伟晶岩绿柱石熔融包裹体电子探针成分分析及锌尖晶石的发现

李兆麟④ 张文兰④ 杨荣勇 李 文 翟 伟
(中山大学地球科学系, 广州 510275 ④南京大学成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘要 运用电子探针测定了新疆可可托海及湖南幕阜山伟晶岩绿柱石中熔融包裹体子矿物成分, 鉴定出绿柱石、锌尖晶石、云母、石英、磁铁矿等10种矿物并组成不同矿物共生组合. 其中锌尖晶石在国内外属首次发现, 它有2种存在形式. 研究成果证明伟晶岩存在局部岩浆分异作用, 岩浆具不混溶性和非均匀性. 此成果对岩浆岩、地幔岩及陨石研究均具有重要的实用意义.

关键词 电子探针 伟晶岩 熔融包裹体 锌尖晶石 局部岩浆分异

矿物中熔融包裹体研究, 是探讨岩浆岩形成物理化学条件的重要手段, 熔融包裹体均一温度及成分测定, 可为岩浆岩研究提供可靠的成岩温度及早期岩浆成分和矿物组分. 耶尔马科夫、Roedder、李兆麟、卢焕章等人[1~6], 在有关著作中分别介绍过利用电子探针测定矿物中熔融包裹体物质组分, 由于此项工作受一定条件限制, 因此文献中少见报道[7~8]. 最近作者成功地运用电子探针测定分析新疆可可托海、湖南幕阜山伟晶岩绿柱石中熔融包裹体成分. 通过30个测点分析获得了一些有意义的新成果, 在绿柱石及熔融包裹体中发现锌尖晶石, 在国内外属首次.

1 分析方法

选择含熔融包裹体的绿柱石在平行晶体 C 轴方向切片, 制备二面光包裹体薄片作研究之用. 由于绿柱石($Be_3Al_2Si_6O_{18}$)属环状硅酸盐结构, 在平行 C 轴方向具六方孔道构造, 在晶体生长时有利于形成晶体缺陷, 并捕获熔融体形成熔融包裹体. 所以在绿柱石晶体 C 轴方向任一部位切片, 均可切出平行 C 轴方向的熔融包裹体, 并在薄片表面分布, 通过薄片对包裹体做了详细观察, 了解其相态特征, 作为电子探针分析时参考. 然后, 利用反光显微镜对样品进行详细观察, 选择体积较大, 封闭较好的包裹体进行描述及定位. 样品按电子探针分析要求喷碳制样后, 即可在仪器中分析. 分析仪器为JXA-8800电子探针. 工作条件: 加速电压15 kV, 探针电流 2×10^{-8} A.

2 实验样品

研究样品为绿柱石, 主要采自湖南幕阜山及新疆可可托海伟晶岩, 在绿柱石中均发现熔融包裹体、晶质流体熔融包裹体及气-液相包裹体. 对二地区绿柱石及石英熔融包裹体进行均一温度测定, 前者为865~ 990 ℃, 后者为930~ 1140 ℃.

3 实验结果

上述2个地区伟晶岩绿柱石共测薄片4块, 分析10个熔融包裹体, 测点共30个(表1), 本项目由于分析对象是包裹体腔内的子矿物, 其大小往往小于3 μm, 加以表面不平, 子矿物与主

矿物之间有一定空间, 使在测量时造成 X 射线损失, 从而导致总量不能达到 99. 5% ~ 100. 5% .

