



浙东南黄施岙钠长石岩石矿物学特征及矿床成因

栾进华¹, 高原^{1,2}, 徐厚倜³, 杨仲可³, 郑绪忠², 刘桂莲²,

(1. 重庆地质矿产研究院 重大地质事件资源环境效应重庆市重点实验室, 重庆 401120;

2. 重庆华地资环科技有限公司, 重庆 401120; 3. 浙江省第十一地质大队, 浙江 温州 325006)

摘要 通过对岩石化学、矿石结构构造、矿物组合特征等研究来分析浙东南黄施岙钠长石的岩石矿物学特征及矿床成因。研究认为,区内火山碎屑岩主要属酸性岩,岩石富碱(特别富钠),贫钙、铁、镁,属钙碱性系列,为高钾型或普通型钙碱性岩石。钠长石岩矿床的形成与早白垩世火山活动有关,是中酸性的含矿热液交代富钠火山岩而成。矿床的分布与区域性深大断裂有关,受火山构造控制,富钠的中酸性岩类是有利成矿母岩,火山构造边缘的环形裂隙带以及不同岩相的接触带是有利的导矿、容矿构造,富钠岩浆提供热源和物源。矿床成因属火山(岩浆)热液蚀变型钠长石岩矿床。

关键词 钠长石岩; 岩石化学; 矿物学; 矿床成因

中图分类号: P579; P611 DOI: 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2024-03-017

Mineralogical characteristics and genetic analysis of albite rocks in Huangshiao, southeastern Zhejiang

LUAN Jinhua¹, GAO Yuan^{1,2}, XU Houti³, YANG Zhongke³,
ZHENG Xuzhong², LIU Guilian²

(1. Chongqing Key Laboratory of Major Geological Events and Effects of Resources and the Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 401120, China;

2. Chongqing Huadi Resources and Environmental Technology Co., Ltd., Chongqing 401120, China;

3. The Eleventh Geological Group of Zhejiang Province, Wenzhou 325006, China)

Abstract To explore the mineralogical characteristics and genesis of sodium feldspar by studying its petrochemistry, ore structure, and mineral combination characteristics. The volcanic clastic rocks in the area mainly belong to acidic rocks, which are rich in alkali (especially sodium) and poor in calcium, iron, and magnesium. They belong to the calcium alkaline series and are high potassium or ordinary calcium alkaline rocks. The formation of sodium feldspar deposits is related to early Cretaceous volcanic activity, where medium acidic ore bearing hydrothermal fluids were replaced by sodium rich volcanic rocks. The distribution of mineral deposits is related to regional deep and large faults, controlled by volcanic structures. Sodium rich acidic rocks are favorable ore-forming parent rocks. The circular fracture zones at the edge of volcanic structures and the contact zones of different rock facies are favorable ore conducting and hosting structures. Sodium rich magma provides

收稿日期: 2023-12-19

基金项目: 浙江省地质勘查基金项目([省资]2023006); 重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ-MSX1375)。

第一作者: 栾进华, 男, 正高级工程师, 从事基础地质调查、矿产资源开发与研究, 124407681@qq.com。

通信作者: 高原, 男, 正高级工程师, 从事矿床学与资源开发研究, 49775907@qq.com。

heat and material sources. The genesis of the deposit belongs to the volcanic (magmatic) hydrothermal alteration type sodium feldspar deposit.

Keywords sodium feldspar rock; petrochemistry; mineralogy; genesis of mineral deposits

浙江省矿产资源的整体特点是能源(煤炭、石油、天然气、煤层气)矿产贫乏,金属矿产资源探明较少,多为小矿、贫矿,但非金属矿产资源较为丰富,包括萤石、叶蜡石、明矾石、膨润土等。近年来,浙江省新发现了一种制陶用、玻璃用节能矿物钠长石岩(钠长石 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)。经地勘单位多年地质勘查得知,浙江省平阳县黄施岙矿区钠长石岩查明资源量(控制+推断)超过 $1.5 \times 10^7 \text{ t}$,矿床规模为大型。钠长石岩多与 Au, Cu, Pb-Zn-Ag 等特定金属矿及翡翠、玉等非金属矿相伴生,独立矿床较少^[1-7]。浙江省 80% 的陶瓷企业集中在温州地区,其发达的制陶工业需要大量的叶蜡石、高岭土、伊利石等矿物原料。钠长石岩作为叶蜡石、高岭土、伊利石等矿物的替代资源,可以改进制陶工艺,并能大幅降低生产成本,还可与钾长石搭配用于玻璃生产。

1 矿区地质特征

黄施岙钠长石岩矿区位于区域性温州—镇海北东向大断裂西侧,北西向松阳—平阳大断裂南侧^[8]。区域内中酸性火山碎屑-沉积岩系广泛分布,侵入岩及断裂构造发育。区域内强烈的火山活动主要形成了山门复活破火山,其位于早白垩世文成一镇海火山活动带的南西部,属晚侏罗世火山岩基底上经过第二旋回早白垩世火山活动形成的复活破火山。该火山属中心式火山喷发类型,喷发中心位于南田一带,形成南田水山穹窿。

黄施岙矿区位于山门破火山的中心及南田火山穹窿(山门矿田)的北东边缘,其南西侧为火山侵出相的南田潜流纹岩,北西侧为火山侵入相的城门石英闪长岩,山门矿田的北西向成矿构造带横穿矿区。矿区广泛出露下白垩统朝川组火山碎屑-沉积岩^[9](见图 1)。

石英闪长岩体分布于黄施岙村南东侧,平面形态呈椭圆状、钟状^[10],出露面积 $0.001 \sim 0.10 \text{ km}^2$ 。在大沙坑南端见岩体与钠长石矿化体之间

的侵入界线清晰,界面较平整;ZK5301 钻孔见石英闪长岩呈枝叉状侵入于硅化钠长石化流纹质含角砾晶屑玻屑凝灰岩中,接触带围岩硅化、角岩化蚀变强烈^[11-12]。

矿区断裂构造均为成矿后期产生,分别是北西向、近东西向、近南北向和北东向,切割钠长石岩矿化体和地层。火山岩层总体往北倾伏,岩性岩相复杂,构造裂隙发育,火山构造具备喷溢相、火山碎屑流相、崩落相、爆发空落相、潜火山岩相、喷发-沉积相、火山侵出相、火山侵入相^[13-14]。

石英闪长岩侵入上拱,并有 5 个大小不等的小岩枝出露地表,形成岩穹构造(见图 2)。岩穹上覆矿体及岩层产状均发生改变,穹顶在大沙坑一带,两翼(大沙坑东西两侧)矿体及岩层产状外倾。

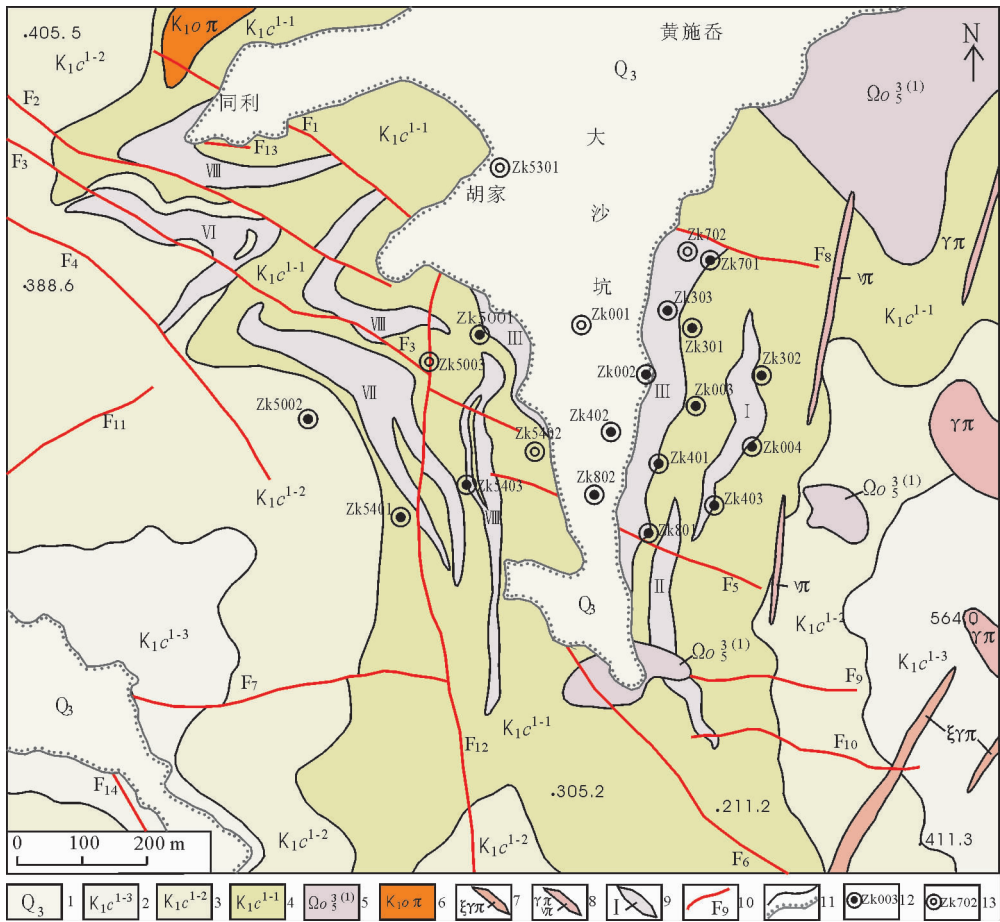
2 样品分析

样品 X 射线衍射样 12 件由国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试分析,主要检测设备及编号为 FD3017(No1042)、GAD-6(No061)。化学全分析 9 件样品由浙江省第十一地质大队测试中心测试完成,主要检验设备有 FP640 火焰光度计、H35 分析天平、VIS-723 分光光度计或 GGX-2 原子吸收分光光度计。样品分析结果可靠,能够满足相应的研究工作需要。岩石薄片鉴定 35 件样品由江西省地质中心实验室完成,均为详细鉴定,并附有镜下彩照,鉴定结果较准确。

