

角闪石出溶初报

阎月华 韩秀伶

王式光

(中国科学院地质研究所,北京)

(北京大学地质系)

在太古代高级区变质矿物的研究中,我们注意到角闪石的出溶现象极为普遍。出溶是一种显微交生,是固相线下(Subsolidus)现象的一种。国外对角闪石出溶的研究已相当深入^[1-5]。自60年代以来,由于单晶X射线和电子衍射,电子显微镜以及分光光谱技术的应用,这方面的研究已取得显著的进步,但这个领域里遗留的问题还很多^[6]。

偏光显微镜下观察,角闪石出溶表现为非常细密且整齐的“平行细线”。常见的有两组,一组横切柱面,近似平行(001),另一组与c轴平行,近似(100),比前者更细,(001)切面上大致平分解理锐角。图1即为角闪石出溶的偏光显微镜下的“宏观”外貌。那些平行细线我们曾误认为是(001)裂理,在此我们对文献[6]中有关部分予以更正。当然,认为这是一组裂理也并非全错,对于角闪石主晶来说,出溶叶片无疑是另一种成分的夹层,沿着这种夹层,晶体极易裂开,双目实体显微镜下的观察说明这组裂开确实很发育。但为了强调出溶这一尚未被国内岩石学家和矿物学家普遍注意的现象,还是不称裂理而称出溶为好。

从我们工作过的内蒙、冀东和山西等地太古代高级区来看,辉石和闪石的出溶都非常普遍。辉石出溶页片较宽,易于辨认,国内文献时有报道,但对出溶页片的化学成分却少见分析数据。本文除报道了角闪石出溶的初步研究结果,也给出了一个辉石出溶的实例。冀东姜子山高铁橄榄辉石岩中斜方辉石的出溶页片成分为铁易变辉石。其主晶为尤莱辉石(易熔石),主晶及出溶页片的化学成分和闪石一起列入表1中并表示在Ca-Mg-Fe图上(图4)。



图1 角闪石的出溶

主晶为透闪石,出溶页片是镁铁闪石正交偏光,长边0.6mm,出溶方向为“001”



图2 辉石的出溶

主晶是尤莱辉石,出溶页片是易变辉石,正交偏光,长边0.6mm,出溶方向为“100”

图3是两个闪石样品的电子探针分析能谱图。左图下、上分别为透闪石主晶及其出溶页片的能谱,右图下、上分别为镁铁闪石主晶及其出溶页片的能谱。由能谱图可看出主晶和页片的能谱有显著的差别。透闪石主晶除Si, Mg外, Ca峰很高, Fe峰很低,而其出溶页片能谱Ca峰明显地比主晶的低,而Fe峰又明显比主晶的高, Mg峰差别不大。镁铁闪石主晶Ca峰极低, Fe峰很高,而出溶页片的Ca峰比主晶的高, Fe峰又明显比主晶的低。能谱分析定性

本文1987年7月15日收到。

和半定量地告诉我们角闪石中那些“平行细线”确实是与主晶成分不同的出溶页片。由于出溶页片太细 $<2\mu$ ，电子探针的电子束相对较宽 $>3\mu$ ，所得页片的能谱往往不是纯矿物的图谱，而是由页片与主晶混合而成。与此相应的能谱分析也仅有定性和半定量的意义（表1中H166*的H和L）。但对说明出溶现象还是成功的。

电子探针能谱分析的成功促使我们进一步做了波谱分析的尝试，并且做了费氏台光学测定以确定出溶页片与主晶的取向关系。最后，两方面的努力都得到了满意的结果。表1中HW2和S42的H及L分别为两个钙闪石主晶及其出溶页片的化学成分。主晶分别是透闪石和阳起石。出溶页片与主晶相比，显著地贫钙、富铁并稍富镁。按离子数计算，在Ca-Mg-Fe图上主晶的镁铁比大于出溶页片，二者连线偏向Ca-Mg边，与共生的钙闪石和镁铁闪石关系（图2中实线连接的矿物对）相似。出溶页片与主晶的关系实际上也是一种共生。H166是

