

玄武岩成分区熔体结构的 Raman 光谱研究

王卫锋^{1,2}, 谭 劲², 张 德², 王青建¹, 田靖民¹, 田世德¹

1. 武汉市青山区建筑管理站, 湖北武汉 430080

2. 中国地质大学材料科学与化学工程学院, 湖北武汉 430074

摘要: 采用半导体脉冲激光光源和时间分辨探测技术, 对 Ab—An—Di 相图同结线附近处于玄武岩成分区的 2 个硅酸盐样品进行了升温过程的 Raman 光谱研究. 研究了该成分区域中玻璃—晶体—熔体高温下的相转变、升温过程及其熔体的特征光谱的变化特点. 发现高温熔体结构与低温玻璃结构存在明显区别, 晶体对熔体结构有继承性. 同时观察到了 $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 在熔态时的分相作用, 可能反映了该组分液态不混溶的发生. 通过对高频区的解谱, 初步探索了体系中各结构单元的种类及含量与温度的关系.

关键词: 硅酸盐熔体; 高温 Raman 光谱; 熔体结构; 结晶相.

中图分类号: P583; O657

文章编号: 1000-2383(2004)01-0039-06

收稿日期: 2003-03-20

Raman Spectra Study on Silicate Melt Structure at Basaltic Composition Region

WANG Wei-feng^{1,2}, TAN Jin², ZHANG De², WANG Qing-jian¹, TIAN Jing-min¹, TIAN Shi-de¹

1. Construction Management of Qingshan District, Wuhan 430080, China

2. Faculty of Material Science and Chemical Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract Two silicate glass samples at basaltic composition region, which are near the cotectic line in Ab-An-Di phase diagram, were studied by high-temperature Raman spectroscopy using pulsed semiconductor laser and time-resolved detection technique from 298 K to 1 673 K. Temperature-dependent characteristic spectra and phase transition of glass, crystal and melt were observed. It is obvious that there exist some differences between the structure of glass and melt. The heredity of crystal structure from melt structure is also discussed. The melt phase separation of $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$, occurred in the high-temperature melt state, is studied, which reveals a very important immiscible feature in magmatic process. The types and relative contents of the different structure units correlative to temperature are discussed by Gaussian deconvolution of the high-frequencies spectrum region.

Key words: silicate melt; high-temperature Raman spectroscopy; melt structure; crystallization.

0 引言

岩浆熔体分子结构研究是现代地学基础理论的前沿课题之一, 岩浆熔体结构(主要是硅酸盐熔体结构)对岩浆系统的热力学性质、物理性质有重大影响(莫宣学, 1985). 随着熔体研究手段的日益发展和计

算机技术的应用, 对硅酸盐熔体结构进行原位实测(in-situ)已经成为目前研究熔体结构的主要方向(Mysen, 1988). 高温 Raman 光谱是目前国际上广泛使用的研究硅酸盐熔体结构的一个重要手段, 它能直接有效地给出硅酸盐高温下的相转变、有序性和结构单元种类及其变化规律等重要结构信息, 以此

研究硅酸盐的热力学性质, 同时还能消除用淬冷玻璃模型描述高温熔体而引起的结构差异(尤静林等, 2000) . 钠长石($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) — 钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) — 透辉石($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), 即 Ab—An—Di 硅酸盐三元体系, 很早就被用来模拟研究中基性岩浆的作用过程(Weill *et al.*, 1980) . 这是一个成分较为复杂的体系, 能够很好地趋近天然岩浆体系, 但也给研究带来难度. 本研究选取 Ab—An—Di 相图中位于玄武岩成分区的 2 个组分点, 用高温 Raman 光谱测得样品的升温图谱, 以此研究该体系高温下相转变、升温过程及其熔体的特征光谱变化, 以及熔体结构中的结构单元种类及含量与温度的关系.

