

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.004

玲珑金矿田48号矿脉蚀变钾长石稳定结构态温度估算及其找矿意义

张腾飞¹,王翠芝¹,吕古贤²,张宝林³,焦建刚⁴,刘维民⁵,
杨桂彬⁵,常增沛⁶,严千豪¹,陈振¹

(1.福州大学紫金矿业学院,福州 350108;
2.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;
3.中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029;
4.长安大学,西安 710054;
5.山东黄金矿业(玲珑)有限公司,山东 招远 265406;
6.山东正元地球物理信息技术有限公司,济南 250101)

摘要: 胶东大开头金矿区位于玲珑断裂和破头青断裂夹持区。48号脉位于玲珑金矿田大开头矿区的西南侧,金矿床为石英脉型—蚀变岩型,围岩有二长花岗岩、钾化花岗岩、绢英岩化花岗岩、绢英岩、黄铁绢英岩、煌斑岩等。本文以玲珑金矿田大开头矿区48号脉矿体两侧钾化花岗岩中钾长石为研究对象,通过X射线粉晶衍射、电子探针等方法研究钾长石晶体结构态及其类别、形成温度与稳定结构态温度,研究结果表明:①48号脉矿体中钾长石应为最大微斜长石;②矿脉两侧钾化蚀变时的温度为410℃~470℃,稳定结构态温度为244℃~274.6℃;③钾长石形成稳定结构态的热液温度环境有利于金的沉淀富集,该类钾长石是深部找矿的良好标志。

关键词: 钾长石化;二长石温度计;长石结构态;玲珑金矿田;山东省

中图分类号: P618.51 文献标识码: A

0 引言

钾是地壳中分布最广的造岩元素之一,在地球化学性质上也是最活泼的碱金属元素之一^[1]。钾和钠的交代作用称碱交代作用,它们在成矿溶液中对许多成矿元素具有强烈的活化转移能力^[2]。钾长石化是一种钾质交代作用,发生钾长石化的温度区间很广泛,高温流体中的钾能够广泛地交代各种岩石和矿物^[1]。钾长石化在铜、金、铀、钼等热液矿床中作为一种重要特征的交代蚀变,与流体性质及矿床

成因有着密切的联系^[3]。前人探讨在金矿床中钾化与成矿关系时,往往集中于钾长石成分及其平衡温度^[4-9],对于钾长石结构态特征及其稳定结构温度估算研究较少。玲珑金矿田中矿脉两侧花岗岩发育强烈的钾长石化,对于玲珑金矿田中矿脉两侧的钾化花岗岩中的钾长石开展研究有助于探究钾长石结构态与成矿关系。

本文以玲珑金矿田大开头矿区48号脉为研究对象,利用X射线粉晶衍射、电子探针等实验手段,研究48号脉矿体钾化花岗岩中钾长石晶体结构态、钾长石类别、钾长石化学成分特征以及钾长石形成温度与稳定结构态温度,旨在进一步了解钾长石结

收稿日期: 2020-07-27; 责任编辑: 沈名星

基金项目: 山东黄金矿业(玲珑)有限公司科研项目“玲珑金矿田构造蚀变岩成矿规律和深部预测研究”(编号:LLYY-2019-001)和校企合作项目“钾长石的结构态与平衡温度研究”(编号:BM-2019-03)联合资助。

作者简介: 张腾飞(1995—),男,硕士研究生,研究方向为矿床成矿规律与成矿预测。E-mail:674560174@qq.com

通信作者: 王翠芝(1965—),女,教授,博士,硕士生导师,从事矿床成矿规律与矿产开发利用、成因矿物学及流体包裹体研究。E-mail:wcuizhi@163.com

构态与成矿关系,以及成矿地质环境。

1 成矿地质背景

玲珑矿田位于胶东西北部,招掖成矿带的东北部,地处华夏构造系第二隆起区的北部,南邻栖霞复背斜,西靠郯庐大断裂。区域上分布着玲珑金矿、焦家金矿、三山岛金矿等特大型金矿床,形成了著名的招掖成矿带(图1)。

招掖成矿带主要由NE向的断裂带控制,主要包括三山岛—仓上断裂带、新城—焦家—莱州断裂带、招平断裂带,这几个断裂带形成于印支—燕山期,与区内形成较早的EW向构造带呈切割关系。在两个构造带的切割部位,发育着一系列的次级断裂,是区域内最主要的控矿和容矿构造。区内广泛出露玲珑花岗岩,另有少量的郭家岭花岗岩、滦家河花岗岩及NNE向的脉岩(包括早期的闪长玢岩脉和晚期的煌斑岩脉)。其中,玲珑花岗岩内部偶见胶东群残留体,岩性为黑云母片麻岩^[10-11]。钾化花岗岩是金矿化围岩。

2 矿床地质特征

大开头矿区位于玲珑断裂和破头青断裂夹持区。48号脉位于玲珑矿田大开头矿区的西南侧,地表出露,走向呈NE方向(图2)。出露地层主要为太古宙胶东群斜长片麻岩、黑云变粒岩和斜长角闪岩等。岩浆岩大面积发育,主要为中粗粒黑云母花岗岩,是矿区的主要围岩。

48号脉整体主要由48号脉及其支脉组成。矿体分布在8线—97线间,最大延长1752 m,赋存标高106~499 m,总体走向45°~65°,倾向NW,倾角52°~70°。矿体形态简单,呈脉状,沿走向、倾向均呈舒缓波状,局部地段具膨大、狭缩的特点(图3)。

