

青海赛什塘矿区变质岩特征及其形成构造环境

毛 寅^{1,2}, 赖健清^{1,2}, 王雄军^{1,2}, 安江华^{1,2}

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘 要: 赛什塘矿区地层为一套滨-浅海相碎屑岩、泥质岩夹碳酸盐岩, 普遍遭受浅变质作用, 各类岩石稀土元素配分曲线相似, 均为轻稀土富集型, 具中等铈负异常, 具有一致性。岩相学及 $\text{La/Yb}-\sum\text{REE}$ 图解判别表明: 矿区变质岩原岩属沉积岩类, 以砂岩和杂砂岩为主, 未显示与火山成因有关; 前人所述“硅质岩”并不具备典型硅质岩的特征, 其原岩应为石英砂岩类, 矿区未见明显的水热沉积作用。应用 $w(\text{Th})-w(\text{Co})-w(\text{Zr})$ 构造背景判别图解以及杂砂岩稀土元素特征值和典型构造背景砂岩配分模式对比等方法进行矿区构造环境分析, 认为矿区形成环境同时具有活动大陆边缘型和大陆岛弧型的特点, 推断其形成于三叠纪古特提斯洋陆缘的岛弧-弧后盆地环境。

关键词: 变质岩; 原岩恢复; 稀土元素; 构造环境; 赛什塘

中图分类号: P588.3

文献标志码: A

Characteristics of metamorphic rocks and tectonic setting in Saishitang mining area, Qinghai Province, China

MAO Yin^{1,2}, LAI Jian-qing^{1,2}, WANG Xiong-jun^{1,2}, AN Jiang-hua^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The sedimentary sequence of Saishitang district is composed of offshore-neritic clastic rocks and argillaceous rocks with carbonate streaks, which are commonly metamorphosed weakly, with similar REE patterns enriched in LREE and moderate Eu negative anomaly. The lithofacies features and $\text{La/Yb}-\sum\text{REE}$ diagram indicate that the protoliths of metamorphite are sedimentary rocks, with main types of sandstone and greywacke and unrelated with volcanic process; the ‘silicalite’ defined previously does not have the typical characteristics of silicalite, whereas the protolith of this ‘silicalite’ should be quartz sandstone, and no obvious evidence of hot water deposition was found in the district. According to the $w(\text{Th})-w(\text{Co})-w(\text{Zr})$ diagram and correlation between greywacke REE features and sandstone REE distribution patterns of typical tectonic settings, the tectonic environment of the district displays both active continental marginal and continental island arc characteristics, which indicates that the Saishitang district is developed in arc-back basin located in margin of the Triassic Paleotethys.

Key words: meta-sedimentary rock; protolith reconstruction; rare earth elements; tectonic setting; Saishitang

1955年以来, 研究工作者对青海赛什塘铜多金属矿区先后开展了大量基础性地质调查、矿产地质及科研工作, 积累了丰富的成果资料, 但研究工作大多集中在岩浆岩及矿床成因方面^[1-6], 对于浅变质地层的研究甚少。

前人对于矿区地层时代一直存在争议, 早期曾一度认为归属早二叠世^[7], 然后结合化石特征普遍认为属早-中三叠世^[8-10]; 岩性方面前人观点较为一致, 但其原岩特征说法不一。林德经^[2]认为多为泥质

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAA01B06); 国土资源部全国危机矿山接替资源找矿专项项目(20089942)

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-01-04

通信作者: 赖健清, 教授, 博士; 电话: 13815983805; E-mail: lj@csu.edu.cn

岩石沉积变质而成;李福东等^[8]提出邻区铜峪沟矿床为热水沉积型矿床后,许多学者认为赛什塘变质地层也具有热水沉积特征;吴庭祥^[6]通过氧同位素研究认为矿区千枚岩中层状石英为热水沉积活动产物。本文作者拟通过对矿区变质岩的岩石组成和稀土元素特征的研究,探讨变质岩的原岩性质与形成构造环境,为矿床成因研究提供依据。

1 矿区地质背景

赛什塘铜多金属矿区位于巴彦喀拉地洼区, 印支

期为地槽褶皱带^[11](见图 1),其成矿区属鄂拉山多金属成矿带(Ⅲ级)的赛什塘—日龙沟亚矿带(Ⅳ级),目前在该成矿带上发现的中、大型矿床已有赛什塘铜多金属矿床、铜峪沟铜矿床和日龙沟铜矿床等^[12]。矿区主要含矿地层为中—下三叠统,主要赋矿层位为绢云母千枚岩或条带(纹)状黑云母千枚岩夹大理岩、变质细砂岩和变质粉砂岩。

区内构造较发育,褶皱主要有雪青沟复式背斜和赛什塘背斜等,赛什塘背斜基本控制了矿区地层展布、岩体及矿体的空间分布,是矿区矿体赋存的主要区段。断裂构造以北西向层间滑动及层间剥离构造为主,控制了矿体的形成与就位。

