参 考 文 献

1 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. Science, 1975, 189(4201): 419~ 426
2 郑剑东. 阿尔金断裂带的几何学研究. 中国区域地质, 1991(1): 54~ 59
3 车自成, 刘 良, 刘洪福, 等. 阿尔金山地区高压变质泥质岩的发现及其产出环境. 科学通报, 1995, 40(14): 1 298~ 1 300
4 刘 良, 车自成, 罗金海, 等. 阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 1996, 41(16): 1 485~ 1 488
5 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 555~ 557
6 An Yin, Shangyou Nie. Aphanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions, In: An Yin, Harrison T M, eds. The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 442~ 485
7 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 青藏高原北缘火山作用与构造演化. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. 74~ 88
8 Qiao Guangsheng. Normalization of isotopic dilution analysis. Scientia Sinica, Series A, 1988, 31(10): 1 263~ 1 268
9 Ludwig K R. Isoplot ——a plotting and regression program for radiogenic_isotope data. US Geol Survey, Open_file Report 91_445, 45P, 1995
10 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997. 29~ 92

(1997-09-26 收稿, 1998-01-08 收修改稿)

亳县陨石中的亚铁尖晶石

王奎仁 ④ 洪吉安 ④
(中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥 230026; ④第三世界科学院中国科学技术大学地球科学和天文学高级研究中心, 合肥 230026)

摘要 在亳县陨石中发现了陨石中罕见矿物亚铁尖晶石. 这种矿物以 3 种不同产状产出: ( ) 产在球粒的内圈, 组成环带结构; ( ) 作为包裹体, 与 wadsleyite 一起产在橄榄石球粒中; ( ) 作为斑晶, 产在斑状球粒中. 通过对该矿物 3 种产状的形态及矿物共生组合、化学成分等特征进行了讨论, 并探讨了其成因. Fe/(Fe+ Mg) 比值的相对稳定性和化学成分的不均一性表明: ( ) 矿物的同源性; ( ) 早期太阳系星云的不均一性; ( ) 球粒的多阶段演化特征.

关键词 陨石中罕见的亚铁尖晶石 发现 成因

亚铁尖晶石在地球上是不难发现的, 它是镁尖晶石和铁尖晶石的中间产物, 其中一部分 Mg^{2+} 被 Fe^{2+} 类质同象代替的结果[1]. 据有资料报道[2,3], 在普通球粒陨石中只出现铬铁矿 ($FeCr_2O_4$); 在顽火辉石球粒陨石中只出现极少量的镁尖晶石($MgAl_2O_4$); 在碳质球粒陨石也只有镁尖晶石出现. 因此, 亚铁尖晶石在陨石中是很罕见的.

作者于 1987 年曾在亳县陨石不透明矿物研究中提到过亚铁尖晶石[4~ 6], 但未进行详细的矿物学研究. 这次对亚铁尖晶石重新进行了详细的工作, 在 40 块光薄片中发现 3 个球粒中有亚铁尖晶石. 亚铁尖晶石在亳县陨石中的发现, 不仅具矿物学意义, 而且也具有重要成因意义.

1　产状、形态及共生矿物

亚铁尖晶石在亳县陨石中的产状有 3 种: (　) 亚铁尖晶石沿球粒边缘内圈分布: 其颗粒较大, 为 0.2 mm × 0.3 mm, 呈自形、半自形. 在该球粒中它与橄榄石、深绿辉石及铬铁矿和玻璃质等密切共生(图 1). 该球粒中橄榄石呈骸晶状和棒状; 深绿辉石为羽毛状; 铬铁矿为粒状; 黄褐色玻璃质分布在它们之间. 从矿物相组成分析, 这是一颗富 Ca 富 Al 的 CA 球粒. (　) 亚铁尖晶石呈包裹体形式: 在一个橄榄石球粒中, 亚铁尖晶石与 wadsleyite 密切共生, 它们都作为包裹体被包裹在橄榄石球粒中. 亚铁尖晶石呈自形粒状, 颗粒大小为 5 μm × 6 μm~ 22 μm × 26 μm(图 2). 在正交偏光下橄榄石具波状消光; 在单偏光下亚铁尖晶石透明, 呈淡玫瑰红色, 而 wadsleyite 呈黑色, 两者易区别. (　) 亚铁尖晶石呈斑状晶体, 产在一个球粒中(图 3). 整个球粒由橄榄石、亚铁尖晶石和玻璃质组成. 橄榄石呈棒状, 横穿整个球粒; 而亚铁尖晶石仅有一个颗粒, 自形粒状, 其大小为 1 mm × 1 mm. 它与棒状橄榄石及玻璃质密切共生. 周围及中间黄褐色的均质体为玻璃质.