表1 出溶角闪石和辉石主晶及其出溶页片的化学成分

	1 HW2		3 H166		5 H166*		7 S42		9 Ly190	
	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
SiO ₂	56.35	56.17	54.07	52.47			55.68	54.51	46.0	46.2
Al ₂ O ₃	0.54	0.64	0.05	0.10			0.09	0.07	0.4	0.3
FeO	1.86	7.56	26.68	23.97	27.46	25.40	8.82	19.87	47.2	42.5
MnO	0.14	0.04	0.29	0.17	—	—	0.16	0.72	0.2	0.3
MgO	24.01	27.32	15.38	16.98	11.27	11.74	12.02	19.03	4.4	4.3
CaO	12.76	2.78	0.69	3.13	1.16	3.61	18.80	2.08	0.7	4.5
Na ₂ O	0.53	0.11	0.03	0.06			0.17	0.10	0.2	0.3
K ₂ O	0.04	0.03	0.06	0.06			0.02	0.01	—	—
总 和	96.23	94.65	97.25	96.94			95.76	96.39	99.1	98.4

化学式中的离子数

O	23	23	23	23	23	23	23	23	6	6
Si	7.840	7.893	8.047	7.835	8.000	8.000	7.980	7.975	1.971	1.976
Al	0.088	0.106	0.009	0.017			0.016	0.012	0.025	0.015
Fe	0.217	0.889	3.320	2.993	3.874	3.385	1.057	2.431	1.690	1.521
Mn	0.016	0.006	0.037	0.022			0.019	0.089	0.007	0.011
Mg	4.979	5.723	3.432	3.780	2.833	2.787	4.017	4.151	0.281	0.274
Ca	1.902	0.419	0.110	0.501	0.292	0.856	1.846	0.326	0.032	0.206
Na	0.143	0.030	0.009	0.018			0.047	0.028	0.017	0.025
K	0.006	0.005	0.002	0.001			0.004	0.003	—	—

H166*能谱分析结果仅取FeO、MgO和CaO，以B+C位置离子数为7计算Fe、Mg和Ca的离子数，把Si的离子数当作8。

镁铁闪石，其出溶页片太细，最宽的仅 $1.25\mu\pm$ ，分析结果欠佳。在Ca-Mg-Fe图上页片的投影不是真实的位置，但可看出它比主晶富钙。结构式中Ca离子数仅0.501，能谱分析0.856，都未达真正的钙闪石的分类界限。在Ca-Mg-Fe图上的投影大致相当于易变辉石的位置。

关于出溶页片沿主晶的方向，显微镜下观察HW2和H166中大致平行(001)，S42中的出溶页片大致平行(100)，平分解理锐角。本文对(001)的一组进行了费氏台光学测定。测定中主晶的b轴(Nm)、c轴是实测的，a轴是根据假定的 β 角来推测的。本文对HW2透闪石取 $\beta = 106^\circ$ ，对H166镁铁闪石取 $\beta = 109^\circ$ 。测定如下：HW2透闪石的 $c \wedge Ng = 13^\circ$ ，