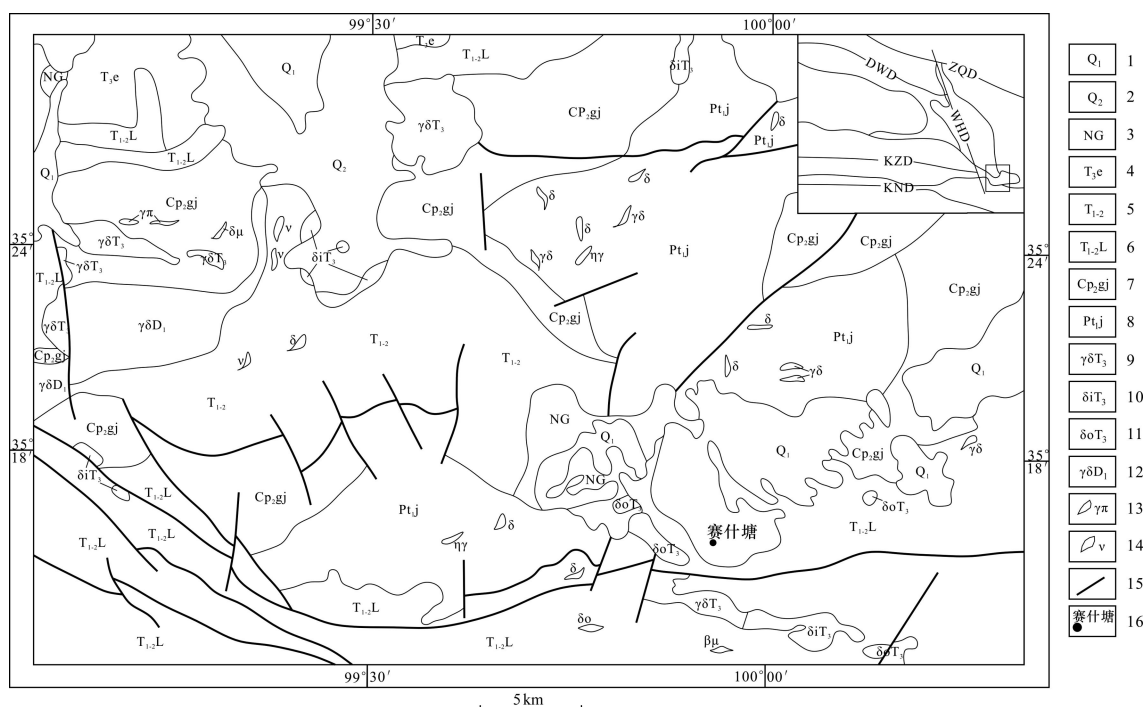


图1 青海省赛什塘一带地质简图^[5]: 1—第四系上更新统冲洪积物; 2—第四系中更新统冰碛物; 3—新近系贵德群红色砂砾岩、泥岩; 4—上三叠统鄂拉山组陆相火山岩; 5—下-中三叠统千枚岩和灰岩夹火山岩; 6—下-中三叠统隆务河群; 7—石炭系-中二叠统甘家组; 8—古元古界金水口岩群; 9—晚三叠世花岗岩闪长岩; 10—晚三叠世英云闪长岩; 11—晚三叠世石英闪长岩; 12—早泥盆世花岗岩闪长岩; 13—中酸性脉岩类: $\gamma\pi$ —花岗斑岩, $\eta\gamma$ —二长花岗岩, $\gamma\delta$ —花岗闪长岩, $\delta\sigma$ —石英闪长岩, δ —闪长岩; 14—基性脉岩: ν —辉长岩脉, $\beta\mu$ —辉绿玢岩; 15—断裂; 16—赛什塘矿床位置; 右上方的示意图例: ZQD—宗务隆—青海湖南山断裂, DWD—丁字口—乌兰断裂, WHD—哇洪山—温泉断裂, KZD—东昆中断裂, KND—东昆南断裂; 图框为研究范围

Fig. 1 Geological map of Saishitang, Qinghai Province, China^[5]: 1—Quaternary upper Pleistocene alluvial; 2—Quaternary middle Pleistocene moraine; 3—Neogene Guide Group sandy conglomerate, mudstone; 4—Upper Triassic continental volcanic of Elashan Formation; 5—Low-mid Triassic phyllite and limestone with volcanic rocks; 6—Upper-mid Triassic Longwuhe Group; 7—Carboniferous—Middle Permian Ganjia Formation; 8—Paleoproterozoic Jinshuikou Group; 9—Upper-Triassic granodiorite; 10—Upper-Triassic tonalite; 11—Upper-Triassic quartz diorite; 12—Low-Devonian granodiorite; 13—Intermediate and acidic dykes: $\gamma\pi$ —Granite porphyry, $\eta\gamma$ —Adamellite, $\gamma\delta$ —Granodiorite, $\delta\alpha$ —Quartz diorite, δ —Diorite; 14—Basic dikes: ν —Gabbro dikes, $\beta\mu$ —Diabase-prophyrites; 15—Fault; 16—Saishitang deposit sites; ZQD—Zongwulong—Qinghaihu—Nashan Fault; DWD—Dingzikou—Wulan Fault; WHD—Wahongshan—Wenquan Fault; KZD—East Central Kunlun Fault; KND—East North Kunlun Fault

矿区侵入岩较发育, 以中-酸性石英闪长岩体为主, 其次为中-酸性岩脉。按岩石性质、相互穿插关系, 区内岩浆活动大致可分为 4 次侵入活动, 以第二次侵入活动规模最大, 形成了赛什塘复合岩体的主体——石英闪长岩体及其分支岩脉。

矿床以铜为主, 共(伴)生铅、锌、金、银、锡、铁和硫等有益组分。赛什塘铜矿床存在 2 种成因、3 种矿化类型的矿体: 一是矽卡岩型成矿作用, 包括两种成矿类型(产于下三叠统千枚岩、浅变质砂岩和大理岩中的似层状硫化物矿体和产于石英闪长玢岩与大理岩接触带的硫化物矿体); 二是产于石英闪长玢岩及与其有关的隐爆角砾岩中的细脉浸染状铜矿。矿石矿物

主要为黄铜矿、黄铁矿和磁黄铁矿, 产出多为致密块状、稠密浸染状、细脉状。

2 样品采集及分析结果

在矿区范围内实测了 8 条地质地球化学剖面, 对探矿工程进行了综合调查, 对 23 件变质地层样品系统开展了显微镜岩石学鉴定, 进行了稀土元素和微量元素分析。样品由澳实分析检测集团广州矿物实验室采用 LiBO_2 熔融, 质谱仪定量分析, 分析结果及参数见表 1 和 2。