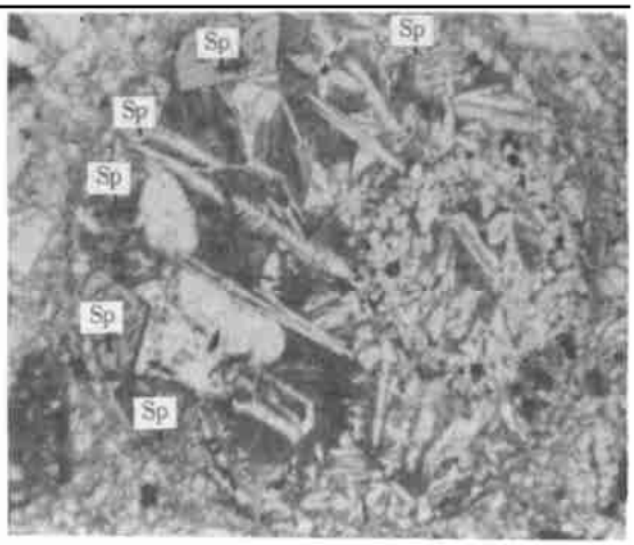


图 1　亚铁尖晶石沿球粒边缘内圈分布
Sp——亚铁尖晶石, 单偏光 × 38

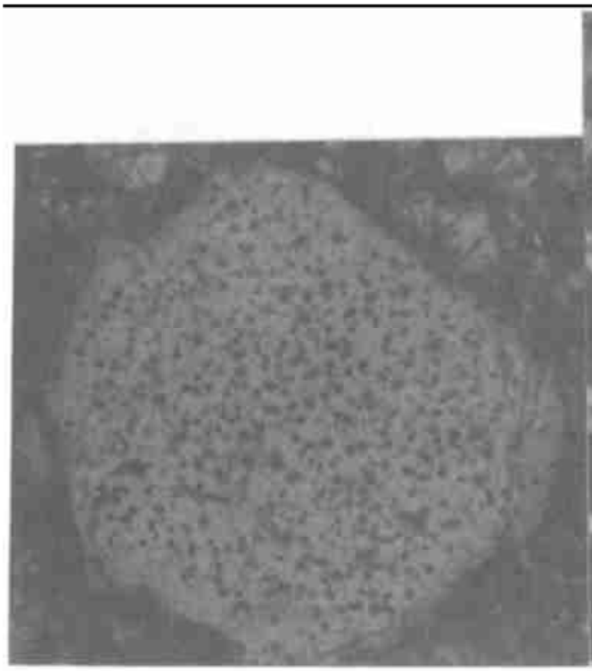


图 2　亚铁尖晶石呈包裹体和 wadsleyite 一起产于橄榄石球粒中
照片上橄榄石球粒中, 深色为 wadsleyite, 浅色为亚铁尖晶石, 单偏光, × 200

