

紫苏花岗岩与宝石矿物的成因

M. S. Rupasinghe. and. C. B. Dissanayake

引言

斯里兰卡的宝石沉积矿床闻名于世,矿床中所含的宝石矿物以刚玉、金绿宝石、尖晶石、石榴石、绿柱石、电气石、黄玉和锆石为主。虽然人们对这些宝石沉积矿床的矿物学非常熟悉,但是由于对它们的地球化学研究工作做得很少,因此对这些矿物的源岩和成因尚不清楚。Munasinghe 和 Dissanayake 曾对斯里兰卡的宝石成因做过研究,研究表明宝石矿物是经脱硅作用形成的,脱硅作用是紫苏花岗岩和其他基性岩(如富透辉石的岩墙和岩床)侵入到铅质变质沉积岩中的接触变质作用引起的。本文通过更详细的调查研究,论述了紫苏花岗岩在高级变质地体的宝石形成过程中所起的作用。

地质环境

斯里兰卡百分之九十的岩石属前寒武纪,有两个主要部分构成,即高地群(Highland Group)和维贾延杂岩(Vijayan Complex),高地群有一个变质亚群—西南群(Southwest Group)。地理上,维贾延杂岩被高地群的线状弧形褶皱带分为东西两部分。高地群为一套麻粒岩相条件下形成的变质沉积岩及变质火山岩,主要岩石类型为紫苏花岗岩(酸性、中性和基性的);未分变质沉积岩(含石榴石麻粒岩。含石榴石黑云片麻岩、石榴—矽线—黑云片麻岩);榴英矽线变质岩(Khondalites)(石英—长石—石榴—矽线—石墨片岩);石英岩,结晶灰岩,钙质片麻岩,钙质麻粒岩,角闪麻粒岩和角闪岩。这些岩石呈互层或夹层紧密伴生,其中以紫苏花岗岩占的比例最大。宝石矿床主要产在高地群分布区(图1)。西南群主要由斑花大理岩、紫苏花岗岩和含堇青石片麻岩组成。除经搬运的宝石砂矿外,维贾延杂岩区内缺少较大的宝石矿床。西维贾延杂岩由基底型浅色黑云片麻岩、混合岩、粉红色花岗质片麻岩和花岗岩类岩石组成。东维贾延杂岩由黑云(或角闪石)片麻岩和花岗质片麻岩组成,并且零星分布着变质沉积岩的条带或夹层和紫苏花岗片麻岩。

在 高地群分布区内,不仅分布着一些宝石小冲积砂矿,而且有拉特纳普勒(Ratnapura)和拉克瓦纳(Rakuana)宝石矿田;还可见到锆石花岗岩类侵入岩、石英脉和伟晶岩。维贾延杂岩区内,紫苏花岗岩和宝石都是罕见的。拉特纳普勒和拉克瓦纳宝石矿田是辽阔的更新世或近代冲积层和包含在河床、洪积平原和废弃的河道中或在陡坡山麓冲积扇位置沉降下来的一小块和一片片重矿物砾石层。埃拉赫拉(Elahera)宝石矿田,在地貌

本文 1989 年 3 月收到,1990 年 7 月改回。

上呈山脊和谷地;在地质上为倾伏向斜。该区有花岗岩和含宝石伟晶岩产出,常见的岩石类型为石英岩、大理岩、含电气石的石榴—砂线—黑云片麻岩和紫苏花岗岩。含石榴子石片麻岩的电气石化很显著。本区含宝石的地表堆积物质是红色粘土、砂质粘土和砂砾层,其中以红色粘土最引人注目。

结果和讨论

从正在开采的宝石砂砾层和新鲜的岩石露头上分别取样做化学分析,分析精度经检查其相对标准偏差为±5%。一组三元图解(图2)表明了含宝石的沉积物与伴生岩特别是紫苏花岗岩之间的化学关系。如图2①—③所示,基性紫苏花岗岩的投影点接近拉特纳普勒型含宝石沉积物;其余的三元图解(图2④—⑦)中,含宝石沉积物的投影点靠近K₂O和Al₂O₃端元点,这与显示不同性状的紫苏花岗岩不同;而在Na₂O—CaO—MgO三元图中,基性紫苏花岗岩的投影点处在拉特纳普勒含宝石沉积物的投影点范围之内。