表 1 赛什塘变质岩稀土元素含量

Table 1 REE contents of metamorphic rocks in Saishitang

样品号	岩性	w/10 ⁻⁶														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
V-23-2	绢云母长石 石英千枚岩	22.0	42.9	5.11	18.9	3.63	0.75	3.53	0.54	3.00	0.61	1.81	0.22	1.70	0.24	16.2
VIII-1-1	绢云母长石 石英千枚岩	43.7	87.5	9.91	36.3	6.15	1.36	6.10	0.75	3.71	0.68	2.09	0.28	1.92	0.27	18.1
VIII-3-1	绢云母千枚岩	43.0	87.8	10.15	38.0	7.50	1.57	7.60	1.10	6.12	1.25	3.68	0.48	3.24	0.50	32.2
V-10-1	含碳质绢云母 千枚岩	39.5	101.0	9.64	35.7	6.96	1.24	6.48	0.93	5.12	0.97	2.94	0.38	2.74	0.41	24.6
IV-2-1	薄层状含碳质 千枚岩	42.3	75.7	9.50	36.0	7.05	1.30	6.78	0.95	5.28	1.02	3.02	0.40	2.67	0.38	26.7
IV-6-1	碳质千枚岩	40.9	89.5	9.91	37.3	7.18	1.31	7.21	1.03	5.78	1.17	3.54	0.49	3.40	0.49	30.0
II-7-2	炭质石英千枚岩	38.3	79.5	9.15	35.1	7.29	1.79	7.38	1.10	6.16	1.22	3.62	0.48	3.29	0.48	32.1
V-13-2	千枚岩	14.5	33.0	3.57	13.3	2.63	0.53	3.05	0.48	2.94	0.60	1.81	0.29	1.79	0.26	16.2
I37	硅质绿泥石千枚岩	34.5	71.0	8.05	27.4	4.66	0.83	4.41	0.68	3.84	0.80	2.49	0.37	2.73	0.41	20.4
V-8-1	绢云母长石 石英变砂岩	25.8	50.5	5.95	22.2	4.24	0.84	4.37	0.65	3.73	0.77	2.30	0.31	2.25	0.33	20.5
V-15-2	绢云母长石 石英变砂岩	12.1	24.0	2.62	9.7	1.82	0.70	1.91	0.28	1.49	0.30	0.86	0.23	0.79	0.11	8.3
V-21-1	绢云母石英变砂岩	21.2	40.6	4.68	17.7	3.37	0.70	3.39	0.49	2.82	0.58	1.75	0.22	1.67	0.24	15.1
VIII-13-1	绢云母长石 石英变砂岩	28.8	58.6	6.84	25.7	5.23	0.81	5.63	0.92	5.25	1.08	3.21	0.45	3.04	0.44	28.3
V-1-1	变质砂岩	26.5	54.9	6.47	24.6	4.80	0.90	4.76	0.71	3.97	0.79	2.34	0.32	2.28	0.35	20.7
V-4-2	绢云母长石 石英板岩	45.0	120.0	10.85	40.4	7.58	1.44	7.43	1.04	5.66	1.13	3.45	0.46	3.28	0.48	27.9
IV-3-1	层纹状石英岩	29.5	68.9	6.17	21.0	3.61	0.52	3.61	0.48	2.64	0.53	1.56	0.22	1.53	0.23	14.2
ZD2-9-4	层纹状石英岩	34.6	71.5	7.76	27.3	5.16	0.70	5.43	0.78	4.42	0.89	2.59	0.35	2.49	0.42	23.0
IV-12-1	矿化石英岩	19.3	38.8	4.59	17.5	3.55	0.73	3.50	0.55	3.13	0.61	1.85	0.25	1.71	0.25	16.8
C-11	条带状大理岩	4.1	8.1	0.97	3.7	0.70	0.15	0.73	0.10	0.53	0.10	0.30	0.04	0.26	0.04	2.9
I22	灰白色 条带状大理岩	25.8	53.9	6.31	22.8	4.70	0.90	4.59	0.75	4.09	0.81	2.31	0.34	2.25	0.35	23.1
I29	含燧石 条带状大理岩	9.6	15.6	2.05	7.5	1.43	0.30	1.31	0.19	1.03	0.21	0.62	0.08	0.54	0.08	7.5
I30	块状大理岩	35.5	70.8	8.24	29.1	5.67	0.77	5.10	0.75	4.05	0.78	2.36	0.36	2.65	0.42	20.9
I33	条带状大理岩	10.9	19.2	2.46	9.0	1.89	0.36	1.94	0.31	1.67	0.33	0.90	0.12	0.83	0.11	11.0

表 2 赛什塘变质岩参数及微量元素含量

Table 2 Parameters and trace element abundances of metamorphic rocks in Saishitang

样品号	岩性	$\sum\text{REE}/10^{-6}$	LREE/HREE	$\delta(\text{Eu})$	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	$w/10^{-6}$				La/Th
								Th	Hf	Co	Zr	
V-23-2	绢云母长石 石英千枚岩	121.14	3.35	0.70	7.68	3.79	1.27	8.37	4.4	6.8	161	2.63
VIII-1-1	绢云母长石 石英千枚岩	218.82	5.45	0.74	13.51	4.44	1.95	13.75	5.1	13.5	185	3.18
VIII-3-1	绢云母千枚岩	244.19	3.35	0.69	7.88	3.58	1.44	16.70	4.5	7.6	155	2.57
V-10-1	含碳质绢 云母千枚岩	238.61	4.35	0.61	8.56	3.55	1.45	16.65	4.3	22.8	145	2.37
IV-2-1	薄层状 含碳质千枚岩	219.05	3.64	0.62	9.41	3.75	1.56	13.20	4.3	8.2	148	3.20
IV-6-1	碳质千枚岩	239.21	3.50	0.61	7.14	3.56	1.30	19.05	5.5	13.1	189	2.15
II-7-2	炭质石英 千枚岩	226.96	3.07	0.81	6.91	3.28	1.37	16.60	5.2	16.8	176	2.31
V-13-2	千枚岩	94.95	2.46	0.63	4.81	3.45	1.04	8.00	7.4	6.7	266	1.81
I37	硅质绿泥石 千枚岩	182.57	4.05	0.61	7.50	4.63	0.99	18.50	5.0	9.7	161	1.86
V-8-1	绢云母长石 石英变砂岩	144.74	3.11	0.65	6.81	3.80	1.19	11.15	6.6	5.9	246	2.31
V-15-2	绢云母长石 石英变砂岩	65.21	3.57	1.26	9.09	4.16	1.48	4.26	2.6	3.4	98	2.84
V-21-1	绢云母 石英变砂岩	114.51	3.36	0.69	7.54	3.93	1.24	8.17	4.3	5.8	158	2.59
VIII-13-1	绢云母长石 石英变砂岩	174.30	2.61	0.50	5.63	3.44	1.14	13.85	5.9	3.9	202	2.08
V-1-1	变质砂岩	154.39	3.26	0.63	6.90	3.45	1.28	11.00	5.4	8.0	194	2.41
V-4-2	绢云母长石 石英板岩	276.10	4.43	0.64	8.15	3.71	1.39	18.40	4.5	36.2	148	2.45
IV-3-1	层纹状石英岩	154.70	5.19	0.48	11.45	5.11	1.45	11.35	3.3	2.6	80	2.60
ZD2-9-4	层纹状石英岩	187.39	3.64	0.44	8.25	4.19	1.34	17.35	5.3	7.6	174	1.99
IV-12-1	矿化石英岩	113.12	2.95	0.69	6.70	3.40	1.25	9.95	4.7	8.8	169	1.94
C-11	条带状大理岩	22.72	3.54	0.70	9.36	3.66	1.72	0.20	0.3	0.9	11	20.50
I22	灰白色 条带状大理岩	153.00	2.96	0.64	6.81	3.43	1.25	10.10	4.8	20.0	176	2.55
I29	含燧石 条带状大理岩	48.04	3.16	0.72	10.56	4.20	1.49	2.45	0.8	1.7	24	3.92
I30	块状大理岩	187.45	4.02	0.47	7.95	3.91	1.18	18.45	6.0	7.1	209	1.92
I33	条带状大理岩	61.02	2.55	0.63	7.80	3.60	1.43	3.25	1.0	1.4	34	3.35

