

文章编号: 1006-6616 (2015) 03-0426-12

中国蓝片岩带的分布及其构造意义

代艳娟^{1,2}, 曾普胜^{1,2,3}, 麻菁^{2,3}, 苟瑞涛^{2,3}, 王聚杰^{2,3}

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650000; 2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037;
3. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 在前人研究的基础上, 根据变质时代及产地将中国蓝片岩带划分为 20 个带, 选取不同时代典型蓝片岩带论述其特征(分布区域、大体规模、原岩特征、形成时代及矿物组合), 并对其地质成因进行分析。中国蓝片岩带生成方式复杂, 但均与俯冲消减作用有关, 且大多属 B 型俯冲消减; 部分地段叠加了 A 型俯冲的高压—超高压变质带(如阿尔金带、大别-苏北带、南迦巴瓦-密支那带等)。中国蓝片岩带在时代上可以分为元古代(晋宁期)、古生代(加里东—海西期)、中生代(印支—燕山期)和新生代(喜马拉雅期)4 个时期, 每个时期蓝片岩带的形成大多与中国地体增生过程中洋盆的消减俯冲有关, 并在特定地段经历后期的陆内俯冲(高压—超高压俯冲)叠加影响。

关键词: 蓝片岩带; 高压俯冲; 中国

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

0 引言

蓝片岩是一种含钠质角闪石(即蓝闪石和青铝闪石)的片岩, 蓝片岩带(blue schist belt)又称蓝闪石片岩带(glaucophane schist belt), 是由含蓝闪石、硬柱石、硬玉、硬绿泥石等矿物组成的片岩的区域变质岩带。蓝片岩一般是低温高压条件下的变质产物, 其高压条件有埋深、构造深埋(推覆体叠置引起)或者超液压(快速加热产生的液体超压或缓冲高压釜效应引起), 压力范围 $0.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^9$ Pa, 温度范围在 $250 \sim 400$ °C^[1]; 它在造山带中呈带状出露, 位于双变质带中近消减带的一侧, 因此它的空间分布和地质时代成为鉴别古消减带的重要标志。

在造山带变质作用时, 低温高压与超高压变质带常常伴生低压高温变质岩而组成双变质带。双变质带(paired metamorphic belts)指压力类型或变质相系不同、走向大致平行的 2 个变质岩带, 最早由日本地质学家都城秋穗^[2]提出, 认为环太平洋区域和世界许多变质岩地区常由大陆侧的高温低压带和大洋侧(有时也可能出现在陆内一侧)的高压低温带组成

收稿日期: 2015-03-26

基金项目: 国土资源大调查项目(12120113002500); 国土资源部公益性行业科研专项(201211078); 国家自然科学基金项目(41072073)

作者简介: 代艳娟(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为矿床学、岩石学。E-mail: dyj4845121@foxmail.com

通讯作者: 曾普胜(1964-), 男, 博士, 研究员, 长期从事矿床学、岩石学和地球化学研究。E-mail: zengpusheng@vip.sohu.com

双变质带, 它们的形成时期相同。一直以来人们习惯把蓝片岩带当作板块缝合线的主要标志之一。随着研究的深入, 地质学家通过对高压变质作用的进一步探讨后认识到, 陆-陆碰撞、岩片的构造叠置与高压变质作用的关系非常明显, 高压变质作用也不再仅仅是板块俯冲的单一模式了^[3]。

中国的块体增生主要有两大类: 一种是 B 型俯冲形成的高压变质带, 即洋盆消减俯冲与板块缝合带相重合; 另一种为 B + A 型, 先是洋壳俯冲, 后又经陆-陆碰撞, 即早期为 B 型俯冲形成高压变质带, 后期在特定具体条件的地方产生向陆内俯冲的 A 型俯冲形成加厚乃至双倍地壳, 通常形成高压—超高压变质带, 如阿尔金、秦岭大别与苏北、南迦巴瓦等高压变质带。中国蓝片岩带大多属 B 型俯冲消减类型, 有的地区有待进一步证实, 如我国新疆阿克苏蓝片岩带原认为是 A 型俯冲, 但其真正成因可能是元古代古洋盆的残余, 是由于南天山洋向北俯冲消减而成。

地球构造演化通常从边缘裂谷开始俯冲, 当板块扩张到一定规模时, 其洋壳开始产生俯冲消减, 在俯冲消减过程中常常以双变质带的形式表现出来^[4], 即靠近海沟一侧因深俯冲而形成高压低温变质带, 而靠近岛弧一侧则常常因岛弧火山岩发育而成为低压高温变质带。本文主要研究高压低温一侧。

关于我国蓝片岩前人已经做过研究^[3,5~13], 但在不少地区研究程度不够, 尤其是在近年来基础地质研究取得重要进展的西南三江(金沙江, 澜沧江, 怒江)地区, 关于高压俯冲蓝片岩带的研究显得零碎而薄弱。本文在前人研究的基础上对我国蓝片岩带进行了归纳与总结, 选取不同时代典型蓝片岩带论述其特征(分布区域、大体规模、原岩特征、形成时代及矿物组合), 并对其地质成因进行分析。

1 中国蓝闪石片岩带划分

1.1 蓝闪片岩相划分

Miyashiro^[2]、Turner 等^[14]、Fyfe 等^[15]和 Ernst^[16]一致认为蓝闪石片岩的形成温度大致相当于绿片岩相, 有的可能低于绿片岩相, 其温压条件为 250 ~ 550 ℃, 0.6 ~ 1.2 GPa。

Eskola 最早对蓝闪片岩相(Glaucophane schist facies)进行了划分^[13], 此后 Bailey^[17]、Turner^[18]、Winkler 等^[19]、Liou J G 等^[20]也将蓝片岩相划分为不同的相带(见表 1)。本文采用董申保^[5~6]的分类方案, 即将中国的蓝片岩相划分为蓝闪石-硬柱石片岩相和蓝闪绿片岩相 2 个不同类型的变质亚相, 该分类方案是其在主编中国第一代 1:4000000 变质地质图时根据我国具体情况提出的, 具有科学性及合理性。

表 1 几种蓝片岩相划分方案对比^[3]
Table 1 Contrast of several dividing schemes of blueschist facies

Bailey ^[16]	Turner ^[18]		Winkler ^[19]	董申保 ^[5-6]		Liou 等 ^[20]	
蓝片岩相	Law-Ab-Chl 相		Law 带（很低级）	蓝闪 石片 岩相	蓝闪石-硬柱石 片岩相	蓝片岩相	Law 带
	蓝片岩相	Gln + Law	Law + Gln 带（很低级）				Pmp 带
		Gln + Omp 或 Gln + Jd + Q	Jd + Q（很低级）		蓝闪绿片岩相		Ep 带
绿片岩相	绿片岩相		Gln + Czo 带（低级）				