表 1　伟晶岩绿柱石中熔融包裹体电子探针分析结果表

地区	薄片号	包裹体号	测点序号	化学成分/%												矿物名称
				Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	Nb_2O_5	Ta_2O_5	ZnO	合计	
湖南幕阜山	M11	BK1	2			0. 090	97. 67		0. 004	0. 029	0. 028	0. 101				97. 93	石英
		BK2	3	0. 264	0. 025	17. 40	62. 49	0. 031	0. 011			0. 363				80. 58	绿柱石
			4	0. 415	0. 006	19. 53	68. 59	0. 009	0. 022			0. 406				88. 98	绿柱石
			5	0. 129	0. 005	3. 564	92. 36	0. 027	0. 026	0. 005		0. 099				96. 21	石英
			6	0. 023	0. 010	0. 317	97. 62	0. 016	0. 026	0. 015		0. 092				98. 12	石英
			7	0. 009	0. 005	0. 153	97. 64				0. 008	0. 105				97. 92	石英
		BK3	9	0. 048	1. 274	0. 181	0. 284	0. 011	0. 029	0. 002	1. 442	54. 27	0. 017	0. 025		57. 58	磁铁矿(?)
			11	0. 178	0. 239	34. 34	49. 01	8. 67			0. 081	3. 34		0. 068		95. 93	云母
			10	0. 093	0. 673	20. 97	27. 04	1. 485	0. 217		0. 094	31. 42		0. 031		82. 02	含铁铝硅酸盐
		BK4	12		0. 014	56. 92	0. 079				0. 257	7. 269			31. 68	96. 22	锌尖晶石
			18			0. 104	98. 27	0. 005	0. 030	0. 024		0. 035		0. 092		98. 57	石英
		BK5	13		0. 071	57. 69	0. 085	0. 016			0. 348	7. 701			33. 09	99. 00	锌尖晶石
		BK6	17		0. 067	57. 41	0. 111	0. 002	0. 005		0. 238	7. 44			33. 92	99. 19	锌尖晶石
		BK7	19		0. 041	58. 38	0. 164	0. 004			0. 157	7. 767		0. 004	33. 82	100. 3	锌尖晶石
新疆可可托海	S_1	BK1	1		0. 110	55. 24	0. 093	0. 031			0. 382	4. 444			39. 40	99. 7	锌尖晶石
			2	0. 180	0. 628	33. 86	50. 50	10. 11		0. 014	0. 064	4. 720			0. 077	100. 2	云母
			3		0. 006	0. 193	97. 89	0. 042	0. 009			0. 087			0. 037	98. 26	石英
		BK2	5	0. 025		0. 094	0. 244	0. 075			0. 382	95. 14			0. 357	96. 32	磁铁矿
			6		0. 071	55. 78	0. 53	0. 002	0. 002		0. 157	3. 897			38. 78	99. 22	锌尖晶石
			7	0. 105	0. 719	32. 82	49. 40	9. 72		0. 01	0. 177	5. 71			0. 131	98. 79	云母
			8		0. 020	0. 083	98. 80	0. 020		0. 004		0. 158				99. 08	石英
王濮 1982(7)					0. 12	55. 91	0. 12		痕	0. 00	0. 42	7. 9			35. 85	100. 32	锌尖晶石
PAUL. G. Spry, 1986. PGS-10, 8 个测点平均值, 澳大利亚					0. 35	57. 79	0. 12			0. 00	0. 04	8. 38			33. 06	99. 73	锌尖晶石
PAUL. G. Spry. (3) PGS-78, 5 个测点平均值, 南美 Broken Hill					1. 30	56. 52	0. 05			0. 04	0. 33	6. 65			34. 99	99. 88	锌尖晶石

3. 1　湖南幕阜山伟晶岩绿柱石熔融包裹体电子探针分析

(1) 熔融包裹体 M11BK2 (图版 iv-1). 呈 • 型, 大小 250 × 15~ 100 × 10 μm, 属多相熔融包裹体, 共 5 个测点(3, 4, 5, 6, 7), 测点 3, 4 位于包裹体左方, 矿物呈梯形粒状, 长条状. 成分特征: Al_2O_3 变化在 17. 40% ~ 19. 53%, SiO_2 62. 49% ~ 68. 59%, SiO_2/Al_2O_3 为 3. 59~ 3. 5, 与主矿物绿柱石成分 SiO_2/Al_2O_3= 3. 56 比值相近. 由于电子探针未能分析 BeO, 因此测点 3, 4 分析总量应补加上 BeO 含量 13. 06% (为 M11 绿柱石化学分析 BeO 含量)[9], 其总量可达 93. 58~ 101. 98, 故确定 3, 4 测点为绿柱石. 此外子矿物绿柱石还含微量组分 Fe, Ca, K, Na, Mg, 其中 Fe/Mg 比值比主矿物高, 而 Na/K, Si/Al 则低, 具早期岩浆性质. 测点 5, 6, 7 成分主要为 SiO_2, 达92. 35% ~ 97. 54%, 按其成分主要为石英, 个别石英中 Al_2O_3 含量较高. 上述分析成果表明 M11 BK2 熔融包裹体为绿柱石-石英组合(图版 iv-1 附本刊后, 下同).

(2) 熔融包裹体 M11 BK3(图版 iv_2). 呈长条形, 大小 80 μm × 8 μm, 共 3 个测点(9, 11, 10), 测点 9 总量较低, 为 57. 58%, 其中 FeO 含量为 54. 27%, 占总量的 94%. 此外所含微量组分 Mg, Mn, Si, Al, Na, Ta, Nb 与文献[10]中磁铁矿微量组分相似, 故暂定为磁铁矿(?). 测点 11 位于 9, 10 两测点中部, 分析结果表明, 3 个测点分别代表 3 个不同矿物组分; 磁铁矿(?)-云母-含铁铝硅酸盐. 按元素含量高低, 在中部的 11 点, Na, Al, Si, K, Ta 较上下两端测点(9, 10) 高, 而 Fe, Ca, Ti, Mn, Mg, Nb 则较低, 测点 11 的 FeO 含量明显低于上下两测点(9, 10), 这表明该包裹体捕获熔体后, 在冷却过程曾产生局部岩浆分异作用, 形成磁铁矿(?)-云母-含铁铝硅酸盐

矿物组合(图版 iv-2).

