

## 中国蓝闪片岩相的变质作用

叶慧文

(长春地质学院)

**主题词：**蓝闪片岩；绿片岩；蓝闪石；变质作用。

**提 要：**本文论述了中国蓝闪片岩的分布、变质条件及其构造位置。中国的蓝闪片岩从中晚元古代开始，各变质期均有出现。根据矿物组合，可分为两类：第一类蓝闪片岩常含有高压矿物，如硬柱石、硬玉和文石以及蓝闪石、绿纤石、黑硬绿泥石、多硅白云母、红帘石等，属高压亚绿片岩相，称蓝闪—硬柱石片岩相，形成温度约250—350℃，压力大于500—800MPa，甚至可达1200MPa。此类蓝闪—硬柱石片岩相多代表海洋板块古消减带。第二类蓝闪片岩的常见矿物为蓝闪石、青铝闪石或镁钠闪石、黑硬绿泥石、红帘石和绿片岩相中的绿帘石、阳起石、绿泥石、

白云母,有时还有黑云母、铁铝榴石和钠质辉石。形成温度约350—450°C,压力500—800MPa。此类蓝闪绿片岩相虽处于活动带,但与板块构造没有直接关系。我国西藏南部和内蒙温都尔庙属第一类,但大部分蓝闪片岩带属第二类。

Eskola (1939) 提出蓝闪片岩相,并以蓝闪石作为反映高压低温环境的标型矿物。但实验证明蓝闪石类矿物可稳定于较宽的P—T区间,不能单独作为标型矿物。因此,Turner (1968), Hyndman (1972) 等认为必须有硬柱石等高压矿物共生才能反映高压条件,并主张将高压蓝闪片岩相改称蓝闪—硬柱石片岩相。Ernst (1972) 研究证实,在富钠、贫钙且 $Fe^{+3}/Fe^{+2}$ 高的特殊成分岩石中,蓝闪石可出现于较宽的压力区间,而在一般化学成分的基性、硬砂岩等变质岩中可出现Ⅱ型蓝闪石。

## 一、中国蓝闪片岩的分布及其特征

我国现已发现蓝闪片岩产地40多处,主要分布于北部的天山—兴安古生代活动带,中部的秦岭—祁连地区及扬子地台北缘。此外,还见于滇西、台湾及雅鲁藏布江等地。形成时代可自中晚元古代、古生代到新生代,以中晚元古代分布最广(图1、表1、表2)。据矿物组合特征可分为两大类,第一类蓝闪片岩含蓝闪石、硬柱石、硬玉和文石等典型高压矿物,其它矿物为绿纤石、黑硬绿泥石、绿泥石、多硅白云母及红帘石等,属典型低温高压变质相,称为蓝闪石—硬柱石相,形成温度在250—350°C左右,压力一般大于500—800MPa,最高可达

