文章编号:1009-3850(2011)01-0107-06

青海都兰县三色沟铅锌矿区变质岩原岩恢复

刘 珊 吴湘滨 欧阳海松

(中南大学地学与环境工程学院,湖南 长沙 410083)

摘要:对研究区变质岩的岩石学、地球化学研究表明,金水口群中-深变质岩原岩的为一套以火山岩为主的火山-沉积 组合。火山岩主要为晶屑凝灰岩、岩屑凝灰岩、角砾凝灰岩、凝灰质砂岩等,属钙碱性岩系。沉积岩为泥灰岩。火山 岩构造环境应属活动大陆边缘。

关 键 词:变质岩;原岩恢复;构造环境;青海都兰县中图分类号:P588.37文献标识码:A

青海省都兰县三色沟铅锌矿处于昆中断裂北 侧的金-多金属成矿省^[1],矿体主要产于断裂构造破 碎带中,前人认为其为气水热液矿床。该矿具有良 好的成矿地质背景^{[2][3][4][5]},但近几年的找矿突破 不大。笔者通过对区内变质岩的显微镜岩石学及地 球化学研究,发现其原岩为一套火山岩-沉积组合,为 矿区寻找火山岩型金矿^[6]或块状硫化物矿^[7]提供了 地质依据。

1 矿区地质概况

矿区出露地层主要有太古 - 元古界的金水口 群中-深变质岩系,从老至新岩性分别为钾长片麻 岩、斜长角闪岩、石英绢云母片岩、二云母石英片 岩、云母片岩、结晶灰岩、大理岩、斜长角闪片岩、绿 泥石斜长片岩、绿泥石片岩等,其中斜长角闪片岩 为赋矿层位。

矿区主要构造线方向为北西向和北东向,动力 变质作用较发育。在矿区东北角有一条北西向区 域性逆冲挤压构造带,矿区断裂构造发育,尤其是 矿区东部岩体中断裂构造非常发育。

矿区岩浆岩占矿区面积的 65% 左右,矿区出露 的岩浆岩包括地层中的火山岩和侵入岩体。主要 分布在矿区南部、东部及西南部,为海西期的灰色 中粗粒二钾长花岗岩。

2 变质岩岩石学特征

通过野外地质调查及显微镜鉴定,认为矿区变 质岩的原岩为一套以火山岩为主的火山-沉积组合, 火山岩的主要类型为晶屑凝灰岩、岩屑凝灰岩、角 砾凝灰岩、凝灰质砂岩等。火山岩遍布整个矿区范 围内,尤以矿区北部至萤石沟最为发育。

晶屑凝灰岩呈灰绿色,晶屑凝灰结构,块状构 造。晶屑成分主要为石英、斜长石,晶屑含量10% ~40%。经区域变质作用,晶屑凝灰岩已变为石英 斜长云母片岩,但仍可见到石英、斜长石等原晶屑 的特点,石英裂纹十分发育,石英、斜长石的晶形极 不规则,甚至出现了原火山喷发过程中被熔蚀形成 的港湾状、浑圆状等形态特征。

角砾凝灰岩为灰绿色-灰黑色,角砾凝灰结构, 块状构造。角砾成分主要为脉石英、晶屑凝灰岩 等,角砾一般为2mm,小的仅0.2~0.3mm,角砾含 量5%~15%,其余特征与晶屑凝灰岩相同。经区 域变质作用,已基本变成含角砾的石英斜长云母片 岩,虽然岩石的结构构造和部分矿物成分发生的变 化,但含角砾这一特征却没有变化。

岩屑凝灰岩为灰绿色,岩屑凝灰结构,块状构

收稿日期: 2011-04-19; 改回日期: 2011-08-02

作者简介: 刘珊(1987—), 女,硕士研究生,专业方向: 矿物学、岩石学、矿床学

造。岩屑凝灰岩与晶屑凝灰岩最大的不同是岩石 中含有较多的岩屑,岩屑的成分以凝灰岩为主,岩 屑的含量 5%-10%,岩屑绝大多数粒度为 0.15 × 0.2mm 左右,其余特征与晶屑凝灰岩相同。岩屑凝 灰岩经区域变质作用,已基本变成各种含岩屑的片 岩,但可以通过含有岩屑这一特征加以识别。