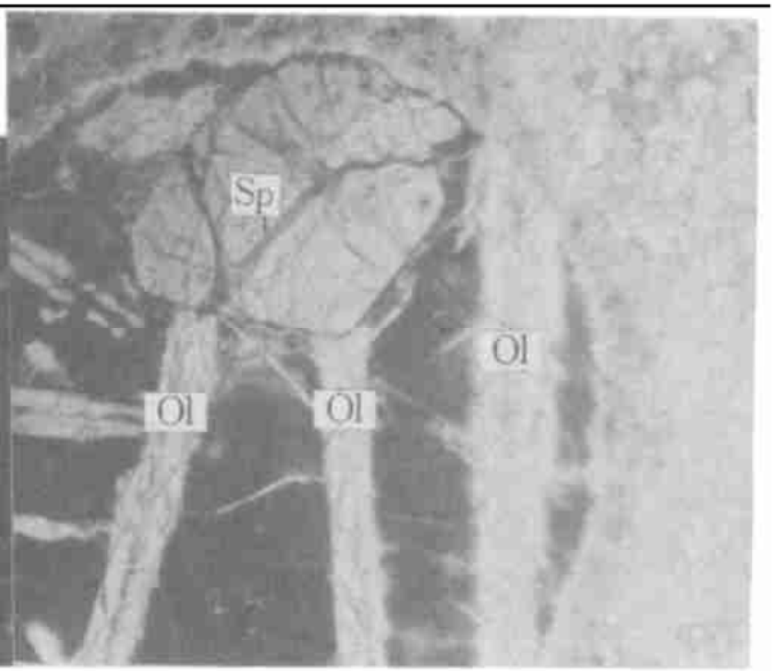


图 3　亚铁尖晶石呈斑晶产出
Sp——亚铁尖晶石; Ol——橄榄石. 单偏光, × 38

2 物理性质

亚铁尖晶石的显微硬度平均 H_v= 1 312 kg•mm^{-1}, 范围为 1 082~ 1 543 kg•mm^{-2}(50 g 负荷). 反射率用 MPV_1 型显微光度仪测定的, 反射标准 SiC, 测定值为 405 (6.6% ~ 8.2%), 437 (7.5% ~ 9.2%), 480 (8.0% ~ 8.5%), 549 (7.8% ~ 8.2%), 591 (7.3% ~ 7.8%) 和 645 nm(7.0% ~ 7.7%).

3 X 射线微区分析

亚铁尖晶石是用 X 射线微区衍射仪分析的, 其结果列在表 1 中. 因获得的 X 射线数据是在一个平面中得到的, 有一定的取向性, 因而导致其强度与 X 射线粉末法有差异. 此外, 有些面网得不到衍射. 用外推法求得其晶胞参数为 a= 0.810 3(3) nm.

表 1 亚铁尖晶石 X 射线微区衍射数据[a)]

I/I_0	14	19	14	15	14	29
$d_{(观察值)}$/nm	0.295 3	0.252 2	0.210 1	0.160 6	0.120 3	0.115 5
$d_{(计算值)}$/nm	0.295 5	0.252 0	0.208	0.160 2	0.120 2	0.115 5
hkl	022	113	400	333; 115	444	046

a) 该 X 射线微区分析数据只是第 2 种产状亚铁尖晶石的

4 化学成分

亚铁尖晶石部分的电子探针分析数据列于表 2. 根据表 2 的结果, 仅考虑 Cr_2O_3, FeO, MgO, Al_2O_3 等主要矿物成分, 得到表 3 的相应矿物分子式和 Fe/(Fe+ Mg)(原子比). 由这些结果可以看出, 这 3 种产状的亚铁尖晶石, 其镁铁比值比较恒定, Fe/(Fe+ Mg)(原子比) 在 0.345~ 0.453之间, 这反映了这 3 种亚铁尖晶石的同源性. 此外, 根据铬的含量将这些亚铁尖晶石分成两类, 其一是正常的亚铁尖晶石, Cr_2O_3< 0.50% ; 另一类是含 Cr 的亚铁尖晶石, Cr_2O_3 含量在 5.69% ~ 9.90% 之间. 在含 Cr 的亚铁尖晶石中, 其 Cr_2O_3 与 Al_2O_3 呈反相关关系(Cr_2O_3 质量百分数= 45.03% ~ 0.642% Al_2O_3 质量百分数, γ= 0.923). 这说明 Cr_2O_3 与 Al_2O_3 共同占据同一个结晶位置.

表 2 亳县陨石中亚铁尖晶石的电子探针部分分析结果(单位: 质量百分数)

产状	序号	Na_2O	Cr_2O_3	FeO	MgO	MnO	NiO	P_2O_5	Al_2O_3	CaO	SiO_2	TiO_2	总计
1	1	0.07	0.22	17.23	15.83	0.14	0.07	0.01	65.74	0.04	0.15	0.47	100.47
1	2	0.00	9.90	19.70	13.32	0.18	0.09	0.02	56.50	0.04	0.12	0.11	99.98
1	3	0.00	0.27	17.56	15.67	0.14	0.01	0.00	65.96	0.03	0.07	0.28	99.99
1	4	0.00	5.69	17.41	14.43	0.20	0.04	0.01	61.33	0.03	0.16	0.04	99.34
1	5	0.00	0.35	17.23	15.68	0.18	0.04	0.00	65.72	0.01	0.12	0.20	99.53
2	6	0.00	7.78	16.58	16.97	0.09	0.00	0.00	57.89	0.05	0.20	0.36	99.92
2	7	0.01	8.38	17.09	16.78	0.14	0.01	0.00	56.93	0.24	0.39	0.57	100.54
2	8	0.00	6.75	16.12	17.20	0.09	0.00	0.01	58.76	0.10	0.17	0.24	99.44
2	9	0.00	9.06	17.55	16.63	0.04	0.01	0.00	56.69	0.07	0.11	0.39	100.55
2	10	0.02	9.81	18.25	15.82	0.03	0.00	0.00	54.58	0.01	0.27	0.60	99.48
3	11	0.07	0.43	17.06	15.77	0.12	0.00	0.00	66.39	0.00	0.03	0.12	99.99
3	12	0.05	0.44	16.83	15.89	0.16	0.00	0.03	66.40	0.02	0.02	0.03	99.87