3 岩石化学特征

3.1 岩石化学成分和 CIPW 标准矿物特征

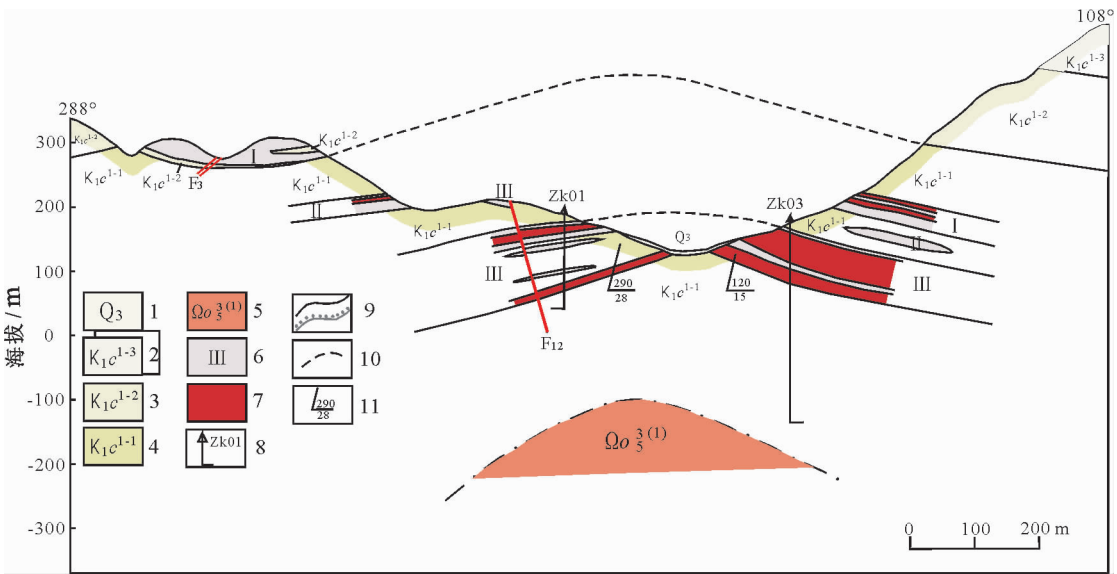
根据李兆鼎的硅-碱化学定量分类图解(1989 年修改),矿区岩石化学类型为:流纹岩、安粗岩、安山岩、英安岩,以酸性流纹岩类最为常见^[15]。火山岩石化学成分和 CIPW 标准矿物计算见表 1。



1 第四系坡洪积物; 2 朝川组第一岩性段三亞段凝灰岩; 3 朝川组第一岩性段二亞段凝灰岩; 4 朝川组第一岩性段一亞段流纹斑岩、凝灰岩; 5 燕山晚期石英闪长岩; 6 早白垩世潜石英斑岩; 7 钾长花岗岩斑岩; 8 花岗岩斑岩; 9 矿化带; 10 断裂; 11 地质界线; 12 见矿钻孔; 13 未见矿钻孔。

图1 平阳县黄施岙钠长石矿区地质图

Fig. 1 Geological map of Huangshiao sodium feldspar mining area in Pingyang County



1 第四系坡洪积物; 2 朝川组第一岩性段三亞段凝灰岩; 3 朝川组第一岩性段二亞段凝灰岩; 4 朝川组第一岩性段一亞段流纹斑岩、凝灰岩; 5 燕山晚期石英闪长岩; 6 钠长石岩矿化带及编号; 7 钠长石岩矿体; 8 钻孔位置及编号; 9 实测、推测地质界线; 10 推测地质界线; 11 产状。

图2 黄施岙矿区石英闪长岩穹窿构造地质剖面图

Fig. 2 Geological profile of quartz diorite dome structure in Huangshiao mining area

表 1 黄施岫矿区岩石化学成分和 CIPW 标准矿物计算表

Tab. 1 Calculation table for chemical composition of rocks and CIPW standard minerals in Huangshiao mining area

样品编号	ZK402-H1	ZK402-H2	ZK403-H1	D627-H	D716-H1	D130-H1	ZK5002-H1	D322-GS1	ZK004-H1	ZK004-H2	备注	
层位	K ₁ c ¹⁻¹				K ₁ c ¹⁻²	K ₁ c ¹⁻³	K ₁ oπ	δo ₅ ³⁽¹⁾	Ⅲ-1-① 号	Ⅲ-3-① 号	/	
岩矿石 名称	英安质岩 屑角砾熔 结凝灰岩	流纹 斑岩	英安 流纹岩	英安 玢岩	英安质玻 屑晶屑熔 结凝灰岩	英安质 熔结凝灰岩	潜石英 斑岩	石英 闪长岩	钠长石 矿体	钠长石 矿体	/	
氧化 物 质 量 分 数 /%	SiO ₂	71.00	71.04	71.52	68.14	70.53	72.58	75.39	55.06	69.17	72.95	
	TiO ₂	0.34	0.38	0.43	0.54	0.50	0.35	0.40	1.24	0.56	0.30	
	Al ₂ O ₃	14.69	14.97	14.91	16.54	14.55	13.55	12.79	16.99	16.91	15.28	
	Fe ₂ O ₃	1.10	1.02	1.47	2.95	1.74	1.48	0.57	2.96	0.40	0.29	
	FeO	0.67	0.68	0.42	0.36	0.61	0.55	0.79	4.00	1.04	0.39	
	MnO	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.14	0.02	0.02	
	MgO	0.57	0.73	0.42	0.36	0.61	0.55	0.79	4.00	1.04	0.39	
	CaO	1.06	0.88	1.04	1.04	0.72	0.53	0.12	6.63	0.72	0.90	
	Na ₂ O	3.97	4.49	4.39	4.85	3.77	2.80	3.87	3.49	8.52	7.71	
	K ₂ O	4.41	4.31	4.73	4.57	5.17	5.46	4.25	2.57	0.51	0.45	
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.06	0.16	0.10	0.05	0.02	0.44	0.18	0.07		
iL	1.24	0.78	0.50	0.71	1.29	1.18	0.82	1.16	0.79	0.56		
标 准 矿 物 质 量 分 数 /%	Q	28.05	25.11	24.98	26.19	23.00	34.05	34.53	5.95	14.71	24.56	石英
	Or	26.16	26.60	27.83	27.27	30.61	32.28	25.06	15.58	2.78	2.23	钾长石
	Ab	33.55	38.27	37.22	40.89	31.98	23.59	33.03	29.36	72.35	65.01	钠长石
	An	5.28	4.45	5.528	3.89	2.78	2.78	0.56	23.09	2.78	3.62	钙长石
	C	2.45	1.22	0.61	1.22	1.73	2.04	1.43	/	1.33	0.92	刚玉
	Wo	/	/	/	/	/	/	/	3.14	/	/	透辉石
	Di	En	/	/	/	/	/	/	2.21	/	/	顽火辉石
	Fs	/	/	/	/	/	/	/	0.66	/	/	铁辉石
	En'	1.10	1.81	1.00	0.80	1.51	1.41	2.01	7.73	2.61	1.00	顽火辉石
	Fs'	/	/	/	/	/	/	/	2.24	0.40	0.26	铁辉石
Ap	/	/	/	0.34	0.34	/	/	1.01	0.34	0.34	磷灰石	
Tn	/	/	/	0.39		/	/	/	/	/	榍石	
Mt	1.16	1.16	0.23	/	0.46	0.93	0.93	4.40	0.69	0.46	磁铁矿	
Ilm	0.61	0.76	0.76	0.76	0.91	0.61	0.76	2.28	1.21	0.30	钛铁矿	

