐度(NaCl)7.25%。富气相包裹体和含子矿物包裹体的均一温度较高,多数>550 $^{\circ}\text{C}$ 。含子矿物包裹体以高盐度(NaCl)为特征,一般在>31%。一部分石盐子晶均一温度在550 $^{\circ}\text{C}$,显示流体含盐度(NaCl)较高(>66.75%)^[9](表5)。

总体上,含矿斑岩的脉石英和斑晶石英内发育高温、高盐度和中温、低盐度两种类型的流体包裹体,暗示斑岩铜矿的流体可能两种流体来源。高温、高盐度包裹体与富气相包裹体共生,均一温度相差不大,显示成矿流体在高温阶段发生了强烈的流体不混溶作用,且斑晶石英中部分包裹体含有两个子矿物,根据子矿物形态和均一特征推测应为钾盐和石盐子晶(图8-B),说明含矿流体富含K、Na等成分,这种富K、Na高盐度流体来源应以岩浆来源为主。温、中低盐度包裹体代表了岩浆热液与地表水的混合,且以地下水为主。流体的沸腾作用和混合作用应是引起矿质沉淀的主要因素。乌兰乌珠尔铜矿的流体包裹体与一般典型斑岩铜矿的流体特征相似^[6-8]。

铜矿化主要局限在花岗斑岩内部及其两侧围岩中,矿体产状与斑岩脉产状一致,显示花岗斑岩为成矿母岩。区域地质对比表明本区斜长花岗岩形成于晚华力西期^[9,10],而成矿花岗斑岩体侵入于斜长花岗岩中,形成明显晚于斜长花岗岩。此外,斜长花岗岩一般片理化和糜棱岩化发育,以韧性变形为主;而花岗斑岩脉以脆性变形为主,二者的变形构造特征有显著差异,显示其形成时代应具有时间间隔。推测花岗斑岩可能形成于印支期,相应地乌兰乌珠尔斑岩铜矿的成矿时代可能为印支期,与石炭纪时期松潘—甘孜古特提斯洋插入柴达木—东昆仑地区南侧的裂陷槽在晚华力西—印支期的俯冲碰撞闭合有关。前述花岗岩的构造环境判别图解(图5)也表明花岗斑岩和(似斑状)斜长花岗岩形成的大地构造背景为碰撞构造环境,与此一致。

最近,对采于ZK701钻孔含矿花岗斑岩中的锆石进行SHRIMP U-Pb测年,测得13个锆石样品的U-Pb年龄为172.3~232.6 Ma,经过校正后,剔除误差较大或演化趋势不一致的5个样品年龄值后,其余8个样品的年龄值范围为199.9~224.4 Ma,平均值为(215.1 \pm 4.5)Ma,属印支期,与地质

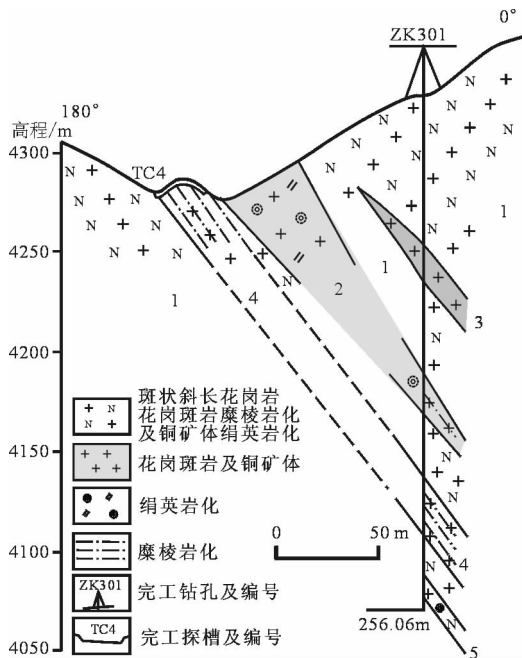


图7 乌兰乌珠尔铜矿3勘探线剖面图

1—似斑状斜长花岗岩;2—硅化、绢云母化含铜花岗斑岩;
3—含铜花岗斑岩;4—糜棱岩化斜长花岗岩;
5—硅化斜长花岗岩

Fig.7 Exploratory profile of the Ulan Uzhur copper deposit
1—Porphyritic plagiogranite;2—Silicified and sericitized cupriferous granite-porphiry;3—Cupriferous granite-porphiry;4—Mylonitized plagiogranite;5—Silicified plagiogranite