2.1 岩石学特征

通过野外观测及室内显微镜岩石学鉴定, 矿区变质岩岩性主要为千枚岩类、变质砂岩类、大理岩、石英岩和长石石英板岩等, 它们总体呈层状产出, 千枚岩、变质砂岩与大理岩常互为夹层。千枚岩、变质(粉)砂岩和长石石英板岩主要矿物为石英、长石、绢云母和绿泥石, 常见条带状构造(见图 2(a)), 千枚岩中或有揉皱现象, 镜下均可见变余砂状(见图 2(b))、粉砂状

结构, 变余砂粒成分为石英和长石, 颗粒磨圆度较高, 长石部分蚀变为绢云母, 千枚岩中偶见条带状硅化现象(见图 2(c)); 石英岩主要为地层中的燧石条带和燧石结核, 为变质砂岩的夹层, 石英含量高, 颗粒细, 发育层纹状构造, 曾认为是硅质岩^[8], 显微镜下可见变余层纹状构造(见图 2(d))和变余粉砂状结构, 长石碎屑变质成为绢云母, 但保留碎屑的外形, 基质含量较高, 已变质形成绢云母; 大理岩多呈层状分布, 有 2

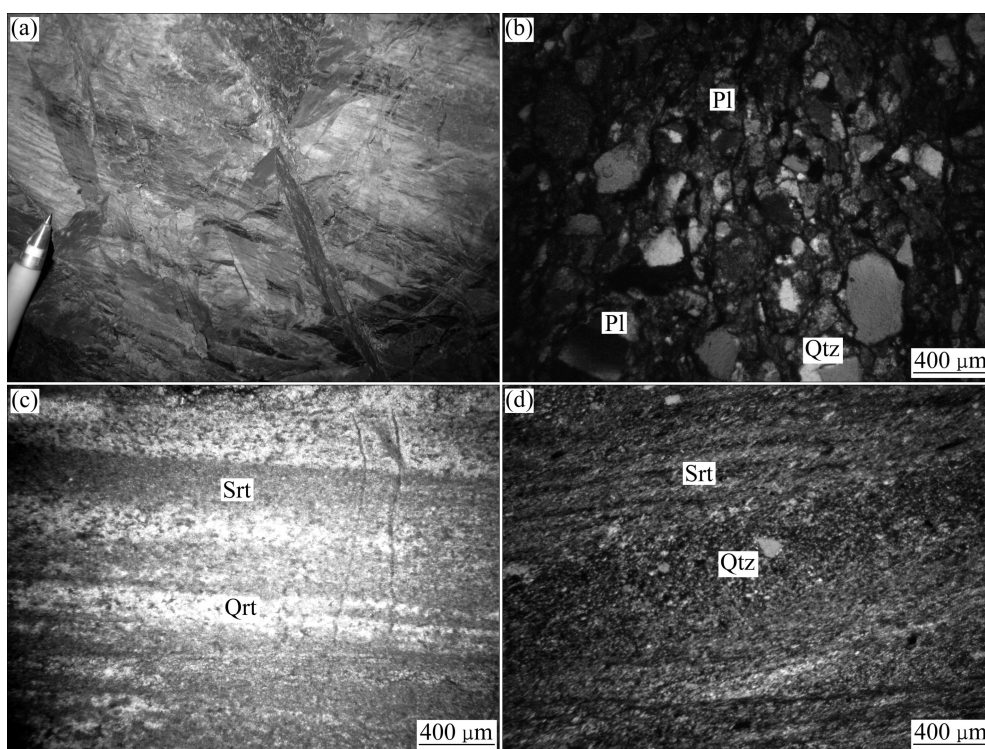


图2 赛什塘变质岩的特征: (a) 条带状变质砂岩; (b) 变质砂岩中变余砂状结构; (c) 千枚岩中顺层出现硅化条带; (d) 石英岩中变余层纹状结构; Pl—斜长石; Qtz—石英; Srt—绢云母

Fig. 2 Characteristics of metamorphic rocks of Saishitang: (a) Banding metamorphic sandstones; (b) Blasto-lamellar structure of quartzite; (c) Blastopsammitic structure of metamorphic sandstones; (d) Silicified bands in phyllites; Pl—Plagioclase; Qtz—Quartz; Srt—Sericitite

种类型: 厚层状一块状大理岩主要矿物为方解石, 可见极少量的白云母、石英粉砂和细砂; 薄层状一条带状大理岩常表现出较强烈的褶皱形态或强烈变形成断续条带。

2.2 稀土及微量元素地球化学特征

由样品稀土元素分析结果(见表1和2)可知, 赛什塘矿区千枚岩稀土总量高, 为 $94.95 \times 10^{-6} \sim 244.19 \times 10^{-6}$, 平均值为 198.39×10^{-6} , 具Eu负异常, $\delta(\text{Eu})$ 的平均值为0.67, LREE/HREE为2.46~5.45, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 分别介于7.14~13.51、3.28~4.63和0.99~1.95之间。5件变质砂岩样品稀土总量集中在 $65.21 \times 10^{-6} \sim 174.3 \times 10^{-6}$ 之间, LREE/HREE为2.61~3.57, 多数样品的 $\delta(\text{Eu})$ 介于0.50~0.69之间, 仅样品V-15-2的 $\delta(\text{Eu})$ 值为1.26。1件长石石英板岩样品稀土总量为 276.10×10^{-6} , $\delta(\text{Eu})$ 值为0.64, LREE/HREE为4.43。3件石英岩稀土总量在 $113.12 \times 10^{-6} \sim 187.39 \times 10^{-6}$ 之间, $\delta(\text{Eu})$ 介于0.44~0.69之间, LREE/HREE为2.95~5.19。5件大理岩稀土总量偏低, 且变化范围较大, 介于 $22.72 \times 10^{-6} \sim$