48号脉为石英脉型—蚀变岩型金矿脉,矿体围岩有二长花岗岩、钾化花岗岩、绢英岩化钾化花岗岩、绢英岩化花岗岩、绢英岩、黄铁绢英岩、煌斑岩等(图4)。矿体围岩与矿体呈渐变过渡接触关系,近矿围岩的矿物成分(包括所含有用、有益、有害组分)及结构、构造与矿体基本相同,只是矿化蚀变强度减弱,金属硫化物含量及金品位减少。

在本矿区,钾化蚀变带发育在未蚀变花岗岩带与绢英岩化带之间,在一个完整的蚀变带中钾化带所占面积较大且长度较长,钾化的主要产出形式为脉状构造(图5a、图5b)、大面积的面状构造(图5c)及斑点状构造(图5d)。

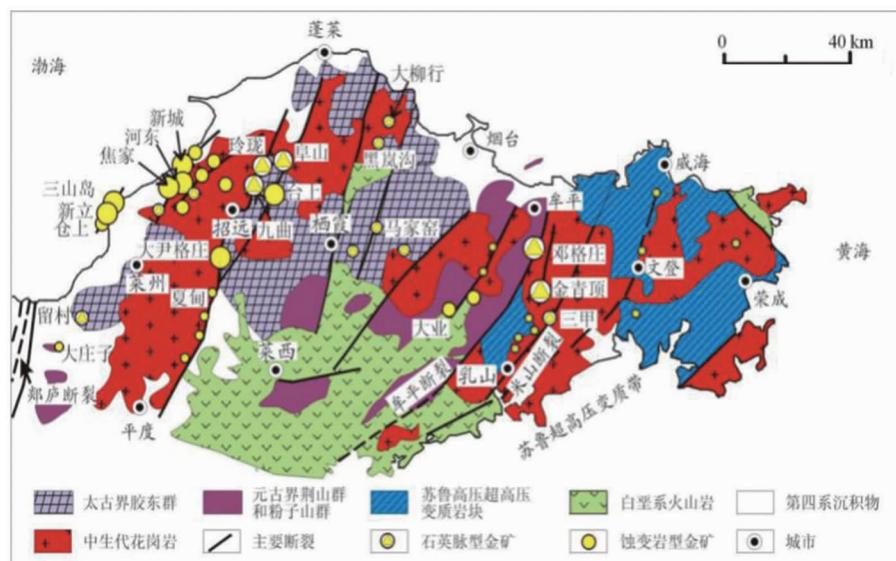


图1 胶东区域地质及矿区位置图(据文献[3],修改)

Fig. 1 Regional geology and mining area location map of Shandong peninsula

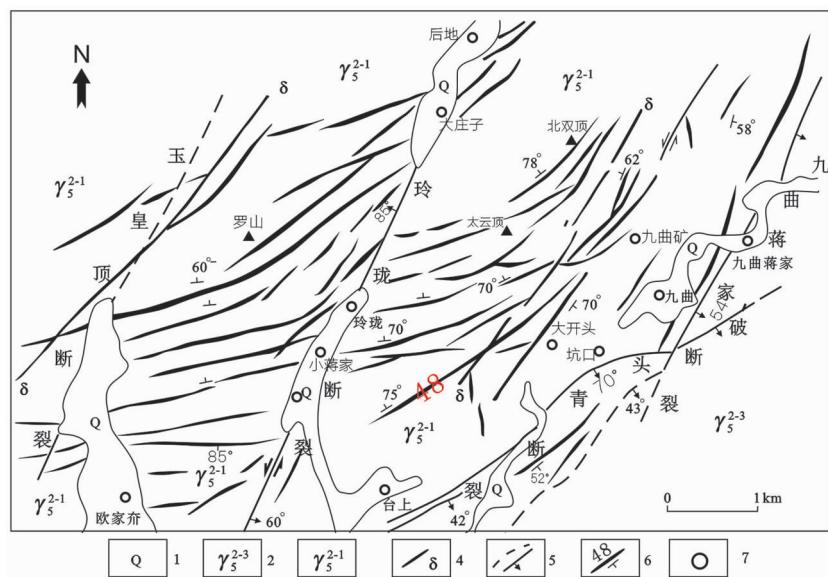


图 2 玲珑金矿田地质简图(据文献[3],修改)

Fig. 2 Geological map of Linglong gold field

1. 第四系; 2. 栗家河型中粗粒二长花岗岩; 3. 玲珑型似片麻状黑云母花岗岩;
 4. 中基性岩脉; 5. 断裂及推测断裂; 6. 矿脉编号及其产状; 7. 分矿或居民点