5 矿床成因

矿区铜矿化均产于蚀变花岗斑岩内部及其两侧围岩中,岩脉及围岩蚀变分带清楚,矿呈细脉浸染状,具有典型的花岗斑岩矿床蚀变分带和矿化特征,属于斑岩型铜矿。

从矿化与蚀变关系来看,铜矿化主要与钾化、绢英岩化等高中温热液蚀变有关,而且蚀变越强,铜矿化愈好(表3),二者表现为显著的正相关关系,显示矿化主要与高中温热液活动有关。对成矿相关的元素分析表明,铜的成矿因子与As-Bi-W-Co-Au呈正相关(相关系数大于0.5,样品数72件),为与高中温岩浆热液活动有关的元素组合,根据硫同位素地质温度计^[9]计算的WL-42样品共生黄铜矿—黄铁矿的成矿温度为528 $^{\circ}\text{C}$ (表4),说明成矿温度较高。

对矿石矿物黄铜矿与黄铁矿的硫同位素测定结果显示,硫同位素($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$)组成为+3.4‰~+4.5‰(表4),变化较小,说明成矿物质硫的来源比较稳定,受混染程度小,应为深部岩浆来源。含矿岩石石英氧同位素($\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$)为+11.3‰~+12.8‰(表4),变化较小,显示出富氧的特征,也显示其与花岗质岩浆作用有关^[9]。

对矿物流体包裹体研究表明,脉石英和斑晶石英流体包裹体比较发育,包裹体形态以比较规则的负晶形为主,大小

表 5 乌兰乌珠尔斑岩铜矿包裹体均一温度

Table 5 Homogenization microthermometric data of inclusions in the Ulan Uzhur porphyry copper deposit

种类	数量	气液比(%)	部分均一温度(°C)	完全均一温度(°C)	子晶消失温度(°C)	盐度(NaCl)/%
脉石英富液相包裹体	8	10~20		241~381(328)		4.8~4.9
斑晶石英富气相包裹体	3	>60		465~>500		3.5~4.3
斑晶石英富液相包裹体	8	10~40	10~40	294~415(369)		3.8~9.73(7.25)
斑晶石英含子矿物包裹体	6	5~20	113~358	497, 多数大于 550	185~>550	31.39~>66.75

注:由中国地质大学张文淮分析,测试样品为含脉脉浸染状硫化物斑岩型矿石;括号内数值为平均值。

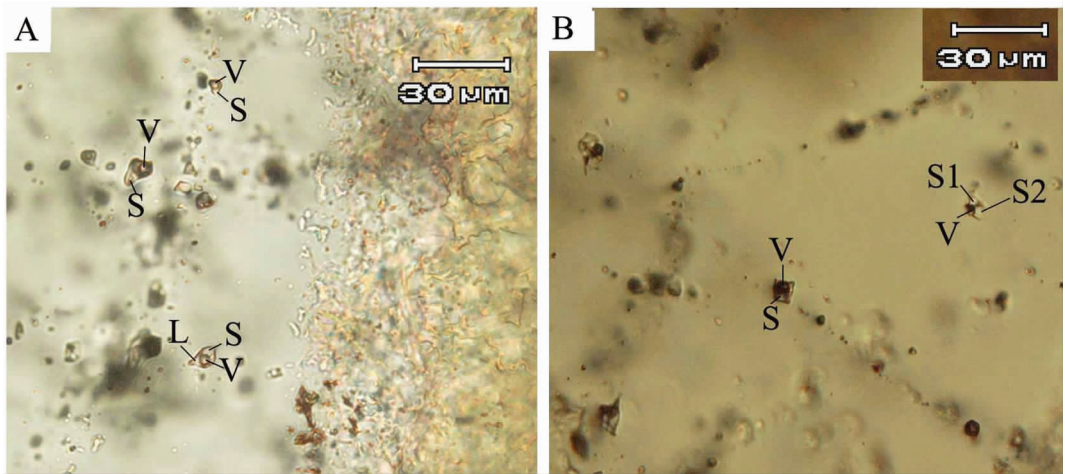


图 8 乌兰乌珠尔铜矿含矿斑岩斑晶石英中的含子矿物包裹体

A—WL-701-146 斑晶石英中含石盐子晶流体包裹体,由气相+液相+1 个石盐子晶组成;

B—WL-701-146 斑晶石英中部分包裹体含有两个透明子矿物,S1 相对较小,边角浑圆,应为钾石盐,S2 呈立方体晶形,为石盐子晶;
S—固相;L—液相;V—气相