由表 1 可见,矿区火山岩(包括潜火山岩)中,流纹岩类 SiO₂ 平均质量分数为 71.77%,Alk 的质量分数为 8.68%,质量分数明显高于区域内同类岩石,属高钠钾流纹岩;英安岩类 SiO₂ 平均质量分数为 68.14%,Alk 的质量分数为 9.42%,Na₂O 质量分数高于 K₂O,属高钾钠流纹岩。侵入岩属安山岩类,其 SiO₂ 质量分数为 55.06%,Alk 的质量分数为 6.06%。

据 CIPW 标准矿物计算得知,火山岩标准矿物主要有:石英(23% ~ 34.53%)、钾长石

(25.06% ~ 32.28%)及钠长石(23.59% ~ 40.89%),余为钙长石、刚玉、顽火辉石、磁铁矿及钛铁矿等,属酸性流纹质岩类。矿化蚀变火山岩标准矿物主要有:钠长石(65.01% ~ 72.35%)、钾长石(2.23% ~ 2.78%)及石英(14.71% ~ 24.56%),余为钙长石、刚玉、顽火辉石、磁铁矿、磷灰石及钛铁矿等^[16]。侵入岩标准矿物主要有:钠长石(29.36%)、钙长石(23.09%)及钾长石(15.58%),余为石英、刚玉、透辉石、磁铁矿及钛铁矿等,属中性岩类^[17-18]。

3.2 岩石化学特征

矿区岩浆岩岩石化学数值特征计算结果见表2。根据扎瓦里茨基特征数值显示, K_1c^{1-1} 、 K_1c^{1-2} 、 K_1c^{1-3} 火山岩的 b 值一般小于5,属酸性岩类。岩

石中 $(a+c):b$ 的比值较大,显示长石类矿物多而铁镁矿物极少; $a:c$ 的比值较大,显示钠长石、钾长石等碱性长石矿物多而钙长石极少; n 值一般为50~60,显示碱性长石中的钠占半数以上。

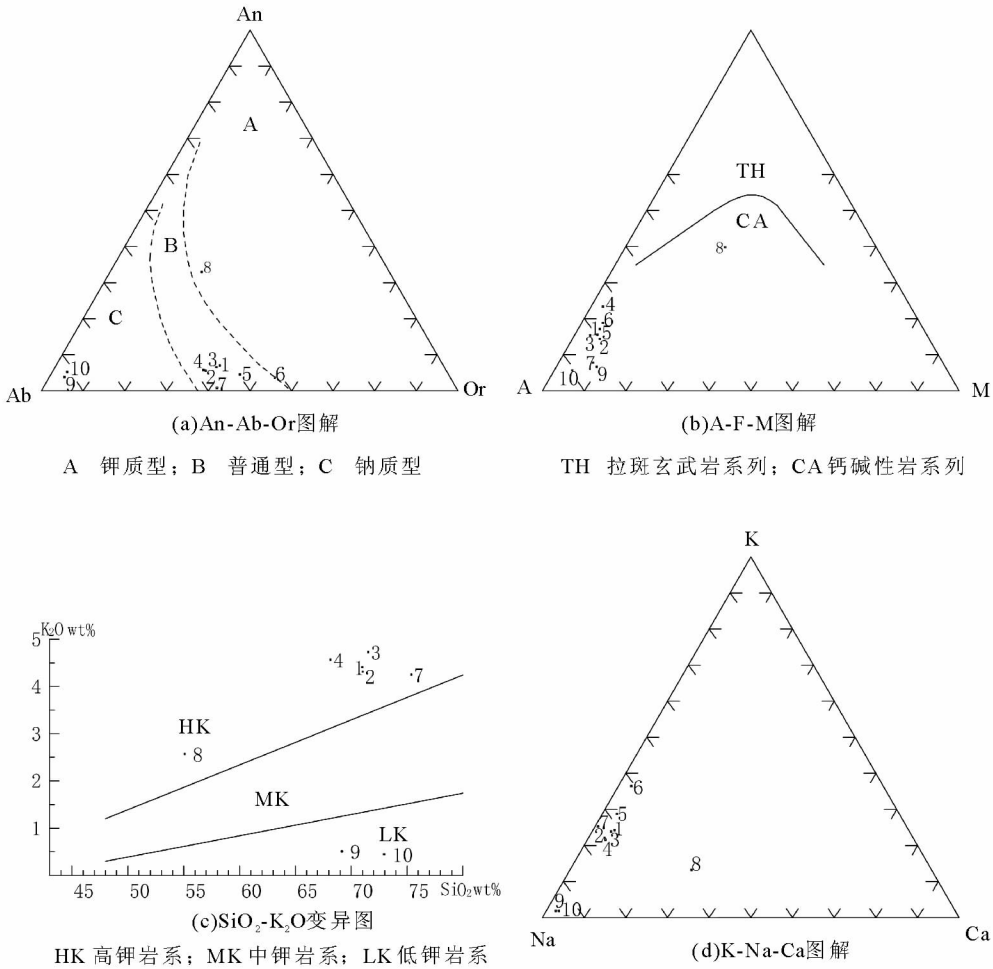
表2 岩石化学数值特征表
Tab.2 Numerical characteristics of rock chemistry

样品编号	ZK402-H1	ZK402-H2	ZK403-H1	D627-H1	D716-H1	D130-H1	ZK5002-H1	D322-GS1	ZK004-H1	ZK004-H2	
层位	K ₁ c ¹⁻¹				K ₁ c ¹⁻²	K ₁ c ¹⁻³	K ₁ oπ	δo ₅ ³⁽¹⁾	Ⅲ-1-① 号	Ⅲ-3-① 号	
岩矿石名称	英安质角砾凝灰岩	流纹斑岩	英安流纹岩	英安玢岩	英安质晶屑玻屑熔结凝灰岩	英安质熔结凝灰岩	潜石英斑岩	石英闪长岩	钠长石矿体	钠长石矿体	
扎氏数值特征	Q	24.61	24.98	25.57	18.75	25.90	33.20	34.77	2.11	19.06	25.16
	a	14.93	15.80	16.07	17.24	15.60	13.83	14.24	11.34	17.59	16.73
	C($\bar{c}$)	1.28	1.06	1.26	1.29	0.87	0.67	0.13	5.60	0.80	1.05
	b	4.17	4.32	3.05	4.41	4.91	5.38	4.38	15.60	4.06	2.09
	s	76.13	78.82	79.35	77.46	79.35	81.41	82.30	62.93	77.49	79.54
	a ¹ (c ¹)	45.16	36.92	26.09	21.54	38.35	50.00	41.79	15.58	30.30	37.50
	m ¹	17.74	27.69	21.74	12.31	20.55	17.50	29.85	42.86	39.39	31.25
	f ¹	37.10	35.39	52.17	66.15	41.10	32.50	28.36	41.56	30.30	31.25
	n	57.66	56.59	58.68	61.42	52.59	43.69	57.80	66.67	96.50	96.88
	t	0.35	0.42	0.42	0.61	0.51	0.33	0.40	1.61	0.60	0.16
	φ	22.58	18.46	39.13	58.46	30.14	22.50	11.94	16.45	9.09	12.50
	a/c	11.66	14.91	12.75	13.36	17.93	20.60	109.00	2.02	22.00	16.00
斜长石排号	13	10	12	8	8	10	2	43	3	5	
K ₂ O + Na ₂ O	8.38	8.80	9.12	9.42	8.94	8.26	8.12	6.06	9.03	8.16	
组合指数	2.51	2.76	2.92	3.53	2.90	2.31	2.04	3.05	3.12	2.22	
碱度率	3.03	3.50	3.45	3.60	2.95	2.33	3.99	1.69	3.12	3.03	
碱度	钙碱性	碱钙性	碱钙性	碱钙性	钙碱性	钙碱性	碱钙性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	
酸度	酸性	酸性	酸性	中酸性	酸性	酸性	酸性	中性	酸性	酸性	
系列	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	钙碱性	
分异指数	87.76	89.98	90.03	94.35	85.59	89.92	93.16	50.89	89.84	91.80	

从里特曼指数(碱度)看出, K_1c^{1-1} 、 K_1c^{1-2} 、 K_1c^{1-3} 火山岩部分属碱性,部分属钙碱性。从图3可知, SiO_2 -AR 图解中,当 SiO_2 质量分数为70%左右时,区内大部分火山碎屑岩位于钙碱质区,而 K_1c^{1-1} 的英安流纹岩、英安玢岩等少数岩石落入碱钙质区。从 K-Na-Ca 原子质量百分比图解可知,区内岩石碱质含量极高,且偏向钠质一端,均属高钾钙质钙碱性岩石。从 CIPW 标准矿物 An-Ab-Or

图解可知,矿区内火山碎屑岩主要属普通型钙碱性岩石^[19-20]。

综上所述,矿区内火山碎屑岩主要属酸性(以英安质为主,流纹质次之), K_1c^{1-1} 个别喷溢相岩性层属中酸性。岩石中富碱(特别富钠),同时贫钙、铁、镁,属钙碱性系列,为高钾型或普通型钙碱性岩石。



