

华中陆壳高压变质带上蓝晶石黄玉岩类的发现及其地质特征

康维国 张树业 刘晓春 乔兰勇

(长春地质学院地质系,长春 130026)

摘要

本文论述了首次在我国苏、皖、豫地区发现了蓝晶石黄玉岩类,它与国外的白片岩相似。它原是陆壳上的沉积岩,由于陆-陆俯冲碰撞作用,在地幔深度内经超高压变质作用而形成的典型岩石,在空间上与蓝片岩、榴辉岩近平行分布,构成了华中高压变质带。其原岩为一套陆缘浅海相到陆相为主的泥质至镁质碳酸岩的蒸发沉积岩系,均产于前寒武纪中-晚元古代变质地层中。

关键词 蓝晶石黄玉岩、陆壳裂撞、超高压变质作用、蒸发沉积环境

一、白片岩的研究现状

早在 70 年代初,在非洲和亚洲的几个地区(如坦桑尼亚、阿富汗等地)相继发现了由滑石 + 蓝晶石组合组成的片岩,而且其中有些是区域性分布的^[1],Schreyer 将其命名为白片岩,并指出它的出现可以作为高压变质作用的指示剂^[2]。

实验研究证明,白片岩的成分主要落在 $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (MASH) 模拟系统内。早在 50 年代初就有一些实验岩石学家对该系统进行了研究,Schreyer 和 Seifert(1969)企图在高温高压下建立该系统的温压格子,结果却意外地合成了滑石 + 蓝晶石组合。据其实验,滑石 + 蓝晶石组合只稳定在 1GPa 以上的压力条件下,其温度在 670—840°C 之间。它在低压下的分解产物分别为绿泥石 + 石英(低于 670°C),紫硅镁铝石 + 石英(670—770°C)和堇青石 + 紫硅镁铝石或堇青石 + 刚玉(大于 770°C)。后来的实验表明(Massone 和 Schreyer, 1983)当有过量石英存在时,滑石 - 蓝晶石对的稳定区域向近于 0.6GPa 的压力方向延伸。Schreyer^[3]总结出自白片岩组合滑石 + 蓝晶石的稳定区域为 0.6—4.5GPa, 550°C—810°C, 它跨过的温压范围约 300°C, 近 4GPa。

根据白片岩产出的区域地质背景,可将其产状分为三类:(1)产于前寒武纪变质沉积物中,具有一定的区域规模(Mannchen, 1974; Schreyer, 1977; Cooper, 1980 等);(2)产于变辉长岩和榴辉岩中(Chinner 和 Dixon, 1973; Abraham 等 1974);(3)以滑石 + 蓝晶石 + 石榴石

+ 石英组合形式产出的白片岩。这一组合首先发现于 Dora Maira 前寒武纪含榴辉岩地体中，与含石榴石 + 多硅白云母的片岩互层(Udovkina 等1980)。在西 Alps. 的 Dora Maira 地块中，这一组合中的石榴石几乎为纯的镁铝榴石，其内含有柯石英的包裹体^[4]，原岩成分属 MASH 系统，是极高压岩石，其压力至少达 3GPa. 关于白片岩的原岩，认为是地壳上的沉积物质，这是毫无疑问的。它可以是蒸发环境下的镁质粘土(Schreyer, 1977)，也可以是原始基性火成碎屑物质原地风化而形成的含燧石膨润土(Mckie. 1959; Vrana, 1975)。

在我国苏、皖、豫地区，首次发现了与上述白片岩相似的蓝晶石黄玉岩类。

二、我国苏、皖、豫地区发现的蓝晶石黄玉岩的地质特征

在苏、皖、豫地区发现的蓝晶石黄玉岩，以高铝质原岩、呈透镜状、团块状、似层状、薄层状产状为特征。并且是华中高压变质带的蓝片岩、榴辉岩、蓝晶石黄玉岩的组成之一^[5]。