岩石样品中元素与含宝石的沉积物所含元素相比有显著的差异变化,这明显取决于有关元素在风化、搬运期间的地球化学活动性。在基性岩石中一般富集Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn等元素,由于斯里兰卡宝石矿田中基性岩石丰富意味着这些元素可能得到了富集。由附表4说明了含宝石的沉积物相对于源岩来说元素富集与贫化的情况。

紫苏花岗岩在宝石矿物形成中的作用

最初Holland的紫苏花岗岩的定义是含斜方辉石的、一般具有花岗质成分的岩石。他还把与斜方辉石密切共生的中性和基性岩归属为紫苏花岗岩系列。许多紫苏花岗岩含有石榴石,其中包括那些产于印度Madras的紫苏花岗岩。后来,在高级变质区几位研究者阐述了酸性、中性和基性紫苏花岗岩(Quencel, Cooray等)。

Jayawardena和Carswell通过研究斯里兰卡东南地区紫苏花岗岩的地球化学和铁镁矿物成分作出的变异图解表明基性紫苏花岗岩的投影点靠近玄武岩,并且从基性到酸性紫苏花岗岩,钾含量增加,这一特征在本文中(图2④)也有反映。

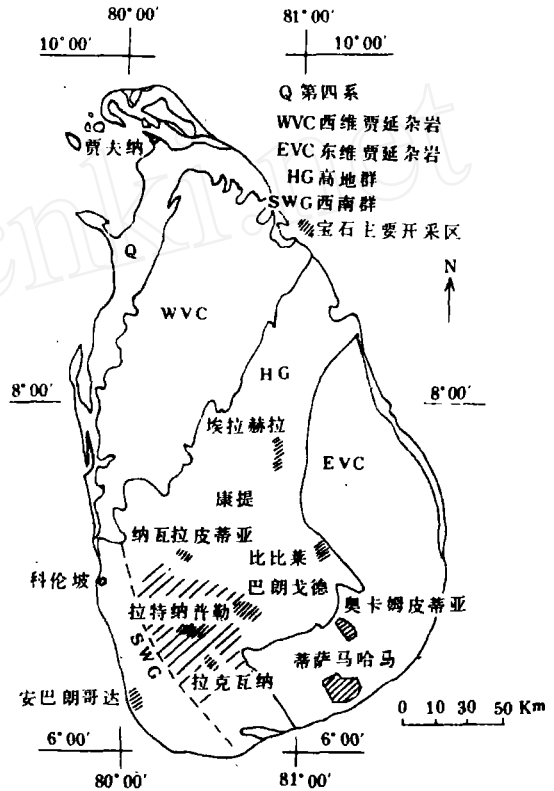


图1 斯里兰卡主要宝石矿分布图

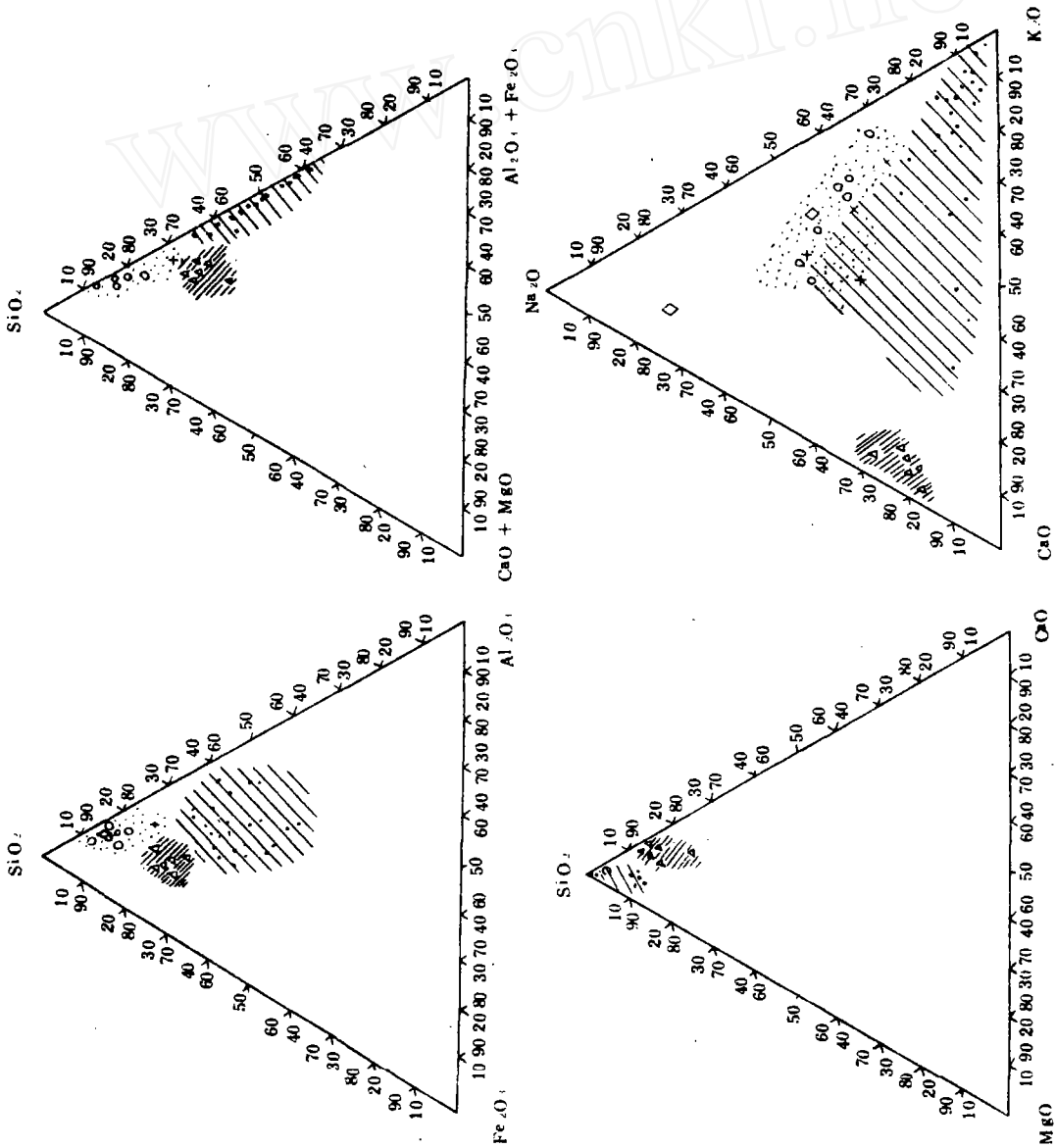


图 2 源岩和含宝石沉积物关系三元图解

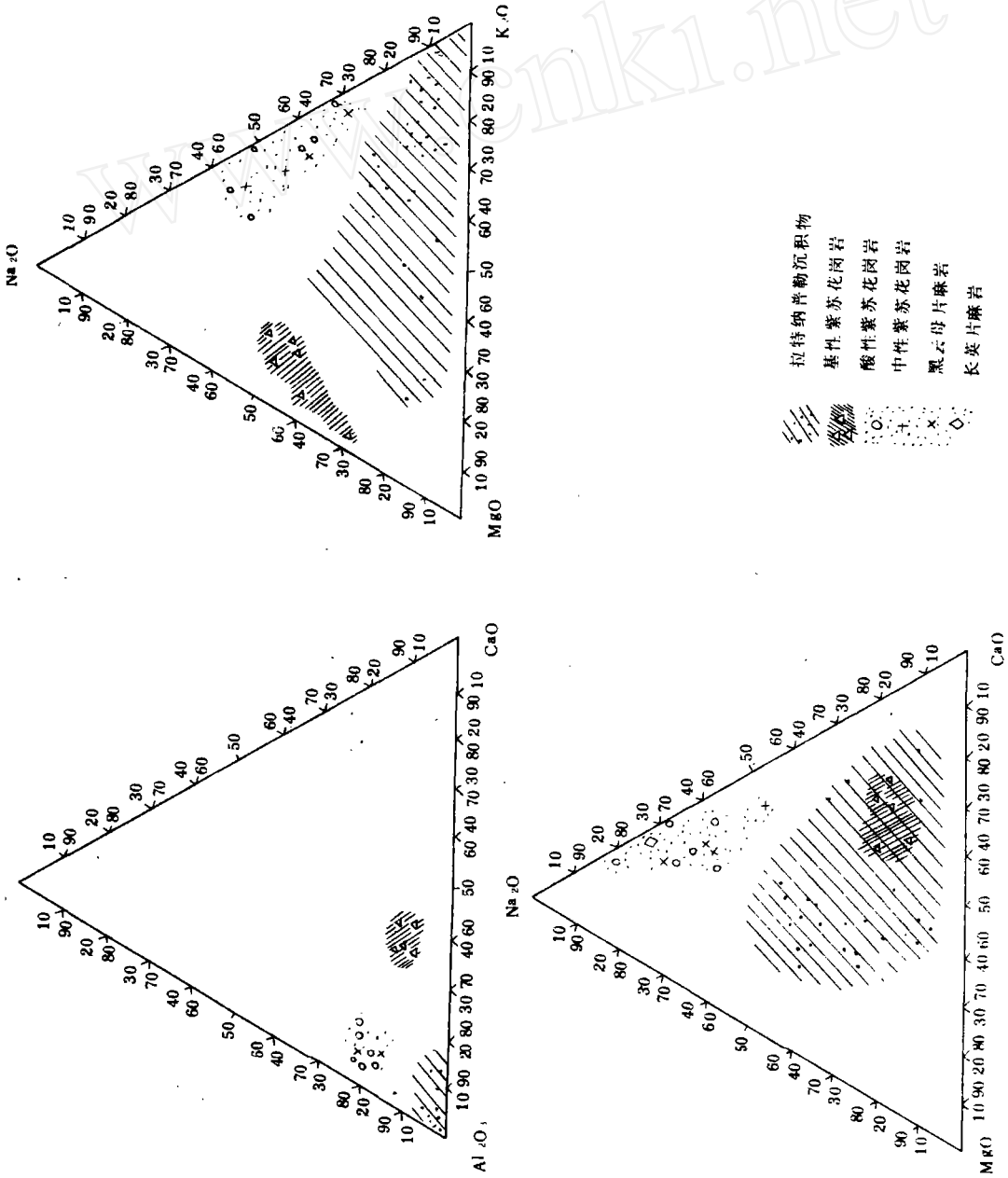


图2 源岩和含宝石沉积物关系三元图解

Munasinghe 和 Dissanayake(1980)研究了高地群的紫苏花岗岩的痕量元素地球化学,其结论是中性到基性紫苏花岗岩和角闪岩是玄武质岩石经强烈变质的产物。在变质前,高地群中的火山作用和沉积作用与太古代绿岩层序的渐进形成过程相类似,目前的高地群则代表着深变质的绿岩带。地球化学、岩石学和野外观察的证据都表明斯里兰卡的紫苏花岗岩和伴生的花岗岩是具有亲缘关系的同源岩石,岩浆分异作用造成了岩系和各种差异。在世界上其它地区,紫苏花岗岩—花岗岩的组合是屡见不鲜的,瑞典的 Varberg 地区前寒武纪的结晶杂岩与高地群的岩性很相似;在挪威南部,奥长环斑花岗岩与紫苏花岗岩之间也存在着同源关系。上地壳中的花岗岩侵入体可能起源于深成紫苏花岗岩的活动。

表 4 含宝石沉积物中元素的富集与贫化

1	Cr	富集在含宝石砾石层的 <1.63μm粒级中
2	Ni	
3	Co	
4	Zr	
5	Cu	
6	Be	
7	V	
8	Fe	
9	Al	
10	Ti	
11	Li	
12	Zn	
13	Mn	
14	Ba	富集在源岩中
15	Si	
16	K	
17	Sr	
18	Mg	
19	Ca	
20	Na	