凝灰质砂岩呈黄绿色,砂状结构,块状构造。主要矿物成分为石英、斜长石、白云母等,胶结物为火山 灰。经区域变质作用,凝灰质砂岩已变成变质砂岩。

3 变质岩主量元素特征

为了研究本区变质岩的主量元素特征,本次采 取了6个具代表性的样品进行了全岩分析。从分析 的结果(表1)来看样品中的 SiO₂ 含量在 59.32% ~ 79.43%之间,均值为 69.68%; Al₂O₃ 含量高,变化 大 在 12.21% ~ 16.8%之间,平均含量为 14.5%; 全碱(Na₂O + K₂O)含量为 2.56% ~ 8.92%之间, 变化大,其中 S75 样品的含量最低,均值为 6.53%; σ [σ = (Na₂O + K₂O)²/(SiO₂-43)]值为 0.18 ~ 2.64,其中 S1、S2、S69、S88等样品属钙碱性岩系,而 S16、S75等样品属钙性岩系;碱度率 AR 值为 1.53 ~3.54。TiO₂含量低,变化范围为 0.08% ~ 0.88% 之间,平均含量为 0.41%; K₂O /Na₂O 值为 0.45 ~ 24.6 MgO / CaO 值为 0.39 ~ 3.6,除样品 S75 及 S88 外,大部分样品表现为正变质岩特征^[8]; Fe₂O₃/ MgO 值为 1.27 ~ 4 均值为 2.91。

表 1 变质岩主量元素及其参数特征 Table 1 Major element analyses and relevant parameters for the metamorphic rocks

样号	بىر ىت	氧化物(wB%)										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe2O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ C	P ₂ O ₅	
S1	片麻岩	59.32	0.88	16.35	6.84	0.07	1.71	2.59	2.02	4.42	0.16	
S2	变质砂岩	72.84	0.13	14.02	0.75	0.02	0.59	0.70	4.12	4.80	0.09	
S16	云母片岩	70.44	0.48	13.47	3.33	0.06	0.98	1.28	2.24	4.46	6 0.11	
S69	片麻岩	70.43	0.36	14.12	2.77	0.07	0.85	2.19	3.21	4.32	2 0.05	
S75	千枚状片岩	79.43	0.08	12.21	1.25	0.03	0.36	0.10	0.10	2.46	5 0.01	
S88	灰岩	65.62	0.54	16.80	3.13	0.07	1.52	2.48	4.84	2.16	6 0.10	
平均		69.68	0.41	14.50	3.01	0.05	1.00	1.56	2.76	3.77	0.09	
样号	岩性	参数特征										
		$Na_2O + K$	K ₂ O K ₂	0 /Na ₂ 0	MgO / CaO	Fe ₂ O ₃ /MgO		σ	DI		AR	
S1	片麻岩	6.44		2.19	0.66	4		2.33	69.2		1.54	
S2	变质砂岩	8.92		1.17	0.84	1.	27	2.64	93.43		3.54	
S16	云母片岩	6.7	6.7		0.77		. 4	1.61	84.19		1.87	
S69	片麻岩	7.53		1.35	0.39	3.	26	2.05	83.28		2.3	
S75	千枚状片岩	2.56		24.6	3.60	3.	47	0.18	87.33		1.53	
S88	灰岩	7		0.45	0.61	2.	06	2.11	77.53		2.14	
平均		6.53		5.29	0.64	2.	91	1.82	82.49		2.15	

