

上地幔流体和地幔岩结构^①

刘瑞 朱平

(北京大学地质学系) (浙江地质研究所)

叶有钟 叶桂顺

(浙江第三地质大队)

迄今,已经公认产于玄武岩中的橄榄岩包体,又称幔源包体,是来自上地幔的物质,是研究地幔岩的直接对象。幔源包体来自 100km 左右(80-120km)的深度,经受过相当高的压力。幔源包体的成分以橄榄石为主,基本上是石榴石二辉橄榄岩和尖晶石二辉橄榄岩组成的,通常显近等粒的粗粒结构。我国东部多处玄武岩中都含有这种橄榄岩包体。粗大的橄榄石晶体可达宝石级,有的地方将橄榄岩包体作为绿宝石开采,当地居民因此突然富裕起来。

研究地幔岩的学者都知道,由地幔带到地表的橄榄岩包体尽管经历过巨大的压力并在高压中形成,但其结构却相当松散,矿物颗粒彼此结合得并不牢固,甚至用手可以剥落下来橄榄石颗粒。采宝石者一般不必放炮,在采场发现大颗粒橄榄石就用手或锤子轻微击打将其剥落出来。实验室测定抗拉强度,这种橄榄岩的抗拉强度不仅比其围岩玄武岩低,而且甚至比灰岩和大理岩低。灰岩和大理岩是碳酸盐岩,其强度通常比硅酸盐岩低。为什么超高压环境下形成的岩石强度如此之低呢?有人用减压膨胀来解释,即高压致密的材料经受减压时,相当于岩石从深部被带到浅部时,其结构由致密变为松散,因此降低了强度。这种解释有一定通理,在显微镜下发现橄榄石晶体都有一些不规则的裂纹,这些裂纹自然降低了橄榄岩的强度。但是,显微镜下也发现,几乎不存在橄榄石颗粒之间的裂开,颗粒之间往往有平直的结合面,橄榄石有高突起边界,却并不存在彼此裂开的边界。采宝石的人从岩石中剥离出来的单晶橄榄石并没有碎裂。那些显微镜下见到的橄榄石裂纹多半应理解为橄榄石裂理,几乎每一本光性矿物学教科书上都描述橄榄石有裂理,这种裂理并不是来自地幔岩的橄榄石所独有的。这样,减压膨胀的解释看来并不令人满意。美国的实验室模拟 660km 深,相当中地幔深度的岩石并没有明显的密度变化,即不大可能有体积膨胀引起的松散效应。

为解释来自上地幔岩石的松散性,不妨先回顾一下普通岩浆岩的坚固性。以花岗岩为例,它的坚固性不仅取决于其造岩矿物的硬度,而且取决于其结构的密度。花岗岩主要由长石、石英和云母三种主要造岩矿物组成。早结晶的长石和云母呈自形或半自形的厚板状和片状晶体,晚结晶的石英呈他形出现在剩余的空间,固化后,使各矿物颗粒之间如同镶嵌一样结合在一起,十分牢固。这就是花岗岩结构。

幔源包体几乎是由一种矿物——橄榄石组成,其等粒结构可以说明是大致同时结晶的。如果在融体中,有许多晶芽悬浮并且接近等速地长大,当彼此靠近时,其接触面是平直的,周围都

^① 国家自然科学基金资助项目: 49133009, 49172133

被其它颗粒限制,将最终形成多面体形状。如果晶芽是各向同性材料,将以同心球形状生长,长到一定程度与其它同心球相接触,球状表面将被限制发展而以平面代替。但平面也不能发展太大就受第三个同心球的限制,从而形成三个面的交棱。理想的多球体生长彼此限制的结果将形成一个 14面体的聚形,这个 14面体是由一个正 6面体和一个正 8面体组成的。这个形状即能保证多个单体结合后能够密合不留孔隙,又能保证单位体积内总表面积最小,以保持表面势能的降低,目前通用的商品和仪器包装用的白色塑料衬垫的表面显出近等粒的六边形和四方形平面形状,从内部剥离下来的每个颗粒接近 14面体的形状。这种塑料品的制作过程恰是许多小塑料球逐渐受压,彼此挨近结合而成的,有的受压不均匀,还保持着球面颗粒的形状。

橄榄石不是各性同性的,不可能以同心球状生长,但是各橄榄石的晶芽在长大时彼此干扰,最终仍能形成近似 14面体的等粒结构。这种结构不具有因结晶先后顺序而特有的镶嵌结构,颗粒之间仅仅是简单的贴靠。橄榄石是硬度较大的矿物,自身不容易破裂,而橄榄岩之所以松散,完全是由于彼此结合不牢的缘故,所以才能从橄榄岩表面用手剥落下橄榄石颗粒。越粗粒橄榄岩的结构越松散,河北大麻坪的幔源包体比浙江西陇的幔源包体的粒度粗,所以大麻坪的橄榄岩比西陇的橄榄岩松散。

在上地幔条件不能够有大量的橄榄石同时以近乎等速结晶,如果没有流体存在是很难想象的。目前推测地幔物质有极高的粘性系数,我国东部地幔岩的粘性系数在 $10^{20} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 到 $10^{25} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 间,集中在 $10^{23} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 左右,这些数据也许是偏高的。在如此高粘度的介质中,温度传播和流动速率都很慢,温度肯定是不均匀的,不可能在较大范围内有同时达到橄榄石熔点温度的可能性,因此橄榄石也不可能同时结晶。只有存在低粘度流体时,温度传播和流动速率才会加快,才能在较大范围内达到均一的温度。在这种条件下橄榄石才能同时结晶并等速生长,形成现在见到的等粒状具有边界的结构。上地幔最活泼的组分可能是氢、卤素和热、碱金属、碳、氧、氮和硫,杜乐天称之为幔计,这些活泼组分及其之间的化合物将有效地升降地幔物质的粘度并且有助于已结晶的橄榄石粒度变大。粒间孔隙逐渐减小,孔隙流体逐渐被排除,橄榄岩中最后将找不到活泼组分的痕迹。但是,这些橄榄岩被作为包体从深部带上来以前,肯定是在悬浮的条件下从晶芽开始长大的,并且迅速受到其它晶粒的限制而成他形。如果生长缓慢,晶芽彼此不受干扰,应保持细粒和自形,堆积起来会有定向排列,而幔源包体没有这种结构。