注: 矿物代号见正文后说明

蓝闪石-硬柱石片岩相(后文也称蓝闪片岩相)属于亚绿片岩相的高压相, 温度一般为

250 ~ 350 ℃，压力大于 0.8 GPa，常常与浊沸石相、绿帘石-葡萄石相共生，出现的典型高压矿物有 Jd、Law 等，高温的 Zo、Mus 或 Act 组合则一般不会出现。

而蓝闪绿片岩相属于绿片岩相范畴，温度一般为 350 ~ 450 ℃，压力 0.5 ~ 0.8 GPa，它常与绿片岩相岩石共生，其特征与绿片岩相基本一致，但属于高压相。常见的稳定矿物组合有 Gln-Ep-Chl-Mus，有的含 Act 和 Gt。蓝闪石类则主要是 Cro、Mri。

1.2 蓝片岩带划分

蓝片岩带划分的基本依据有：变质相和相系、温度-压力梯度、原岩建造、大地构造位置以及其他（如结晶基底和同期花岗岩存在与否等标志）^[11]。本文主要依据蓝片岩的变质时代及所在地质构造的位置，以蓝片岩带所处地理位置命名。按变质时代分为新元古代（晋宁期）、古生代（加里东—海西期）、中生代（印支—燕山期）、新生代（喜马拉雅期），在沈其韩等^[11]岩带划分基础上有所修改，并增加了金沙江-哀牢山蓝片岩带和南迦巴瓦榴辉岩蓝片岩带，最终划分为 20 个岩带（见图 1，表 2）。