分析单位: 中南大学地学与环境工程学院 X 荧光光谱室,分析人: 侯林慧

4 变质岩原岩恢复

本文综合运用多种原岩恢复^{[9] [10] [11]}方法。

在区分正副变质岩的 TiO₂-SiO₂ 图解(图1)中, 样品几乎全部落入火成岩区,其中 S1、S16、S75 接近 火成岩及沉积岩区的界线,说明该 3 个样品可能含 有沉积岩成分。

在尼格里四面体图解中(图2),除样品 S75 千 枚状片岩落入粘土质沉积岩区外,其余5个样品均 落在火成岩区,说明该区变质的原岩与火成岩关系 密切。



图 1 变质岩 TiO₂-SiO₂ 图解 Fig. 1 TiO, vs. SiO, diagram for the metamorphic rocks



图 2 尼格里四面体图解 Fig. 2 Niggi tetrahedral diagrams

大量的研究结果表明,西蒙南图解在恢复变质 岩原岩类型上效果较好。由于西蒙南图解只适用 SiO₂含量在24%~77%之间的样品,而S75(千枚 状片岩)SiO₂含量达79%,已经超出了范围,所以图 中并未显示。从图3中可以看出,S2(变质砂岩)、 S69(片麻岩)、S88(灰岩)均落入火山岩区,而S1 (片麻岩)落入泥质沉积岩和砂质沉积岩之间的泥 沙质沉积岩区,S16则落入砂质沉积岩区。从中可 以看出,研究区的岩石与火山岩关系密切。

为了进一步区分原岩类型,笔者选了变质岩 A-C-FM 和(al-alk)-e 判别图解。在 A-C-FM 图解中 (图4)研究区6个样品中 S69及 S88 落入中性-酸 性火山岩区 S16及 S1 落入铁质泥质岩和中性-酸 性火山岩混合区 S2及 S75 落入纯泥质岩区。说明 S2和 S75 原岩成分可能为泥质岩,而其余4个样品



图 3 变质岩 [(al + fm) -(c + alk)]-Si 图解

Fig. 3 (al + fm) -(c + alk) vs. Si diagram for the metamorphic rocks



图 4 A-C-FM 图解 Fig. 4 A-C-FM diagram



图 5 (al-alk)-c 图解

Fig. 5 (al-alk) vs. c diagram

I = calcareous marl; II = dolomitic marl; III = claystone; IV = intermediate to acidic tuff; V = keratophyre; VI = spilite-basalt; VII = monzonitic and esitic tuff; VIII = dacitic tuff

原岩成分可能为火山岩。在变质岩的(al-alk)-e 图 解(图5)中,研究区样品大部分落入凝灰岩区附近, 趋向于英安质凝灰岩,仅 S2 落入角斑岩区。由于 S75 的贫碱,导致铝、碱指数之差较大(al-alk为52. 80),已出图解范围,通过(al-alk)-e 图解说明研究 区岩石的原岩大部分为凝灰岩,这与显微镜岩石学 鉴定一致。

从上述原岩恢复可以看出,*S*75 样品原岩为沉 积岩 *S*1、S2、S16 3 个样品的原岩为沉积岩和火成 岩的混合物 *S*69、S88 样品的原岩为火成岩。

5 变质岩稀土元素特征

稀土元素^[10]的分析测试结果及相关参数列于 表2 稀土元素标准化采用赫尔曼(1971 年 22 个球 粒陨石平均值)的数据。

从表 2 中可以看出研究区火山岩稀土总量 ΣREE(未含 Y) 介于 92.44 ~ 337.33 之间,变化的区 间较大,其平均值为 201.63。轻稀土 LREE 含量范 围为 81.10 ~ 305.48,变化的区间较大。重稀土 HREE 含量范围为 9.59 ~ 55.65,变化区间相对不 大。LREE/HREE 比值的变化范围为 4.43 ~ 13.68, 表明轻重稀土之比分异较明显,重稀土亏损较大。 反映稀土分配曲线斜率的 LaN/YbN 范围为 3.36 ~ 22.45,总体在稀土配分模式图上为向右倾斜的曲线 (图 6)。 δEu 范围为 0.2 ~ 1.04 之间,变化区间较 大。δCe 范围为 0.81 ~ 0.86 之间,变化较小。