1. 蓝晶石黄玉岩的产出地质背景

就现有认识，华中高压变质带，它自东向西横穿山东、江苏、安徽、湖北、河南、陕西、四川等省，延长达 2000 余 km，宽约 50—80km，总体上呈“V”字形^[6](图1)。该高压变质带既与区域构造线方向一致，又多沿一定层位出现，具有受控于区域构造和地层层位的双重性^[7]。高压变质带由于后期构造的错断及新生界地层掩盖而不连续，在苏北、鲁南地区、安徽、宿松、太湖地区、湖北红安和随县、武当山区出露较好。它们主要赋存于中·晚元古宇地层和部分晚太古—早元古界结晶基底中。蓝晶石黄玉岩在大别山及苏、鲁一带，分布在蓝片岩和榴辉岩带之间，而在鄂、豫地区则分布于蓝片岩和榴辉岩带的北部。

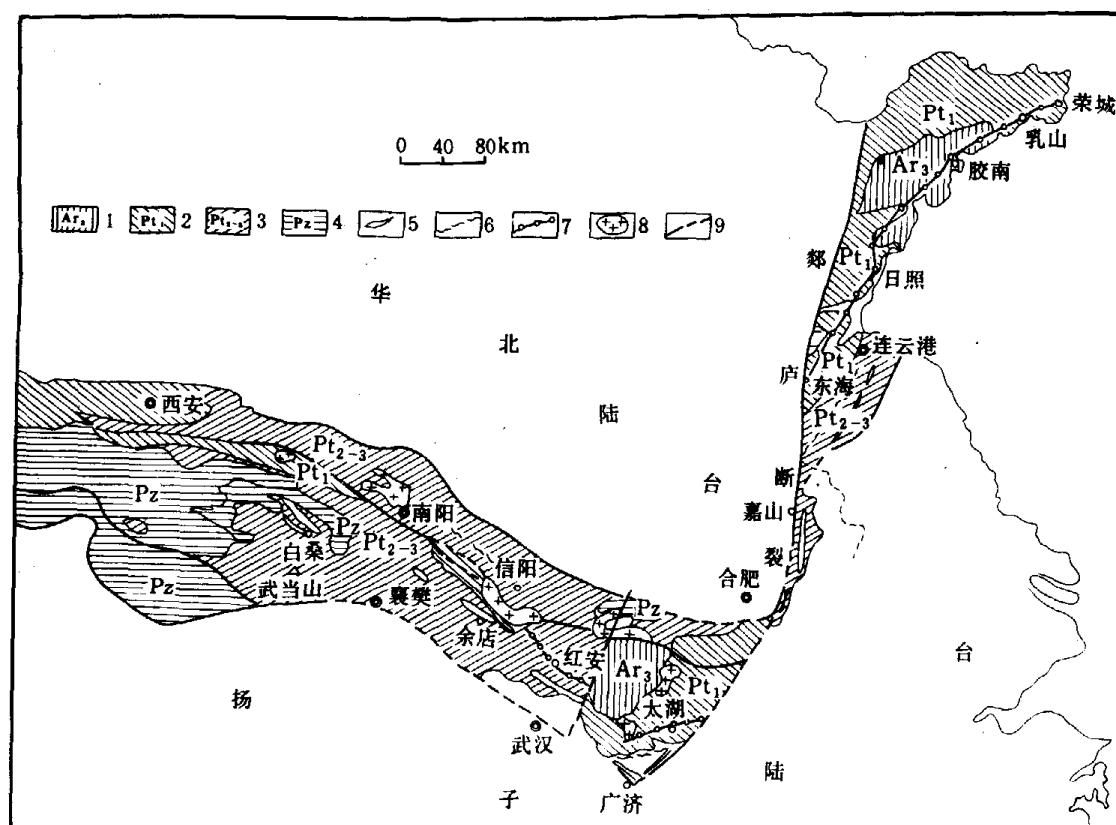


图 1 华中高压变质带分布略图

1——晚太古代，2——早元古代，3——中·晚元古代，4——加里东期，5——蓝片岩带，
6——似白片岩带，7——榴辉岩带，8——燕山期花岗岩，9——实测及推断断层

2. 岩石类型及其与国外白片岩的对比

华中高压变质带上广泛分布着蓝晶石黄玉岩类,从目前已初步研究的苏、皖、豫的出露点看,具完全的一致性,普遍由4种岩石组成。

(1) 蓝晶石岩、蓝刚玉蓝晶石岩类 主要由蓝晶石(45—98%)、蓝刚玉(0—50%)组成,次要矿物有叶腊石、硬水铝石、硬绿泥石、金红石、榍石等,岩石呈致密块状和放射状构造,该岩类以富铝为特征, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 53—63\%$ (见表1)。