1 实验与测试

高温 Raman 光谱仪由脉冲激光器光源、高温炉、单色器和时间分辨探测系统 4 个部分组成(You *et al.*, 2001) . 光源采用半导体脉冲激光器, 其主要参数: 激光波长 532 nm, 脉冲频率 10 kHz, 脉冲持续时间 10 ns, 脉冲功率约 30 kW, 平均功率 0.25 W. 试样置于高温炉内竖直放置的刚玉炉管中心的铂铑(Pt—10%Rh) 的坩埚(高 30 mm, 直径 25 mm) 内, 光路采用背散射和共焦收集, 并聚焦至 JY U1000 型单色仪的入射狭缝上, 常温时狭缝宽度采用 300 μm , 高温时选用 500 ~ 800 μm . 出口狭缝的光谱信号则相应采用时间分辨探测方式. 单色仪的最大分辨率是 0.2 cm^{-1} , 高温测定时, 相应的分辨率在 10 cm^{-1} 左右. 同时, 高温电阻炉以铬酸钼棒作为发热元件, 在最高温度 2 023 K 时, 在炉中心上下 20 mm 的高度内, 温差小于 ± 1 K, 温度值由炉管外的热电偶经校正确定. 控温精度: ± 1 K, 测温误差: ± 3.0 K.

在钠长石(Ab) — 钙长石(An) — 透辉石(Di) 三元相图中(叶大年, 1991) , 作 $\text{Ab}_{25}\text{An}_{75}$ 与 Di 端元点的连线, 该连线与 2 条等温线所交的 2 个点为组分点. 具体位置如图 1 所示. 2 个组分点位于玄武岩成分区内. 其质量分数组成及组分点的相关参数均列于表 1.

表 1 硅酸盐熔体的成分和有关参数

Table 1 Silicate melt composition and related parameters

样品	成分	$w_B/\%$					NBO/T	T_m/K
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O		
1	$\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$	52.80	14.51	21.11	10.29	1.30	0.88	1 548
2	$\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$	52.16	17.54	20.20	8.62	1.52	0.70	1 548

NBO/T, 每个四面体结构单元中的非桥氧数; T_m , 熔点(据 Weill *et al.*, 1980) .

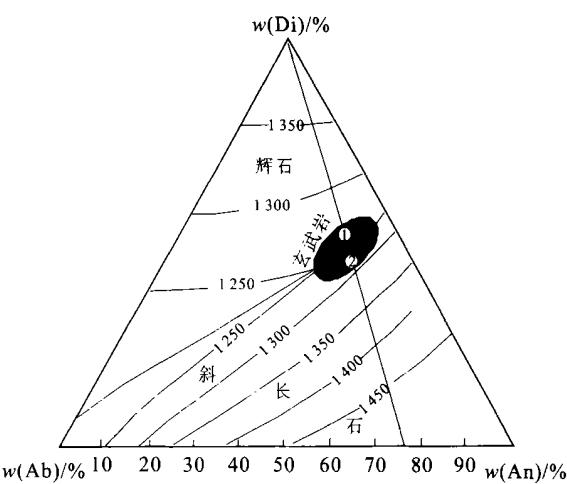


图 1 2 个样品在 Ab—An—Di 三元相图中的位置(等值线单位为 $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Positions of two samples in Ab—An—Di ternary phase diagram

在制备时, 样品用分析纯级的碳酸盐和氧化物混料配制, 置于铂金坩埚内, 缓慢升温至 1 723 K 熔制 1 h, 用水淬冷成玻璃. 均匀研磨后, 用铂金坩埚再次熔制, 最后制取 350 目(约 42 μm) 的原始玻璃粉末样, 然后置于高温炉体中进行升温测试.

2 结果与讨论

2.1 升温过程的 Raman 光谱变化特点

图 2 及图 3 分别是 $\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$ 和 $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 的升温 Raman 图谱. 图中对熔体和玻璃的 Raman 图谱作了基线校正和适当的平滑处理, 晶体的图谱则只进行了基线校正. 2 个样品均依次经历玻璃、晶体和熔体 3 种状态.

从 2 个升温图谱均可看出, 低温玻璃和高温熔体的 Raman 图谱总体形态十分相似, 这也是可以用玻璃替代熔体来研究熔体结构的一个主要原因. 目前已确认, 在 800 ~ 1 200 cm^{-1} 的高频区振动带是由不同的 Q^n (n 为结构单元的桥氧数, $\text{NBO}/\text{T}=4-n$,