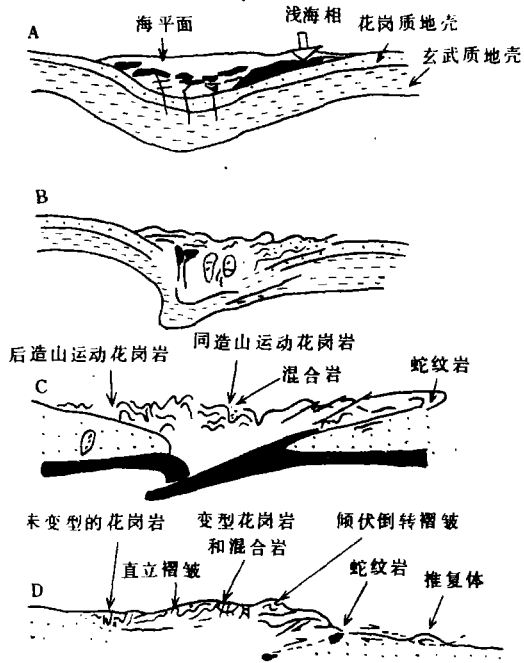


图 3 (A)–(F)斯里兰卡地质演化模式
(D)斯里兰卡高地群构造横剖面

为了分析紫苏花岗岩的深成活动对高地群宝石形成所起的作用,宜先分析沉积盆地的演化过程和形成宝石矿物的物质基础。(图 3)说明了高地群的地质演化模式,高地盆地开始处于太古代沉降的薄层克拉通之中,下面是玄武质地壳,碎屑沉积物可能来自毗邻的东西两个维贾延地块。在沉积层序发育期间,伴随着部分熔融作用的壳幔混合作用,从而引起了基性到酸性的岩浆活动,形成了紫苏花岗岩—花岗岩岩浆分异系列。沿高地盆地北缘沉积了浅海稳定陆架型层序,高地盆地的沉积层序形成后遭受了变质,变质作用与前寒

武纪的碰撞运动有关,碰撞运动发生在两个维贾延地块之间,大陆碰撞期间的再活化作用诱发了地壳基底的熔融和岩浆侵入上地壳,高地群的紫苏花岗岩—花岗岩组合很可能是这样形成的。高地盆地的沉积物中具有高铝质沉积层序,这就为宝石矿物的形成提供了必要的先决条件,高地群中含石榴—砂线片麻岩和堇青石片麻岩等铝质成分高的岩石证实了这一点。高地群铝质变质沉积岩中存在蓝方石(假蓝宝石、sapphirine)柱晶石、刚玉、黄玉和尖晶石具有很重要的意义。

本文提出的理论是紫苏花岗岩和其它基性岩体侵入到铝质变质沉积岩中发生的接触变质作用引起了连续的脱硅作用,最终导致刚玉的生成,从而出现了各种各样的蓝宝石。由于产宝石的岩石中有堇青石、蓝宝石、柱晶石和尖晶石矿物,说明脱硅作用过程有许多中间阶段。尤其是堇青石,它是几个宝石矿田中常见的矿物。研究紫苏花岗岩成分的 SiO_2 — MgO — Al_2O_3 三元投影图解(图 4)表明堇青石是刚玉形成过程中脱硅作用最强烈时中间阶段的产物,推断脱硅作用是紫苏花岗岩或其它基性岩体(如富透辉石的岩墙和岩床)侵入到铝质变质沉积岩中发生接触变质作用引起的。西格陵兰的假蓝宝石与尖晶石、刚玉和柱晶石等矿物共生现象完全证明这些矿物是在深成层状侵入体与角闪岩的接触带上形成的;南亚地区宝石的形成也与象斯里兰卡高地群紫苏花岗岩这种偏基性的岩石相关,缅甸的 Mogok 宝石矿和泰国、老挝、柬埔寨、越南的多数宝石都起因于相同类型的玄武质岩石。

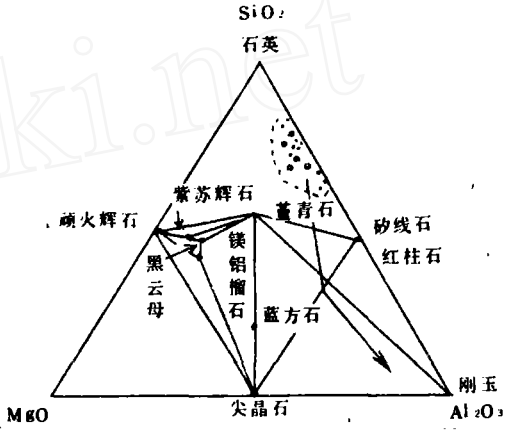
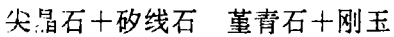