(2) 蓝晶石钠云母片岩类 该岩类产于含蓝晶石白云母石英片岩中,矿物组合为蓝晶石、钠云母、白云母,有时含有蓝刚玉,副矿物为黄铁矿等。蓝晶石含量变化很大(1—85%以上),该岩类以不含石英和刚玉,仅以小的包体被包在蓝晶石中,以及钠云母和白云母共存为特征。岩石化学成分: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38—52\%$ (见表1)。

(3) 蓝晶石白云母石英片岩类 主要矿物为蓝晶石(1—30%)、白云母(5—40%)、石英(10—45%),副矿物有金红石、黄铁矿、褐铁矿等,蓝晶石有的呈平行条带状和片状分布,岩石发生强烈的褶曲,该岩类 SiO_2 含量很高, $\text{SiO}_2 = 65—80\%$ (见表1)。

(4) 蓝晶石黄玉岩和黄玉石英岩类 主要矿物组合为蓝晶石(5—20%)、黄玉(3—25%)、石英(60—80%)和黄玉,石英组合,副矿物为金红石电气石、磷灰石、黄铁矿等,岩石呈条带状构造,岩石化学成分见表1。

表1 华中高压变质带蓝晶石黄玉岩类的化学成分

序号	岩石名称	化 学 成 分 (%)													备注	
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	$\text{F}/\text{H}_2\text{O}$	烧失		
1	蓝晶石岩	39.29	55.86	0.48	0.48	0.55	0.47	0.21	0.03	0.02	0.05	0.05	—	1.93	99.41	安徽
2	蓝晶石岩	35.90	59.05	0.87	0.30	0.02	0.38	0.21	0.01	0.07	1.70	0.30	—	1.93	100.71	安徽
3	蓝晶石岩	37.18	55.03	0.39	0.10	0.00	0.23	1.25	0.05	0.09	1.40	0.80	—	2.54	99.06	河南
4	放射状蓝晶石岩	42.88	47.97	0.54	0.15	0.00	0.58	1.25	0.03	0.12	2.20	0.72	—	2.42	98.86	河南
5	蓝晶石岩	34.28	55.69	0.33	0.15	0.16	0.35	1.70	0.05	0.20	0.02	0.16	—	9.36	102.45	河南
6	蓝刚玉蓝晶石岩	32.74	63.32	0.33	0.10	0.20	0.15	0.17	0.01	0.03	0.25	0.11	—	2.38	99.70	安徽
7	蓝刚玉蓝晶石岩	39.07	56.09	0.26	0.18	1.30	0.70	0.30	0.00	0.02	0.05	0.05	—	2.63	100.65	安徽
8	蓝晶石石英岩	59.00	33.65	0.07	0.45	0.32	0.00	1.75	0.03	0.24	0.28	0.20	—	1.28	98.87	河南
9	蓝晶石石英岩	86.12	10.32	0.11	0.35	0.16	0.12	0.07	0.05	0.04	0.44	0.20	—	1.06	98.60	河南
10	蓝晶石石英片岩	44.54	44.26	2.69	0.42	0.46	0.57	0.40	0.02	0.04	0.08	0.08	-/5.30	0.69	99.55	江苏
11	蓝晶石钠云母片岩	43.55	46.91	0.66	0.04	0.65	0.40	0.12	0.00	0.03	1.84	2.45	—	2.74	99.39	安徽
12	蓝晶石钠云母片岩	43.32	46.57	0.78	0.05	0.65	0.43	0.25	0.00	0.03	1.39	3.11	—	3.14	99.72	安徽
13	蓝晶石石英岩	74.45	20.26	1.51	0.41	0.18	0.02	1.25	0.007	0.19	0.03	0.08	-/0.93	0.10	99.42	江苏
14	黄玉蓝晶石石英岩	76.75	16.79	0.49	0.46	0.65	0.20	0.98	0.00	1.02	0.00	0.10	2.45/-	—	99.89	安徽
15	黄玉蓝晶石石英岩	72.52	17.01	3.04	0.31	0.12	0.05	1.23	0.00	0.28	0.26	0.13	4.54/-	—	99.50	安徽
16	含蓝晶石黄玉岩	76.80	16.39	0.39	0.50	0.72	0.21	0.99	0.01	1.00	0.00	0.10	2.43/-	—	99.54	江苏
17	蓝晶石黄玉岩	34.98	48.31	0.21	0.00	0.32	0.12	0.80	0.05	0.20	2.44	0.52	/1.85	—	—	河南
18	黄玉白云石英片岩	79.18	16.60	1.11	0.42	0.32	0.53	0.34	0.07	0.05	0.05	0.04	5200/ _{0.51}	—	99.72	安徽