表 3 亚铁尖晶石的矿物分子式和 Fe/(Fe+ Mg)(原子比)

序号	矿物分子式	Fe/(Fe+ Mg)
1	$Mg_{0.6111}Fe_{0.3731}Cr_{0.0044}Al_{2.0061}O_4$	0.379 1
2	$Mg_{0.5369}Fe_{0.4454}Cr_{0.2115}Al_{1.8003}O_4$	0.453 4
3	$Mg_{0.6030}Fe_{0.3790}Cr_{0.0056}Al_{2.0064}O_4$	0.386 0
4	$Mg_{0.5691}Fe_{0.3850}Cr_{0.1189}Al_{1.9117}O_4$	0.403 6
5	$Mg_{0.6057}Fe_{0.3733}Cr_{0.0072}Al_{2.0068}O_4$	0.381 3
6	$Mg_{0.6714}Fe_{0.3680}Cr_{0.1632}Al_{1.8105}O_4$	0.354 0
7	$Mg_{0.6676}Fe_{0.3814}Cr_{0.1767}Al_{1.7906}O_4$	0.363 6
8	$Mg_{0.6793}Fe_{0.3571}Cr_{0.1413}Al_{1.8344}O_4$	0.344 6
9	$Mg_{0.6593}Fe_{0.3903}Cr_{0.1904}Al_{1.7765}O_4$	0.371 8
10	$Mg_{0.6420}Fe_{0.4154}Cr_{0.2110}Al_{1.7508}O_4$	0.392 8
11	$Mg_{0.6042}Fe_{0.3666}Cr_{0.0086}Al_{2.0108}O_4$	0.377 6
12	$Mg_{0.6088}Fe_{0.3616}Cr_{0.0090}Al_{2.0108}O_4$	0.372 6

同时, 根据相关分析得知: ( ) 与亚铁尖晶石共生的辉石均是深绿辉石, 该辉石的 CaO 与 Al_2O_3 含量均较高. 而没发现亚铁尖晶石的其他球粒和基质中均未出现深绿辉石; ( ) 与亚铁尖晶石密切共生的橄榄石的成分有两种: 一种含 CaO 较高, 最高可达 2.58% ; 另一种与一般球粒中橄榄石 CaO 的含量相似, 但 Al_2O_3 较高, 最高可达 0.63%; ( ) 与亚铁尖晶石密切共生的玻璃质成分 Al_2O_3 和 Na_2O 也较其他球粒玻璃质高; ( ) 与亚铁尖晶石密切共生的铬铁矿的成分 Al_2O_3 含量很高, 明显高于该陨石中其他铬铁矿 Al_2O_3 的含量; ( ) 与亚铁尖晶石密切共生的 wadsleyite 矿物含 Al_2O_3 和 CaO, 特别是 CaO 的含量可高达 2.11%.

5 亚铁尖晶石的成因意义

从上述 3 种产状的亚铁尖晶石及其共生矿物成分来看, 均是富 Ca 和富 Al 的球粒, 对其成因探讨有其特定意义.

第 1 种产状的球粒应属典型 CA 球粒, 或称富 Ca_Al 球粒[2], 表明其形成时是一种高温凝聚物经过重熔再冷凝而成. 其亚铁尖晶石分布在球粒边缘是由于结晶相尖晶石密度大, 在旋转状态下被旋到球粒边缘. 这也进一步证明了球粒形成时处于旋转状态. 第 2 种产状的亚铁尖晶石, 它们共生矿物 wadsleyite 是高压作用的产物, 呈波状消光的橄榄石也证明了这一点. 所以, 这种产状的亚铁尖晶石也应与高压冲击作用有关.

6 结论

(1) 这 3 种产状的亚铁尖晶石具有较一致的镁铁比值, 反映了它们的同源性;

(2) 同一陨石中亚铁尖晶石的不同产状、成分及其矿物共生组合的差异, 反映了早期太阳星云成分不均一性, 反映了球粒具有不同形成和演化特征; 同时也进一步证明了亳县陨石是一块不平衡普通球粒陨石.