1 K_1c^{1-1} 英安质角砾凝灰岩; 2 K_1c^{1-1} 流纹斑岩; 3 K_1c^{1-1} 英安流纹岩; 4 K_1c^{1-1} 英安玢岩; 5 K_1c^{1-2} 英安质晶屑屑熔结凝灰岩; 6 K_1c^{1-3} 英安质含晶屑岩屑屑熔结凝灰岩; 7 $K_1\sigma\pi$ 潜石英斑岩; 8 $\delta o_5^{3(1)}$ 石英闪长岩; 9 Ⅲ-1-① 号钠长石岩矿体; 10 Ⅲ-3-① 号钠长石岩矿体。

图 3 黄施岙矿区岩石化学特征图解

Fig. 3 Schematic diagram of rock chemical characteristics in Huangshiao mining area

4 矿相学和结构构造特征

4.1 矿石结构

矿区矿石具变余含角砾凝灰结构、似粗面结构、变余斑状结构、微粒花岗结构、变余熔结凝灰结构等^[21]。

1) 变余含角砾凝灰结构: 常见结构之一, 肉眼可见, 在各类矿石中均有发育^[22]。凝灰岩原岩碎屑物基本已被钠长石、次生石英等交代殆尽, 原有组构俱失。但是, 矿石中仍残留少量石英、长石晶屑以及岩屑角砾等碎屑物, 角砾仍保留原有“假象”〔见图 4(a)〕。

2) 变余斑状结构: 常见结构之一, 肉眼可见, 在各类矿石中均有发育, 成矿原岩主要为流纹斑

岩、英安玢岩、石英斑岩^[23-24]。原岩斑晶及基质基本已被钠长石、次生石英等交代殆尽, 原有组构俱失。石英斑晶及少量长石斑晶等常残留, 少量斑晶仍保留原有“假象”。石英斑岩的大部分石英斑晶常残留在矿石中, 粒径为 0.50 ~ 4.00 mm, 常有熔蚀现象〔见图 4(b)〕。

3) 变余熔结凝灰结构: 常见结构之一, 肉眼可见, 在各类矿石中均有发育。凝灰岩原岩碎屑物基本已被钠长石、次生石英等交代殆尽, 原有组构俱失。残留少量石英、钾长石晶屑、少量岩屑角砾以及较多的塑性玻屑等碎屑物, 被交代塑性玻屑的原有形态仍比较清晰, 定向性排列〔见图 4(c)〕。

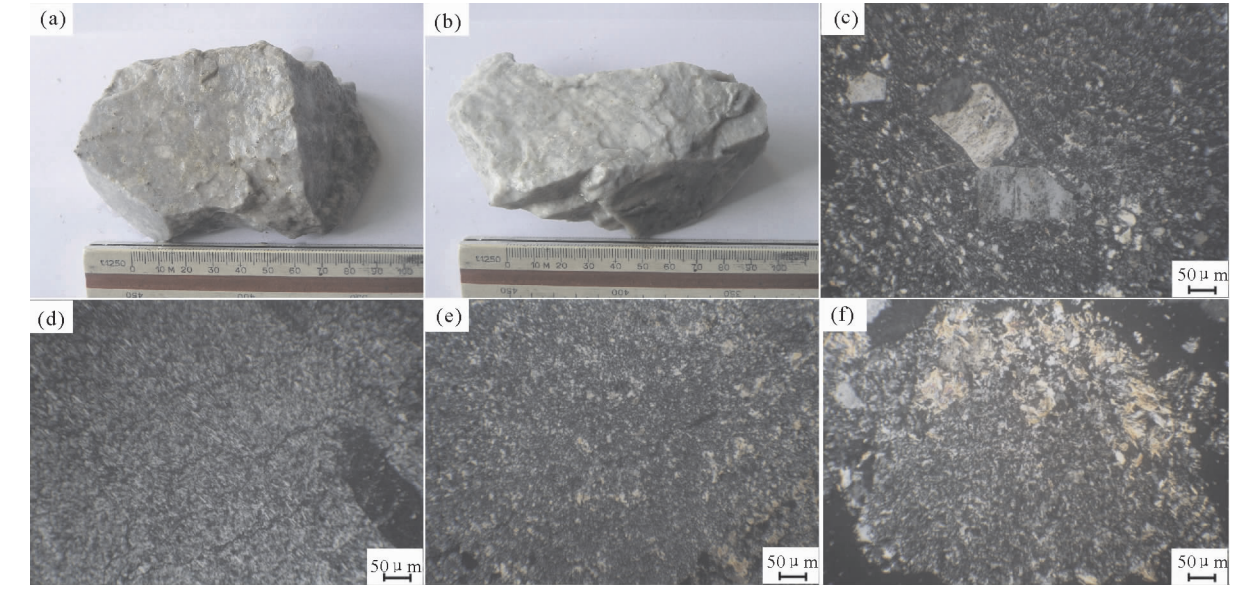
4) 似粗面结构: 基质中常见结构, 镜下可见。钠长石微晶呈细长条状分布在霏细状物质中, 长

径0.02~0.10 mm^[25],密集结晶〔见图4(d)〕,多近平行消光,但为低负突起。似粗面结构主要出现在成矿原岩为流纹斑岩或英安流纹岩的矿石中。

5)霏细-交织结构:原岩基质常见结构,镜下可见。原岩玻屑脱玻化后,呈显微晶质的形式存在,粒径0.008~0.04 mm,多为无完整结晶形态的雏晶〔见图4(e)〕,矿石中常残留部分原有的霏细状长英质矿物^[26-27]。矿石中钠长石微晶常

分布在霏细状物质中,共同组成基质,粒径0.011~0.1 mm。

6)微粒花岗结构:基质结构,镜下可见。钠长石微晶呈自形一半自形细长条状分布,与石英微晶、少量黑云母、角闪石等共生,其中黑云母呈片状晶形;微晶粒度相当〔见图4(f)〕,一般小于0.1 mm。在成矿原岩为流纹斑岩或英安流纹岩的矿石中易形成此结构。



(a)变余凝灰结构;(b)变余斑状结构;(c)变余熔结凝灰结构;(d)似粗面结构;(e)霏细-交织结构;(f)微粒花岗结构。

图4 黄施岙矿区钠长石代表性标本及显微照片
Fig. 4 Representative specimens and micrographs of albite in the Huangshiao mining area

4.2 矿石构造

1)块状构造:常见构造,肉眼可见,主要在成矿原岩为凝灰岩、石英斑岩以及少量流纹斑岩的矿石中发育〔见图5(a)〕。致密块状岩石中矿物排列一般较为杂乱,无定向性,未形成构造形态^[28]。

2)残余流纹构造:常见构造,肉眼可见,主要在成矿原岩为流纹斑岩、英安流纹岩的矿石中发育。原岩中的物质组分呈一定方向的流状排列,流纹细密,连续延伸,常自然环绕石英斑晶而行。矿石中原岩的物质组分多数被交代,但原有的流纹构造仍清晰可见〔见图4(b)、图5(b)〕。

3)残余假流纹构造:常见构造,肉眼可见,常在原岩是凝灰岩的矿石中看到。原岩中塑性玻屑等碎屑物质常沿一个方向定向分布,构成“假流纹”,其宽窄不一,常有分枝并被晶屑、岩屑角砾等粗碎屑阻断,呈断续延伸。矿石中原岩的物质

组分多数被交代,但原有的假流纹构造仍清晰可见〔见图4(c)、图5(c)〕。

4)角砾状构造:非常见构造,肉眼可见,角砾状矿石主要出现在I号矿体中。矿石破碎呈角砾状,次棱角—棱角状,大小不等,杂乱分布,常被硅质胶结^[29]。

4.3 矿石物质组分

矿区中矿石的矿物成分主要是钠长石、钾长石、石英,次为绿泥石、白云母、绢云母、黄铁矿,少量斜长石、磁铁矿、方解石、磁黄铁矿,赤铁矿、方铅矿、闪锌矿、磷灰石、锆石、萤石、阳起石、黄玉、绿帘石、白钛矿、锡石、榍石、黑云母微量^[30-32]。