华中高压变质带上出现的蓝晶石黄玉岩类与国外白片岩相比,从总体特征上是相当的(或相似的),但还有些不同之处(见表2)。它们都是地壳上的沉积物质,由于某些原因(如俯冲、裂陷等)达到地幔深度经高压或超高压变质作用而形成的岩石,它对经典的变质作用概念,必然是一个冲击。现代岩石学中的经典概念仍把变质作用限定在厚约35km,压力近于1GPa的地壳

范围内,然而从实验中获得的白片岩和相当的蓝晶石黄玉岩稳定区域一般大于1GPa,并可一直延续到4.5GPa,其深度可达90km已进入正常的上地幔区域内。从表2中可以看出,白片岩与蓝晶石黄玉岩的主要区别是后者没有出现滑石,这主要是由于华中地区原岩建造中缺镁所造成的,并且后者以富铝、富硅为特征。因此,可以认为华中高压变质带上的蓝晶石黄玉岩与国外的白片岩是相当的,两者均是高压下的产物,只是原岩不同(一个富镁、富铝,一个只是富铝)而出现了不同的矿物组合。因而华中地区的蓝晶石黄玉岩也可以把它看作是一种特殊类型的白片岩。

表2 白片岩与蓝晶石黄玉岩类对比

	白 片 岩	蓝 晶 石 黄 玉 岩
原 岩	镁质粘土 膨润土	铝质粘土 粉砂质沉积岩
产 状	产于前寒武纪变质沉积物中 变辉长岩和榴辉岩中	产于前寒武纪变质沉积物中
岩 石 类 型	白片岩	蓝晶石黄玉岩, 蓝晶石钠云母片岩 蓝晶石岩
矿 物 组 合	蓝晶石 + 滑石 蓝晶石 + 滑石 + 石英	蓝晶石 + 黄玉 蓝晶石 + 钠云母 + 多硅白云母 蓝晶石 + 多硅白云母 + 石英
形 成 环 境 及 岩 石 化 学	干旱蒸发环境 原岩富镁、富铝	干旱蒸发环境 原岩富铝、富硅
温、压 条 件	$T=550-810^{\circ}\text{C}$ $p=0.6-4.5\text{GPa}$	$T=850-900^{\circ}\text{C}$ $p=2\text{GPa}$
形 成 时 代	前寒武纪	前寒武纪

3. 矿物组合及标志矿物特征

华中高压变质带上蓝晶石黄玉岩类的矿物组合,目前已初步研究的,主要有如下组合:

(1) 蓝晶石 + 黄玉; (2) 蓝晶石 + 黄玉 + 石英; (3) 蓝晶石 + 蓝刚玉; (4) 蓝晶石 + 钠云母 + 多硅白云母; (5) 黄玉 + 石英; (6) 蓝晶石 + 铝直闪石^[8]。