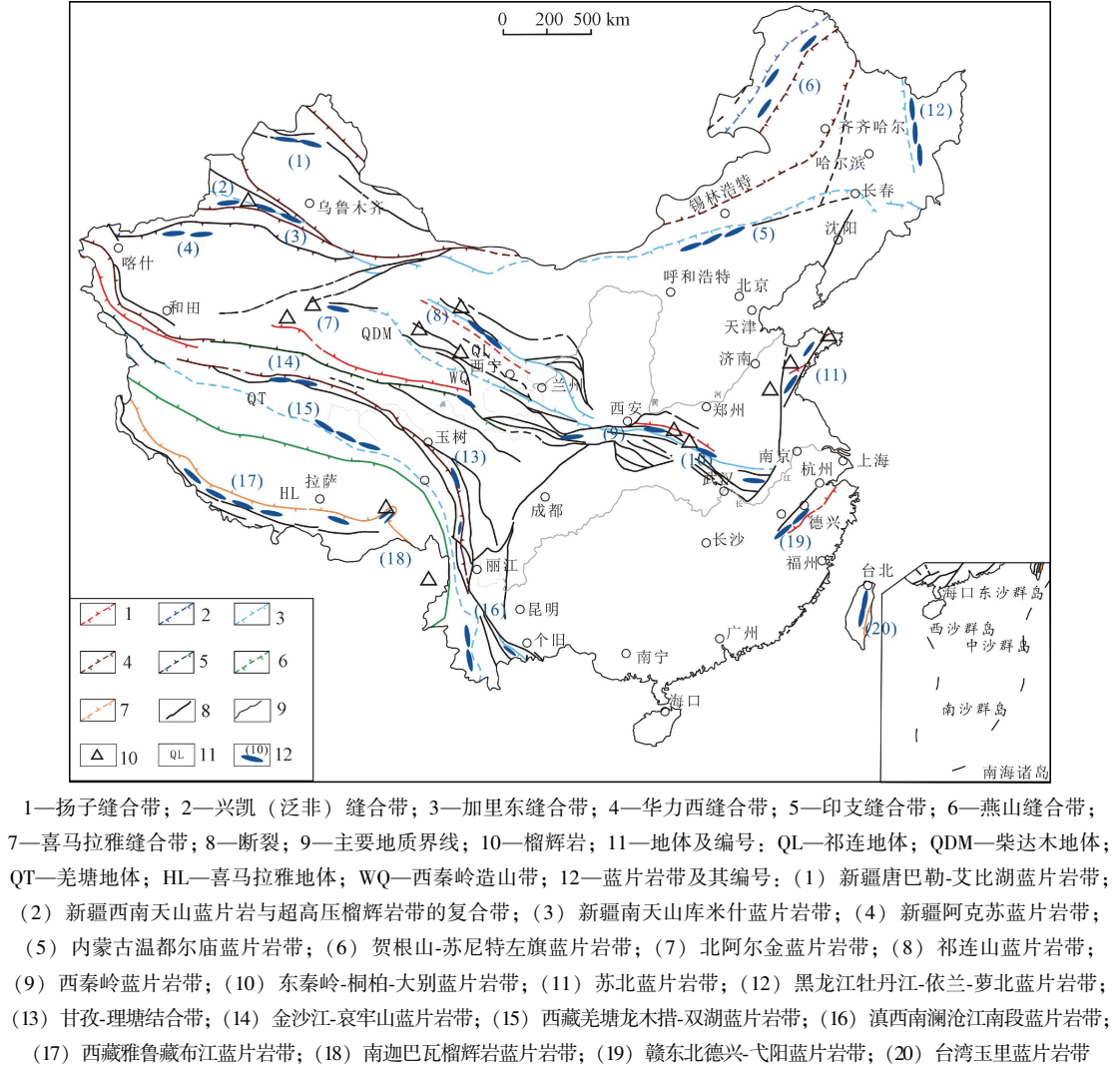


图 1 中国蓝片岩带分布简图（据 Liou 等^[12]；沈其韩等^[11]；李才等^[21]；魏永峰等^[22]，重新修编）

Fig. 1 Simplified map of distribution of major blueschist zone in China

表2 中国蓝片岩时空分布特征

Table 2 Features of temporal-spatial distribution of blueschists in China

高压变质带	蓝片岩带位置及编号	原岩类型	典型高压变质矿物	蓝片岩相平衡矿物共生组合	变质相	年代/Ma	资料来源
元古代							
天山褶皱带	新疆阿克苏（4）	1	Cro、Bar	Ⅲ	B	1100	Liou 等 ^[23]
江南隆起西缘	江西德兴（赣东北德兴-弋阳）（19）	3	Cro、Jd	I	A	864.5 ± 19 867.5 ± 13.5	苏良树等 ^[24]
路台北缘高压变质带	古生代（加里东—海西期）						
	新疆南天山库米什（3）	1	Gln、Cro	Ⅱ，Ⅲ	A	350	高俊等 ^[25]
	新疆西天山特克斯（2）	1	Gln、Cro、Law	I，Ⅲ，Ⅳ	早：A 晚：B	408 345	高俊等 ^[26]
	北阿尔金（7）	3	Gln、Law、Phe、	I	B	490 ~ 515	张建新等 ^[27]
	内蒙古温都尔庙（5）	2	Gln、Law、Arag	I，Ⅲ，Ⅴ	A	426 ± 15	王秉方 ^[28]
	贺根山-苏尼特左旗（6）	1	Gln、Cro	Ⅱ，Ⅲ	B	400	包志伟等 ^[29]
	新疆唐巴勒-艾比湖（1）	2	Gln、Cro	Ⅱ，Ⅲ	B	450 ~ 475	张立飞 ^[30]
华中高压变质带	祁连山（8）	1	Gln、Cro、 Jd、Arag	I，Ⅱ， Ⅲ，Ⅴ	早：B 中：A 晚：B	406 ~ 454 420 ~ 490 415 ± 7	吴汉泉 ^[31] ； 宋述光 ^[32] ； 林宜慧等 ^[33]
	中生代（印支—燕山期）						
	西秦岭（9）	2	Gln、Cro、Pie	Ⅱ，Ⅳ，Ⅴ	早：A 晚：B		
	东秦岭-桐柏-大别（10）	3	Cro、Pie、Na-Aug	Ⅱ，Ⅳ，Ⅴ	B	220	葛宁洁等 ^[34]
	黑龙江牡丹江-依兰-萝北（12）	1	Gln	Ⅱ	A	210 ~ 250	Zhou 等 ^[35]
	苏北（江苏北部）（11）	1	Cro、Jd、Pie	ⅢⅣⅤ	A	258	许志琴 ^[36]
印度-喜马拉雅高压带	甘孜-理塘（13） 金沙江-哀牢山（墨江）（14）	2	Cro、Mri、Gln	Ⅲ	A	240 ~ 210	Liou 等 ^[23] ； 莫宣学等 ^[37] ； 顾德林等 ^[38] ； 沙绍礼 ^[39]
	班公湖（西藏羌塘）（15） 怒江、滇西澜沧江-昌宁-孟连（16）	3	Gln、Cro、 Na-Aug、Law	I，Ⅱ，Ⅲ		409 ~ 519 193 ~ 260	周维全等 ^[40] ； 彭兴阶 ^[41] ； 罗万林等 ^[42] ； 瞿明国 ^[43] ； 赵靖等 ^[44]
	新生代（喜马拉雅期）						
	雅鲁藏布江（17）	2	Gln、Jd、Law、 Arag	I，Ⅱ	B	59	李才等 ^[21]
	南迦巴瓦（18）	2	Gt		B	50	张泽明等 ^[45]
环太平洋高压带	台湾玉理（20）	2	Gln、Cro	Ⅱ，Ⅳ	B	9 ~ 14	Liou 等 ^[23]

原岩类型：1—基性火山岩、硅质岩；2—基性火山岩、硅质岩伴超基性岩；3—细碧角斑岩（中基性火山岩、碎屑岩）
矿物共生组合：Ⅰ—Gln + Law + Chl + Jd + Ep ± Arag；Ⅱ—Gln + Ep + Chl + Ab + Q；Ⅲ—Cro + Ep + Chl + Q ± Act；
Ⅳ—Cro + Ep + Chl + Q + Gt ± Pie；Ⅴ—Omp + Gt + Gln；
变质相：A—蓝闪-硬柱石片岩相；B—蓝闪绿片岩相

新元古代（晋宁期）蓝片岩带主要有新疆阿克苏蓝片岩带，江西德兴蓝片岩带（即赣东北德兴-弋阳蓝片岩带）。

古生代（加里东—海西期）蓝片岩带主要有北阿尔金蓝片岩带，祁连山蓝片岩带，内蒙古温都尔庙蓝片岩带，新疆西南天山蓝片岩与超高压变质岩复合带，新疆唐巴勒-艾比湖蓝片岩带，新疆西南天山库采什蓝片岩带，贺根山-苏尼特左旗蓝片岩带。

中生代(印支—燕山期)蓝片岩带主要有东秦岭-桐柏-大别蓝片岩带,西秦岭蓝片岩带,苏北蓝片岩带(不包括张八岭蓝片岩),西藏羌塘-龙木措-双湖蓝片岩带,黑龙江牡丹江依兰-萝北(嘉荫)蓝片岩带,甘孜-理塘-墨江蓝片岩带,滇西南澜沧江南段蓝片岩带。

新生代(喜马拉雅期)蓝片岩带主要有西藏雅鲁藏布江蓝片岩带,喜马拉雅东构造结南迦巴瓦榴辉岩蓝片岩带,以及台湾东部瑞穗-玉里蓝片岩带。

2 中国蓝片岩带基本特征

图1和表2总结了我国蓝片岩的分布、产状、特征高压矿物及原岩类型,从中可以看出,我国的蓝片岩带无论是在空间上还是在时间上分布都相当广泛,且有规律地沿着不同地质时期形成的几条板块拼合的造山带分布。

空间上,我国目前发现的蓝片岩大多集中分布于几条与板块构造格局关系密切的主要造山带,且位于不同克拉通边缘造山带缝合带,呈不连续狭长带状展布(见图1)。当然也不完全如此,如新疆阿克苏、东秦岭-桐柏-大别、西秦岭和苏北蓝片岩带就属例外,它们通常受后期陆内俯冲影响,叠加而形成超高压变质带。蓝片岩的这种空间分布特征大体勾绘出了我国各时代板块的综合轮廓^[13]。

时代上,中国蓝片岩的形成时代相对比较齐全。目前发现的最老蓝片岩带为新元古代的新疆阿克苏和江西德兴(图1中赣东北德兴-弋阳)蓝片岩带,此后从加里东期、海西期、印支期、燕山期直到喜马拉雅期均有分布。古生代加里东—海西期蓝片岩带数量仅次于中生代,这在国外很多地方都很少见。蓝片岩的这种时代演化特征一方面反映了我国大陆的增长模式,另一方面也反映了我国板块构造演化的基本历程^[13]。