(3) 熔融包裹体 M11 BK4(图版 iv-3). 呈长条形, 近六边形, 大小 40 μm × 10 μm, 属多相熔融包裹体, 共 2 个测点(12, 18). 测点 12 成分: Al_2O_3 56.92%, ZnO 31.68%, FeO 7.27%. 此外, 含少量 Mn, Mg, Si, 与文献资料[10~12]锌尖晶石成分近似, 故证明为锌尖晶石. 与澳大利亚及南美 Broken Hill 两地锌尖晶石平均成分相比[12], 本区包裹体中锌尖晶石 Al_2O_3, ZnO 均较低, 而 FeO 则介于两者之间. 在此熔融包裹体中发现锌尖晶石(Zn, Fe, Mg)Al_2O_4, 在国内外尚属首次. 测点 18 位于测点 12 上方, 其成分主要为 SiO_2, 达 98.27%. 此外含少量 K, Al, Ca, Ti, Fe, Ta, Mn, 分析结果表明, 包裹体中锌尖晶石与石英共生.

(4) 固体包裹体(M11 BK5, M11 BK6, M11 BK7). 尖晶石除在绿柱石熔融包裹体中呈子矿物形式分布外, 在绿柱石中还呈固体矿物形式存在, 形成锌尖晶石固体包裹体, 其形态有呈六边形粒状, 穿过包裹体石英部分(图版 iv-4), 大小 15 μm × 15 μm, 亦有呈近梯形(图版 iv-5). 3 个锌尖晶石固体包裹体测点共 3 个(13, 17, 19), 其平均成分: Al_2O_3 57.83%, FeO 7.4%, ZnO 33.61%. 此外还含微量组分 Mg, Si, K, Mn, Ta, (图版 iv-6, 7) 为相同形态锌尖晶石固体包裹体的 Zn X 射线图, 为论证锌尖晶石存在形式提供有力依据. 锌尖晶石固体包裹体的主要成分 Al, Zn, Fe 含量略高于包裹体中锌尖晶石含量, 与文献资料相近似.

尖晶石化学组成中 Fe-Mg-Zn 经常形成连续类质同象. 在本区锌尖晶石中 FeO 含量变化在 7.01%~7.76%, MgO 为 0.014%~0.071%, Fe, Mg 在锌尖晶石中主要以类质同象形式存在.

3.2 新疆可可托海伟晶岩绿柱石熔融包裹体电子探针分析

(1) 熔融包裹体 S-1BK1. 属多相熔融包裹体, 大小 57 μm × 17 μm, 长方形, 包裹体中结晶相呈品字形(图版 iv-8). 此包裹体共 3 个测点(1, 2, 3), 测点 1 位于包裹体右下方, 矿物呈长条形, 主要成分: Al_2O_3 55.24%, ZnO 39.40%, FeO 4.44%, 为锌尖晶石. 测点 2 位于包裹体中上部, 矿物呈现长条状, 主要成分为云母, 测点 3 为石英, 分析表明此包裹体矿物组合为锌尖晶石-云母-石英.

(2) 熔融包裹体 S-1BK2. 属多相熔融包裹体, 呈椭圆形, 共 4 个测点(5, 6, 7, 8), 点 6 位于包裹体左上方. 成分测定: Al_2O_3 55.78%, ZnO 38.78%, FeO 3.90%, 为锌尖晶石, 测点 5, 7 位于包裹体右方边部, 按化学成分两者分别为磁铁矿和云母, 云母中 FeO 为 5.71%, 对比伟晶岩白云母成分, 此测点 FeO 含量较高, 近黑云母成分. 测点 8 位于包裹体中部, 主要为石英. 据分析, 此包裹体矿物组合为锌尖晶石-磁铁矿-云母-石英组合.

关于新疆阿尔泰伟晶岩锌尖晶石, 王贤觉、邹天人等在《阿尔泰伟晶岩矿物研究》一书中曾做过叙述[13], 对该矿物定名主要据粉晶 X 射线衍射图谱、晶饱参数、比重、光性、折光率、颜色等来确定, 但研究工作中未对其进行化学成分分析, 及阐明确切的矿物共生组合关系. 本项研究工作在该区伟晶岩绿柱石熔融包裹体中首次发现锌尖晶石, 并分析其矿物成分及确定其共生矿物关系, 这对进一步揭示其赋存状态及矿物共生组合关系有重要作用.