(1) **蓝晶石** 在不同岩石中分别与蓝刚玉、钠云母、黄玉平衡共生,化学成分以 Al_2O_3 和 SiO_2 为主,占97—99%,其它成分很少(<3%),这与典型的蓝晶石是一致的,但高压变质带的蓝晶石明显富铁,可达1.5%,并含有少量的 Cr_2O_3 和 TiO_2 等。近年来的研究表明:蓝晶石与滑石、镁十字石、黄玉等共生时,可作为高压甚至极高压的稳定矿物。

(2) **黄玉** 近年来,在前寒武纪地质及陆内板块构造研究中发现,在古陆边缘浅海相蒸发岩系为原岩的区域变质岩系中,分布着较大范围的成层含黄玉岩系。黄玉和蓝晶石组合是区域变质的产物。化学成分含氟±12%。

(3) **刚玉** 与蓝晶石共生,也有以细小的包体包裹在蓝晶石中,具明显的蓝色,但在颗粒中分布不均匀,常组成蓝色一无色的相间环带。常被硬水铝石交代。化学成分中 Al_2O_3 占96%以上蓝色的刚玉 TiO_2 可达0.3%或更高,刚玉为温度·压力惰性矿物,其压力稳定上限可达4GPa。

(4) **钠云母和白云母** 当钠云母和白云母共生时,往往各自以固溶体形式出现,这里,随着温度的增高,钠云母中 $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ 值将从最高值(95.43)转化到最低值(28.06)(Hock, 1974; Rumble, 1978),而白云母中 $\text{Na}/(\text{Na}+\text{K})$ 值将从3.16转化到36.37(Goffe, 1977)。

压力的变化只使白云母中钠的量值减少,但对钠云母的影响不明显。白云母-钠云母-珍珠云母特点如图2。

当岩石中 Al_2O_3 含量刚好超过形成碱性长石所需含量的变泥质岩中形成白云母,而 Al_2O_3 含量较大时,便形成钠云母,出现钠云母+绿辉石组合或钠云母+蓝晶石+绿辉石(含硬玉分子5%的组合),它们代表很高的压力,其压力相当于深度为60—70km或更深。

(5)硬绿泥石 与蓝晶石、蓝刚玉、多硅白云母共生, MgO 含量为4.207—4.886%,按照Chopin等的观点,纯镁硬绿泥石形成的最低压力为1.8GPa。按照董申保(1987)的观点蓝晶石+硬绿泥石至少是中压向高压相系的过渡产物。