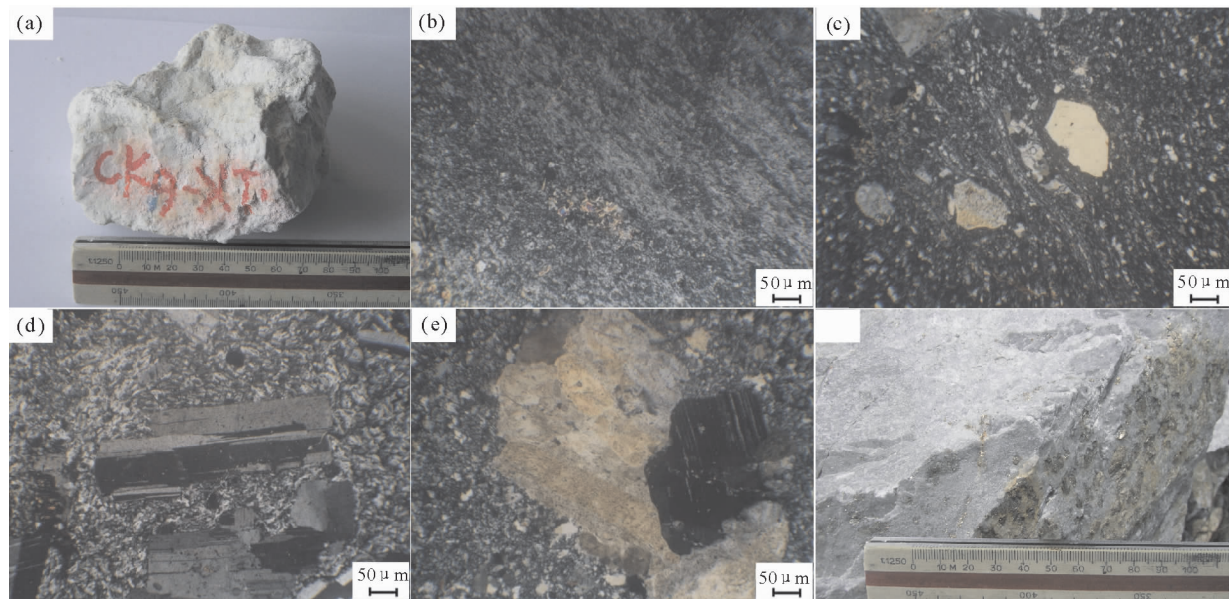
4.3.1 矿物特征

1)钠长石:最主要的矿物〔见图6(a)〕,白色,斑晶常呈半自形—自形板状〔见图5(d)〕,长径0.50~1.50 mm,斜长石(更长石类)斑晶或晶屑钠长石化具聚片双晶,偶见卡复合双晶,双晶发

育,折光率钠与树胶相近,属 An5 ~ An9 号钠长石,部分双晶有轻微扭折。绢云母化呈浅褐灰色浑浊状,稍有熔蚀。基质中钠长石微晶呈细长条状[见图 4(d)]分布在霏细状物质中,长径 0.02 ~ 0.10 mm,密集结晶,多近平行消光,但为低负突起。

2) 石英:最常见的矿物之一[见图 6(b)],仅次于钠长石,一般质量分数为 3% ~ 10%。部分石英属原岩残留斑晶或晶屑,粒径 0.5 ~ 5 mm,杂

乱分布。斑岩型矿石中的石英斑晶含量较多,呈他形细粒状,无色,透明,油脂光泽,粒径一般为 2 ~ 5 mm,有的呈 β -石英假象,有的边缘被熔蚀呈港湾状。残留晶屑,大小 0.06 ~ 1.1 mm。大部分石英由原岩脱玻化而成,呈霏细状形式存在,粒径 0.008 ~ 0.04 mm,多无完整结晶形态,属雏晶;或与钠长石微晶共生组成基质,粒径 0.011 ~ 0.1 mm[见图 5(e)]。部分石英属蚀变矿物,呈烟灰色,隐晶状交代钠长石岩,个别为细脉状充填物。



(a) 块状构造; (b) 流纹构造; (c) 假流纹构造; (d) 钠长石斑晶; (e) 低钠长石、石英斑晶; (f) 裂隙中黄铁矿。

图 5 黄施岙矿区钠长石代表性标本及镜下矿物学证据

Fig. 5 Representative specimens and microscopic mineralogical evidence of albite in the Huangshiao mining area

3) 钾长石:浅肉红色,质量分数一般 1% 左右。钾钠长石岩中,其质量分数 20% ~ 35%,少量钾长石以斑晶形式存在,可能为原岩残留斑晶和残留的晶屑[见图 5(c)],大小 0.06 ~ 1.1 mm,也可能为钾长石化过程中离溶作用生成;而基质中粒径极细的长英质矿物中主要以钠长石为主。局部可见少量钾长石细脉充填其中。

4) 黄铁矿:最常见的金属矿物之一,一般质量分数为 0.05% ~ 1%,属蚀变矿物。浅黄铜色,粉末绿黑色,部分颗粒表面具蓝紫铜色,主要呈浸染状、细脉状或细粒状零星分布,他形细粒状,少量呈立方体以及五角十二面体状,可见晶面条纹金属光泽,粒径 0.022 ~ 1.3 mm,常沿裂隙追踪充填,并与绿泥石等伴生^[33]。近地表处以及裂隙发育地段,黄铁矿氧化分解为褐铁矿,氧化强烈[见图 5(f)]。

5) 绿泥石:矿石中最常见的蚀变矿物之一[见

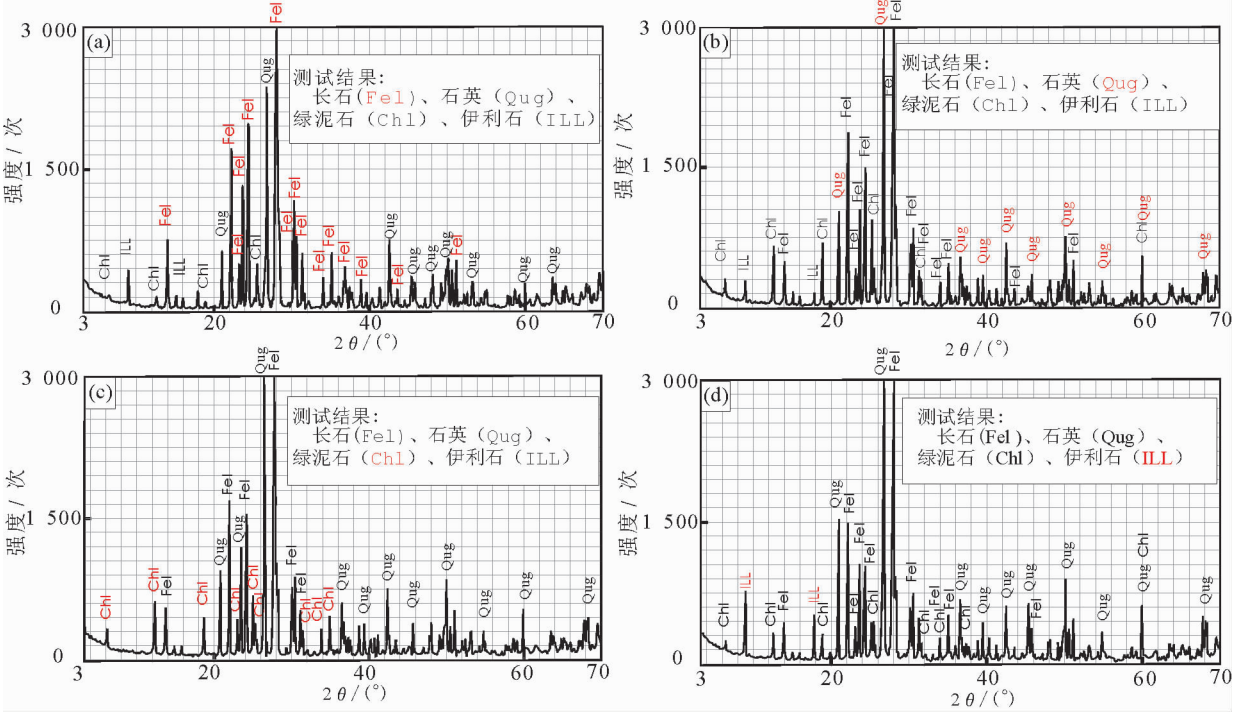
图 6(c)],多呈显微鳞片状,片径仅 0.05 mm 左右,多为裂隙充填物,有的交代黑云母和阳起石等。

6) 绢云母:最常见的蚀变矿物之一,浅草绿色,晶体极其细小,常为致密状微晶集合体,呈细斑点状分布,单晶呈显微鳞片状,片径仅 0.05 mm 左右,有的呈放射状集合体产出,主要交代原岩中的斜长石,伴有泥化^[34]。在 X 衍射图谱中常将其读为伊利石矿物[见图 6(d)]。

4.3.2 主要组分相关性分析

根据黄施岙钠长石岩矿区样品分析结果并绘制相关性图(见图 7),其主要化学组分之间相关性有如下规律: Na_2O 与 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、烧失量相关性微弱^[35];但 Na_2O 质量分数 6% ~ 8%、 Al_2O_3 质量分数 15% ~ 20% 时, Na_2O 与 Al_2O_3 呈正相关性关系,当随着 Na_2O 质量分数不断增加, Al_2O_3 质量分数也跟着升高;当 Na_2O 质量分数为 6% ~ 8%、 K_2O 质量分数通常不大于 1.5% 时,两

者呈弱负相关性关系,随着 Na_2O 质量分数的减少, K_2O 质量分数会提高。



(a) 钠长石 X 衍射图谱;(b) 石英 X 衍射图谱;(c) 绿泥石 X 衍射图谱;(d) 绢云母 X 衍射图谱。

图 6 黄施岙钠长石矿区代表性矿物 X-衍射图谱

Fig. 6 Representative mineral X ray diffraction pattern of Huangshi'ao Sodium feldspar mining area