从研究区火山岩的稀土元素分析结果及稀土 元素分布模式图中可以看出 6 个样品中除 S75 原 岩为沉积岩 而其它5 个样品具有明显火山岩特征。

	表 2 火山	岩稀土元素分析结界	県及相关参数(10⁻	⁶)
Table 2	REE analyses	(10-6) and relevant	parameters for th	e volcanic rocks

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
S1	73.60	140.00	16.80	62.10	11.20	1.78	9.83	1.57	8.46	1.61	4.70	0.68
S2	36.30	69.00	7.53	27.10	5.51	0.91	4.30	0.64	2.89	0.45	1.15	0.17
S16	35.30	72.20	8.43	32.00	6.55	1.11	6.26	1.22	7.44	1.49	4.62	0.72
S69	30.40	59.20	7.04	26.10	4.79	1.26	3.80	0.57	2.59	0.44	1.06	0.13
S75	51.90	111.00	14.00	55.70	13.00	0.79	12.70	2.54	15.90	3.14	9.44	1.42
S88	17.80	37.30	4.36	17.10	3.49	1.05	3.16	0.55	3.16	0.58	1.71	0.28
样号	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE	/HREE LaN/YbN		δEu	δCe	
S1	4.34	0.66	44.30	337.33	305.48	31.85	9.59		10.07		0.56	0.81
S2	0.96	0.14	13.40	157.05	146.35	10.70	13.68		22.45		0.60	0.83
S16	4.49	0.71	42.90	182.54	155.59	26.95	5.77		4.67		0.57	0.85
S69	0.87	0.13	10.90	138.38	128.79	9.59	13.43		20.75		0.95	0.82
S75	9.16	1.35	87.70	302.04	246.39	55.65	4.43		3.36		0.20	0.85
S88	1.66	0.24	17.10	92.44	81.10	11.34	7.15		6.37		1.04	0.86

分析单位:核工业二三0研究所分析测试中心,分析人:朱姝



图 6 稀土元素配分模式图



6 大地构造环境

火山岩的化学成分与板块构造关系密 切^{[10] [11]}。A. Rittmann(1973)用里特曼指数做横坐 标、戈蒂里指数做纵坐标用以确定构造环境,将世 界1300个火山熔岩投影在 logσ-logτ 图中。根据实 际的地质构造环境,把岩石划分为3个区: A 区为非 造山带(板块内部稳定构造区)火山岩; B 区为造山 带(岛弧及活动大陆边缘区)火山岩; C 区为A、B 区 火山岩派生的碱性火山岩。



图 7 大地构造环境 logo-logr 图解

Fig. 7 $Log\sigma$ -log τ diagram for tectonic interpretation of the volcanic rocks

A. Anorogenic zone; B. Orogenic zone; C. Alkaline volcanic rocks derived from A and B fields

将研究区 6 个样品计算特曼指数和戈蒂里指数 投到 logσ-logτ 图中,发现样品全部落入 B 区造山带 火山岩。因此本区火山岩的大地构造环境应为岛 弧及活动大陆边缘区。据研究区火山岩的主量元 素特征(SiO₂含量在59.32~72.84%,K₂O/Na₂O 值为1.17~24.6之间,Fe₂O₃/MgO值为1.27~4之 间)据Jakes等(1972)研究,认为本区应属活动大 陆边缘。

岩浆来源深度也就是地表具消减带深度,其与 火山岩中 K₂O 成正相关,与 SiO₂ 呈反相关。将所有 样品投入 K₂O-SiO₂ 图中,可以看出研究区火山岩岩 浆的深度约在 120km~250km 之间,平均 180km。



图 8 K₂O-SiO₂ 关系图(Ninkovich ,1972) Fig. 8 K₂O vs. SiO₂ diagram (after Ninkovich , 1972)