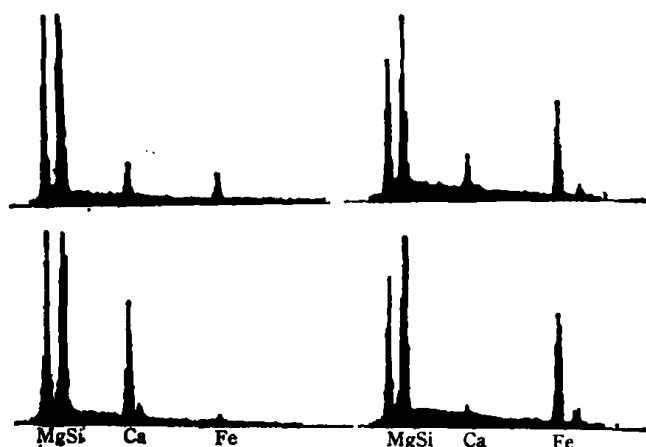


图3 角闪石出溶页片及其主晶能谱图

日本岛津 EMX-SM7 电子探针分析仪和飞利浦 9100 能谱仪,仪器工作条件: 15kV 20 μ A,收集时间 100s

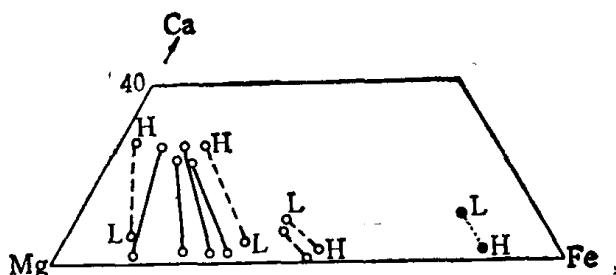


图4 闪石和辉石的 Ca-Mg-Fe图

实线共生闪石对;虚线是出溶闪石的主晶及页片;点线是出溶辉石的主晶和页片。分析数据见表1

$-2V = 76^\circ$,主晶与出溶页片边界大圆恰好通过 b 轴,与 a 轴成 8° 角,与 c 轴成 66° 角。H166 镁铁闪石 $c \wedge Ng = 17^\circ$,出溶页片与主晶边界大圆通过 b 轴,与 a 轴成 2° 角与 c 轴成 70° 角,即两种情况下出溶页片都接近于平行主晶的 (001),前者偏离 8° ,后者仅偏离 2° 。

类似本文所测定的第一组角闪石的出溶页片沿主晶的取向,国外 60 年代较早的文献中称 (001)^[1],后来的文献有称 (001) 的,也有称 $(\bar{1}01)$ 的^[2]。这种符号差别实际上只是因为所取单位晶胞定向不同而引起的。若取 I 晶胞则为 (001),取 C 晶胞则为 $(\bar{1}01)$ ^[4]。

闪石出溶的研究也和辉石出溶一样是具有重要意义的。据国外研究辉石出溶是高温高压下晶格参数的标准化石 (fossil indicators)^[7]。由辉石出溶可导出两个地质温度计。出溶方位就是一个地质温度计。页片和主晶的边界常不是恰好平行某晶面,往往有一定的转角,出溶是取应变能最低的方位,称最佳方位,这个方位与晶体结构和空间群有关,也与出溶温度有关。出溶方位是 Δa , Δc 和 $\Delta \beta$ 即主晶与页片间轴长和 β 角之差的函数。而晶胞参数的变化与温度有关。但是,由于闪石的稳定温度限比较低,在比较低的温度 ($\sim 700^\circ\text{C}$ 或更低) 下实验的氧分压和水分压不好控制,所以闪石的出溶研究远不如辉石^[5]。但出溶的原理是一样的,只是闪石的出溶温度低,出溶页片更细,更复杂,研究更困难。闪石的出溶也应反映其形成体系的热历史和出溶时的温度压力条件。所以闪石的出溶是很值得研究的。

闪石的出溶也和其他固相线下现象一样应受晶体化学原理控制,所以尽管研究比较困难,仍是有规可循的。如 Ghose 所预言的,通过岩石学家和矿物学家结合,在野外和实验室工作中的共同努力,角闪石的固相线下现象的大部分细节可望在 90 年代得到澄清。

致谢: 韩玉菁副教授,赵宗溥、周景良和叶大年教授都给过作者有益的启发和帮助,在此谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Vernon, R. H., *Amer. Mineral.*, 47(1962), 360—370.
- [2] Ross, M., Papike, J. J. and Weiblen, P. W., *Science*, 159(1968), 1099—1102.
- [3] Robinson, P. and Howard, W. J., *Amer. Mineral.*, 56(1971), 909—939.
- [4] Ghose, S., *Reviews in Mineralogy*, 9A(1981), 325—372.
- [5] Robinson, P., Spear, F. S., Schumacher, J. C., Laird, J., *Review in Mineralogy*, 9B(1982), 1—227.
- [6] 阎月华, 中国科学院地质研究所集刊 2, 北京科学技术出版社, 1983, 222—231.
- [7] Robinson, P., Ross, M., Nord, Jr. G. L., Smyth, J. R. & Jaffe, H. W., *Amer. Mineral.*, 62(1977), 857—873.