187.45×10^{-6} 之间, $\delta(\text{Eu})$ 值在0.47~0.72间变化, LREE/HREE为2.55~4.02。

各类岩石球粒陨石标准化后的稀土分布模式如图3所示。总体来看, 各类岩石稀土元素标准化曲线相类似, 均为轻稀土富集型, 曲线右倾, 重稀土段曲线平坦, 除变质砂岩样品V-15-2外, 均具有中等负Eu异常, 仅在稀土总量上有差异。

样品微量元素分析结果(见表2)表明, 各类岩石之间丰度差别较小, 总体来看, Th平均含量为 11.77×10^{-6} , Hf元素平均含量为 4.4×10^{-6} , Co元素平均含量为 9.5×10^{-6} , Zr平均含量为 152.57×10^{-6} 。Th和Zr元素含量相对较高, 而其他微量元素含量则相对较低。

3 讨论

3.1 变质岩原岩恢复

矿区变质岩变质程度浅, 显微镜下多可见变余砂状和粉砂状结构, 岩石亦多呈条带状构造, 原岩结构

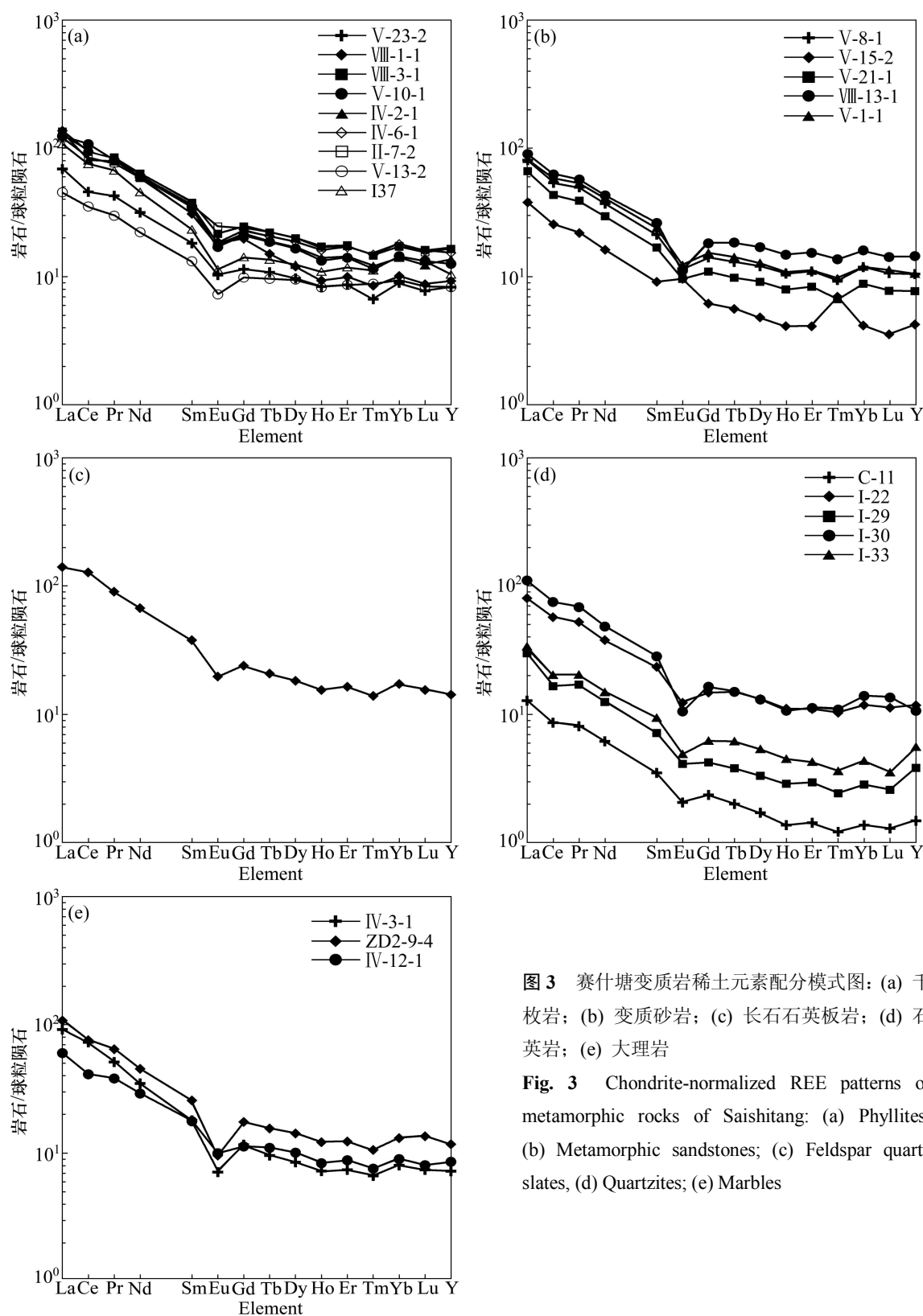


图 3 赛什塘变质岩稀土元素配分模式图: (a) 千枚岩; (b) 变质砂岩; (c) 长石石英板岩; (d) 石英岩; (e) 大理岩

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of metamorphic rocks of Saishitang: (a) Phyllites; (b) Metamorphic sandstones; (c) Feldspar quartz slates, (d) Quartzites; (e) Marbles

清晰可见, 表明其原岩应为正常沉积岩, 以砂质或砂泥质沉积岩为主; $\text{La/Yb}-\sum\text{REE}$ 图解(见图 4)判别表明, 赛什塘矿区变质岩原岩属沉积岩类, 样品基本均落在砂质岩和杂砂岩区, 大理岩和少部分千枚岩落在

页岩和黏土岩区; 各类岩石稀土元素含量(见表 1 和 2)均有轻重稀土分馏明显、轻稀土元素富集而重稀土相对较低等特征, 稀土配分模式分布曲线(见图 3)总体向右倾斜, $\text{La}-\text{Sm}$ 段曲线略陡, $\text{Dy}-\text{Y}$ 段曲线较平缓,