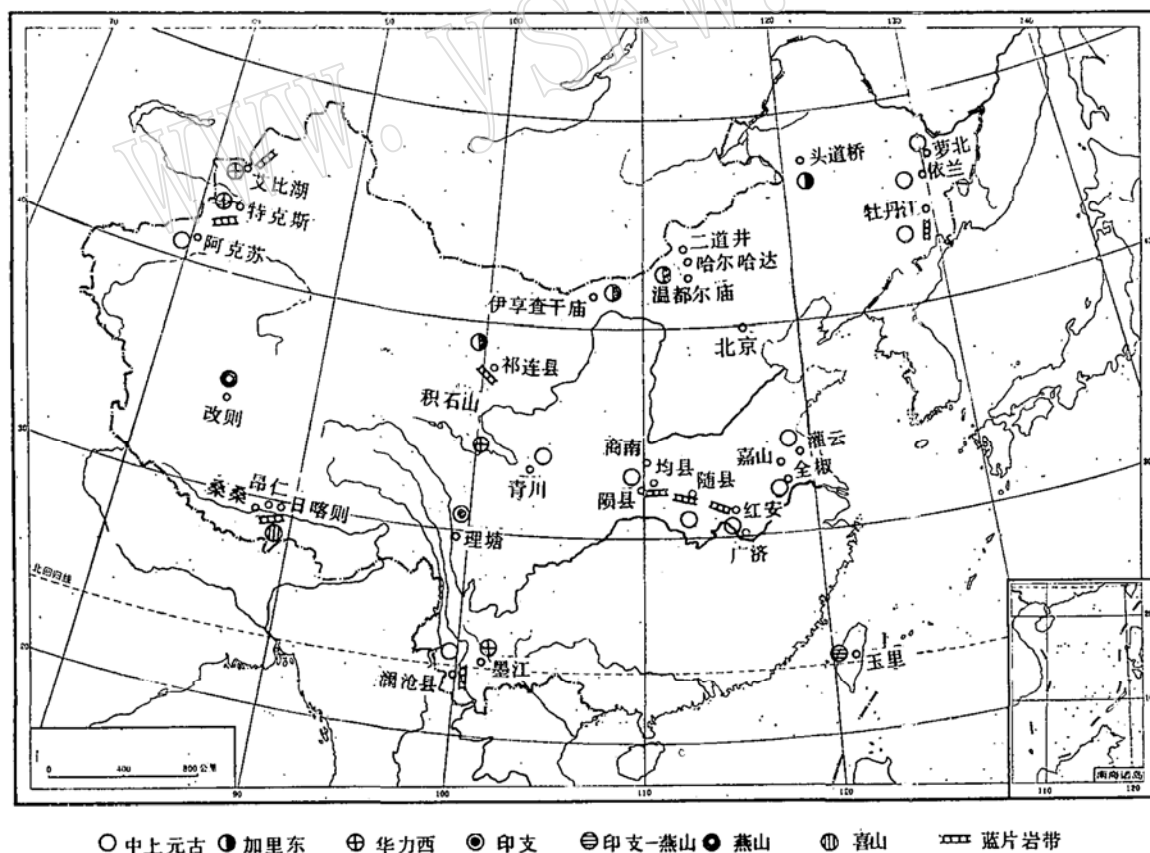


图1 中国蓝闪片岩分布图

Fig.1 The distribution of glaucophane schist in China

表1 中国元古代蓝闪片岩带的主要特征

Table 1 The main characters of Proterozoic glaucophane schist belts in China

变质单元	产地	变质地质时代	原岩类型	变质岩石组合	特征矿物组合	变质相
扬子北缘变质带	江苏	海州群 (P <sub>t2</sub> )	细碧岩、凝灰岩、砂岩、泥质岩、砂岩、石英岩	钠长白云片岩、蓝闪钠长黑云片岩、蓝闪钠长云母片岩、绿泥绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石)一绿帘石一钠长石一绿帘石一石英一硬玉一黑云母①	蓝闪绿片岩相 (绿片岩相型)
	安徽	张八岭群 (P <sub>t2-3</sub> )	基性一酸性火山沉积岩、石英岩、砂岩、泥质岩、砂岩、石英岩	蓝闪钠长绿帘片岩、含硬玉蓝闪钠长片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、红帘片岩、绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石)一绿帘石一钠长石一绿帘石一石英一硬玉一黑云母②	
	湖北	跃岭河群 (Z)	基性一酸性火山沉积岩、石英岩、砂岩、泥质岩、砂岩、石英岩	钠长绿帘绿帘片岩、蓝闪绿帘绿帘片岩、含蓝闪绿帘片岩、黑硬绿帘片岩、蓝闪钠长片岩、石英岩、绿帘片岩	蓝闪石(绿帘闪石、青铝闪石)一绿帘石一绿帘石一石英一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母③	
	湖北	随县群 (P <sub>2-3</sub> )	基性一酸性火山沉积岩、石英岩、砂岩、泥质岩、砂岩、石英岩	蓝闪绿帘绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、石英岩、绿帘片岩、绿帘片岩	青铝闪石(绿帘闪石)一绿帘石一绿帘石一石英一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母④	
	湖北	红安群 (P <sub>t2-3</sub> )	中基性火山岩、碎屑岩、长英质火山岩、含铁质碳酸盐	黑硬绿帘片岩、蓝闪片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石、绿帘闪石)一绿帘石一绿帘石一石英一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑤	
	陕西	跃岭河群 (Z)	中基性火山岩、碎屑岩、长英质火山岩、含铁质碳酸盐	蓝闪绿帘片岩、黑云绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	青铝闪石(绿帘闪石)一绿帘石一绿帘石一石英一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑥	
	四川	碧口群 (P <sub>t2-3</sub> )	玄武质凝灰岩、熔岩、夹紫色碧玉岩	蓝闪片岩、石英片岩、蓝闪绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	绿帘闪石一绿帘石一绿帘石一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑦	