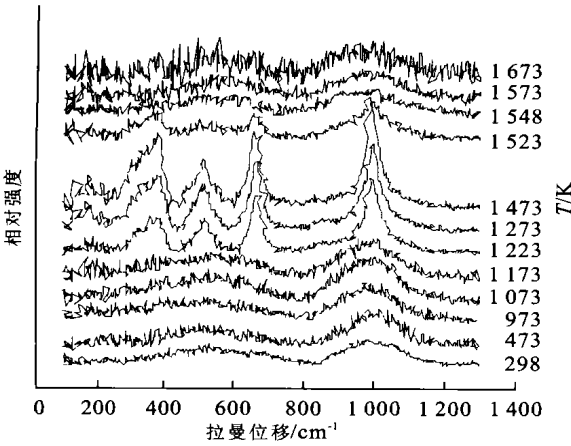


图 2 $\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$ 样品的升温 Raman 光谱

Fig. 2 Raman spectra of glass, crystal and melt of $\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$

n 为 0~4) 的振动带叠加而成的 (尤静林等, 2000), 其归属于各结构单元中 (Al, Si) — O^- (O^- 为非桥氧) 的伸缩振动. 而波数在 $400 \sim 800 \text{ cm}^{-1}$ 则属于 Si—O—Si(Al) 弯曲振动. 从总体的 Raman 图谱特征可以看出, 高频区振动特点显著, 从主峰位置在 1000 cm^{-1} 附近可知以含非桥氧比例大的结构单元 (Q^2) 的贡献为主. 宽展的谱峰显示了玻璃与熔体均具有多种结构单元共存并且长程无序的结构特点.

然而, 尽管玻璃与熔体在 Raman 图谱的线形方面很相似, 但玻璃的结构与熔体的结构确实存在着差异 (McMillan *et al.*, 1992; Mysen and Frantz, 1994, 1996). 尤其是高频区的中心峰位会随着温度的升高向低频部分作较大的偏移, 通过下面对高频区的解谱可清楚地看出, 这种偏移也反映了熔体结构中结构单元类型和相对数量与温度的内在关系. 这是玻璃与熔体结构的重要区别.

在样品升温过程中, 由于结晶作用, 2 个样品的 Raman 图谱均出现了显著的晶体峰. 晶体峰较之于玻璃和熔体的谱峰半高宽明显减小, 强度显著增加. 反映了结晶出来的晶体结构单元均一化, 具有长程有序的结构特点. 图 2 中 1523 K 的图谱揭示了晶体结构向熔体结构的过渡过程. 对比晶体的 Raman 标准数据库, 可知该系列样品中结晶相是斜长石 (Pl) 和透辉石 (Di), $370, 654, 1000 \text{ cm}^{-1}$ 峰均为透辉石的特征峰. 1000 cm^{-1} 峰代表了 Q^2 中非桥氧参与的 Si(Al) — O^- 伸缩振动, 而 654 cm^{-1} 峰则代表了 Q^2 中桥氧键的弯曲振动. $170, 500 \text{ cm}^{-1}$ 为斜长石的特征峰, 500 cm^{-1} 的峰代表了完全聚合结构单元

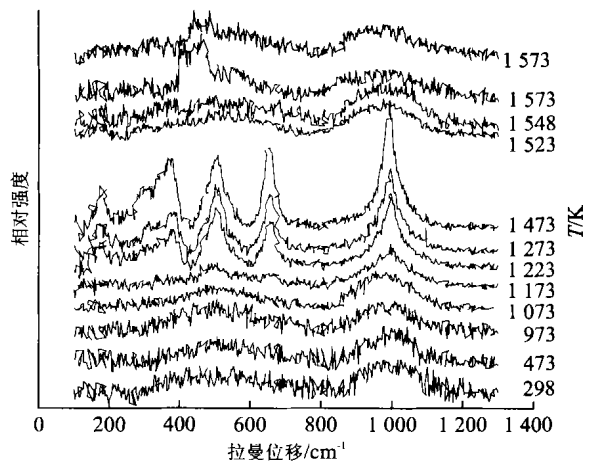


图 3 $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 样品的升温 Raman 光谱

Fig. 3 Raman spectra of glass, crystal and melt of $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$

的 Si—O—Si(Al) 摇摆振动. 低于 400 cm^{-1} 的振动均是由阳离子参与的长程有序的大骨架引起. 对比 $\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$ 和 $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 在 1473 K 时 (即结晶较为完好) 的图谱, $\text{Ab}_{10}\text{An}_{29}\text{Di}_{61}$ 中 I_{1000}/I_{500} 为 1.22, 而 $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 中 I_{1000}/I_{500} 为 1.18, 分别对应 Di 的摩尔分数 61% 和 52%. 可以看出这 2 类矿物特征峰的强度比变化趋势反映了样品中 Di 的含量变化特点.