本区熔融包裹体中锌尖晶石平均化学成分: Al_2O_3 57.01%, FeO 4.11%, ZnO 39.09%, 与幕阜山伟晶岩锌尖晶石相比, Al_2O_3 含量相近, FeO 较低, 而 ZnO 含量则较高. 其中 ZnO 含量高, 其形成 fO_2 环境较幕阜山高[12], 本区锌尖晶石成因与绿柱石在伟晶岩早阶段形成相关.

绿柱石中熔融包裹体中子矿物一般具早期岩浆性质, 据包裹体子矿物(绿柱石、硅铝酸盐

矿物) 成分与主矿物绿柱石中元素比值比较, Fe/ Mg 比值前者高于后者, 而 Na/ K, Si/ Al, Ta/ Nb 则相反, 反映出绿柱石中熔融包裹体具早期岩浆性质, 且两者之间化学成分具一定演化规律.

4 结语

本文运用电子探针分析绿柱石中熔融包裹体化学成分是行之有效的. 在绿柱石中发现锌尖晶石在国内外属首次, 它可在熔融包裹体中呈子矿物形式存在, 亦可以固体包裹体形式存在. 通过分析确定在绿柱石熔融包裹体中具不同矿物共生组合, 为论证局部岩浆分异作用, 岩浆具不混熔性及非均匀性提供实验依据[14]. 此项研究工作对当前岩浆岩、地幔岩、陨石物质成分及矿物组分研究具重大意义.

致谢 工作得到王汝成博士、赖明远工程师大力帮助和指导, 特表谢忱. 本文工作为国家自然科学基金(批准号: 49673189) 、南京大学成矿机制研究国家重点实验室、教育部博士学科点专项科研基金及中山大学科学研究基金资助项目.

参 考 文 献

1 • •а•щ• • •, •щ•Ѳщ ш •. •Ђ•щ•а щѲЂщБк•кГ. •щ•••а : ••да Ђ ъ•щ •••••, 1979. 165~ 213

2 •щ•щ•Ђ • •, •щь•• • •. •а •а щѲЂоаГ • къ а••к•а кГ •щ•аоо • ••АВЂокГ ••••ВЂокц •аъ •а•щ•. •щ•щьк•к ъ•: ••да Ђ ъ•щ •••••• •к•к ъ•щЂ• дЂ ЂокЂ, 1975. 151~ 166

3 Roedder E. Fluid Inclusions. Chelsea: Mineralogical Society of America, 1984. 381~ 412

4 李兆麟. 实验地球化学. 北京: 地质出版社, 1988. 131~ 192

5 卢焕章, 李秉伦, 沈 昆, 等编著. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 131~ 192

6 谢佛德 T J, 兰金 A H, 阿尔德顿 D H M, 著. 张恩世, 张文准, 高怀忠, 等译. 流体包裹体研究实践指南. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 22~ 38

7 李兆麟. 岩浆岩矿物中硅酸盐熔融包裹体研究. 中山大学学报(自然科学版) , 1994, 33(增刊) : 82~ 94

8 王碧香. 西藏中部地区火山岩中熔融体流体包裹体研究. 中国科学(B 辑) , 1986, (2) : 203~ 211

9 李兆麟, 毛艳华, 雷丽宏, 等. 湖南幕阜山花岗伟晶岩矿床绿柱石海蓝宝石形成的物理化学条件研究. 见: 胡瑞忠, 张忠编. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室年报(1992) . 北京: 地震出版社, 1993. 21~ 30

10 王 濮, 潘兆橹, 翁玲宝, 等编著. 系统矿物学, 上册. 北京: 地质出版社, 1982. 479~ 490

11 黄蕴慧, 杜绍华, 周秀中, 等著. 香花岭岩石矿床与矿物. 北京: 北京科学技术出版社, 1988. 97~ 102

12 Paul G Spry, Steven D Spry. The stability of zincian spinels in sulfide systems and their potential as exploration guides for metamorphosed massive sulfide deposits. Economic Geology, 1986, 81: 1 446~ 1 463

13 王贤觉, 邹天人, 徐建国, 等著. 阿尔泰伟晶岩矿物研究. 北京: 科学出版社, 1981. 102~ 104

14 李兆麟. 粒间溶液与成矿作用. 地质学报, 1986, 60(2) : 189~ 201

(1998-08-03 收稿, 1998-10-03 收修改稿)