下面将按时间顺序以不同时期典型蓝片岩带为例论述其特征(分布区域、大体规模、原岩特征、形成时代及矿物组合),并结合前人资料对蓝闪石片岩带的地质成因进行分析。

2.1 元古代蓝片岩带——以新疆阿克苏蓝片岩带(高压变质带)为例

该蓝闪石片岩带分布于塔里木克拉通北缘的阿克苏群,是世界上已被确定的元古代高压变质带中的一个。阿克苏群上部被未变质的震旦系紫色粗砂岩地层不整合覆盖,蓝片岩年龄至少为800 Ma; Liou 等^[23]报道的蓝片岩 Sm-Nd 年龄为1100 Ma,由此可确定该蓝片岩形成于晚元古代,并经历后期的陆-陆俯冲影响。

新疆阿克苏蓝片岩带(4)主要高压变质矿物为 Cro、Win、Phe 等,主要矿物共生组合有 Cro + Ep + Chl + Act + Ab + Q + Phe + Stip 和 Cro/Win + Ep + Phe + Ab + Q。

早期地球不具备对流循环的板块构造基质,因而不会形成缝合带和高压变质带,直到距今2500 Ma之后,才有初步的俯冲和陆壳的形成^[46~47]。元古代形成的蓝片岩带也多数因为地壳再循环或构造抬升剥蚀而难以观察到。中国新疆阿克苏蓝片岩带是保留较好的元古代蓝片岩带之一。沈其韩等^[11]认为该带为典型的A型俯冲带。但笔者认为,陆内局部俯冲形成A型俯冲蓝片岩的动力学机制难以实现,它可能是晚元古代狭带纪(Stenian)时期(距今1100 Ma)^[23]南天山洋向北俯冲消减的结果,并经历了后期陆-陆俯冲的叠加影响。阿克苏蓝片岩带的形成机制有待进一步深入研究。

2.2 古生代蓝片岩带

古生代蓝片岩带主要分布于天山-蒙古造山带内的古亚洲缝合带,如新疆西天山特克斯(2)、新疆南天山库米什(3)、北阿尔金(7)、祁连山(8)、内蒙古温都尔庙(5)、贺根

山-苏尼特左旗(6)、黑龙江牡丹江(12)等,形成年龄多在500~350 Ma之间,可能均与古亚洲洋向北的俯冲消减有关。以华北地台南部的祁连山蓝片岩带和华北地台北部的温都尔庙蓝片岩带为例简述如下。

2.2.1 祁连山蓝片岩带(8)

该蓝片岩带西起甘肃南部石居里,东至青海景阳岭,长超过200 km,宽2 km左右,处于阿拉善地块和中祁连地块之间、秦-祁-昆褶皱系中段北部,带中的蓝片岩主要产自中寒武统变质火山岩,上部是未变质的中泥盆统盖层(雪山群),形成年龄在490~406 Ma之间,可能是早古生代祁连洋盆向华北地台增生消减的结果^[27,31~33]。

该蓝片岩带的主要高压矿物:Gln、Cro、Phe、Jd、Arag等;主要岩石类型:蓝闪绿帘绿泥片岩、蓝闪多硅白云石英片岩、含石榴多硅白云蓝闪片岩、含硬玉青铝闪石岩、黑硬绿泥石蓝闪片岩、含文石大理岩和C类榴辉岩等^[38];高压变质矿物组合: Cro + Phe + Ab + Q + Gt、Gln/Cro + Chl + Phe + Q ± Ep ± Law、Cro + Gt + Ep + Phe + Q ± Stip ± Zo、Gln + Gt + Na + Aug ± Ep ± Phe 以及 Cro + Jd + Phe + Ab + Q (±表示矿物可以有也可以没有)。

祁连山蓝片岩形成于早古生代,相当于加里东期变质作用产物,与高压带相伴生的有蛇绿岩套及混杂堆积,这是典型的板块缝合线特征,早古生代洋壳蛇绿岩套发育完整,使之成为除青藏高原之外研究古洋壳的一个极好地区,高压变质作用也使这里成为中国翡翠的远景区之一^[38]。

2.2.2 内蒙古温都尔庙蓝片岩带(5)

内蒙古温都尔庙蓝片岩带位于华北克拉通北缘温都尔庙东变质带北部,沿锡林浩特—苏尼特右旗呈东西向线状展布。该带中的蓝片岩产于震旦系及寒武系,属早加里东期绿片岩相变质作用^[6]。蓝片岩主要赋存于古生代温都尔庙群桑达尔音组及哈尔哈达组细碧角斑岩建造和硅铁建造之中,与蛇纹岩化纯橄榄岩、辉橄岩和斜长岩组成的蛇绿岩套紧密伴生。岩带在温都尔庙地区出露可达58 km^[10]。

温都尔庙蓝片岩带属蓝闪石绿片岩相系,由蓝闪石绿片岩相和绿片岩相(绿泥石级)组成。钠质角闪石为青铝闪石-镁钠闪石,并与硬柱石、黑硬绿泥石、红帘石、多硅白云母及钙质角闪石共生。

主要变质矿物组合有: Cro + Ep + Chl + Ab + Stip、Law + Ep + Chl + Ab、Cro + Stip + Phe + Ab + Q 以及 Gln + Cc + Arag。

王秉方^[28]测得蓝片岩中蓝闪石的同位素年龄为 426 ± 15 Ma, Yan等^[47]测得蓝片岩中蓝闪石的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄为 445.5 ± 15 Ma。高长林等^[48]测得温都尔庙蓝片岩的变质年龄为 $489 \sim 435 \pm 61$ Ma,同时该蓝片岩带南侧白乃庙一带发育的高温低压变质岩中角闪石的K-Ar年龄为 $458.1 \sim 434$ Ma,因此推测这二者是奥陶纪—志留纪古蒙古洋板块向华北板块俯冲消减所形成的蓝片岩带,对此推论还需作进一步研究论证。

2.3 中生代蓝片岩带

中生代蓝片岩带主要分布于扬子地台北缘的东秦岭-桐柏-大别带、被郯庐断裂带错切的苏北带、扬子地台西缘的甘孜-理塘带和金沙江-哀牢山(墨江)带、班公湖-怒江-澜沧江带,是扬子北缘的秦岭洋(古特提斯洋的北支)、甘孜-理塘洋—金沙江洋(古特提斯洋的中支)、班公湖-怒江洋—昌宁孟连洋(古特提斯洋的南支)等“西南三江”多岛洋(archipelagic ocean)向北增生过程中,各个洋盆向南或向北俯冲闭合的结果。本文以滇藏高压变质带中的甘孜-理塘蓝片岩带(14)为例进行分析。