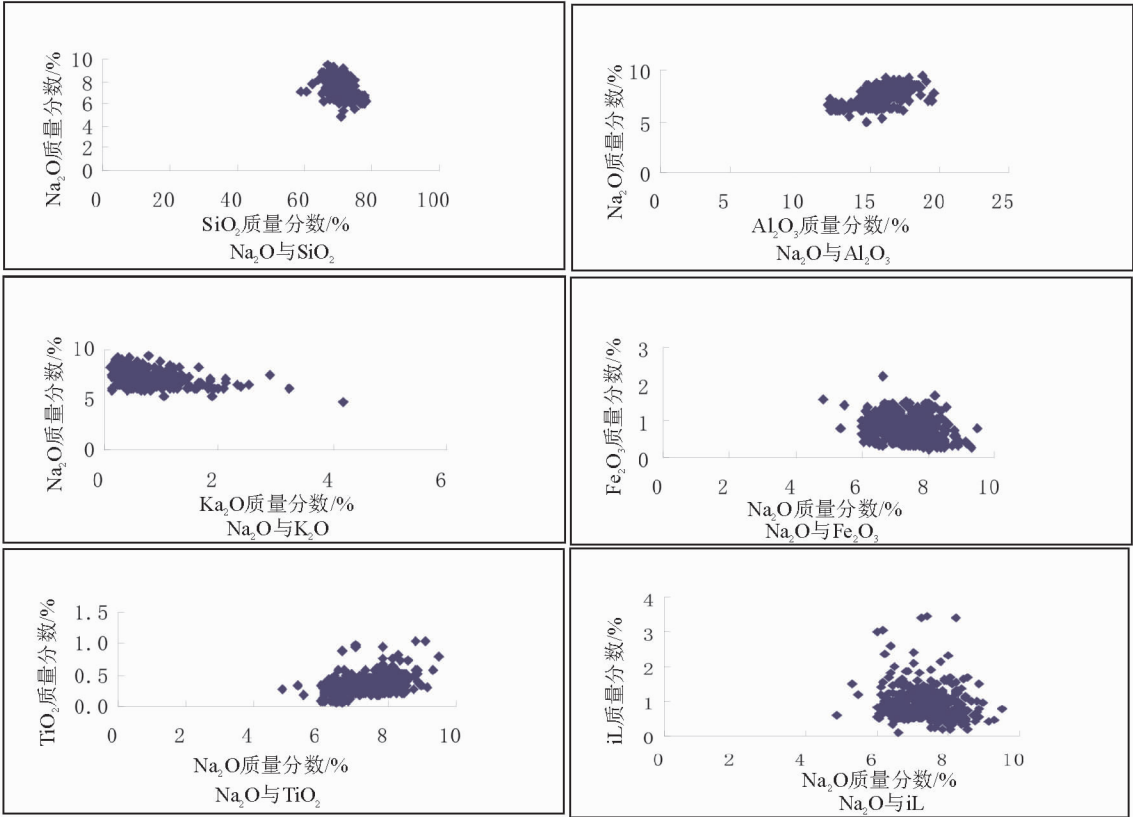


图 7 平阳县黄施岙矿区主要组份相关性图

Fig. 7 Correlation diagram of main components in Huangshiao mining area, Pingyang County

5 矿床成因分析

5.1 控矿条件

山门地区早白垩世火山岩属流纹岩-英安岩(安山岩)-安玄岩组合。其中,朝川组第一岩性段第一亚段钠值高于钾值,较易形成钠-钙长石系列矿物,易形成钠长石。山门地区火山(岩浆)活动强烈,火山喷发-侵入岩十分发育,侵入岩从早到晚主要有辉绿岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩以及钾长花岗岩等^[36],岩石属钙碱性系列,高钾或钾质型钙碱性岩石^[37]。燕山晚期第一次侵入体钠值高于钾值,较易形成钠-钙长石系列矿物,为形成钠长石岩矿床提供了热源和物源,其中石英闪长岩侵入对成矿有一定改造作用。矿区位于山门复活破火山中心,处于双尖山破火山(北侧)与南田火山穹窿(南侧)的交汇部位,主要位于南田火山穹窿内,矿区堆积了火山碎屑流相和喷溢相的产物。矿区内燕山晚期第一次岩浆活动强度强,侵入体(主要为石英闪长岩)规模大,其主要受双尖山破火山南部边缘的环状裂隙带控制。岩浆活动为成矿提供了充足的热源和物源^[38]。此外,环状裂隙和不同岩性岩相的接触薄弱带为含矿热液运移提供了良好的通道。矿区的流纹斑岩、英安流纹岩与英安质含角砾凝灰岩的接触带是导矿和容矿的有利部位,钠长石岩矿体常呈似层状产出。

5.2 矿床形成机理

由于山门复活破火山的火山岩与侵入岩均为同源岩浆的产物,即为同一火山-侵入杂岩体^[39]。根据同源性的特点,中酸性岩浆热液亦富钠。火山侵入体主要呈半环-环状分布在火山机构的边缘,故含矿岩浆热液在火山机构边缘环状裂隙带的活动强度最大。热液沿环状裂隙、不同岩相接带等薄弱部位进行运移、交代,在矿石中常见原岩中的斜长石斑晶去钙后被钠长石交代(残留聚片双晶以及环带构造),大量的钠长石与石英微晶组成霏细-交织状物质。在 K_1c^{1-1} 的英安质含角砾晶屑玻屑(熔结)凝灰岩、英安流纹(斑)岩中,其本身富钠,加之随后岩浆热液携带入大量的钠(约占 Na_2O 来源的一半以上),导致钠的富集成矿。

矿区堆积了以 K_1c^{1-1} 英安质为主的火山岩,形成一系列环状裂隙带、不同岩相接触带等导矿、容

矿构造,随后有潜石英斑岩、石英闪长岩在燕山晚期第一次岩浆侵入,在燕山晚期第一次岩浆活动中形成钠长石岩矿床。根据 Rb-Sr 同位素测试结果可知,钠长石岩矿床的成矿年龄在 $115.1 \sim 106.8 \text{ Ma}^{[40]}$ 。成矿时的溶液以弱碱性(钠)为主,随着溶液的酸度逐渐上升,钾增加速度加快,溶液由弱碱性向强碱性转变。

5.3 矿化阶段及矿物生成顺序

根据黄施岙钠长石岩矿石结构、构造以及不同矿物在手标本、镜下显示出来的穿插、交代等关系,该矿床成矿作用主要划分为 4 个阶段(见表 3)。

1) 钙钠长石-斜长石阶段:主要发生在火山(岩浆)活动的喷发阶段。岩石化学特征由中性向酸性逐步过渡,钠长石矿物在火山碎屑流相和喷溢相的各类岩石中广泛分布,在朝川组第一岩性段第一亚段(K_1c^{1-1})的英安质含角砾晶屑玻屑(熔结)凝灰岩、流纹斑岩中特别富集。此阶段形成的矿物主要有钙长石、钠长石、钾长石、石英、斜长石、黑云母、磁铁矿和钛铁矿等。

2) 钠长石-石英-绢云母阶段:主要发生在火山(岩浆)活动中与喷发作用同时或稍晚的岩浆侵入阶段,是钠长石岩矿床形成的主要阶段。由于富钠岩浆热液的交代作用,原岩发生多种围岩蚀变,主要有钠长石化、硅化、绢云母化以及局部阳起石化等^[41]。当富钠岩浆热液进入富钠火山岩时,使钠长石进一步富集成矿。此阶段形成的矿物主要有钠长石、石英,少量钾长石、绢云母以及白钛矿化等^[42]。

3) 钾钠长石-石英阶段:发生在主要成矿阶段之后。随着溶液的酸度增加,其碱度也相应增加,钾含量增多而钠含量减少,在适宜的温度、压力条件下,常产生钾钠长石化、硅化以及稍晚的白云母化、黄玉化等。在主钠长石岩矿体边缘部位常出现钾钠长石岩,长石与石英微晶常交织在一起,组成霏细状长英质物,标志着钠长石岩矿床的主成矿期已结束。

4) 黄铁矿-绿泥石-方解石阶段:其出现在钠长石岩矿床的形成过程中,成矿阶段在时空上不存在明显的分界线。在钠长石岩矿床形成之后,岩浆热液的酸度、碱度不断演化、增强,区内主要表现为钾长石化,常见钾长石细脉充填于钠长石岩矿石中,或在酸性侵入体内外接触带产生钾钠长石化^[43]。受区域性断裂构造的影响,原岩又沿

裂隙次生蚀变,形成黄铁矿、绿泥石、方解石等主要蚀变矿物^[44]。

6 矿床成因类型

综上所述,矿区钠长石岩矿床在早白垩世第二旋回的火山(岩浆)活动中形成。成矿溶液酸度以中酸性为主,成矿作用方式主要为含矿热液交代蚀变。矿床的分布与区域性深大断裂有关,直接受火山构造控制,富钠的中酸性岩类是有利的成矿原岩,火山构造边缘的环形裂隙带以及不同岩相的接触带是有利的导矿、容矿构造,富钠岩浆热液提供热源和物源。因此,矿床成因属火山(岩浆)热液蚀变型钠长石岩矿床^[2]。