7 结论

(1)本区变质岩的原岩为一套以火山岩为主的 火山岩-沉积岩组合,火山岩类型为晶屑凝灰岩、岩 屑凝灰岩、角砾凝灰岩、凝灰质砂岩等,沉积岩类型 可能为泥灰岩。

(2)本区火山岩的构造环境应属活动大陆边 缘,火山岩岩浆源的深度约在120km~250km之间, 平均约在180km左右。

参考文献:

- [1] 胡正国、刘继庆、钱壮志,等.东昆仑-北巴颜喀拉区域成矿规
 律及找矿工作思考[J].青海国土经略,1998,2:11-18.
- [2] 石金友.青海省都兰县五龙沟金矿成矿地质特征及找矿标志
 [J].前寒武纪研究进展,1997 20(2):29-36.
- [3] 郭晓东、张玉杰、刘桂阁 等. 东昆仑地区金铜等成矿规律及找 矿方向[J]. 黄金地质 2004,10(4):16-22.
- [4] 张德全、丰成友、李大新,等.柴北缘-东昆仑地区的造山型金 矿床[J].矿床地质 2001 20(2):137-146.
- [5] 钱壮志、胡正国、李厚民 等/东昆仑中带金矿成矿特征及成矿 模式[J]. 矿床地质 2000,19(4):315-320.
- [6] 王碧香;杨岳清史仁灯,等.中国火山岩地区金的成矿环境及 分布规律[J].矿床地质,1997,16(1):11-20.
- [7] 宋叔和、韩发、葛朝华,等.火山岩型铜多金属硫化物矿床 VCPSD 知识模型[M].北京:地质出版社,1994.

- [8] 张海洋、张伯友. 赣北星子群变质岩的原岩恢复及其形成构造 环境判别[J]. 中国地质 2003 30(3):254-260.
- [9] 王仁民、贺高品、陈珍珍,等. 变质岩原岩图解判别法[M]. 北 京: 地质出版社,1987.
- [10] 孙鼎、彭亚呜. 火成岩石学[M]. 北京: 地质出版社 ,1985.
- [11] 邱家骧. 应用岩浆岩岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版 社,1991.
- [12] 陈德潜、陈刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业 出版社,1990.

Geochemistry and protolith restoration of the metamorphic rocks from the Sansegou Pb-Zn mining district in Dulan, Qinghai

LIU Shan, WU Xiang-bin, OUYANG Haisong

(School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: The examination of petrology and geochemistry of the metamorphic rocks from the Sansegou Pb-Zn mining district in Dulan , Qinghai has mirrored that the protolith of the Jinshuikou Group mesometamorphic to hypometamorphic rock series are assembled by a succession of volcanic-dominated volcanic-sedimentary associations containing volcanic rocks , volcanic rocks intercalated with sedimentary rocks , and sedimentary rocks. The volcanic rocks consist of crystal tuff , lithic tuff , breccia tuff and tuffaceous sandstone , indicating the calc-alkaline rock series. The sedimentary rocks are made up of marl. The tectonic setting of the volcanic rocks should belong to the active continental margin , and eruption depths range between 120 and 250 km , with an average of 180 km. The metamorphic rocks are characterized by SiO₂ contents ranging from 59.32 to 79.43% , Al₂O₃ contents from 12.21 to 16.8% , σ values from 0.18 to 2.64 , AR values from 1.53 to 3.54 , TiO₂ contents from 0.08 to 0.88% , Σ REE (not including Y) from 92.44 to 337.33 , LREE from 81.10 to 305.48 , and HREE from 9.59 to 55.65. The LREE and HREE are highly differentiated , and the HREE are heavily depleted. The REE distribution patterns display right-leaning curves. δ Eu values vary between 0.2 and 1.04 , whereas δ Ce values vary between 0.81 and 0.86.

Key words: metamorphic rock; protolith restoration; tectonic setting; Dulan in Qinghai