Fig.8 Inclusions with daughter minerals in quartz phenocrysts of mineralized porphyry in the Ulan Uzhur porphyry copper deposit
A—Inclusions with daughter minerals in quartz phenocryst WL-701-146, consisting of vapor phase+liquid phase+1 halite crystal;B— Some inclusions in quartz phenocryst WL-701-146 have two transparent daughter crystals;the S1 phase is relatively small with rounded edges and angles and should be sylvite and the S2 phase occurs as cubic crystals and is halite daughter crystals;S—solid phase;L—liquid phase;V—vapor phase

分析完全一致,该年龄值可以代表矿床的形成时代(具体测年数据另文发表)。由此看出,乌兰乌珠尔铜矿为印支期形成的与高中温岩浆热液作用有关斑岩型铜矿。

参考文献 (References):

[1] Irvine I N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. *Canad J Earth Sci*, 1971, 8:523-548.
 [2] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicaticonic parameters [J]. *Chemical Geology*, 1985, 48(1-4):43-55.
 [3] 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 of Stable Isotope*[M]. Xi'an: Shanxi Scientific and Technological Publishing House, 1885.
 [4] Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposit [J].

Economic Geology, 1974, 69:843-883.
 [5] 刘斌, 沈昆, 等. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999.
 Liu Bin, Shen Kun, et al. *Thermodynamics on Fluid Inclusions*[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999(in Chinese).
 [6] Bodnar R J. Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits [J]. *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*, 1995, 23:139-152.
 [7] Hezarkhani A, Williams-Jones A E. Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes [J]. *Economic Geology*, 1998, 93:651-670.
 [8] Meinert L D, Hedenquist J W, Satoh H, et al. Formation of anhydrous versus hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids [J]. *Economic Geology*, 2003, 98:147-156.
 [9] 李光明, 沈远超, 刘铁兵. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗岩地质地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 2001, 37(1):73-78.

Li Gangming, Shen Yuanchao, Liu Tiebing. Geology and geochemical features on the Hercynian granite in Qimatage region, Eastern Kunlun [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37 (1):73-78 (in Chinese with English abstract).

[10] 郭正府, 邓晋福, 许志琴, 等. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代

酸性火成岩与陆内造山过程[J]. 现代地质, 1998, 12(3):344-352.
Guo Zhengfu, Deng Jinfu, Xu Zhiqin, et al. The intermediate-silic magmatic rocks and orogenic process from Late Paleozoic to Mesozoic in Eastern Kunlun, Tibet [J]. Geosciences, 1998, 12(3): 344-352(in Chinese with English abstract).

Geological characteristics and genesis of the Ulan Uzhur porphyry copper deposit in Qinghai

SHE Hong-quan¹, ZHANG De-quan¹, JING Xiang-yang², GUAN Jun³,
ZHU Hua-ping⁴, FENG Cheng-you¹, LI Da-xin¹

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China;

3. Changsha branch corporation, South-central metallurgical mineral resources and environment engineering corporation limited, Changsha 410001, China; 4. Northwest Institute of Geology for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Ulan Uzhur copper deposit, situated on the western margin of the Qaidam basin is a porphyry copper deposit controlled by granite porphyry dikes. The major element, rare earth element (REE) and trace element characteristics indicate that ore-controlling granite porphyry and its wall rock plagiogranite (porphyritic) belong to the calc-alkaline series characterized by enrichment of LREE, pronounced negative Eu anomalies and depletion of Sr, Ba and Ca. They formed in a syncollisional orogenic environment and are related to the subduction-collision and closing of the late Variscan-Indosinian Songpan-Garzê Paleo-Tethys ocean. The ore-controlling granite porphyry and its wall rocks underwent strong hydrothermal alteration and show apparent alteration zoning. The main hydrothermal alteration includes potassic, phyllic and porphyritic alteration. The core of the granite porphyry is usually marked by a zone of potassic and silicic alteration superimposed by phyllic alteration, and the wall rocks adjacent to the granite porphyry are phyllic zones, and those distal to the granite porphyry are propylitic zones. The intensity of mineralization is apparently positively correlated to the intensity of alteration. The spatial distribution, attitude and size of the copper orebodies are also controlled by granite porphyry. The mineral assemblage, hydrothermal alteration, sulfur and oxygen isotopic compositions and results of microthermometric measurements of fluid inclusions—all suggest that the Ulan Uzhur copper deposit formed at high to medium temperatures and that the ore-forming fluids and materials were derived from magma. So the deposit is a porphyry copper deposit related to hypo- and mesothermal processes.

Key words: Ulan Uzhur; porphyry copper; hydrothermal alteration; mineral deposit geology; genesis; Qinghai Province.

About the first author: SHE Hong-quan, male, born in 1965, professor, engages in the study of mineral deposit geology and mineral prospecting; E-mail: hongquanshe@sohu.com.