7 结论

1) 矿区火山碎屑岩主要属酸性(以英安质为主,流纹质次之),个别喷溢相岩性属中酸性。岩石中富碱(特别富钠),同时贫钙、铁、镁,属钙碱性系列,为高钾型或普通型钙碱性岩石。

2) 根据矿区钠长石岩矿石的结构、构造以及不同矿物在手标本、镜下显示出来的穿插、交代等关系,该矿床成矿作用主要划分为4个阶段,矿床形成过程中各成矿阶段不存在明显界线。在钠长石岩矿床形成后,受岩浆热液酸度、碱度不断演化、增强的影响,主要表现为钾长石化,常见钾长石细脉充填于钠长石岩矿石中,或在酸性侵入体内外接触带产生钾钠长石化。

3) 矿区钠长石岩矿床在早白垩世第二旋回的火山(岩浆)活动中形成。成矿溶液酸度以中酸性为主,成矿作用方式主要为含矿热液交代蚀变。矿床的分布与区域性深大断裂有关,直接受火山构造控制,富钠的中酸性岩类是有利的成矿原岩,火山构造边缘的环形裂隙带以及不同岩相的接触带是有利的导矿、容矿构造,富钠岩浆热液提供热源和物源。矿床成因属火山(岩浆)热液蚀变型钠长石岩矿床。

参考文献

- [1] 王秀璋,梁华英. 层状钠长石岩的基本特征及成因分析[J]. 矿物岩石, 2001, 21(2): 16-21.
WANG X Z, LIANG H Y. Basic characteristics and genesis of stratiform albitite [J]. Journal of Mineral-

ogy and Petrology, 2001, 21(2): 16-21.

- [2] 梁华英,王秀璋,程景平,等. 广东大沟谷钠长石岩地球化学特征及成因研究[J]. 矿物学报, 1998, 18(1): 113-118.
LIANG H Y, WANG X Z, CHENG J P, et al. Characteristics and genesis of the Dagougu albitite in west Guangdong [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(1): 113-118.
- [3] 李强. 南秦岭富钠长石岩石的岩石学和地球化学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 199-207.
LI Q. Petrology and geochemistry of albite-rich rocks in South Qinling [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(2): 199-207.
- [4] 刘淑文,薛春纪,李强,等. 秦岭旬阳盆地古生界钠长石岩岩石学和地球化学特征[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 424-433.
LIU S W, XUE C J, LI Q, et al. Geology and geochemistry of Lower Paleozoic albitite in the Xunyang Basin, South Qinling [J]. Geology in China, 2005, 32(3): 424-433.
- [5] 沈立成,刘洁,张萌,等. 四川会理小青山地区钠长(石)岩成因初探[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(3): 60-68.
SHEN L C, LIU J, ZHANG M, et al. The preliminary study of the (albite) albitite from the Xiaoqingshan region Huili Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(3): 60-68.
- [6] 王静,施光海,王君,等. 缅甸硬玉岩地区的热液型钠长石岩[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1450-1460.
WANG J, SHI G H, WANG J, et al. Hydrothermal albitite from the Myanmar jadeite deposit [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(4): 1450-1460.
- [7] 刘泽,陈振宇,王成辉. 赣西北狮子岭花岗岩型锂-钽矿床的矿物学特征及成矿机制[J]. 岩石学报, 2023, 39(7): 2045-2062.
LIU Z, CHEN Z Y, WANG C H. Mineralogical characteristics and metallogenic mechanism of the Shiziling Li-Ta deposit in northwestern Jiangxi [J]. Acta Petrologica Sinica, 2023, 39(7): 2045-2062.
- [8] 周立冰,林忠信,高原. 浙江仕阳一百丈地区侵入岩岩浆演化特征[J]. 吉林地质, 2015, 34(1): 30-35.
ZHOU L B, LIN Z X, GAO Y. Magmatic evolution of the intrusive rocks in the Shiyang-Baizhang area, Zhejiang Province [J]. Jilin Geology, 2015, 34(1): 30-35.
- [9] 伍群,王刚,牛霆,等. 潮水盆地西部构造演化与铀成矿作用研究[J]. 铀矿地质, 2022, 38(6): 1070-1083.

- WU Q, WANG G, NIU T, et al. Structural evolution and uranium metallogenetic process in Western Chaoshui Basin [J]. *Uranium Geology*, 2022, 38(6): 1070-1083.
- [10] 郑俊,朱赖民,姜航,等. 南秦岭柞水—山阳矿集区印支期和燕山期花岗岩对比研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2015, 34(6): 1155-1172.
- ZHENG J, ZHU L M, JIANG H, et al. A comparative study on the Indosinian and Yanshanian granites of the Zhashui-Shanyang ore cluster district in the Southern Qinling, China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2015, 34(6): 1155-1172.
- [11] 罗炎水,叶泽富. 浙江省瑞安市白门钠长石矿床地质特征及成因探讨[J]. *浙江地质*, 2002, 18(1): 34-40.
- LUO Y S, YE Z F. Geological feature and genesis of the baimen albite deposit in Rui'an City [J]. *Zhejiang Geology*, 2002, 18(1): 34-40.
- [12] 王强,沈利军,肖倩茹,等. 滇西哀牢山成矿带干塘子金矿点的发现及找矿潜力[J]. *科技通报*, 2018, 34(7): 38-45.
- WANG Q, SHEN L J, XIAO Q R, et al. Discovery and its exploration prospects of Gantangzi gold deposit in Ailaoshan Metallogenic Belt, Western Yunnan [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2018, 34(7): 38-45.
- [13] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2003, 33(4): 449-456.
- WANG P J, CHI Y L, LIU W Z, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: Classification characteristics and reservoir significance [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2003, 33(4): 449-456.
- [14] 傅树超,卢清地. 陆相火山岩区填图方法研究新进展: “火山构造-岩性岩相-火山地层”填图方法[J]. *地质通报*, 2010, 29(11): 1640-1648.
- FU S C, LU Q D. New progress of mapping method in the nonmarine volcanic terrain: “volcanic construction-lithologic rock facies-volcanic strata” mapping method [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(11): 1640-1648.
- [15] 宋立忠,赵泽辉,焦贵浩,等. 松辽盆地早白垩世火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(4): 1182-1194.
- SONG L Z, ZHAO Z H, JIAO G H, et al. Geochemical characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks from Songliao Basin, Northeast China, and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(4): 1182-1194.
- [16] 鲍佩声,苏犁,翟庆国,等. 新疆巴楚地区金伯利质角砾橄榄岩物质组成及含矿性研究[J]. *地质学报*, 2009, 83(9): 1276-1301.
- BAO P S, SU L, ZHAI Q G, et al. Compositions of the kimberlitic brecciated peridotite in the Bachu Area Xijiang and its ore-bearing potentialities [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(9): 1276-1301.
- [17] 黄杰,覃小锋,王宗起,等. 陕南凤凰岭南缘变质镁铁质-超镁铁质侵入岩矿物学特征: 对 Fe-Ti 成矿作用的指示[J]. *地质通报*, 2015, 34(3): 508-522.
- HUANG J, QIN X F, WANG Z Q, et al. Mineralogical characteristics of the meta-mafic-ultra-mafic intrusive rocks on the southern margin of Fenghuangling, southern Shaanxi: An indicator of Fe-Ti metallogenesis [J]. *Geological Bulletin*, 2015, 34(3): 508-522.
- [18] 王玉往,王京彬,王莉娟,等. 新疆尾亚含矿岩体锆石 U-Pb 年龄、Sr-Nd 同位素组成及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 781-792.
- WANG Y W, WANG J B, WANG L J, et al. Zircon U-Pb age, Sr-Nd isotope geochemistry and geological significances of the Weiya mafic-ultramafic complex, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 781-792.
- [19] 闫涛,辛后田,卫彦升,等. 对内蒙古北山造山带洋-陆转换认识的新思考: 来自大红山泥盆纪弧花岗岩的证据[J]. *地质通报*, 2020, 39(9): 1341-1366.
- YAN T, XIN H T, WEI Y S, et al. A new thinking on the process of ocean-continent transition in Beishan orogenic belt of Inner Mongolia: Evidence from the Devonian arc granite in the south of Dahong Mountain [J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(9): 1341-1366.
- [20] 杨五宝,闫涛,张永,等. 内蒙古北山造山带小红山 TTG 岩石锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其对百合山构造带性质的制约[J]. *地质通报*, 2020, 39(9): 1404-1421.
- YANG W B, YAN T, ZHANG Y, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of TTG rocks in Xiaohongshan area of the Beishan orogenic belt, Inner Mongolia, and their constraints on the properties of the Baihe Mountain tectonic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(9): 1404-1421.
- [21] 叶泽富,袁静. 浙江平阳黄施岙钠长石岩特征和利用前景[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2016(4): 2-5.
- YE Z F, YUAN J. Comprehensive characteristics and application prospects of Huangshiao albitite ore in