甘孜-理塘缝合带地理位置特殊,位于川西青藏高原东部松潘-甘孜造山带与义敦岛弧相交处,是古特提斯洋东北支的甘孜-理塘洋向西俯冲消减导致扬子陆块与中咱陆块-义敦岛弧带拼接的碰撞缝合带。

甘孜-理塘高压变质带主要出露于理塘的尔拉寺后山、木里县的依吉、大理周城—太和一带,蓝闪石年龄为 $240\text{ Ma}^{[38]}$,其高压岩石类型为蓝闪钠长绿泥片岩、蓝闪阳起绿泥片岩、多硅白云母片岩等。依吉以南,沿冲江河河谷,经忠义—白汉场一带的金沙江河谷沿岸,再向南至洱源县城西、大理周城—太和一带,断续有流纹岩与玄武岩构成的双峰式火山岩组合,是甘孜-理塘洋盆早期开启的标志。大理周城、太和一带参与的基性岩中发现有镁钠闪石。

该蓝片岩带的矿物组合为 $\text{Cro} + \text{Ep} + \text{Chl} + \text{Ab} + \text{Gln} + \text{Q}$ 、 $\text{Mri} + \text{Phe} + \text{Ab} + \text{Q}$ 、 $\text{Mri} + \text{Phe} + \text{Bt} + \text{Q}$ 。

甘孜-理塘缝合带西侧的造山带燕山晚期后进入陆内汇聚阶段,地壳进一步压缩加厚导致陆壳重熔,在岛弧背景上引起中酸性岩浆侵入形成了大规模的雀儿山花岗岩带^[49]。

新生代喜马拉雅期之后,在印度板块与欧亚板块互相碰撞引发强烈的陆内构造作用下,南部的三江口以南出现强烈逆冲推覆,形成规模较大的逆冲推覆体。逆冲推覆后的走滑-伸展可形成一系列的拉分盆地,包括洱源盆地、洱海盆地等,伸展的东部边界洱海-红河断裂向北与丽江-木里断裂相连,可能代表了甘孜-理塘缝合带未推覆前的大致东部边界。

2.4 新生代蓝片岩带

2.4.1 雅鲁藏布江蓝片岩带 (18)

雅鲁藏布江蓝片岩带位于雅鲁藏布江沿岸,长约 1600 km ,呈近东西向不连续带状展布。主要变质岩石为蓝闪片岩、含蓝闪绿泥多硅白云片岩、含硬柱石变辉长岩、含文石大理岩等;原岩为中基性火山岩、枕状熔岩、泥质岩、硅质岩并伴有超基性岩,高压变质作用的温度为 $350 \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力为 $0.7 \sim 0.9\text{ GPa}^{[38]}$ 。变质地层是一套晚侏罗世—白垩纪杂色硅质岩,夹火山岩系及少量晚三叠世类复理石沉积。主要高压变质矿物有 Gln 、 Cro 、 Bar 、 Law 、 Jd 、 Arag 等^[11];主要矿物共生组合: $\text{Stip} + \text{Chl} + \text{Ep} \pm \text{Arag}$, $\text{Gln} + \text{Stip} + \text{Chl} + \text{Srt} + \text{Q}$, $\text{Gln} + \text{Chl} + \text{Art} \pm \text{Ab}$ 。

雅鲁藏布江蓝片岩带是印度板块与欧亚板块俯冲碰撞而形成的,从变质相空间分布上看,北带为蓝闪质岩带,南带为黑硬绿泥石带,疑似具有从南往北温度降低、压力升高的趋势,这种变质作用的极性提示了印度板块向北的俯冲作用以及古俯冲带的大致位置^[11]。Liou 等^[12]沿印度缝合带曾获得 $80 \pm 5\text{ Ma}$ 的年龄,李才等^[21]在雅鲁藏布江缝合带南侧卡堆蓝片岩中的蓝闪石(青铝闪石)获得了 $59.29 \pm 0.83\text{ Ma}$ 的 Ar-Ar 加权平均年龄,该年龄与利用海相最高沉积层位、地层古生物、古地磁等研究方法获得的结论吻合,可见印度河-雅鲁藏布江缝合带闭合时间应在距今 59 Ma 左右,也是洋壳消亡和印度与亚洲板块碰撞的时间约束^[11]。

2.4.2 南迦巴瓦榴辉岩蓝片岩带 (19)

张泽明等^[45]在东喜马拉雅构造结即南迦巴瓦岩群中发现了呈透镜状产于麻粒岩相变质的泥质片岩和长英质片麻岩中的石榴辉石岩,主要由富铁铝榴石的石榴石和透辉石组成,含少量的石英、榍石和金红石,不含角闪石和斜长石。石榴辉石岩是榴辉岩相高压变质作用的产物,原岩相当于基性—超基性层状侵入体中的辉长岩,在快速抬升过程中叠加了麻粒岩相和角闪岩相退变质作用。

丁林等^[50]根据南迦巴瓦峰高压麻粒岩岩相学特征识别该地区有 3 期变质矿物组合：Mus + Bt + Pl + Q、Gt + Ky + Per + Anti-Per + Rt + Q 及 Gt + Sil + Crd + Spl + Ilm ± Opx。而石榴辉石岩峰期变质作用的温度和压力条件分别为 800 ~ 900 °C 和 2.6 ~ 2.8 GPa，变质时代可能为距今 50 Ma^[46]。具有 A 型俯冲 + B 型俯冲叠加的特点，与大别-苏鲁高压—超高压变质带类似。

3 结论

我国蓝片岩带按变质时代和蓝闪石产地可初步划分为 4 个时期 20 个岩带，每个时期的蓝片岩带均与中国地体增生过程中洋盆的消减俯冲有关，并在特定地段受后期的超高压俯冲叠加影响。元古代的德兴-弋阳带是华南洋盆向扬子板块下俯冲消减的产物；古生代华北地台南缘和北缘的蓝片岩带则分别是祁连洋和古亚洲洋闭合俯冲的产物；中生代古特提斯洋盆北、中、南支的消减俯冲，分别形成了北支东秦岭-大别-苏北（叠加过后期的超高压俯冲、折返）、中支金沙江-哀牢山（含甘孜-理塘带分支）、南支班公湖-怒江—昌宁-孟连三大蓝片岩带；新生代的雅鲁藏布江带则是印度板块向欧亚大陆下俯冲消减的产物（南迦巴瓦-密支那带叠加了超高压俯冲）。