除上述特征变质矿物外,还见有与蓝晶石、石英共生的叶腊石,与高压矿物(如柯石英等)共生的硬水铝石。

4. 变质作用特征

(1) 蓝晶石岩和蓝刚玉蓝晶石岩的主要矿物相包括:蓝晶石、刚玉、叶腊石、硬水铝石、硬绿

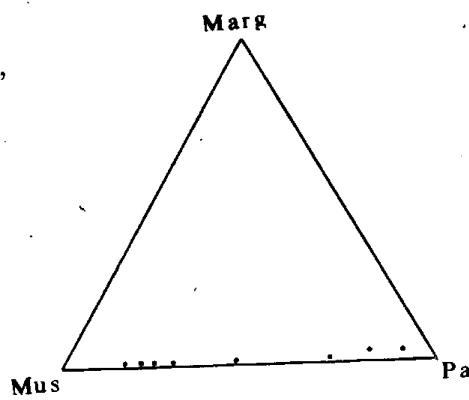


图2 珍珠云母(Marg)-白云母(Mus)-钠云母(Pa)三角图解

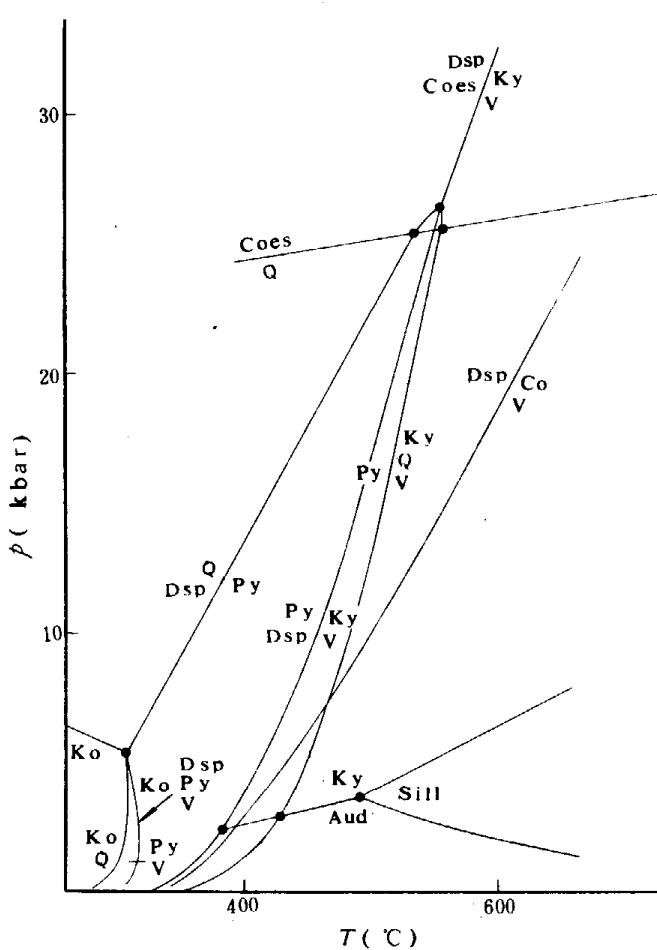


图3 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元相平衡图
(Wall & Essemel, 1972)

Co—刚玉, Coes—柯石英, Dsp—硬水铝石,
Ko—高岭石, Ky—蓝晶石, Py—叶腊石,
Q—石英, Sill—矽线石, V—水蒸气

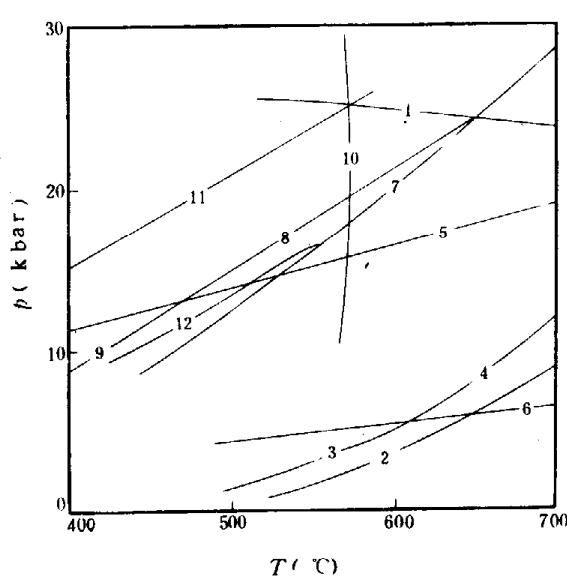


图4 有关钠云母的部分反应曲线

1—钠云母=蓝晶石+硬玉+水, 2—钠云母=钠长石+刚玉+水, 3—钠云母+石英=钠长石+红柱石+水, 4—钠云母+石英=钠长石+蓝晶石+水, 5—钠长石=硬玉+石英, 6—红柱石=蓝晶石, 7—硬柱石=黝帘石+蓝晶石+石英+水, 8—硬柱石+硬玉=黝帘石+钠云母+石英+水, 9—硬柱石+钠长石=黝帘石+钠云母+石英+水, 10—硬绿泥石+石英=铁铝榴石+蓝晶石+水, 11—硬绿泥石+硬玉+石英=铁铝榴石+石英+水, 12—硬柱石+铁铝榴石=黝帘石+硬绿泥石+石英+水

泥石等,它相当于 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系,从图 3 可以看出,这些矿物的稳定压力是比较宽的,但相对温度较低,蓝晶石稳定比蓝晶石 + 石英更低温. 叶腊石稳定区所包括的最大温度范围只有约 100°C ,它的出现是绿片岩相或钠长绿帘角闪岩相的很好指示剂.