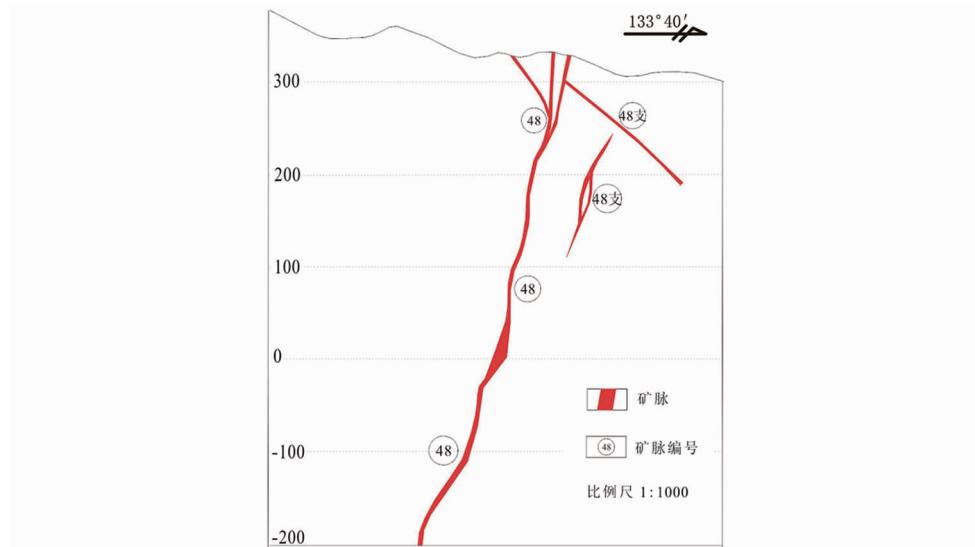


图 3 玲珑金矿田 84 勘探线 48 号矿脉剖面图

Fig. 3 Section of No. 84 exploration line in Linglong gold field



图 4 48 号矿脉—620 中段矿体蚀变分带素描图

Fig. 4 Alteration zoning of No. 48 vein at level -620 m

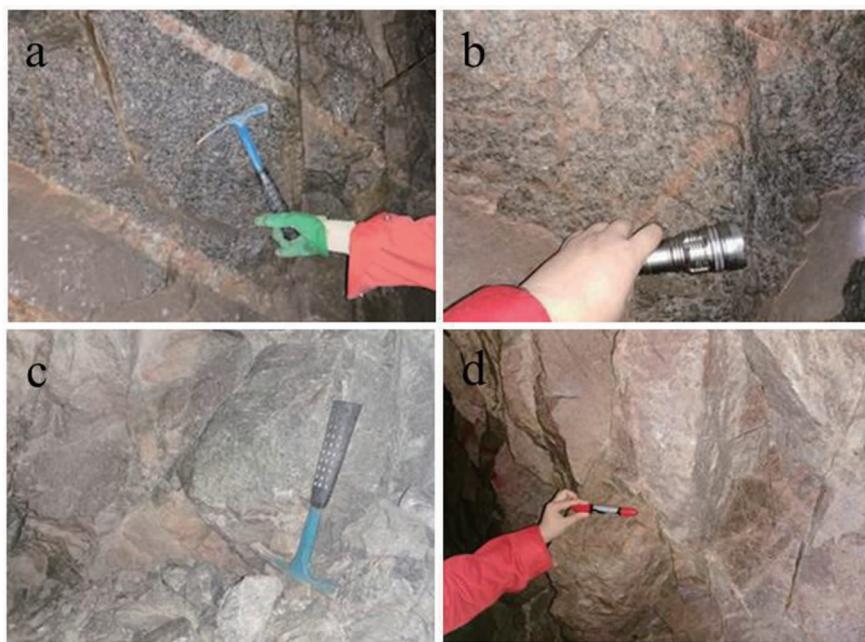


图 5 钾长石化野外典型露头

Fig. 5 Typical outcrop of potassic feldspar in the field

3 样品采集及分析方法

3.1 样品采集和制备

本次分析样品采自玲珑金矿田大开头矿段—620 中段,采集对象为 48 号脉矿体钾化花岗岩中钾长石。

选取不同构造、结构的代表性样品送北京地质博物馆标本厂制作光薄片,在矿相显微镜下进行前期特征观察,并选取部分具典型结构特征的样品准备进行电子探针测试。将样品粗粉碎,在矿相显微镜下挑取钾长石单矿物;将矿样中钾长石用玛瑙研钵研磨至 200 目,准备进行 X 射线粉晶衍射分析。

3.1 测试工作和方法

X 射线粉晶衍射分析工作由福州大学紫金矿业学院 XRD 实验室完成,所使用的 X 射线粉晶衍射实验仪器为德国 BRUKER 公司生产的 D8 Advance 型 X 射线衍射仪。仪器技术参数:2θ 角度范围— 110° ~ 162° ,角度重现性 $+/-0.0001^{\circ}$,最小可控步长 0.0001° ,二维探测器计数矩阵 256×256 ,像素大小 $55 \mu\text{m} \times 55 \mu\text{m}$,静态扫描范围 6.5° ,99% 线性范围 1×10^{10} cps,最小背景 $\leqslant 1$ cps,整机重现性 $\pm 0.003^{\circ}$,分辨率 FWHM 0.028° ;Anton Paar 高温

样品台 25°C — 1200°C ,控温精度 $+/-0.1^{\circ}\text{C}$;微区大小 $0.2 \text{ mm}/0.3 \text{ mm}/0.5 \text{ mm}$ 。

电子探针实验仪器为电子探针波谱分析仪及扫描电镜,仪器型号为日本 JEOL 的 JXA-8230 电子探针显微分析仪。实验条件:管压 15 kV ,管流 20 nA ,束斑直径 $8 \mu\text{m}$ 。本次主要对钾长石的 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 Na_2O 、 FeO 、 MgO 、 Al_2O_3 等 11 种化学成分进行了测试。

4 测试结果与讨论

4.1 X 射线粉晶衍射分析

对玲珑矿田 48 号脉—620 中段矿体一侧钾化花岗岩进行的 X 射线粉晶衍射分析结果见图 6 所示。通过与 ICDD 卡片库中标准卡片对比,所测样品主要为钾长石含少量斜长石和石英。

有研究^[12-15]表明,钾长石结构状态主要由 Al 在四个非等效位置即 T1(o)、T1(m)、T2(o)、T2(m) 上的分布所决定。在地质作用过程中,结构 T2(o)、T2(m) 位置上的 Al 分别向 T1(o)、T1(m) 位置迁移,当 Al 全部集中并平均分布在 T1(o)、T1(m),这个过程称为单斜有序化,而当 T1(m) 中的 Al 向 T1(o) 中转移时,结构由单斜对称转变为三斜对称,有序度升高,X 射线图谱中表现为[131]分裂为[131]