	四川	黑龙江群 (P <sub>t2-3</sub> )	基性火山岩、细碧岩、粗玄岩、杂砂岩、碳酸盐	白云钠长片岩、含黑硬绿帘绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	青铝闪石一绿帘石一绿帘石一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑧	
	黑龙江	阿克苏群 (P <sub>t2-3</sub> )	基性火山岩、火山碎屑岩、英闪片岩	钠长绿帘片岩、黑硬绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石)一绿帘石一绿帘石一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑨	
	新疆	塔里木群 (P <sub>t2-3</sub> )	基性熔岩、基性凝灰岩、砂岩、含铁硅质岩	绿帘绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石、绿帘闪石)一绿帘石一绿帘石一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑩	
塔里木变质带	云南	澜沧群 (P <sub>t3</sub> )	基性熔岩、基性凝灰岩、砂岩、含铁硅质岩	绿帘绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩、绿帘片岩	蓝闪石(青铝闪石、绿帘闪石)一绿帘石一绿帘石一钠长石一绿帘石一黑硬绿帘石一阳起石一石榴石一绿帘石一硬玉一黑云母⑪	

①张树业, 1984, 提供资料。

②安徽区调队, 1983, 变质图说明书。

③湖北区调队, 1983, 变质图说明书。

④左国朝等, 1982, 四川青川白水街碧口群火山岩系中发现蓝闪片岩。

⑤袁佐等, 1983, 黑龙江省东部下元古界黑龙江群中蓝闪片岩的矿物和岩石特征

及一些变质问题的讨论。

⑥刘静兰和张光洲及黑龙江地研所变质图编制组均提供标本和样品。

⑦熊纪斌等, 1980, 阿克苏变质带的初步研究。

⑧张寿广, 1984, 提供样品资料。



1200MPa以上。第二类不含典型高压矿物,常见的暗色矿物为绿帘石、阳起石、绿泥石、黑硬绿泥石、红帘石、还可有钠质辉石及石榴石等,钠长石+石英为稳定组合,处于绿片岩相和典型蓝闪—硬柱石相的过渡地位,称蓝闪绿片岩相,形成温度350—450℃,压力在500—800MPa。

我国中晚元古代蓝闪片岩带具有十分相似的特征,其赋存的变质岩系原岩均为一套岩性较单调的厚层钠质火山岩(类似细碧角斑岩)及火山沉积的复理石建造,均属区域低温动力变质作用的绿片岩相型,以绿片岩和钠长白云片岩及绢云石英片岩等为主。蓝闪片岩以带状或透镜状产于上述岩层中。其矿物组合基本和低绿片岩相相同,局部可达高绿片岩相。除蓝闪石类矿物外,一般均无硬玉、硬柱石等典型高压矿物,应属蓝闪绿片岩相。但嘉山和灌云地区例外,出现含硬玉的蓝闪片岩,可能反映局部更高的压力条件。

加里东期蓝闪片岩带常与某些断裂带关系密切,原岩为深海钠质火山岩及复理石建造,并常与超基性岩伴生,具有某些类似非层序性蛇绿岩的特点,内蒙和祁连地区这种特征较为明显。

燕山期和喜山期蓝闪片岩带与深海相的中基性火山岩及含放射虫硅质岩等共生,并伴生有大量基性—超基性岩、复理石沉积岩,呈现层序性的蛇绿岩套特点。雅鲁藏布江南侧较为典型,蓝闪片岩中还含有硬柱石和绿纤石等。