- Pingyang, Zhejiang [J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2016(4): 2-5.
- [22] 路彦明,李汉光,陈勇敢,等. 甘肃岷县寨上金矿地质地球化学特征及成因[J]. 地质与勘探,2006,42(4):25-31.
- LU Y M, LI H G, CHEN Y G, et al. Geological and geochemical features and origin of Zhaishang gold deposit in the Minxian County, Gansu [J]. Geology and Exploration, 2006, 42(4): 25-31.
- [23] 杨富全,吴玉峰,杨俊杰,等. 新疆阿尔泰阿舍勒矿集区铜多金属矿床模型[J]. 大地构造与成矿学,2016,40(4):701-715.
- YANG F Q, WU Y F, YANG J J, et al. Metallogenic model for VMS type polymetallic copper deposits in the Ashele ore dense district of Altay, Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40(4): 701-715.
- [24] 杨富全,毛景文,夏浩东,等. 新疆北部古生代浅成低温热液型金矿特征及其地球动力学背景[J]. 矿床地质,2005,24(3):242-263.
- YANG F Q, MAO J W, XIA H D, et al. Geological characteristics and tectonic settings of Paleozoic epithermal gold deposits in northern Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 242-263.
- [25] 朱伟,郑婧,刘新会,等. 陕西镇坪双河口钨矿床地质地球化学特征与成因探讨[J]. 地质与勘探,2018,54(5):929-939.
- ZHU W, ZHENG Q, LIU X H, et al. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Shuanghekou niobium deposit in South Qinling, Shaanxi [J]. Geology and Exploration, 2018, 54(5): 929-939.
- [26] 刘妍,杨岳清. 内蒙古朱拉扎嘎金矿火山岩岩(矿)相学及成矿意义[J]. 矿床地质,2002,21(3):304-310.
- LIU Y, YANG Y Q. Facieology and mineragraphy of volcanic rocks from Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia and their significance [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(3): 304-310.
- [27] 刘亚楠,徐永波,彭峰,等. 新疆哈密地区新月地金矿地质、地球化学特征及构造背景[J]. 新疆地质,2019,37(4):449-456.
- LIU Y N, XU Y B, PENG F, et al. Geological and geochemical characteristics and tectonic setting of the Xinyuedi gold deposit, Hami, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2019, 37(4): 449-456.
- [28] 高原,杨仲可,吕豫辉,等. 浙江青田县半寮萤石矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿产与地质,2015,29(5):693-697.
- GAO Y, YANG Z K, LYU Y H, et al. Geological characteristics and genesis discussion of Banliao fluorite deposit, Qingtian County in Zhejiang Province [J]. Mineral Resources and Geology, 2015, 29(5): 693-697.
- [29] 左昌虎,屈金宝,左中勇,等. 湖南常宁康家湾铅锌矿床角砾岩成因及其与成矿的关系[J]. 地质与勘探,2016,52(2): 251-260.
- ZUO C H, QU J B, ZUO Z Y, et al. Genesis of breccia and its relationship with mineralization in the Kangjiawan lead-zinc deposit of Changning County, Hunan Province [J]. Geology and Exploration, 2016, 52(2): 251-260.
- [30] 王盘喜,包民伟. 我国钽铌等稀有金属矿概况及找矿启示[J]. 金属矿山,2015(6): 92-97.
- WANG P X, BAO M W. General situation and prospecting revelation of tantalum-niobium rare metal deposits in China [J]. Metal Mines, 2015(6): 92-97.
- [31] 韩宁,江思宏,白大明,等. 东欧南部阿普塞尼—巴纳特—蒂莫克—斯雷德诺戈里斯基 (ABTS) 铜-金成矿带地质特征[J]. 地质通报,2019,38(11): 1920-1937.
- HAN N, JIANG S H, BAI D M, et al. Geological characteristics and research progress of Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie Cu-Au metallogenic belt in South-east Europe [J]. Geological Bulletin of China, 2019, 38(11): 1920-1937.
- [32] 郝宇杰,任云生,史雨凡,等. 黑龙江省完达山地区河口林场斑岩型锡多金属矿床花岗斑岩的形成年代、岩石成因及构造背景[J]. 岩石学报,2020,36(3): 837-855.
- HAO Y J, REN Y S, SHI Y F, et al. Geochronology, petrogenesis and tectonic setting of the granite porphyry related to Hekoulinchang tin polymetallic deposit in Wandashan Area, Heilongjiang Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(3): 837-855.
- [33] 李忠满,许宗宪,历学凯. 内蒙古勒马戈山铅锌矿 I 号矿体地质特征及找矿标志[J]. 地质找矿论丛,2013,28(4): 559-564.
- LI Z M, XU Z X, LI X K. Geological characteristics of ore body I in Lemageshan Pb-Zn deposit in Inner Mongolia and the ore prospecting marks [J]. Contributions to Geology and Mineral Research, 2013, 28(4): 559-564.
- [34] 段天绪,温守钦,周鹏,等. 内蒙古东珙铅锌银矿床质量平衡计算与围岩蚀变特征[J]. 中南大学学报(自然科学版),2018,49(8): 1991-2002.
- DUAN T X, WEN S Q, ZHOU P, et al. Wall rock al-

- teration characteristics and mass balance calculation of Dongjun Pb-Zn-Ag deposit in Inner Mongolia [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2018, 49(8): 1991-2002.
- [35] 叶泽富, 欧邦国, 王长江. 浙东南地区钠长石岩特征及其利用前景[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2008(5): 10-12.
- YE Z F, OU B G, WANG C J. Characteristics and utilization prospect of albitite in the Area of the South-east in Zhejiang Province [J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2008(5): 10-12.
- [36] 徐晓春, 左续, 何俊, 等. 安徽铜陵地区晚中生代早、晚两期侵入岩的地质和地球化学特征[J]. 高校地质学报, 2018, 24(3): 325-339.
- XU X C, ZUO X, HE J, et al. Geological and geochemical characteristics of the intrusive rocks of early and late stages during Late Mesozoic in Tongling District, Anhui Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2018, 24(3): 325-339.
- [37] 孙健, 孙东亮. 青海省亚马托侵入岩地球化学特征及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的构造意义[J]. 地质力学学报, 2017, 23(4): 567-576.
- SUN J, SUN D L. The geochemical characteristics and tectonic significance of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Yamato intrusive rocks, Qinghai Province [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23(4): 567-576.
- [38] 叶小春, 吴春章, 聂国永, 等. 青海东昆仑克特贡玛地区银多金属矿地质特征及找矿前景[J]. 贵州地质, 2019, 36(4): 324-334.
- YE X C, WU C Z, NIE G Y, et al. Geological characteristics and prospecting potential of the ketegongma Silver-Polymetallic deposit in Eastern Kunlun, Qinghai [J]. Guizhou Geology, 2019, 36(4): 324-334.
- [39] 陈璟元, 杨进辉, 张吉衡, 等. 挥发份对高硅岩浆演化趋势的制约: 以东南沿海白垩纪晚期花岗岩类岩石为例[J]. 岩石学报, 2022, 38(5): 1460-1480.
- CHEN J Y, YANG J H, ZHANG J H, et al. The role of volatile in the evolution of high silicic magma: Insights from the Late Cretaceous granitoids in the coastal area of southeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 38(5): 1460-1480.
- [40] 朱安庆, 张永山, 陆祖达, 等. 浙江省金属非金属矿床成矿系列和成矿区带研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [41] 李诺, 陈衍景, 张辉, 等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 186-198.
- LI N, CHEN Y J, ZHANG H, et al. Molybdenum deposits in East Qinling [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 186-198.
- [42] 李莎莎, 陈华勇, 汪礼明. 关于建立斑岩型铜矿床勘查标识体系的初步探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2019, 43(5): 991-1009.
- LI S S, CHEN H Y, WANG L M. Initial approach to establish the identification criteria system for exploration of porphyry Cu deposits [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2019, 43(5): 991-1009.
- [43] 李随民, 焦雪红, 韩玉丑, 等. 冀北两种类型钼矿床地质特征与控矿因素差异性分析[J]. 地球学报, 2023, 44(6): 967-982.
- LI S M, JIAO X H, HAN Y C, et al. Difference analysis of the geological characteristics and Ore-controlling factors of two types of molybdenum deposits in Northern Hebei Province [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2023, 44(6): 967-982.
- [44] 刘凡, 王加昇, 于文修, 等. 滇东南木利梯矿床 M-HREE 富集型方解石显微分析与成因初探[J]. 地球化学, 2023, 52(3): 383-395.
- LIU F, WANG J S, YU W X, et al. Microscopic and genesis analyses of M-HREE enriched calcite in Muli antimony deposit, Southeastern Yunnan Province [J]. Geochimica, 2023, 52(3): 383-395.

(编辑 雷雁林)