我国蓝片岩生成方式复杂，但大体均与俯冲消减作用有关，且大多属 B 型俯冲消减；部分地段叠加了 A 型俯冲的高压—超高压变质带（如阿尔金带、大别-苏北带、南迦巴瓦-密支那带等）。新疆阿克苏蓝片岩带可能以 A 型俯冲为主，有待深入研究。

本文中用到的矿物代号：

Ab—钠长石；Act—阳起石；Arag—文石；Anti-Per—反纹长石；Bar—冻蓝闪石；Bt—黑云母；Cc—方解石；Chl—绿泥石；Cro—青铝闪石；Crd—堇青石；Czo—黑黝帘石；Ep—绿帘石；Gt—石榴石；Gln—蓝闪石；Ilm—黑金红石；Jd—硬玉；Ky—蓝晶石；Law—硬柱石；Mri—镁钠闪石；Mus—白云母；Na-Aug—钠质辉石；Omp—绿辉石；Opx—斜方辉石；Per—条纹长石；Pie—红帘石；Phe—多硅白云母；Pl—斜长石；Pmp—绿纤石；Q—石英；Rt—金红石；Sil—矽线石；Stip—黑硬绿泥石；Srt—绢云母；Spl—尖晶石；Win—透蓝闪石；Ze—沸石；Zo—黝帘石。

参 考 文 献

[1] 中国大百科全书总编辑委员会《地质学》编辑委员会. 中国大百科全书：地质本 [M]. 北京：中国大百科全书出版社，1993：367，501.
Editorial Committee of Geology, Chinese Encyclopedia Edit Committee. Chinese encyclopedia: Geology [M]. Beijing: Chinese Encyclopedia Press, 1993: 367, 501.

[2] Miyashiro A. Evolution of metamorphic belts [J]. Journal of Petrology, 1961, 2: 277 ~ 311.

[3] 魏春景. 蓝片岩及其有关高压变质带研究的新进展 [J]. 地质前缘, 1994, 1 (1/2): 140 ~ 144.
WEI Chun-jing. Progress in the study of blueschists and related high pressure metamorphic belts [J]. Earth Science Frontiers, 1994, 1 (1/2): 140 ~ 144.

[4] Miyashiro A. Metamorphism and metamorphic belts [M]. London: George Allen and Unwin, 1973.

[5] 董申保. 中国变质作用及其与地壳演化的关系 [J]. 北京：地质出版社，1986：1 ~ 233.
DONG Shen-bao. The relationship between metamorphism and crustal evolution in China [J]. Beijing: Geological Publishing House, 1986: 1 ~ 233.

[6] 董申保. 中国蓝闪石片岩带的一般特征及其分布 [J]. 地质学报, 1989, (3): 273 ~ 284.
DONG Shen-bao. The general features and distributions of the glaucophane schist belts of China [J]. Acta Geologica Sinica, 1989, (3): 273 ~ 284.

- [7] 高延林. 中国的蓝片岩 [C] //中国地质科学院院报 (10). 1984: 61~76.
GAO Yan-lin. Blueschist in China [C] //Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences (10). 1984: 61~76.
- [8] 张兆忠, 冯锦江, 张秉良, 等. 中国的蓝片岩和板块构造 [J]. 岩石学报, 1986, 2 (4): 31~40.
ZHANG Zhao-zhong, Feng Jinjiang, Zhang Bing-liang, et al. Chinese glaucophane schist and plate tectonics [J]. Acta Petrologica Sinica, 1986, 2 (4): 31~40.
- [9] 叶慧文. 中国蓝闪片岩相的变质作用 [J]. 岩石矿物学杂志, 1987, 6 (2): 103~111.
YE hui-wen. Metamorphism of the glaucophane-schists in China [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 1987, 6 (2): 103~111.
- [10] 沈其韩. 80年代以来我国变质岩研究的若干新进展 [C] //中国地质科学院地质研究所文集. 1992: 13~25.
SHEN Qi-han. Some new progresses in the study of metamorphic rocks of China since the 1980s [C] //Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences. 1992: 13~25.
- [11] 沈其韩, 耿元生. 中国蓝片岩带的时空分布、地质特征和成因 [J]. 地质学报, 2012, 86 (9): 1407~1446.
SHEN Qi-han, GENG Yuan-sheng. The tempo-spatial distribution, geological characteristics and genesis of blueschist belts in China [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86 (9): 1407~1446.
- [12] Liou J G, Graham S A, Maruyama S, et al. Proterozoic blueschist belt in western China: Best documented Precambrian blueschists in the world [J]. Geology, 1989, 17 (12): 1127~1137.
- [13] 魏春景, 于明道. 蓝片岩的特征及成因 [J]. 沈阳黄金学院学报, 1991, 10 (4): 157~162.
WEI Chun-jing, YU Ming-dao. Characteristics and genesis of blue schist [J]. Journal of Shenyang College of Gold, 1991, 10 (4): 157~162.
- [14] Turner F J, Verhoogen J. Igneous and metamorphic petrology [M]. New York: McGraw Hill, 1951.
- [15] Fyfe W S, Turner F J, Verhoogen J. Metamorphic reactions and metamorphic facies [J]. Geological Society of America Memoir, 1958, 73: 259.
- [16] Ernst W G. Petrogenesis of glaucophane schist [J]. Journal of Petrology, 1963, 4: 1~10.
- [17] Bailey E H. Metamorphic facies of the Franciscan Formation of California and their geological significance [J]. Geological Society of America Memoir Special Paper, 1962, 68: 4~5.
- [18] Turner F J. Metamorphic Petrology. 2nd ed. [M]. New York: Springer Verlag, 1981.
- [19] Winkler H G F. Petrogenesis of metamorphic rock. 5th ed. [M]. New York: Springer Verlag, 1979.
- [20] Liou J G, Maruyama S, Cho M. Very low-grade metamorphism of volcanic and volcanoclastic rock mineral assemblages and metamorphic facies [C] //Frery M. Low temperature metamorphism. London: Blackie Academic & Professional, 1987: 59~113.
- [21] 李才, 胡敬仁, 翟庆国, 等. 印度与亚洲板块碰撞及碰撞时限的新证据——日喀则卡堆蓝片岩 Ar-Ar 定年 [J]. 地质通报, 2007, 26 (10): 1299~1303.
LI Cai, HU Jing-ren, ZHAI Qing-guo, et al. New evidence of India-Eurasia collision and its timing: Ar-Ar dating of the Kardoi blueschist in Xigazê Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (10): 1299~1303.
- [22] 魏永峰, 罗森林, 周幼云, 等. 甘孜-理塘结合带中段蛇绿岩中石榴硅镁石角闪片岩首次发现及地质意义 [J]. 四川地质学报, 2004, 24 (1): 1~3.
WEI Yong-feng, LUO Sin-lin, ZHOU You-yun, et al. Discovery of garnet-humite-hornblende schist in ophiolite suite and its geological significance in the Garzê-Litang suture zone [J]. Acta Geologica Sichuan, 2004, 24 (1): 1~3.
- [23] Liou J G, Maruyama S, Wang X, et al. Precambrian blueschist terranes of the world [J]. Tectophysics, 1990, 181: 97~111.
- [24] 舒良树, 周围庆, 施央申, 等. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究 [J]. 科学通报, 1993, 38 (20): 1879~1882.
SHU Liang-shu, ZHOU Wei-qing, SHI Yang-shen, et al. Study on the high pressure metamorphosed blueschists of the eastern section of Jiangnan orogenic belt and its geological age [J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38 (20): 1879~1882.
- [25] 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 等. 南天山库米什蓝片岩的发现及其大地构造意义 [J]. 中国区域地质, 1993, (4): 344~347.