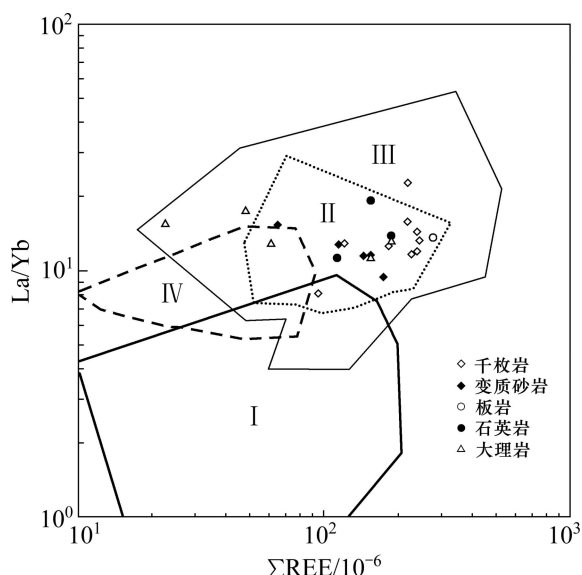


图4 La/Yb— Σ REE 判别图解: I—斜长角闪岩(变质基性火山岩)区; II—砂质岩和杂砂岩区; III—页岩和黏土岩区; IV—碳酸盐岩区

Fig. 4 La/Yb — Σ REE discrimination diagram: I — Amphibolites (metamorphic basic volcanics); II — Psammite and greywacke; III — Shale and clay rock; IV — Carbonate

且Eu为低谷,具有明显的Eu负异常,这些特点反映了典型沉积岩的稀土配分特点^[13],其一致性也反映了各类岩石之间原成分的相似性;从稀土总量来看,长石石英板岩的平均值最高,其次为千枚岩类及石英岩,大理岩含量平均偏低,各类岩石的稀土总量变化范围相互叠加,各自内部的稀土总量也存在变化,可能与各类岩石常互为夹层产出这一地质现象有关。结合岩石性质和稀土元素特征认为,矿区千枚岩类和变质砂岩原岩应为砂岩或者杂砂岩,大理岩原岩为白云岩—灰岩,石英岩、长石石英板岩原岩可能为石英砂岩。

吴庭祥^[6]和李福东等^[8]提出赛什塘矿区存在热水沉积作用,“硅质岩”的发现为主要支撑依据。典型热水沉积成因的硅质岩,其元素Si是由热水从火成岩淋滤而来,从而部分具有火山成因硅质岩的特征^[14]。矿区地表及坑道中均发现“硅质岩”,发育层纹状构造,显微镜下可见变余粉砂状结构,未见典型硅质岩化学—生物化学成因结构,也未显示与火山成因有关。

研究认为,该岩石并非热水沉积形成的硅质岩,而是泥质粉砂岩类受变质形成的石英岩,其层纹条带是泥质粉砂岩中保留的水平层理,在矿体中保留围岩的残余,很容易被误解为层纹状硅质岩,并当作热水沉积成矿的证据。图4中亦表明“硅质岩”原岩为砂岩类,其稀土元素配分曲线(见图3)与变质砂岩、千枚

岩、长石石英板岩极为相似,说明了各类岩石之间成分、形成背景的一致性。

所以,赛什塘矿区前人所述“硅质岩”并不具备典型硅质岩的特征,其原岩应为石英砂岩类,定名为石英岩是较为合适的,矿床未见明显的水热沉积作用。

3.2 构造环境分析

矿区千枚岩、变质砂岩、长石石英板岩及石英岩原岩均为碎屑岩类,故选用碎屑岩构造背景分析的方法来研究赛什塘矿区变质地层的构造环境。碎屑岩的微量元素含量变化与构造背景之间有着内在的必然联系,通过测定分析碎屑岩的化学成分,可以很好地反映物源区的大地构造背景和构造演化特征^[13]。前人已总结出板块构造环境碎屑岩化学组成特征的一系列判别图解和数据,且这些判断数据和图解得到了地质学界的认可和广泛应用。

$w(\text{Th})$ — $w(\text{Co})$ — $w(\text{Zr})$ 图解是目前广泛认为较为有效的微量元素判别构造背景图解,从判别图(见图5^[15])可见,数据点分散在大陆岛弧和主动大陆边缘之间。从图6球粒陨石标准化的矿区变质沉积岩稀土元素分布曲线与典型构造背景砂岩^[16]对比来看,其球粒陨石标准化稀土模式具有轻稀土元素富集、分馏明显、重稀土元素分馏不明显及Eu中等亏损的特征,总体上较接近于安第斯型,表明赛什塘矿区变质地层形成于活动大陆边缘环境。

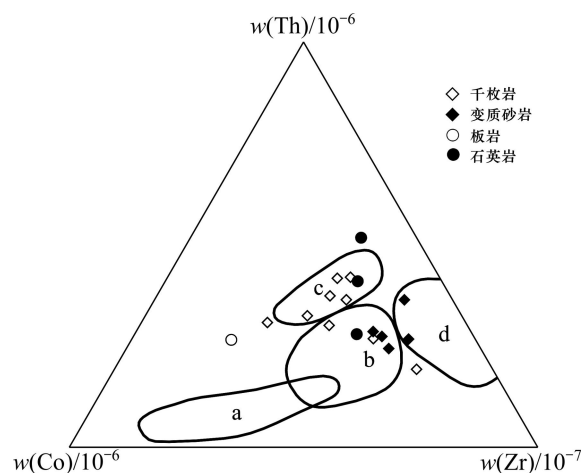


图5 $w(\text{Th})$ — $w(\text{Co})$ — $w(\text{Zr})$ 微量元素构造环境判别图^[15]: a—大洋岛弧; b—大陆岛弧; c—主动大陆边缘; d—被动大陆边缘

Fig. 5 Diagram of trace element $w(\text{Th})$ — $w(\text{Co})$ — $w(\text{Zr})$ and tectonic setting^[15]: a—Oceanic island arc; b—Continental island arc; c—Active continental margin; d—Passive margin setting

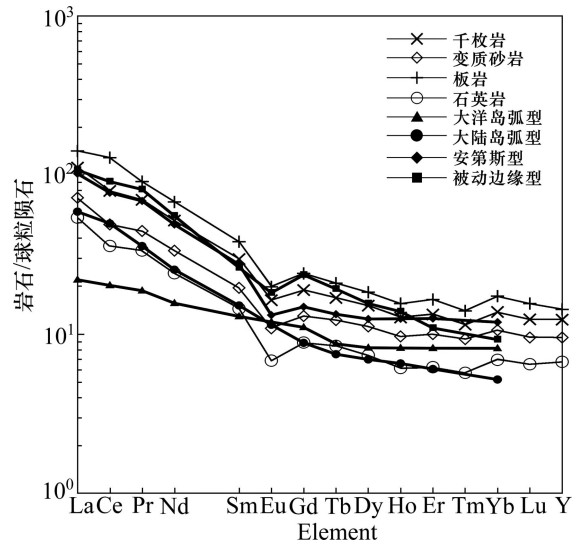


图 6 赛什塘变质岩稀土元素分布曲线与不同构造背景砂岩对比

Fig. 6 Comparison of REE features between Saishitang metasedimentary rocks and apogrite in various structural settings