致谢 衷心感谢欧阳自远院士所提供的帮助和指教.

参 考 文 献

1 Deer W A, Howie R A, Zussman J. Rock_forming Minerals, Vol 5, Non_silicates. London: Longmans, Green and Co LTD, 1962. 56~ 88

2 欧阳自远. 天体化学. 北京: 科学出版社, 1988

3 王道德, 刘京发, 李肇辉, 等. 中国陨石导论. 北京: 科学出版社, 1993
4 王奎仁. 安徽亳县陨石不透明矿物研究. 矿物学报, 1987, 7(2): 107~ 112
5 王奎仁. 安徽亳县陨石研究. 中国科学, B 辑, 1988(7): 767~ 776
6 王奎仁, 洪吉安, Henry O A M. 天然矿物 wadsleyite 在我国首次发现. 矿物学报, 1995, 15(1): 121~ 125

(1997-09-17 收稿, 1997-12-01 收修改稿)

广东雷州新生代玄武岩中石榴麻粒岩相岩石捕虏体的发现

于津海 方 中 赖鸣远 周新民 罗树文④ 周 旋
(南京大学地球科学系, 南京 210093; ④广东省粤西水文地质大队, 湛江 524033)

摘要 报道了广东雷州英峰岭火山碎屑岩中首次发现的麻粒岩相岩石捕虏体, 其中高压石榴麻粒岩捕虏体在我国极为罕见. 石榴麻粒岩在矿物组成和矿物化学上与辉石麻粒岩有很大的区别. 温压计算显示石榴麻粒岩形成于 1 130~ 1 160 ℃和 1.4~ 1.7 GPa 的高温压条件下, 而二辉麻粒岩形成于 800 ℃左右和 0.65~ 0.8 GPa 的条件下. 高的地温梯度指示新生代本区处于裂谷活动区. 不同组成的麻粒岩是由玄武质岩浆底侵于不同深度形成.

关键词 雷州半岛 捕虏体 石榴石麻粒岩 温压计

新生代玄武岩中的地壳岩石捕虏体是下地壳岩石样品的重要来源, 它是揭示中新生代下地壳组成和壳_幔作用的一个重要窗口. 近年来我国学者已注意到了这一关键领域, 先后在安徽女山[1]、广东麒麟[2]、湖南道县和河北汉诺坝[3]等地发现了一些具重要地质意义的麻粒岩相岩石捕虏体. 这些捕虏体是以镁铁质为主, 最常见的矿物组合是 Cpx+ Opx+ Pl($An_{40\sim 53}$) + oq, 其次是 Opx+ Pl($An_{34\sim 35}$) + Q+ oq ±Kf 和 Cpx+ Pl ($An_{46\sim 49}$) + oq. 温压计算显示它们都形成于高温中、低压的辉石麻粒岩相[1~3]. 本文报道了在广东省雷州半岛新生代火山岩中发现的一组石榴石麻粒岩相岩石捕虏体, 它们的矿物组合和形成条件不同与以往的报道, 是一种特殊的深源捕虏体类型.

1 岩石学和矿物学特征

广东雷州英峰岭玄武质火山角砾岩中含有大量地幔橄榄岩捕虏体和辉石、石榴石、斜长石巨晶. 捕虏体的个体普遍较小, 大多在 10 cm 以下. 最近笔者在其中发现了少量的麻粒岩相岩石捕虏体, 其大小一般在 2.5 cm × 3.5 cm 左右, 岩性包括二辉斜长麻粒岩(LZ_m)、石榴石单辉麻粒岩(xw_2)、尖晶石榴辉石岩(xw_3) 和透辉斜长麻粒岩(xw_4). 石榴石单辉麻粒岩(xw_2) 的矿物组成是 Pl+ Cpx+ Gt+ Ru. 尖晶石榴辉石岩(xw_3) 主要由 Cpx+ Gt+ Sp 组成, Opx 含量低于 5%, 不透明矿物是钛铁矿. 透辉斜长麻粒岩(xw_4) 的矿物组成简单, 为 Pl+ Cpx+ Il, 其中钛铁矿(Il) 含量超过 5%, 而二辉麻粒岩具有典型的 Pl+ Opx+ Cpx+ Il 组合. 捕虏体都呈中粗粒状变晶结构, 块状构造. 矿物之间没有反应包含关系, 但 xw_2 和 xw_3 中的石榴石边缘往往存在由于减压退变形成的暗色次变边, 而 xw_4 中 Cpx 边缘则存在后期熔蚀