- GAO Jun, XIAO Xu-chang, TANG Yao-qing, et al. The discovery of blueschist in KUMUX of the South Tianshan Mountains and its tectonic significance [J]. *Regional Geology of China*, 1993, (4): 344 ~ 347.
- [26] 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 等. 新疆西南天山蓝片岩的变质作用 pTdt 轨迹及构造演化 [J]. *地质论评*, 1994, 40 (6): 544 ~ 553.
- GAO Jun, XIAO XU-chang, TANG Yaoqing, et al. The metamorphic pTdt path of blueschists and tectonic evolution in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Geological Review*, 1994, 40 (6): 544 ~ 553.
- [27] 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 等. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的³⁹Ar ~ ⁴⁰Ar 年代学及其区域构造意义 [J]. *中国地质*, 2007, 34 (4): 558 ~ 564.
- ZHANG Jian-xin, MENG Fan-cong, YU Sheng-yao, et al. ³⁹Ar ~ ⁴⁰Ar geochronology of high-pressure/low-temperature blueschist and eclogite in the North Altyn Tagh and their tectonic implications [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (4): 558 ~ 564.
- [28] 王秉方. 内蒙古白乃庙古生代岛弧岩系的地球化学及同位素年龄测定 [C] //中国北方板块构造文集 (第一集). 沈阳: 辽宁科技出版社, 1983: 210 ~ 219.
- WANG Bing-fang. Paleozoic island arc rocks geochemistry and isotopic age determination of Bainaimiao in Inner Mongolia [C] //the North China plate tectonic Essays (1). Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 1983: 210 ~ 219.
- [29] 包志伟, 陈森煌, 张桢堂. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm-Nd 同位素研究 [J]. *地球化学*, 1994, 23 (4): 339 ~ 349.
- BAO Zhi-wei, CHEN Sen-huang, ZHANG Zhen-tang. Study on REE and Sm-Nd isotopes of hegengshan ophiolite, Inner Mongolia [J]. *Geochimica*, 1994, 23 (4): 339 ~ 349.
- [30] 张立飞. 新疆西准噶尔唐巴勒蓝片岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义 [J]. *科学通报*, 1997, 42 (20): 2178 ~ 2181.
- ZHANG Li-fei. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar age of Tangbale blueschist in West Junggar in Xinjiang and its geological significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42 (20): 2178 ~ 2181.
- [31] 吴汉泉. 北祁连山多硅白云母矿物学和多型特征以及对 K-Ar 年龄的思考 [C] //中国地质科学院西安地质矿产研究所文集. 1987, 15: 33 ~ 46.
- WU Han-quan. Mineralogical and polytypical characteristics of phengite and inspiration for K-Ar ages in northern Qilian Mountains, China [C] //Bulletin of Xi'an Institute of Geological Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 1987: 33 ~ 46.
- [32] 宋述光. 北祁连山古大洋俯冲带高压变质岩研究评述 [J]. *地质通报*, 2009, 28 (12): 1769 ~ 1778.
- SONG Shu-guang. High-pressure metamorphic rocks in the north Qilian oceanic subduction zone, China: A review [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28 (12): 1769 ~ 1778.
- [33] 林宜慧, 张立飞, 季建清, 等. 北祁连山九个泉硬柱石蓝片岩⁴⁰Ar ~ ³⁹Ar 年龄及其地质意义 [J]. *科学通报*, 2010, 55 (17): 1710 ~ 1716.
- LIN Yi-hui, ZHANG Li-fei, JI Jian-qing, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron ages of lawsonite blueschists from Jiugequan in the northern Qilian Mountains, NW China, and their tectonic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55 (17): 1007 ~ 1716.
- [34] 葛宁洁, 李曙光, 彭中华, 等. 大别山东段榴辉岩的成分特征及其成因意义 [J]. *地质学报*, 1993, 67 (2): 109 ~ 122.
- GE Ning-jie, LI Shu-guang, PENG Zhong-hua, et al. Mineral composition and metamorphic P-T conditions of the eclogitic rocks in the eastern part of the Dabie Mountains and their genetic implication [J]. *Acta Geological Sinica*, 1993, 67 (2): 109 ~ 122.
- [35] Zhou J B, Wilde S A, Zhang X Z, et al. The onset of Pacific margin accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang high-pressure metamorphic belt [J]. *Tectonophysics*, 2009, 478 (3/4): 230 ~ 246.
- [36] 许志琴, 曾令森, 梁风华, 等. 大陆板片多重性俯冲与折返的动力学模式——苏鲁高压—超高压变质地体的折返年龄限定 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24 (5): 357 ~ 368.
- XU Zhi-qin, ZENG Ling-sen, LIANG Feng-hua, et al. A dynamic model for sequential subduction and exhumation of a

continental slab; Age constraints on the timing of exhumation of the Sulu HP-UHP metamorphic terrane [J]. *Acta Petrologica Et Mineralogical*, 2005, 24 (5): 357 ~ 368.