同时, 对比晶体与玻璃及熔体的图谱, 不难发现晶体保留和继承了熔体结构中 500 cm^{-1} 和 1000 cm^{-1} 的 2 个中心峰位, 图 3 中 1173 K 的图谱清晰地揭示了这种继承关系. 这正是非均匀成核理论的基体效应的反映, 即首先晶出的为熔体结构中占主量的结构单元 (朱卫国等, 1998).

除了以上随着温度的升高图谱所反映的一般规律外, $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 在熔态时还出现了一个重要的结构变化特点. 样品在熔点 1548 K 附近所有对应晶体特征的振动峰都消失了, 即完全熔融. 然而当温度升到 1573 K 时, 在 400 cm^{-1} 和 466 cm^{-1} 出现了较为尖锐的 2 个宽带峰, 强度也较大. 在此温度熔体停留 30 min 后, 可以看出两宽带峰向高频部分相应漂移到 437 cm^{-1} 和 481 cm^{-1} , 强度相对有所减小. 对比晶体的图谱可知, 这些峰位均非上述 2 种矿物晶体的特征峰. 根据熔体聚合物理论, 熔体中各种结构单元总是同时双向进行着聚合与解聚的作用 (周亚栋, 1994). 由于具有纯架状结构的 SiO_2 最强特征峰在约 440 cm^{-1} 处 (McMillan *et al.*, 1994), 因此可以类推推测: 该成分在 1573 K 时, 熔体结构中可

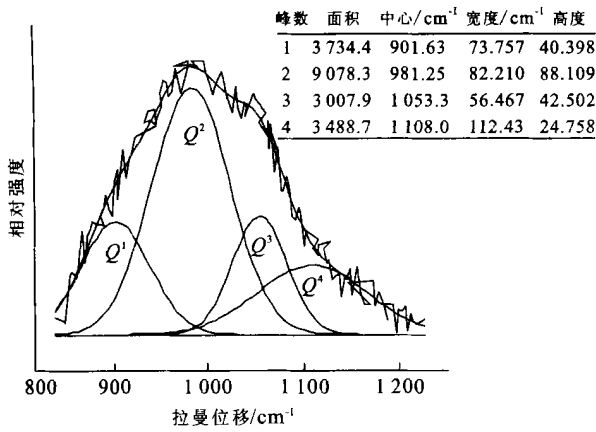


图 4 Ab₁₀An₂₉Di₆₁样品在温度 298 K 高频区解谱图

Fig. 4 Gaussian deconvolution of stretch vibrational band at 298 K of Ab₁₀An₂₉Di₆₁

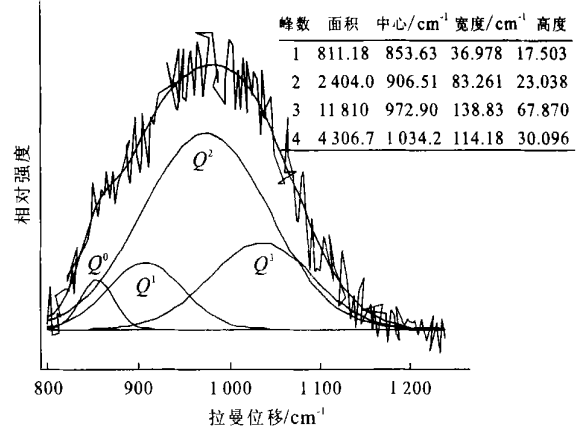


图 5 Ab₁₀An₂₉Di₆₁样品在温度 1 573 K 高频区解谱图

Fig. 5 Gaussian deconvolution of stretch vibrational band at 1 573 K of Ab₁₀An₂₉Di₆₁

能出现了由完全聚合结构单元为主构成的局部有序结构,可能是一种明显的中程有序结构,类似于晶体的长程有序结构,但不是很稳定.局部重组的结构可能随热扰动而慢慢消失或变弱,因此可以认为是一种亚稳态的表现.由于这是一种液态状态下的结构转变,从谱学特征来看,有一个相对富桥氧的以架状结构单元为主的新系相形成,这可能反映了液态分相作用(即不混溶)的发生(谭劲等, 1997). 尤静林等(2002)在研究 Li₂B₄O₇ 熔态结构的高温 Raman 光谱时,也曾发现类似的高温熔体中局部的有序现象.