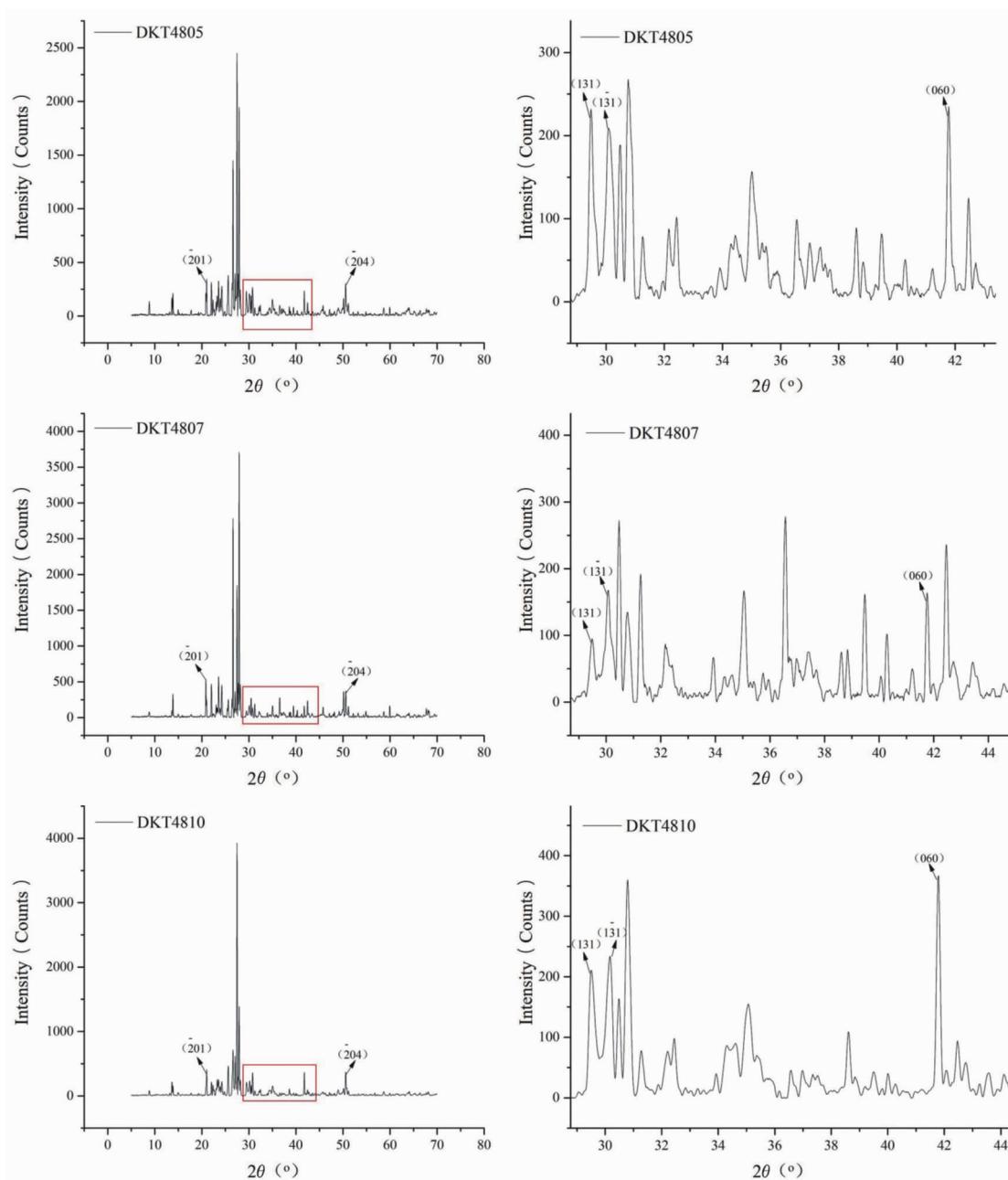


图6 48号矿脉蚀变带钾长石X射线粉晶衍射图

Fig. 6 X-ray powder diffraction pattern of potassic feldspar in No. 48 vein

和 $[\bar{1}31]$ 两个衍射峰^[12]。钾长石中Al在四个非等效位置的占位率及其结构状态可由以下公式进行计算^[13-15]:

$$Sm = [14.267 + 2\theta(060) - 1.098 \times 2\theta(\bar{2}04)] / 0.57 \quad (1)$$

$$\Delta = 12.5 \times [d(131) - d(\bar{1}31)] \quad (2)$$

$$\eta = 6.68 \times 2\theta(060) - 7.44 \times 2\theta(\bar{2}04) + 99.182 \quad (3)$$