表 3 所列为最具判别意义的特征稀土元素参数^[17], 将赛什塘矿区变质岩分析结果与其进行比较, La、Nd 和 Σ REE 的含量及 $\delta(\text{Eu})$ 和 La/Y 值更接近活动大陆边缘杂砂岩特征值, Ce 的含量和 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值变化位于大陆岛弧型特征值和稳定陆缘型杂砂岩特征值之间, 而 LREE/HREE 的值更接近于大洋岛弧型杂砂岩特征值。

BHATIA 和 TAYLOR^[18]提出, 对于大洋岛弧构造背景, 沉积岩中的 $\text{La}/\text{Th}=6.7\pm2.0$, 而 Hf 的含量约为 2×10^{-6} ; 对于大陆岛弧构造背景, La/Th 值约为 4.5, Hf 的含量为 $4\times10^{-6}\sim5\times10^{-6}$; 对于大陆边缘构造背景 (包括活动大陆边缘和被动大陆边缘), La/Th 约为 2.6, Hf 的含量一般高于 5×10^{-6} 。La/Th 值在 1.81~3.20 之间, Hf 的含量介于 $2.60\times10^{-6}\sim6.60\times10^{-6}$ 之间, 说明

表 3 不同类型杂砂岩特征稀土元素含量及参数^[17]

Table 3 Characteristics REE element abundances and parameters of apogrite in various structural settings^[17]

岩石类型	$w/10^{-6}$				LREE/HREE	$\delta(\text{Eu})$	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$
	La	Ce	Nd	Σ REE			
大洋岛弧杂砂岩	8.72±2.5	22.5±35.9	11.36±2.9	58±10	3.8±0.9	1.04±0.11	2.8±0.9
大陆岛弧杂砂岩	24.4±2.3	50.5±4.3	20.8±1.6	146±20	7.7±1.7	0.79±0.13	7.5±2.5
活动陆缘杂砂岩	33.0±4.5	72.7±9.8	25.4±3.4	186	9.1	0.6	8.5
稳定陆缘杂砂岩	44.5±5.8	71.9±11.5	29.0±5.03	210	8.5	0.56	10.8
赛什塘变质岩	31.2	66.4	26.9	176	3.6	0.67	8.0

赛什塘矿区变质岩物源区不仅有类似于大陆岛弧构造背景, 也有大陆边缘构造背景。

由上可见, 赛什塘矿区变质地层形成的构造环境应与大陆岛弧和主动大陆边缘活动有关。赛什塘矿区位于秦祁昆接合部, 而秦、祁、昆造山带是扬子、华北以及柴达木 3 个陆块边缘, 上述 3 陆块之间为海盆相隔, 是北特提斯洋的主要发育地区^[19]。晚古生代, 苦海—赛什塘一带是伴随古特提斯洋闭合而产生和发展起来的一系列分支小洋盆之一^[20]。早—中三叠世, 古特提斯洋壳向柴达木陆块之下继续俯冲, 洋盆残留消减, 矿区变质沉积岩以活动大陆边缘性质为主的沉积作用正是该体制下的结果, 同时矿区地层原岩以杂砂岩和亚杂砂岩为主, 次为泥质岩或黏土质岩石, 这类碎屑岩在岛弧—弧后盆地中十分广泛, 岩石组合反映边缘海盆地的沉积建造特点^[17], 由此可进一步推断矿区变质地层应形成于三叠纪古特提斯洋陆缘的岛弧—弧后盆地环境。此外, 区域上晚三叠世发生陆内叠覆造山, 形成了布尔汗布达—鄂拉山火山弧^[21], 伴有岩浆底侵等地质作用^[19], 这应与残留洋盆的洋壳消减殆尽时部分发生弧—陆碰撞有关。本区亦发育晚三叠世钙碱性系列岩浆岩, 岩体形成环境与大陆岛弧密切相关, 具洋壳—陆壳俯冲特点^[22], 为弧—陆碰撞结果, 可为矿区地层古构造环境提供佐证。

4 结论

- 1) 矿区各类变质岩稀土元素均具有轻重稀土分馏明显、轻稀土元素富集而重稀土相对较低等特征, 各稀土配分模式分布曲线相似, 呈右倾模式。
- 2) 矿区中三叠世浅变质岩的原岩主要是正常沉积岩, 其中, 千枚岩类和变质砂岩原岩为砂岩或者杂砂岩, 大理岩原岩为白云岩—灰岩, 石英岩和长石石英板岩原岩可能为石英砂岩。

3) 矿区“硅质岩”并不具备典型热水沉积硅质岩的特征,其层纹条带是泥质粉砂岩中保留的水平层理,定名为石英岩较为合适,赛什塘矿床成因存在热水沉积作用是不准确的。

4) 碎屑岩构造环境判别图解及稀土、微量元素特征值显示,赛什塘矿区变质地层物源区同时具有活动大陆边缘型和大陆岛弧型构造背景的特点,推断其形成于三叠纪古特提斯洋陆缘的岛弧-弧后盆地环境。

致谢:

本研究在野外工作期间得到青海西部资源有限责任公司、赛什塘铜矿相关领导及员工的大力支持,也得到了参加本课题组全体同志的热心帮助,在此深致谢意!