2.2 高频区 Raman 光谱解析

很多关于硅酸盐玻璃和熔体的 Raman 光谱研究已经确认,一般通过高斯(Gaussian)线形拟合的方法对 Raman 光谱的高频部分进行解析,可以大致获得不同 Q^n 的种类及转化关系等信息(Mysen *et al.*, 1982). 本实验对 Ab₁₀An₂₉Di₆₁ 样品升温 Raman 图谱中玻璃(298 K)和熔体(1 573 K)的高频部分进行了解谱.图 4 和图 5 分别为 Ab₁₀An₂₉Di₆₁ 在 298 K 和 1 573 K 的解谱结果.从图谱的解析可以看出,熔体结构不像晶体结构那样结构单一,而是含有丰富的结构单元.在玻璃态,其结构单元包括 Q^1 (901 cm^{-1} 带)、 Q^2 (981 cm^{-1} 带)、 Q^3 (1 053 cm^{-1} 带)和 Q^4 (1 108 cm^{-1} 带).各结构单元的峰面积可以近似表示它们的相对含量[由于 Raman 光谱对 Q^4 的散射效率很低,通过面积的估测方法误差很大(Mysen, 1999),故不参与计算],分别为 Q^1 23.6%、 Q^2 57.3%和 Q^3 19.1%.熔态时,结构单元为 Q^0 (853 cm^{-1}

带)、 Q^1 (906 cm^{-1} 带)、 Q^2 (972 cm^{-1} 带)和 Q^3 (1 034 cm^{-1} 带),相对含量近似为 Q^0 4.2%、 Q^1 12.4%、 Q^2 61.1%和 Q^3 22.3%.需要说明的是,如果要测得各结构单元实际的分布,必须对各个 Q^n 进行散射截面的校正.

比较玻璃与熔体的解谱结果不难发现,1 573 K 熔态较 298 K 玻璃态的结构单元 Q^3 和 Q^2 的 Raman 位移都向低频部分作了较大偏移.造成这种偏移的原因是:淬冷玻璃的结构只是样品在玻璃转变点 T_g 附近的结构(Mysen, 1996),但随着温度的升高, Si—O—Si (Al) 键角的分布和 (Al, Si)—O 的键长都会随之增加,从而在微观上引起微结构单元的振动频率红移,而宏观上则引起整个高频区图谱中心峰位的偏移.同时在熔态中 1 100 cm^{-1} 左右的峰带消失,而出现了 853 cm^{-1} 峰带(Q^0),且由于熔态各个结构单元的近似相对含量较之于玻璃态时也发生了较大的变化,故表明在熔体结构中确实存在着 $2Q^n = Q^{n+1} + Q^{n-1}$ ($n = 1, 2, 3$) 的动态平衡,且反应随着温度的升高向右移动.这与其他研究者的结论是一致的(Virgo *et al.*, 1980; Seifert *et al.*, 1982; Mysen, 1990).

3 结论

对 Ab—An—Di 相图同结线附近处于玄武岩成分区的 2 个硅酸盐样品进行了升温过程的 Raman 光谱研究,得出以下几点认识: (1) 晶体结构与熔体结构存在显著的差别,玻璃与熔体的 Raman 光谱虽

然很相似,但通过解谱可知它们的结构其实存在很大差异。(2) $\text{Ab}_{12}\text{An}_{36}\text{Di}_{52}$ 在 1 573 K 时出现类似晶体的峰并伴随有峰的漂移,表现了熔体结构的亚稳定性,可能反映了液态分相作用(即不混溶)的发生。(3) 处于玄武岩成分区的该体系熔体结构中,存在着 $2Q^n = Q^{n+1} + Q^{n-1}$ ($n=1, 2, 3$) 的复杂的动态平衡关系。其中以 Q^2 结构单元占主体,但随着温度的升高,结构单元种类会更加丰富。