$$Or = 2031.77 - 92.19 \times 2\theta(201) \quad (4)$$

$$T1(o) + T1(m) = 13.015 + 0.695 \times 2\theta(060) -$$

$$0.813 \times 2\theta(\bar{2}04) \quad (5)$$

以上公式中,Sm为有序度,Δ为三斜度,η为结构参数,Or为钾长石数/%,T1(o)+T1(m)为Al在晶体中的占位率。

本次研究使用MIDjade软件对衍射数据进行处理,并通过(1)–(5)式计算钾长石结构状态特征值,计算结果见表1。

从表1可知,样品的三斜度在0.699~0.817之间,有序度在0.830~0.907之间,其有序度、三斜度

表 1 X 射线粉晶衍射特征性数据及结构态特征值

Table 1 Characteristic data and eigenvalues of X ray powder diffraction

样品	$2\theta(021)$	$2\theta(060)$	$2\theta(204)$	$2\theta(131)$	$d(131)$	$2\theta(131)$	$d(131)$
DKT4805	21.032	41.777	50.571	29.484	3.027	30.070	2.969
DKT4807	21.015	41.757	50.593	29.502	3.025	30.071	2.969
DKT4810	21.033	41.779	50.590	29.505	3.025	30.172	2.960
样品	三斜度(Δ)	有序度(Sm)	结构参数(η)	正长石数 Or/%	斜长石数 Ab/%	$T1(o) + T1(m)$	温度/℃
DKT4805	0.722	0.907	2.004	92.830	7.170	0.936	244
DKT4807	0.699	0.830	1.707	94.397	5.603	0.904	274.6
DKT4810	0.817	0.874	1.876	92.738	7.262	0.922	258

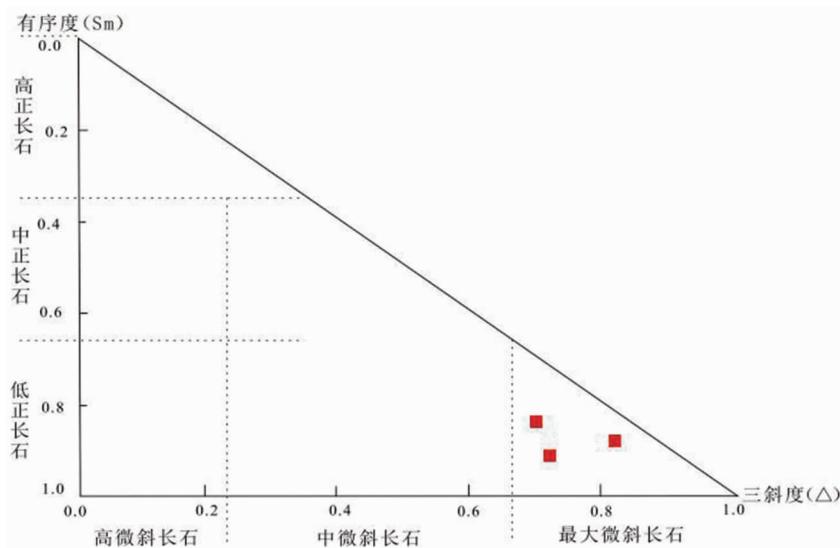


图 7 钾长石结构状态投图(据文献[16],修改)

Fig. 7 Potassium feldspar structure state diagram

均较高,X 射线衍射图像中[131]分裂为[131]和[131]两个衍射峰,同时通过投图(图 7)表明 48 号脉蚀变带中钾长石为三斜对称的最大微斜长石。

长石的结构态受多种因素影响,一般认为其受温度的影响最大^[15,17]。大量实验研究显示,通过长石结构参数 η ,可以推断该长石的形成温度,并认为结构参数 η 求出的温度是钾长石保持最后一个结构状态下的温度,即稳定结构态温度。前人认为钾长石稳定结构态温度是其形成的最低温度而非钾长石结晶时的温度^[13,15]。通过投图方式,测定钾长石稳定结构态温度,见图 8,其温度范围为 244~274.6℃。

4.3 电子探针分析

本次对 48 号脉—620 中段蚀变带中的钾化带 3 件样品进行了电子探针测试,测点数共计 26 个,主要对钾长石 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 Na_2O 、 FeO 、 MgO 、 Al_2O_3 等 11 种化学成分进行分析,分析结果见表 2。

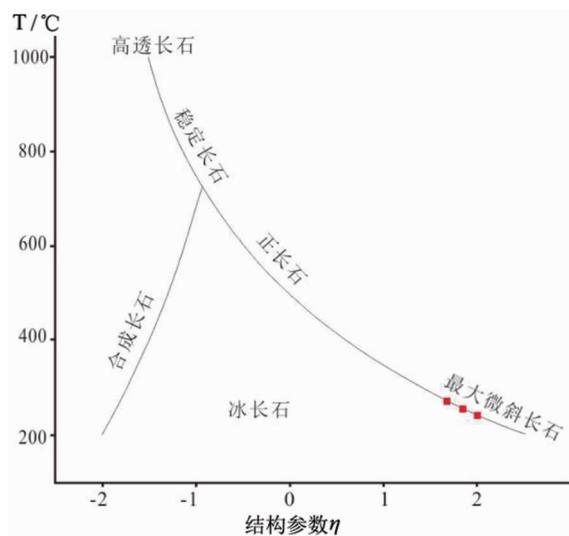


图 8 钾长石平衡温度投图(据文献[17],修改)

Fig. 8 Projection of equilibrium temperature of potash feldspar

表2 钾长石电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analysis of potash feldspar comment