## 二、蓝闪片岩带的矿物特征及变质作用条件

中国各地区蓝闪片岩的矿物特征既有共性,又有差异,反映它们形成时的P—T条件不尽相同。从普遍存在的蓝闪石族矿物58个样品化学成分在都城秋穗(1957)分类图解中可看到

(图2),闪石矿物多数为青铝闪石,其次为镁钠闪石,蓝闪石较少。秦岭和湖北地区等元古代变质岩系中以镁钠闪石为主,内蒙和北祁连等古生代变质岩系中以青铝闪石为主,部分为蓝闪石。根据实验资料,蓝闪石类矿物中 $Fe^{+3}/Al^{VI}$ 比值,除和原岩成分有关外,还和形成温度有关。镁钠闪石的形成温度高于青铝闪石和蓝闪石,所以上述特征说明我国古生代蓝闪片岩带形成温度可能稍低于元古代的蓝闪片岩带。但也需考虑原岩化学成分的影响,如内蒙磁铁矿石岩中出现镁钠闪石,甚至可出现富铁的钠闪石。

我国所有蓝闪岩中均含绿帘石(包括黝帘石、斜黝帘石)、阳起石(或冻蓝闪石),而绿纤石仅见于少数蓝闪片岩带中。此外,内蒙蓝闪片岩带中见有硬柱石和文石,西藏地区见有硬柱石。根据绿纤石+绿泥石+石英→黝帘石+阳起石和硬柱石转变为黝帘石的反应曲线

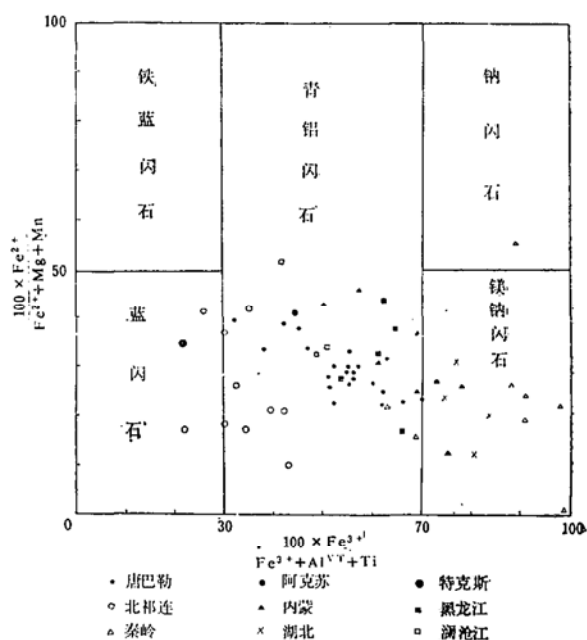


图2 蓝闪石类矿物分类图解

(据都城秋穗, 1957)

Fig. 2 Classification diagram for the minerals of glaucophane group

(见图3中(2)、(3)),我国绝大部分蓝闪片岩带形成温度大于350℃,内蒙和西藏地区温度下限亦不低于300℃。另一特点是大多数蓝闪片岩带中均有黑硬绿泥石+多硅白云母的组合出现,而黑云母较少见,说明其形成时一般尚未达到图3中曲线(8)的平衡温度(400—450℃)。但有些地区如北祁连、湖北、台湾出现铁铝榴石,甚至还有普通角闪石及硬绿泥石等矿物,其温度上限可达450—500℃左右,但温度低于图3中的反应曲线(9)。

根据厄恩斯特(1977)和马瑞斯(1977)的实验资料,Ⅱ型蓝闪石稳定温度在350—550℃,压力为400—1000MPa(图3.(6))。由图3推断,我国蓝闪片岩带的压力一般在500—900MPa之间。但内蒙和雅鲁藏布江地区出现硬柱石,推测其形成压力稍高,大约800—900MPa。

白云母是各蓝闪片岩带中最常见的矿物,通过较多的单矿物化学分析及结构分析,表明它们大多数属2M型或3T型的多硅白云母,其 $b_0$ 值以及根据白云母中钠云母分子含量计算所得温度、压力以及地热梯度列入表3。