致谢:作者感谢上海大学钢铁冶金新技术开发应用重点实验室尤静林、蒋国昌老师的悉心指点。同时也感谢中国地质大学(武汉)资源学院拉曼实验室何谋春老师的热心帮助。

References

- McMillan, P. F., Poe, B. T., Gillet, P. H., et al., 1994. A study of SiO_2 glass and supercooled liquid to 1 950 K via high-temperature Raman spectroscopy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 3653—3664.
- McMillan, P. F., Wolf, G. H., Poe, B. T., 1992. Vibrational spectroscopy of silicate liquids and glasses. *Chemical Geology*, 96: 351—366.
- Mo, X. X., 1985. The melts structure of magma. *Geological Science and Technology Information*, 4(2): 21—31 (in Chinese with English abstract).
- Mysen, B. O., 1988. Structure and properties of silicate melts. Elsevier, Amsterdam.
- Mysen, B. O., 1990. Role of Al in depolymerized, peralkaline aluminosilicate melts in the systems $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ and $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. *Am. Mineral*, 75: 120—134.
- Mysen, B. O., 1996. Haploandesitic melts at magmatic temperatures: In-situ, high-temperature structure and properties of melts and the join $\text{K}_2\text{Si}_4\text{O}_9-\text{K}_2(\text{KAl})_4\text{O}_9$ to 1 236 °C at atmospheric pressure. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 3665—3685.
- Mysen, B. O., 1999. Structure and properties of magmatic liquids: From haplobasalt to haploandesitic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63(1): 95—112.
- Mysen, B. O., Finger, L. W., Virgo, D., 1982. Curving-fitting of Raman spectra of silicate glasses. *Am. Mineral*, 67: 686—695.
- Mysen, B. O., Frantz, J. O., 1994. Silicate melts at magmatic temperatures: In-situ structure determination to 1 651 °C and effect of temperature and bulk composition on the mixing behavior of structure units. *Contrib. Mineral Petrol.*, 117: 1—14.
- Mysen, B. O., Frantz, J. O., 1996. Raman spectroscopy of silicate melts at magmatic temperatures: $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ and $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ binary compositions in the temperature range 25—1 475 °C. *Chemical Geology*, 96: 321—332.
- Seifert, F., Mysen, B. O., Virgo, D., 1982. Three-dimensional network structure of quenched melts (glass) in the systems $\text{SiO}_2-\text{NaAlO}_2$, $\text{SiO}_2-\text{CaAl}_2\text{O}_4$ and $\text{SiO}_2-\text{MgAl}_2\text{O}_4$. *Am. Mineral*, 67: 696—717.
- Tan, J., Zhao, S. R., Mo, X. X., et al., 1997. Magma immiscible controlling rock composition and texture. *Earth science—Journal of China University of Geosciences*, 22(2): 165—170 (in Chinese with English abstract).
- Virgo, D., Mysen, B. O., Kuskiro, I., 1980. Anionic constitution of silicate melts quenched at 1 atm from Raman spectroscopy: Implications for the structure of igneous melts. *Science*, 208: 1371—1373.
- Weill, D. F., Hone, R., Navrotsky, A., 1980. The igneous system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8-\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8-\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ variations on a classic theme by Bowen. In: Hargraves, R. B., ed., Physics of magmatic processes. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 49—92.
- Ye, D. N., 1991. The use of silicate phase diagram. *Material Geology*, 14: 22—25 (in Chinese with English abstract).
- You, J. L., Jiang, G. C., Wen, Q., et al., 2002. High-temperature Raman spectra and micro-structure study of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ crystal, glass and its melt. *Chinese Journal of Light Scattering*, 13(4): 240—248 (in Chinese with English abstract).
- You, J. L., Jiang, G. C., Xu, K. D., et al., 2000. High-temperature Raman spectroscopic study of the structure of sodium disilicate crystal, glass and its melt. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 20(6): 797—799 (in Chinese with English abstract).
- You, J. L., Jiang, G. C., Yang, S. H., et al., 2001. Temperature dependence of the Raman spectra and phase transition of zirconia. *Chinese Physics Letters*, 18: 991—993.
- Zhou, Y. D., 1994. Physical chemistry of abio-material. Wuhan University of Technology Press, Wuhan, 219—236 (in Chinese).
- Zhu, W. G., Xie, H. S., Xu, J. A., et al., 1998. The study of melt structure of basaltic at 1 650 °C, 1—3 GPa. *Chinese Science Bulletin*, 43(14): 1562—1566 (in Chinese).

附中文参考文献

- 莫宣学, 1985. 岩浆熔体结构. 地质科技情报, 4(2): 21—31.
- 谭劲, 赵珊茸, 莫宣学, 等, 1997. 岩浆不混溶对岩石成分和结构的控制. 地球科学——中国地质大学学报, 22(2): 165—170.