Comment	NaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	MnO	TiO ₂	NiO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Total	An	Ab	Or
DKT4806-1	0.640	0.000	18.171	64.849	15.369	0.002	0.026	0.000	0.002	0.000	0.006	0.000	99.065	0.010	5.952	94.038
DKT4806-2	1.291	0.000	18.041	65.213	14.498	0.031	0.082	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	99.180	0.158	11.902	87.940
DKT4806-3	1.175	0.000	18.075	65.045	14.674	0.021	0.024	0.027	0.017	0.000	0.000	0.008	99.066	0.107	10.838	89.055
DKT4806-5	11.593	0.002	18.954	68.439	0.085	0.363	0.000	0.021	0.000	0.001	0.019	0.024	99.501	1.693	97.835	0.472
DKT4806-6	11.870	0.000	19.068	68.825	0.062	0.264	0.029	0.000	0.010	0.011	0.003	0.005	100.147	1.210	98.452	0.338
DKT4806-7	1.741	0.000	18.163	65.074	13.662	0.063	0.028	0.000	0.000	0.003	0.009	0.000	98.743	0.323	16.173	83.504
DKT4806-9	1.494	0.000	18.128	64.455	13.989	0.086	0.056	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	98.223	0.442	13.903	85.655
DKT4806-10	9.000	0.000	22.471	63.114	0.244	4.516	0.075	0.000	0.024	0.009	0.000	0.000	99.453	21.410	77.213	1.377
DKT4812-1	1.006	0.000	18.051	64.951	14.695	0.035	0.018	0.000	0.000	0.000	0.006	0.010	98.772	0.181	9.407	90.412
DKT4812-2	1.088	0.000	17.965	65.131	14.828	0.028	0.030	0.025	0.000	0.000	0.001	0.002	99.098	0.142	10.019	89.839
DKT4812-3	1.488	0.000	17.959	64.997	14.107	0.020	0.046	0.033	0.044	0.002	0.008	0.000	98.704	0.103	13.802	86.095
DKT4812-4	11.705	0.003	18.814	69.271	0.046	0.043	0.016	0.012	0.007	0.004	0.004	0.001	99.926	0.202	99.541	0.257
DKT4812-5	11.532	0.000	19.412	69.292	0.063	0.506	0.005	0.001	0.014	0.000	0.000	0.000	100.825	2.359	97.291	0.350
DKT4812-6	11.743	0.008	19.061	69.241	0.081	0.220	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	100.373	1.020	98.533	0.447
DKT4805-1	1.566	0.000	18.047	65.071	13.910	0.057	0.053	0.006	0.000	0.001	0.000	0.000	98.711	0.293	14.568	85.139
DKT4805-2	1.021	0.000	18.002	64.901	14.820	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	98.757	0.067	9.472	90.461
DKT4805-3	0.911	0.000	17.944	64.792	15.062	0.025	0.055	0.020	0.000	0.008	0.004	0.017	98.838	0.128	8.408	91.465
DKT4805-4	9.061	0.000	22.404	63.556	0.341	4.448	0.062	0.000	0.017	0.000	0.005	0.000	99.894	20.931	77.159	1.911
DKT4805-5	9.256	0.004	22.269	63.966	0.198	4.086	0.021	0.034	0.017	0.007	0.000	0.008	99.866	19.391	79.490	1.119
DKT4805-6	9.304	0.000	22.451	63.827	0.225	4.257	0.053	0.016	0.000	0.003	0.000	0.012	100.148	19.928	78.818	1.254
DKT4805-7	0.820	0.000	17.976	65.571	15.164	0.005	0.018	0.017	0.041	0.000	0.000	0.000	99.612	0.026	7.593	92.382
DKT4805-8	1.326	0.000	18.090	65.206	14.340	0.025	0.036	0.017	0.000	0.005	0.012	0.002	99.059	0.128	12.306	87.566
DKT4805-9	0.829	0.000	17.962	64.795	15.074	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.016	98.682	0.000	7.714	92.286
DKT4805-10	9.373	0.000	21.981	64.056	0.371	3.933	0.102	0.016	0.024	0.002	0.000	0.010	99.868	18.433	79.496	2.070
DKT4805-11	9.252	0.018	22.029	64.042	0.332	3.997	0.079	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	99.754	18.912	79.218	1.870
DKT4805-12	9.369	0.004	22.392	63.988	0.165	4.176	0.021	0.016	0.000	0.007	0.011	0.011	100.149	19.581	79.498	0.921

测试单位:福州大学紫金矿业学院电子探针实验室。量单位:wB/%。

表中An,Or,Ab由以下公式计算:An=Ca/(Ca+Na+K),Ab=Na/(Ca+Na+K),Or=K/(Ca+Na+K),长石中Ca、Na、K离子数以32个氧原子为标准来计算,且假定长石中的Fe全部为2价时计算Si、Al、Ca、Na、K阳离子数。

本次研究对所测数据进行钾长石的端元组分示计算,并进行了An-Ab-Or图解研判。在An-Ab-Or图(图9)中,所测钾长石数据全部投点于正长石(微斜长石)位置。微斜长石与正长石的化学成分相近,结合矿床地质特征、钾长石X射线粉晶衍射分析结果,进一步证明玲珑金矿田中的蚀变钾长石为微斜长石^[18]。

前人研究^[5-7]表明,钠长石组分在斜长石系列及碱性长石系列之间的分配主要取决于其平衡时的温度及压力条件。因此,如果压力确定,通过正长石、斜长石进行电子探针定量分析,计算斜长石与碱性长石中钠长石的含量,就可得钾长石形成时的大致温度。

J. A. Whitney 和 J. C. Stormer 根据标准溶液的热力学原理,提出了非理想混合模型下微斜长石中二长石地质温度计——(6)式,其精确度相对较高,误差为±30℃^[19]。

$$T(^{\circ}\text{K}) = (A + B \cdot P) / [-1.9872 \ln(X_{\text{Ab, AF}} / X_{\text{Ab, PF}}) + C] \quad (6)$$