- [37] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
MO Xuan-xue, LU Feng-xiang, SHEN Shang-yue, et al. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [38] 顾德林, 苏尚国, 游振东. 中国蓝片岩的时空分布及其成因意义 [J]. 中国区域地质, 1996, (4): 58 ~ 66.
GU De-lin, SU Shang-guo, YOU Zhen-dong. The temporal-spatial distribution and origin of blueschist in China [J]. *Regional Geology of China*, 1996, (4): 58 ~ 66.
- [39] 沙绍礼. 云南中甸、四川木里接壤地带(洛吉—瓦厂)的蓝闪片岩 [J]. 云南地质, 1988, 7 (1): 82 ~ 85.
SHA Shao-li. The glaucophane schist of the border zone between Zhongdian Yunnan and Muli Sichuan (called Luoji-Wachang) [J]. *Yunnan Geology*, 1988, 7 (1): 82 ~ 85.
- [40] 周维全, 林文信. 澜沧江变质带南段蓝闪石片岩特征 [J]. 中国区域地质, 1982, (2): 76 ~ 85.
ZHOU Wei-quan, LIN Wen-xin. The features of the glaucophane schist in the southern part of the Lancangjiang metamorphic belt [J]. *Regional Geology of China*, 1982, (2): 76 ~ 85.
- [41] 彭兴阶, 罗万林. 澜沧江南段双变质带的初步确定 [C] // 中国地质学会. 青藏高原地质文集 13: 三江岩石. 北京: 中国地质学会, 1983: 21 ~ 30.
PENG Xing-jie, LUO Wan-lin. A preliminary identification of the paired metamorphic zones in the southern segment of Lancangjiang [C] // Geological Society of China. Contribution to the geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. Beijing: Geological Society of China, 1983: 21 ~ 30.
- [42] 罗万林, 洪雨. 澜沧江构造带南段硬玉(或硬玉质辉石)的发现及可能的地质意义 [J]. 云南地质, 1986, 5 (4): 356 ~ 360.
LUO Wan-lin, HONG Yu. The discovery of the jadeite (or jadeite pyroxene) in the southern section of Lancangjiang River tectonic belt and its possible geological significance [J]. *Yunnan Geology*, 1986, 5 (4): 356 ~ 360.
- [43] 翟明国. 滇西造山带前中生代变质岩的原岩建造及同位素年代学 [D]. 北京: 中国科学院地质所, 1990.
ZHAI Ming-guo. Geochronology of protolith and metamorphic rocks in western Yunnan isotope Pre-Mesozoic orogenic belt [D]. Beijing: Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 1990.
- [44] 赵靖, 钟大赉, 王毅. 滇西澜沧江变质带的变形序列与变质作用初步研究 [J]. 地质科学, 1994, 29 (4): 366 ~ 372.
ZHAO Jing, ZHONG Da-lai, WANG Yi, et al. A preliminary study on deformation sequence and metamorphism in Lancang metamorphic belt of west Yunnan [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29 (4): 366 ~ 372.
- [45] 张泽明, 郑来林, 王金丽, 等. 东喜马拉雅构造结南迦巴瓦岩群中的石榴辉石岩——印度大陆向欧亚板块之下俯冲至 80 ~ 100 km 深度的证据 [J]. 地质通报, 2007, 26 (1): 1 ~ 12.
ZHANG Ze-ming, ZHENG Lai-lin, WANG Jin-li, et al. Garnet pyroxenite in the Namjagbarwa Group-complex in the eastern Himalayan tectonic syntaxis, Tibet, China: Evidence for subduction of the Indian continent beneath the Eurasian plate at 80 ~ 100 km depth [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26 (1): 1 ~ 12.
- [46] 杨经绥, 徐向珍, 李源, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带的普兰地幔橄榄岩中发现金刚石: 蛇绿岩型金刚石分类的提出 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (11): 3171 ~ 3178.
YANG Jing-sui, XU Xiang-zhen, LI Yuan, et al. Diamonds recovered from peridotite of the Purang ophiolite in the Yarlung-Zangbo suture of Tibet: A proposal for a new type of diamond occurrence [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27 (11): 3171 ~ 3178.
- [47] Yan Z Y, Tang K D, Bai J W, et al. High pressure metamorphic rocks and their tectonic environment in northeastern China [J]. *Journal of Southeastern Asian Earth Science*, 1989, 3: 303 ~ 313.
- [48] 高长林, 吉让寿, 秦德余, 等. 论中国北方三类构造环境中的蓝片岩 [J]. 地质论评, 1990, 36 (3): 210 ~ 219.
GAO Chang-lin, JI Rang-shou, QIN De-yu, et al. Blueschists in three tectonic environments in northern China [J]. *Geological review*, 1990, 36 (3): 210 ~ 219.
- [49] 付小方, 应汉龙. 甘孜-理塘断裂带北段新生代构造特征及金矿成矿作用 [J]. 中国地质, 2003, 30 (4): 413

~418.

FU Xiao-fang, YING Han-long. Cenozoic tectonic movement and its relationship with gold mineralization in the northern segment of the Garzê-Litang fault belt [J]. *Geology in China*, 2003, 30 (4): 413 ~418.

[50] 丁林, 钟大赉. 西藏南迦巴瓦峰地区高压麻粒岩相变质作用特征及其构造地质意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 1999, 29 (5): 385 ~397.

DING lin, ZHONG Da-lai. The metamorphism characteristics and its geological significance of high pressure granulite facies in Namjagbarwa, Tibet [J]. *Science in China: Series D*, 1990, 29 (5): 385 ~397.

BLUESCHIST BELT IN CHINA AND ITS TECTONIC SIGNIFICANCE

DAI Yan-Juan^{1,2}, ZENG Pu-sheng^{1,2,3}, MA Jing^{2,3}, GOU Rui-tao^{2,3}, WANG Ju-jie^{2,3}

(1. *Engineering Institute of Land and Resources, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China;*

2. *National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China;*

3. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)*

Abstract: On the basis of previous studies, the blueschist belt in China can be divided into 20 parts according to the metamorphic age and original place. This paper selects some typical blueschist belts of different times to discuss their characteristics (such as distribution area, gross scale, the features and formation age of the original rock and mineral combination), and analyze their geological genesis. The generation patterns of China’s blueschist belts are complicated, they are all associated with the subduction, and mostly belong to the B-type subduction. Part of regions, however, also are superposed by the A-type subduction which are UHP and HP metamorphic belts (such as Arkin, Dabie belt, Namjagbrawa Subei Myitkyina band, etc.). China’s blueschist belts can be divided into four formation ages, which are the Proterozoic (Jinning period), the Paleozoic (Caledonian, Hercynian), the Mesozoic (Indosinian to Yanshanian) and the Cenozoic (Himalayan). And the formation of the blueschist belts in each period are mostly related with the subduction of the ocean basin in the process of China’s terrane accretion, and some also are effected by the superposition of the later intracontinental subduction (high-ultrahigh pressure subduction) at some specific areas.

Key words: blueschist belt; high-pressure subduction; China