叶大年, 1991. 硅酸盐相图的妙用. 建材地质, 14: 22—25.
尤静林, 蒋国昌, 文启, 等, 2002. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 晶体、玻璃及其熔态结构的高温 Raman 光谱研究. 光散射学报, 13(4): 240—248.
尤静林, 蒋国昌, 徐匡迪, 等, 2000. 二硅酸钠晶体、玻璃及其熔体结构的 Raman 光谱研究. 光谱学与光谱学分析, 20

(6): 797—799.
周亚栋, 1994. 无机材料物理化学. 武汉: 武汉工业大学出版社, 219—236.
朱卫国, 谢鸿森, 徐济安, 等, 1998. 1 650 $^{\circ}\text{C}$, 1—3 GPa 下玄武岩熔体结构的实验研究. 科学通报, 43(14): 1562—1566.

藏南金锑成矿带成矿规律研究及找矿取得重大进展

郑有业^{1,2}, 赵永鑫¹, 王 苹¹, 范文玉², 陈 静², 曹新志¹, 张晓保²

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074
2. 西藏自治区地质调查研究院, 西藏拉萨 850003

研究区位于北喜马拉雅地区, 广泛发育石炭纪—早二叠世地台型沉积建造、中生代陆隆—陆坡及深海断陷盆地建造. 受两大板块俯冲、碰撞作用的影响, 在藏南地区形成了一系列在不同层次构造层发育的拆离断层、与伸展背景有关的近南北向的新生代盆地和强烈的地下热液活动与深层拆离作用有关的变质核杂岩.

1999—2002 年通过开展《西藏措美县马扎拉金锑矿控矿因素与成矿规律研究》和《西藏江孜—隆子金锑成矿带资源潜力调查评价》项目, 笔者对藏南金锑成矿带进行了系统深入的研究, 在认识上有重大突破, 对藏南控矿因素及成矿规律提出了创新的见解; 在找矿上取得了重大进展, 发现了一批具有重要找矿前景的矿床(点). 主要体现在:

(1) 提出了“以 NW 向的拉孜—邛多江缝合带及洛扎生长断层、近 SN 向的勒金康桑断裂带及洞嘎伸展走滑断裂这 4 条构造围限构成的羊卓雍错—哲古错深海断陷盆地四周, 与然巴、也拉香波等变质核杂岩的复合部位是赋矿最有利部位”的新认识(图 1); 并将成矿划分为被动大陆边缘裂陷(谷)喷流(热水)沉积、浊流沉积、生物有机质富集的同沉积期及逆冲推覆、伸展拆离、火山一次火山岩浆热液叠加改造的同造山期.

(2) 提出了“成矿地质环境和成矿流体具浅成性、成矿物质和成矿热动力机制具深源性, 含矿流体

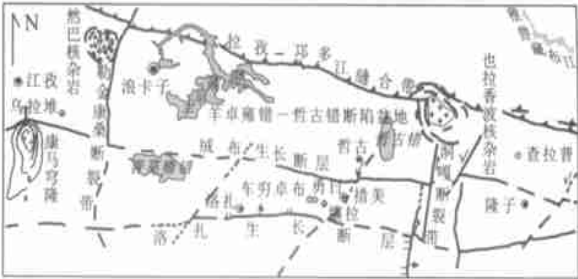


图 1 藏南江孜—隆子一带构造略图
Fig. 1 Tectonic sketch map of Jiangzi-Longzi region in southern Tibet

为以岩浆水为主的混合水, 属沉积—叠加改造型矿床”的成因观点.

(3) 将藏南金锑矿床类型划分为喷流—沉积型、喷(浊)流—沉积—改造型(包括卡林型、浊积岩型)、浅成低温热液型(包括低硫浅成热液型、碱性杂岩型、热泉型), 组成与被动大陆边缘裂陷(谷)喷(浊)流—沉积—改造有关的 Au—As—Sb、W—Sb—Au—As、Au—Sb、Sb 矿床系列, 以及与火山一次火山岩有关的浅成低温热液型 Au、Hg—Sb、Au—Ag、Cu—Au、Cu—Pb—Zn 矿床系列.

(4) 提出了“晚三叠世—早白垩世的一套喷流或浊流灰黑色碳硅泥岩系、同造山期的韧性剪切及拆离构造叠加改造、中新世基—中基性浅成超浅成脉岩(包括碱性杂岩)发育”的“三位一体”的找矿模式. 并认为东西向深大断裂与南北向构造交汇并夹持变质核杂岩的部位是寻找金锑矿床的有利地区;

(下转 68 页)