REFERENCES

- [1] 邱凤岐,董景深. 青海赛什塘铜矿区岩浆岩及其成矿特征[J]. 青海地质, 1978(3): 1-19.
QIU Feng-qi, DONG Jing-shen. Magmatic rocks of Saishitang copper deposit and metallogenic characteristics in Qinghai Province [J]. Qinghai Geology, 1978(3): 1-19.
- [2] 林德经. 青海赛什塘铜矿地质特征及矿床成因初步探讨[J]. 西北地质, 1983(4): 30-39.
LIN De-jing. Geological characteristics and genesis of the Saishitang copper deposit in Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 1983(4): 30-39.
- [3] 路远发. 赛什塘—日龙沟矿带成矿地球化学特征及矿床成因[J]. 西北地质, 1990(3): 20-26.
LU Yuan-fa. Metallogenic geochemistry and genesis of deposit of the Saishitang—Rilonggou ore belt [J]. Northwestern Geology, 1990(3): 20-26.
- [4] 田生玉. 青海赛什塘—日龙沟矿田岩浆岩与成矿的关系探讨[J]. 有色金属矿产与勘察, 1999, 8(6): 383-387.
TIAN Sheng-yu. Relations between magmatic rocks and metallization of the Saishitang—Rilonggou ore field in Qinghai [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1999, 8(6): 383-387.
- [5] 李东生, 奎明娟, 古风宝, 王建军, 柏红喜, 詹发余, 王发明, 马彦青. 青海赛什塘铜矿床的地质特征及成因探讨[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 719-730.
LI Dong-sheng, KUI Ming-juan, GU Feng-bao, WANG Jian-jun, BAI Hong-xi, ZHAN Yu-fa, WANG Fa-ming, MA Yan-qing. Geological characteristics and genesis of the Saishitang copper deposit in Qinghai Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(5): 719-730.
- [6] 吴庭祥. 青海赛什塘铜矿床地质特征及成矿模式[J]. 矿产勘查, 2010, 1(2): 140-144.
WU Ting-xiang. Geological characteristics and metallogenic model of Saishitang copper deposit in Qinghai Province [J]. Mineral Exploration, 2010, 1(2): 140-144.
- [7] 青海省地层表编写小组. 西北地区区域地层表: 青海分册[M]. 北京: 地质出版社, 1980: 1-277.
Qinghai Province Compiling Stratigraphic Scale Group. Northwest regional stratigraphic scale: Fascicule of Qinghai [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 1-277.
- [8] 李福东, 张汉文, 宋治杰. 鄂拉山地区热水成矿模式[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1993: 1-300.
LI Fu-dong, ZHANG Han-wen, SONG Zhi-jie. Thermal water metallogenic model in Ngolashan region [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1993: 1-300.
- [9] 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): 46-56.
ZHANG Han-wen. On the hydrothermal sedimentary laws and tectonic environment of Tongyugou deposit and the relationship between hydrothermal and volcanic activity [J]. Northwest Geoscience, 2000, 21(2): 46-56.
- [10] 张汉文. 青海铜峪沟铜矿床的矿化特征、形成环境和矿床类型[J]. 西北地质, 2001(4): 30-42.
ZHANG Han-wen. Mineralized feature, tectonic setting and metallogenic type of Tongyugou copper deposit, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 2001(4): 30-42.
- [11] 陈国达. 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996: 340-387.
CHEN Guo-da. Diwa theory—Outline on activated tectonics and metallogenic theoretic system [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996: 340-387.
- [12] 潘彤, 罗才让, 伊有昌, 钱明. 青海省金属矿产成矿规律及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-227.
PAN Tong, LUO Rang-cai, YI You-chang, QIAN Ming. Metal mineral metallogenic regularity and metallogenic prediction in Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-227.
- [13] 姚纪明, 于炳松, 陈建强, 李善营. 中扬子北缘上侏罗统—白垩系沉积岩地球化学特征与构造背景分析[J]. 地球化学, 2009, 38(3): 231-241.
YAO Ji-ming, YU Bing-song, CHEN Jian-qiang, LI Shan-ying. The geochemical characteristics of the Upper Jurassic to Cretaceous sedimentary rocks in north margin of the mid-Yangtze and tectonic setting discrimination [J]. Geochemica, 2009, 38(3): 231-241.
- [14] 江永宏. 黑色岩系中海底热液SEDEX矿床的研究概况[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(3): 177-187.
JIANG Yong-hong. Introduction of the research on submarine hydrothermal Sedex mineral deposits in the black rock series [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2010, 25(3): 177-187.

- [15] BHATIA M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. *J Geol*, 1983, 91(6): 611–627.
- [16] MCLENNAN S M. A geochemical approach to sedimentary provenance [C]// *GSA Abstracts with Programs*. Boulder: GSA, 1991: 108.
- [17] 李天斌, 张学文, 王成, 王荣兰. 北祁连山东段海原一带海原群变质岩原岩恢复及其构造背景[J]. *地质通报*, 2006, 25(1/2): 194–203.
- LI Tian-bin, ZHANG Xue-wen, WANG Cheng, WANG Rong-lan. Reconstruction of protoliths of metamorphic rocks and tectonic setting of the Haiyuan Group in the Haiyuan in the eastern segment of the North Qilian mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1/2): 194–203.
- [18] BHATIA M R, TAYLOR S R. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: A study from the Tasman Geosyncline, Australia [J]. *Chem Geol*, 1981, 33(1/2): 115–125.
- [19] 张雪亭. 青海省大地构造格架研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006: 1–104.
- ZHANG Xue-ting. Study on the tectonic framework of Qinghai [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006: 1–104.
- [20] 张智勇, 殷鸿福, 王秉璋, 王瑾, 张克信. 昆秦接合部海西期苦海—赛什塘分支洋的存在及其证据[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(6): 691–696.
- ZHANG Zhi-yong, YIN Hong-fu, WANG Bing-zhang, WANG Jin, ZHANG Ke-xin. Presence and evidence of Kuhai—Saishitang branching ocean in copulae between Kunlun-Qinling mountains [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(6): 691–696.
- [21] 江新胜, 潘桂棠, 颜仰基, 李兴振. 秦、祁、昆交接区三叠纪沉积相格架及构造古地理演化[J]. *四川地质学报*, 1996, 16(3): 204–208.
- JIANG Xin-sheng, PAN Gui-tang, YAN Yang-ji, LI Xing-zhen. Triassic sedimentary framework and tectopaleogeographic evolution of the juncture of the Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1996, 16(3): 204–208.
- [22] 赖健清, 安江华, 王雄军, 毛寅, 宋泽友, 曹勇华, 陶斤金, 郭志军, 王晶. 赛什塘矿区侵入岩的地球化学特征及构造环境分析[J]. *矿产与地质*, 2010, 24(5): 460–465.
- LAI Jian-qing, AN Jiang-hua, WANG Xiong-jun, MAO Yin, SONG Ze-you, CAO Yong-hua, TAO Jin-jin, GUO Zhi-jun, WANG Jing. Geochemical characteristics and tectonic environment analysis of the intrusive rocks in Saishitang ore field [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2010, 24(5): 460–465.

(编辑 陈卫萍)