从前面的讨论得知,在蓝刚玉蓝晶石岩中发生如下主要反应:



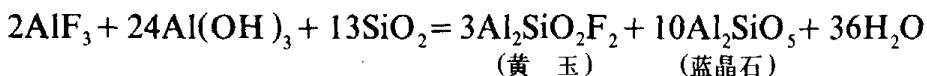
在蓝晶石、叶腊石、石英片岩中发生的反应为: 蓝晶石 + 石英 + 水 \rightarrow 叶腊石

这些反应反映了蓝晶石岩、蓝刚玉、蓝晶石岩等的后期转化,其转化的条件是一个很宽的压力范围.

(2) 蓝晶石钠云母片岩中的钠云母的稳定范围 通常由下列反应所限定(图 4):

蓝晶石钠云母片岩类的矿物组合主要为: 蓝晶石 + 钠云母 + 白云母,按照 Holland 的研究^[9]:
钠云母 = 硬玉 + 蓝晶石 + 水,这一反应在 550°C 时, $p = 2.4 - 2.6\text{GPa}$; 600°C 时 $p = 2.4 - 2.55\text{GPa}$; 650°C 时, $p = 2.4 - 2.5\text{GPa}$,它是泥质岩石的重要高压反应. 根据蓝晶石钠云母片岩的矿物组合特征,很可能该类岩石曾经发生过这一反应. 当然,这只是一个推测,因为至今还没有发现硬玉的存在.

(3) 蓝晶石黄玉岩类的主要矿物组合为: 蓝晶石 + 黄玉. 根据 Coes(1955)的实验结果: 蓝晶石和黄玉共生的温度为 900°C , 压力为 2.0GPa . Kempe^[10] 认为如果 Coes 的反应产物假设在自然界存在,可以假设下列反应:



从上面的反应式中还可看出: 黄玉与蓝晶石的比例为 3:10. 因为 Coes 仅仅从这一反应中得到了黄玉. 自然界中如果这一反应发生时,一定有另外的催化剂或进一步的条件存在. 黄玉作为一种早期的矿物形成于氟含量较高的不纯的铝硅质沉积物的高压区域变质作用中.

据陶知耻和蒲正行^[11]的实验证明: 当 $p = 5.5 - 6\text{GPa}$, $T = 1050^\circ\text{C}$ 时, 叶腊石转变为蓝晶石 + 柯石英, 而当 $p = 3.5\text{GPa}$, $T = 500 - 800^\circ\text{C}$ 只形成柯石英, $T < 500^\circ\text{C}$ 叶腊石稳定存在.

综上所述, 蓝晶石黄玉岩是高温高压条件下的变质产物, 是毫无疑问的.

华中陆壳高压变质带上蓝晶石黄云岩的发现,不仅在高压带的形成时代(为晚元古宇)及古陆内板块证据方面增添了确切的地质证据. 而且更重要的是它本身就蕴藏着或指示若干有用的矿产资源,如沉积变质磷矿、稀土矿、蓝晶石矿、蓝宝石矿、黄玉矿、虎晶石矿等.

参 考 文 献

- [1] 刘晓春、康维国、张树业,长春地质学院学报,鄂皖蓝片岩带地质专辑,1989,158—160.
- [2] Schreyer,W., *J.Geol.*, 81 (1973), 735—739.
- [3] Schreyer,W., *Episodes*, 11 (1988), 97—104.
- [4] Chopin,C., *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86 (1984), 107—118.
- [5] 张树业、胡克等,中国地质,1990,8: 25—27.
- [6] 张树业、康维国,长春地质学院学报,鄂皖蓝片岩带地质专辑,1989,1—9.
- [7] 康维国、张树业等,长春地质学院学报,鄂皖蓝片岩带地质专辑,1989,18—40.
- [8] 游振东、周汉文等,地球科学, 15 (1990), 4: 345—35.
- [9] Holland,T.J.B., *Contrib. Min. Petrol.*, 1979, 68.
- [10] Kempe,D.R.C., *Minerological Magazine*, 1967, Vol.36, No. 280.
- [11] 陶知耻、蒲正行,中国科学, 1977, 2: 170—181.