从表3可知各蓝闪片岩带中的多硅白云母 $b_0$ 值均大于9.040 Å,属于萨西(1974)所划分的高压相系的白云母。

表3 多硅白云母的 $b_0$ 值及按成分推算的温度、压力

Table 3 The  $b_0$  values of phengite and formation temperature pressure produced from their chemical composition

产地	$b_0(\text{Å})$ 平均	T 平均	P(MPa)	T/P(°C/MPa)	地热梯度
郯庐断裂	9.052	>400°C	700	>0.57	15°C/km
湖北	9.040	410°C	300—500	0.37—0.82	20°C/km
澜沧江	9.040	430°C	650	0.66	18°C/km
台湾		450°C	300—600	1.5—0.75	20°C/km
北祁连	9.045	480°C	500—800	0.96—0.60	16°C/km
西藏	9.047*	300°C			

\* 张旗等, 1980, 西藏东部和南部变质岩中的白云母及其岩石学意义

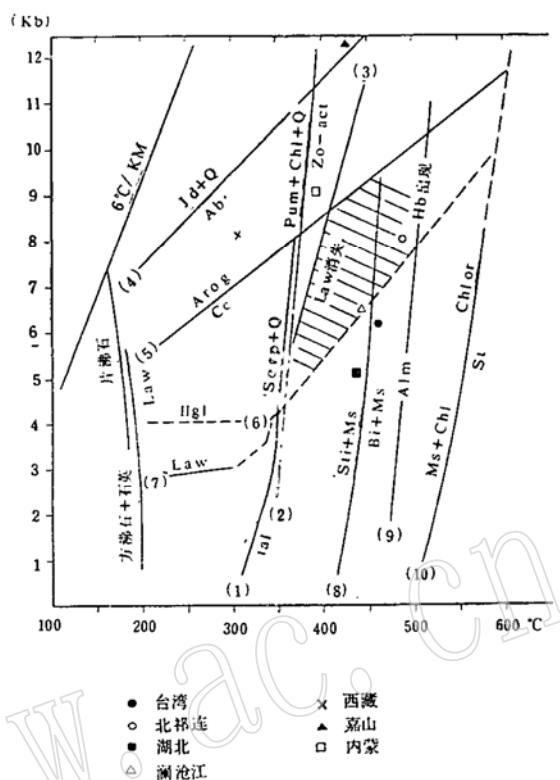


图3 中国主要蓝闪片岩带的P—T条件图解  
(据 H. G. F. 温克勒, 1976 资料修改)

Fig. 3 Illustration to P—T condition of main glaucophane schist belts in China

1—蛇纹石+石英→滑石; 2—绿帘石+绿泥石+石英→黝帘石+阳起石; 3—硬柱石消失; 4—钠长石→硬玉质辉石+石英; 5—方解石→文石; 6—Ⅱ型蓝闪石出现; 7—硬柱石出现; 8—黑硬绿泥石+白云母→黑云母+白云母; 9—铁铝榴石和普通角闪石出现; 10—白云母+绿泥石

综上所述,多数蓝闪片岩属于形成温度偏高的中高压过渡型的蓝闪绿片岩相。内蒙和西藏则为蓝闪—硬柱石相。根据计算,我国蓝闪片岩的地热梯度一般 $15-20^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 之间。

应指出安徽嘉山一带的蓝闪片岩与扬子地台北缘的相似,应属于高压—蓝闪—硬柱石片岩相。

### 三、蓝闪片岩带的地质成因讨论

关于蓝闪片岩的成因,自板块构造提出以来,许多学者都同意都城秋穗的观点,认为它们是海洋板块俯冲带的变质作用产物。在大陆内部也常常将其作为古缝合线的重要依据,但也有些学者将它们形成时所需的低温高压条件与推覆体引起的构造埋深、构造超压、高压流体等因素相联系。笔者认为它们的地质成因除要考虑蓝闪片岩相的岩石、矿物组合及其所反映的 $P-T$ 条件之外,还应充分重视它的产状和所赋存岩层以及整个地区变质岩石组合、原岩建造和变质作用类型等特征,在此基础上进行具体分析才能确定其当时的大地构造环境。据前述资料,我国的蓝闪片岩主要可分两种成因类型:

#### (一) 洋壳俯冲带的蓝闪片岩

我国西藏的雅鲁藏布江和班公湖—丁青以及台湾玉里的中生代的蓝闪片岩带可能属于这一类型。并以雅鲁藏布江较为典型,它代表印度板块前缘在中生代张裂形成的洋槽(特提斯海)在喜山期闭合时与欧亚大陆碰撞的缝合线,在此过程中发生洋壳俯冲形成蓝闪片岩。按典型的现代板块理论,蓝闪片岩相变质作用和冷的洋壳快速俯冲到大陆板块之下 $60-70$ 公里时的埋深变质作用有关。此类型的特征是洋槽蛇绿岩套、海沟复理石沉积、混杂岩和蓝闪—硬柱石片岩相变质作用的三位一体,还常有低压的变质带伴生,构成变质双带。雅鲁藏布江变质带的前述特征基本符合这些标志,但较特殊的是高压带两侧均有花岗岩和低压变质带分布。班公湖—丁青变质带,虽目前对蓝闪片岩研究的资料不多,但其岩石组合应属于埋深变质作用的葡萄石—绿纤石相,从其地质环境来看可能属于与俯冲带有关的类型。

台湾玉里蓝闪片岩的原岩组合为蛇绿岩及复理石建造,其地层时代及变质时期均与日本的较新双带相似,地理位置也可连接,往南延伸与菲律宾的吕宋岛蓝闪片岩带相对应,所以可能是一个统一体,为中生代太平洋板块与欧亚大陆板块之间的俯冲带。但该带不典型,无硬柱石等高压矿物出现,估计温度较高( $350-450^{\circ}\text{C}$ ),压力偏低<sup>①</sup>。

#### (二) 陆间或陆内裂陷深海槽—洋槽中的蓝闪片岩

这一类型在我国分布较广泛,包括扬子北缘、天山、准噶尔、内蒙、祁连山、滇西、黑龙江等地的蓝闪片岩。其中以内蒙、祁连山较为典型,其特征如下:

(1) 呈规模不大的带状断续分布于陆间或陆内地槽中。全区地层的原岩建造为基性火山岩及泥砂质复理石型,属于绿片岩相型区域低温动力变质作用,少数为葡萄石—绿纤石相埋深变质作用(如准噶尔艾比湖地区)。

(2) 蓝闪片岩带及附近的原岩建造与区域地层有不同程度的差异,有时以断裂为界,呈突变。主要表现为细碧—角斑岩系列的火山岩及枕状熔岩含量增加,并伴有硅铁质建造或含放射虫硅质岩,岩层总厚度增大。

① 颜沧波, 1974, 台湾蓝闪片岩和有关岩石学。



(3) 蓝闪片岩带与基性—超基性岩带(或还有榴辉岩)紧密伴生,有些地区(如内蒙、准噶尔)具有非层序性的蛇绿岩特征,带内后期构造变形强烈,有密集的大断裂分布。

(4) 蓝闪片岩的矿物组合与区域的绿片岩相岩石基本相似,除内蒙、安徽外均不含典型高压矿物,一般属蓝闪绿片岩相,个别地区为蓝闪—硬柱石片岩相,如内蒙。

以上特征表明这些蓝闪片岩带,相当于地槽中张裂并沉陷很深的海槽或洋槽,它们受深断裂控制,深度很大,但空间规模不大。其底部接近或开始出现洋壳。所以铁镁质火山岩及侵入作用增强,并具深海相的特征,但火山沉积地层厚度很大,不相当于现代洋壳。当这些海槽或洋槽再次闭合时,就发生蓝闪片岩变质作用,其温度和区域的绿片岩相变质条件基本相同,说明不存在真正俯冲带的地热等温线下凹区。蓝闪绿片岩相的压力资料表明其形成深度约20余公里,一般不超过30公里,考虑到岩层本身厚度已达10余公里,如存在构造作用引起的地层迭置等现象时,完全可达到所需要的压力。有人认为构造附近压力也可达200—300MPa,与断裂有关的高压流体相的存在也不是没有可能的。因此蓝闪片岩的形成不一定和俯冲带相联系,即使存在俯冲现象,也是极有限的,深度不会超过30公里,在这些地区不可能存在深达60—70公里的现代太平洋型俯冲带。