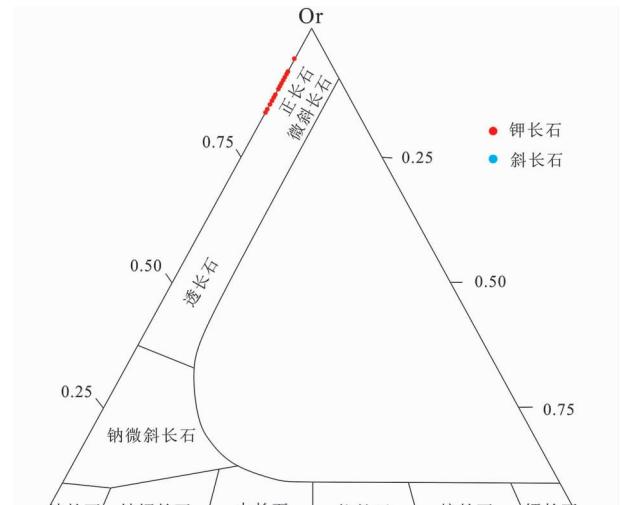


图9 钾长石化学成分分类图(据文献[18],修改)

Fig. 9 Chemical composition classification of feldspar

$$A = 7973.1 - 16910.6X_{\text{Ab, AF}} + 9901.9(X_{\text{Ab, AF}})^2$$

表3 二长石温度计算结果

Table 3 Temperature calculation of microcline and potash feldspar

样品号	点号	名称	An	Ab	Or	A	B	C	T/°K	T/°C
DKT4805	5	斜长石	0.017	0.978	0.005	6621.271	0.092	4.828	682.353	409.203
	3	钾长石	0.001	0.084	0.915		6727.585	0.094	4.953	702.146
	10	斜长石	0.184	0.795	0.021			713.010	439.860	
	9	钾长石	0.000	0.077	0.923	5813.393	0.082	3.915	745.364	472.214
DKT4806	5	斜长石	0.017	0.978	0.005	6256.647	0.087	4.409	742.252	469.102
	3	钾长石	0.001	0.108	0.891	5827.702	0.082	3.931	704.121	
	6	斜长石	0.012	0.985	0.003	6378.273	0.089	4.547	430.971	
	9	钾长石	0.004	0.139	0.857					
DKT4812	4	斜长石	0.002	0.995	0.003	5813.393	0.082	3.915	745.364	472.214
	3	钾长石	0.001	0.138	0.861		5827.702	0.082	3.931	742.252
	5	斜长石	0.024	0.973	0.003		6378.273	0.089	4.547	430.971
	2	钾长石	0.001	0.100	0.898					

$$B = 0.11 - 0.22X_{\text{Ab}, \text{AF}} + 0.11(X_{\text{Ab}, \text{AF}})^2$$

$$C = 6.48 - 21.58X_{\text{Ab}, \text{AF}} + 23.72(X_{\text{Ab}, \text{AF}})^2 + 8.62(X_{\text{Ab}, \text{AF}})^3$$

在(6)式中,T为温度,°K为热力学单位(开尔文),P为压力值;X为矿物中化学组分Na的摩尔分数, $X_{\text{Ab}} = \text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca} + \text{K})$, $X_{\text{Ab}, \text{AF}}$ 为钾长石中的钠长石含量, $X_{\text{Ab}, \text{PF}}$ 为斜长石中的钠长石含量。

对于玲珑金矿田的成矿压力,根据前人在大开头矿区所作的工作^[3],采用50 MPa作为该矿区的成矿压力并代入(6)式中计算,计算结果见表3。表3中样品形成温度在410~470°C。已有学者通过二长石温度计测定金矿钾化带中钾长石平衡温度,认为是其蚀变发生的温度^[4-5]。据此,玲珑金矿田48号矿脉中钾化蚀变温度应该发生在410~470°C。

5 讨论

前人认为微斜长石形成温度<500°C^[20],本文钾长石的结构态测定以及化学成分分析、物理化学特征均显示48号矿脉的蚀变钾长石为微斜长石,同时二长石温度计测定的钾化蚀变在410~470°C发生,因此认为48号脉蚀变钾长石为最大微斜长石。微斜长石只有在水热条件下通过碱交换反应获得^[21],考虑到钾化蚀变时温度在410~470°C,结合矿床地质特征及本科研团队前期对黄铁矿成因矿物学特征研究^[22],认为48号脉属岩浆期后热液成因。

钾长石结构态测定以及其结构态平衡温度分布显示,钾长石发生蚀变时温度为410~470°C,蚀变钾长石稳定结构态温度244~274.6°C。可以认为钾化蚀变带中在470°C左右发生蚀变,由于热液中

的物质以及热量不断与围岩发生交换,温度逐渐降低,微斜长石结构态随着温度的降低,有序度和三斜度逐渐升高,最终48号脉钾长石蚀变带热液温度长时间稳定在244~274.6°C形成微斜长石。

前人通过实验,认为温度在300°C左右有利于金的集中与沉淀^[23]。这与形成稳定结构态的微斜长石的温度区间相近,认为正是热液长时间稳定在244~274.6°C,给热液中金的充分富集沉淀提供了适宜的成矿环境。同时,认为该矿区中最大微斜长石是该矿区金矿脉的良好找矿标志,在实际工作中矿区微斜长石的结构态测定,对于深部找矿工作具有指导意义。

6 结论

(1)大开头矿区48号脉钾长石平衡温度投图(有序度—三斜度投图)显示,矿脉钾化花岗岩中的钾长石为最大微斜长石,其有序度为0.830~0.907,三斜度为0.699~0.817。

(2)二长石温度计分析研究表明,48号脉中钾化蚀变温度为410~470°C,蚀变钾长石稳定结构态温度为244~274.6°C。

(3)因为最大微斜长石稳定结构态形成时的热液温度有利于金富集沉淀,所以矿区最大微斜长石的出现是深部找矿的良好标志。

参考文献:

- [1] 胡受奚,叶瑛,方长泉.交代蚀变岩石学及其找矿意义[M].北京:地质出版社,2004:18~32.
- [2] 杜乐天.地壳流体与地幔流体间的关系[J].地学前缘,1996

- [4]:13-21.
- [3] 吕古贤,武际春,崔书学,等.胶东玲珑金矿田地质[M].北京:科学出版社,2013:1-595.
- [4] 汪浩,杨立强,刘向东.胶西北寺庄金矿床钾长石化蚀变特征[C]//中国矿物岩石地球化学学会矿床地球化学专业委员会.第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集,2019:57-58.
- [5] 刘向东.胶西北寺庄金矿床流体—岩石反应过程与金成矿机制[D].北京:中国地质大学,2015.
- [6] 曹晖,李胜荣,姜文,等.胶东金青顶金矿钾长石化岩相学特征及形成温度的估算[J].地学前缘,2013,20(3):94-103.
- [7] 曹晖.胶东金青顶金矿大纵深成矿作用矿物学研究[D].北京:中国地质大学,2013.
- [8] 卢晶.胶东大尹格庄金矿成矿流体特征及成矿年代学研究[D].北京:中国地质大学,2012.
- [9] 胡萍,赵令湖,边秋娟.二长石地质温度计在估算乌拉山金矿碱性长石形成温度中的应用[J].岩石矿物学杂志,2004(4):327-336.
- [10] 杨敏之,吕古贤.胶东绿岩带金矿地质地球化学[M].北京:科学出版社,1996:1-15.
- [11] 于学峰,李大鹏,田京祥,等.山东金矿深部勘查进展与成矿理论创新[J].山东国土资源,2018,34(5):1-13.
- [12] 陈文明,钱汉东,盛继福.钾长石三个同质多象变体(透长石、正长石、微斜长石)之间相转变及其地质意义[J].矿物学报,2010,30(S1):18-19.
- [13] 叶大年,金成伟.X射线粉末法及其在岩石学中的应用[M].北京:科学出版社,1984:222-265.
- [14] 马鸿文.钾长石X射线与红外有序度的对比及与Al占位和平衡温度的关系[J].矿物学报,1988(2):143-150.
- [15] 正路徹也,X線粉末法によるアルカリショウ石の組成および構造(Al/Si秩序無秩序)の決定[J].鉱物学雑誌,1972,10(6):413-425.
- [16] Collerson K D. Composition and structural state of alkali feldspars from high-grade metamorphic rocks, central Australia [J]. American Mineralogist, 1976, 61(3-4): 200-211.
- [17] Stewart D, Wright T. Al/Si order and symmetry of natural potassio feldspars, and the relationship of strained cell parameters to bulk composition [J]. Bulletin de Minéralogie, 1974, 97(2): 356-377.
- [18] Deer W A, Howie R A, Zussman J, et al. Rock-forming Minerals:Feldspars, Volume 4A [M]. Geological Society of London, 2001: 31-49.
- [19] Whitney J A, Stormer J C. The distribution of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations, American [J]. Mineralogist, 1977, 62(7-8): 687-691.
- [20] Goldsmith J R, Laves F. The microcline-sanidine stability relations [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, January 1954, 5(1): 1-4. DOI: 10.1016/0016-7037(54)90058-7.
- [21] Christie O H J. Petrology of the Grimstad Granite II: Petrography, Geochemistry, Crystallography of Alkali Feldspars and Genesis [M]. Norges Geol, Undersk, 265: 1-50.
- [22] 严千豪,王翠芝,吕古贤,等.胶东玲珑金矿黄铁矿的化学成分型特征及其矿床学意义[J].地质找矿论丛,2020,35(1):52-63.
- [23] 王玉荣,胡受奚.钾交代蚀变过程中金活化转移实验研究:以华北地台金矿为例[J].中国科学(D辑:地球科学),2000(5):499-508.

Temperature estimation of stable structural state of altered potassic feldspar in No. 48 ore vein of Linglong gold ore field and its prospecting significance

ZHANG Tengfei¹, WANG Cuizhi¹, LYU Guxian², ZHANG Baolin³, JIAO Jiangang⁴, LIU Weimin⁵, YANG Guibin⁵, CHANG Zengpei⁶, YAN Qianhao¹, CHEN Zhen¹

(1. Zijin Mining College of Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

4. Chang'an University, Xian 710054, China;

5. Shandong Gold Mining (Linglong) Co. LTD, Zhaoyuan 265406, Shandong China ;

6. Shandong Zhengyuan Geophysical Information Technology Co. LTD, Jinan 250101, China)

Abstract: Dakaitou mining area is located in the area held by Linglong fracture and Potouqing fracture. The No. 48 vein is located in the southwest side of Dakaitou ore area in Linglong ore field. The ore is of quartz vein-altered rock type. The wall rocks of the ore body are monzonitic granite, potassic granite, beresitized granite, beresite, pyriteberesite, lamprophyre, etc. This paper deals with the potassic feldspar in potassic granite on both sides of No. 48 vein body. Through X-ray powder diffraction and electron probe analysis and calculation, it is considered that (1)the potassic feldspar in this ore body should be the maximum microcline; (2)the temperature of potassic alteration on both sides of the vein should be between 410 and 470 °C , and the temperature range of stable structural state is between 244 and 274. 6 °C ; (3)The hydrothermal temperature environment in which potassic feldspar forms in stable structure is conducive to the precipitation and enrichment of gold. Potassic feldspar is a good prospecting mark of this type of gold deposit.

Key Words: potassic feldspar; feldspar thermometer; feldspar structural state; Linglong gold field; Shandong province