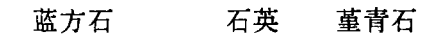
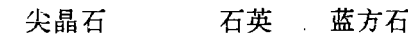
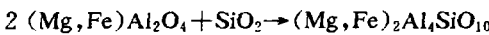
图 4 Al_2O_3 — MgO — SiO_2 关系图
高地群中泥质岩的脱硅作用图解,箭头表明脱硅作用的推测途径。(据 Munasinghe 和 Dissanayake, 1981)

脱硅作用和宝石矿物形成的机理

在低压变质作用过程中,紫苏花岗岩系列中的基性岩石可能使铝质岩石起脱硅的作用,从而使泥质基岩成分转移到刚玉和尖晶石区域内(图 4),其间发生的反应为:



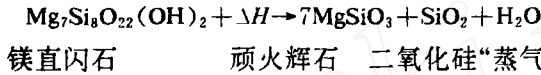
在高温条件下,这个反应的左边是稳定的;而在低温条件下,反应生成堇青石和刚玉。假蓝宝石和堇青石以下列方式进入矿物组合:



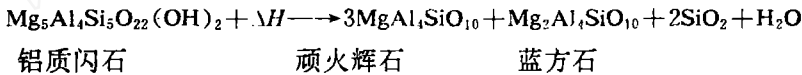
Hodson 等人在澳大利亚中部的麻粒岩中发现了一种铍镁晶石多型体——一种罕见的铍矿物并提出含假蓝宝石的铍镁晶石结核是刚玉晶体的假象。在昆士兰芒特艾萨

(Mount Isa)附近的角闪岩带曾见到过大小和形状相当的刚玉晶体结核,有的刚玉晶体完全被富含铝镁的 2:1 的层状硅酸盐十字交生矿物所置换。

Wittls 通过实验证明镁直闪石的热分解产物是斜方辉石、二氧化硅和“蒸气”。

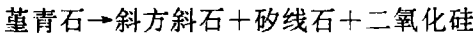


分解产生的二氧化硅与尖晶石结合又生成蓝方石。但是,Hudson 和 Wilson 发现这个等化学反应并不能充分解释澳大利亚中部岩石中常见的紫苏辉石中的假蓝宝石交生现象。如果原来的斜方角闪石是铝直闪石,这个生成斜方辉石的反应不仅会释放出二氧化硅,而且还会释放出氧化铝:



在这样的环境条件下,生成的蓝宝石组分会嵌生在假象斜方辉石的晶体集合体内,这会使假蓝宝石颗粒集结成粒。Wilson 在西澳大利亚观察到了围绕尖晶石形成的蓝方石。

堇青石和矽线石是另外两种对斯里兰卡高地群富刚玉宝石矿的形成的重要意义的矿物,它们有下列关系:



Grew 研究过南极洲恩德比地(Enderby Land)的宝石矿物并指出:早期形成的假蓝宝石与共生石英反应生成矽线石、斜方辉石和刚玉。Woodford 和 Wildon 曾观察到尖晶石上的蓝方石被矽线石的环边所包围并与矽线石交生的现象。Sorensen 曾发现非洲乌干达麻粒岩中的蓝方石在钛铁矿、绿尖晶石和刚玉集合体的表面构成环边的现象。

在斯里兰卡的宝石矿中,堇青石、蓝方石、尖晶石、矽线石和柱晶石都见到了,前述的这些矿物的形成机理完全能够发生,但不要忘记高地群产宝石的地带以低麻粒岩—高角闪岩相条件占优势。

许多研究结果都证明:在适当深度、近 700°C 条件下,地壳开始熔融并发生以下反应:

黑云母+角闪片岩→水不饱和熔体+少水化难熔残余如图 5 所示,在含水化合物的蒸气压力曲线与水饱和时的熔融曲线相交时就开始发生熔融,该熔融反应可用下式表示:白云母→熔体+刚玉,或白云母+石英→熔体+矽线石

如果考虑到高地群的温度和压力(P—T)条件(图 6),就可以看到这些矿物组合位于 Green 的 Ringwood 提出的中压麻粒岩区内,从而认为它们形成时的负荷压力为 5—7 千巴,所以,诸条件适于上述类型反应的发生。