本文是在编制全国变质地质图过程中收集了有关省的蓝闪片岩的地质资料并在卢良兆老师指导下编写的。承蒙有关单位和个人提供大量资料,在此一并表示衷心感谢。

#### 参 考 文 献

- (1) 祁思敬, 1979, 对内蒙白音诺尔一带温都尔庙群构造特征的初步认识,《河北地质学院学报》, 第一期。
- (2) 吴汉泉, 1980, 东秦岭和北祁连的蓝闪片岩,《地质学报》, 第三期。
- (3) 段新华, 1981, 论哀牢山—藤条河断裂带—古板块俯冲带,《地质学报》, 第四期。
- (4) 周维全等, 1982, 澜沧江变质带南段蓝闪片岩特征,《中国区域地质》, 2。
- (5) 唐克东等, 1983, 关于温都尔庙群及其构造意义,《中国北方板块构造文集》, 第一集。
- (6) 王书容等, 1983, 新疆西天山地区的蓝闪片岩,《矿物岩石》, 第三期。
- (7) 胡晓, 1983, 内蒙古地槽区的蓝闪片岩及地质特征,《中国北方板块构造文集》, 第一集。
- (8) 郭义华, 1983, 新疆唐巴勒地区的蓝闪片岩,《中国北方板块构造文集》, 第一集。
- (9) 吴汉泉, 1984, 中国高压低温变质带概述兼论蓝闪石—蓝闪片岩有关问题,《中国地科院西安所刊》No7。
- (10) H.G.F.温克勒, 1980,《变质岩成因》, 张旗等译, 科学出版社。
- (11) 都城秋穗, 1979,《变质作用与变质带》, 周云生译, 地质出版社。



## Metamorphism of the Glaucophane-Schists in China

Ye Huiwen

(Changchun College of Geology)

**Key words:** glaucophane-schist, green-schist, glaucophane, metamorphism

### Abstract

This paper deals with the distribution of glaucophane schists in China, the metamorphic conditions of glaucophane-schist facies and their tectonic positions. The glaucophane schists appeared in various metamorphic periods since Middle-Late Proterozoic. According to their mineral assemblage, they may be divided into two groups. The first group is characterized by the association of glaucophane, crossite of magnesioriebeckite stilpnomelane, and piemontite with the common minerals of greenschist facies, such as epidote, actinolite, chlorite, muscovite and sometimes also biotite, almandine or sodicpyroxene. The formation conditions of these assemblages are 350—450°C, and 500—800MPa. It is considered that they are probably the high-pressure variation of greenschist facies-glaucophane greenschist facies. They usually occur in narrow belts that often extend into the metamorphic terrain of low-greenschist facies, and in some cases, are accompanied by ultrabasic rock belts and abyssal radiolarian siliceous sediments. Geological and petrological evidence indicates that they were formed during the closing of the local deep oceanic trough of a mobile belt, and are not directly related to plate tectonics. The rocks of another group often contain high-pressure minerals, such as lawsonite, jadeite and aragonite in addition to glaucophane, pumpellyite, stilpnomelane, phengite, piemontite etc. They belong to high-pressure sub-greenschist facies, which is referred to as glaucophane-lawsonite facies. Its formation conditions are 250—350°C with pressure greater than 500—800MPa, even reaching 1200MPa. Most of the glaucophane schist belts in China belong to the first group, while that of southern Tibet (R. Yarlung Zangbo) and Ondor Sum district of Inner Mongolia may fall to the second group, which represent the ancient subduction zones of the oceanic plate.