在斯里兰卡的宝石矿中,绿柱石、金绿宝石、黄玉、电气石和锆石诸宝石矿物都与伟晶

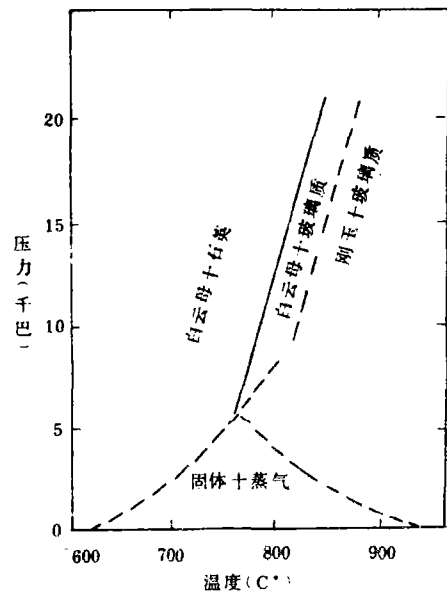


图 5 白云母—石英体系熔融曲线图

岩共生,这些伟晶岩与紫苏花岗岩—花岗岩组合的紧密伴生清楚表明它们可能是在分异作用进行期间形成的,伟晶岩可能是形成紫苏花岗岩—花岗岩同源岩石的构造热旋回晚期阶段的产物。在由紫苏花岗岩岩浆分异形成伟晶岩的过程中,挥发份的聚集导致形成了绿柱石等矿物。

Grew 在南极洲恩德比地研究来源于麻粒岩相中伟晶岩所含的羟假蓝宝石(surinamite)、铍镁晶石和含铍蓝方石之过程中,阐明了紫苏花岗岩深成作用相关的伟晶岩的重要性。这些矿物产在切割麻粒岩相岩石的伟晶岩之富矽线石的析离体中,估计伟晶岩侵位温度为800—900°C、压力为7—8千巴。Grew 解释说这种太古代岩浆成因的含铍伟晶岩,很可能与紫苏花岗岩的深成作用有关,他的结论是:伟晶岩可以揭示紫苏花岗岩序列原先未知的地球化学特征,因此,应更加重视与深成紫苏花岗岩伴生的伟晶岩。

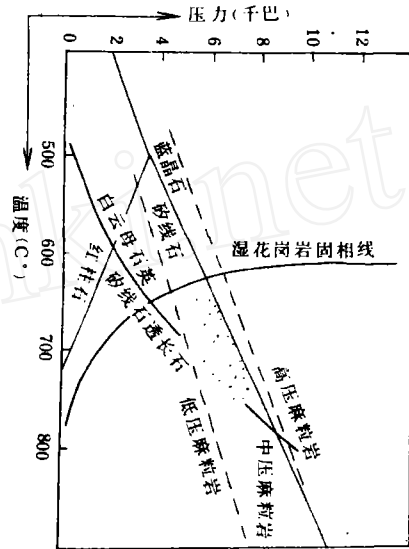


图6 斯里兰卡紫苏花岗岩的P—T条件(用点画范围表示)

结 论

在斯里兰卡产宝石的地区,有关紫苏花岗岩的地球化学、岩石学和野外的实际资料都揭示了紫苏花岗岩在宝石矿物形成中所起的重要作用。宝石矿物产地限于斯里兰卡高地群中部,紫苏花岗岩是其组成部分。在盆地中,从富铝质的陆壳岩石风化和搬运而来的沉积物沉积下来。后来,这些泥质沉积物在由大陆碰撞引起的麻粒岩相条件下,先后遭受变形和变质。同时,玄武质化学成分的基性紫苏花岗岩侵入到富铝质的沉积物中,引起了脱硅作用,结果形成了尖晶石和刚玉等宝石矿物。地球化学资料表明,紫苏花岗岩构成了一个岩石分异系列;在角闪岩—麻粒岩相条件下,这些紫苏花岗岩对富铝变质沉积岩的接触变质作用导致宝石矿物组合的形成。通过本文的论述可知大陆碰撞产生的变质沉积麻粒岩带是宝石矿物形成的理想场所。

摘译自《Chemical Geology》, Vol. 53, December 20, 1985, No. 1/2 1—16.

译者: 田洪水(山东省地质学校)
杨宜水(山东省地质矿产局)
校者: 沈 昆