

吉林省中部发现榴辉岩相蓝晶石石英岩 ——超高压变质作用的证据

刘劲鸿^{1,*}, 乔国华², 宋颖², 刘莹莹³

(1. 吉林省地质矿产勘查开发局, 长春 130000; 2. 吉林省区域地质矿产调查所, 长春 130000;
3. 吉林省地质科学研究所, 长春 130012)

摘要:工作区位于西伯利亚板块与华北板块汇聚域, 索伦-西拉木伦河-长春-延吉-黑龙江碰撞缝合带的吉林段。2000年以前, 吉中段没有高压-超高压变质作用实证。为此, 选择长春-盘石-蛟河一带为首要地质调查区。经过综合分析前人区域地质、找矿等资料, 借鉴研究苏鲁-大别板块碰撞的经验及成果。蛟河蓝晶石产地被关注。经过野外精细工作、采集代表性新鲜样品、镜下鉴定和电子探针分析等工作, 喜获关键性鉴定和实测成果。综合成果证明, 产蓝晶石的地质体是经历高压的变质杂岩, 蓝晶石石英岩是达榴辉岩相的变质岩。该发现对确立吉黑高压-超高压碰撞俯冲带具有奠基性的极为重要的意义。该发现于2000年曾做简要报道, 现予详细发表。

该榴辉岩相蓝晶石石英岩呈块状、似层状、透镜状和无根勾状体产于吉中地区罗圈沟一大石虎狭长剪切带内。被剪切的岩石为晚古生代早二叠世大河深组和华力西晚期花岗斑岩, 变形变质形成蓝晶石白云母石英片岩和白云母蓝晶石石英岩。峰期矿物组合为蓝晶石、石英、多硅白云母、锆石、金红石和碳硅石, 而无矽线石和斜长石, 基本满足榴辉岩相的约束特征。峰期变质温度达700~750℃, 多硅白云母的 $Si(pfu)=3.440-3.535$, 指示变质压力达 $P=2.75\sim3.30\text{GPa}$, 显示该岩石经历了超高压变质作用过程, 其温压条件已经与柯石英、金刚石形成的温压条件相当。次峰期温度约550℃~600℃, 压力约1.60~1.7GPa。蓝晶石、白云母和石英具有多期性, 表明该岩石在俯冲折返和剥露过程中遭受强烈变形和退变质作用。退变质作用的温压数表明路径先后为角闪岩相、绿片岩相, 其温压分别温度约500℃~450℃, 压力约0.5~0.7GPa; 温度约300℃~350℃, 压力约0.3~0.4GPa。

关键词:吉林蛟河; 新开河构造杂岩; 榴辉岩相; 蓝晶石石英岩; 超高压变质作用; 吉黑碰撞俯冲带

DOI:10.48014/cesr.20230907002

引用格式:刘劲鸿, 乔国华, 宋颖, 等. 吉林省中部发现榴辉岩相蓝晶石石英岩——超高压变质作用的证据[J]. 中国地球科学评论, 2024, 3(1): 1-12.

0 引言

自20世纪80年代开始, 中国地质界就提出西伯利亚板块与华北板块碰撞造山, 称为西拉木伦河-长春-黑龙江板块缝合带。经过半个多世纪的调查

研究, 取得丰富的相关地质资料和发现一些能确认这条巨型板块碰撞缝合带的地质证据^①。又将具显著地质特点差异各段分别称西拉木伦河段(西段)、吉林-延吉段(中段)和黑龙江段(东段), 有研究者分出延吉段或将其划入黑龙江段。如果, 依地质界公认

* 通讯作者 Corresponding author: 刘劲鸿, 1059858695@qq.com

收稿日期: 2023-09-07; 录用日期: 2023-11-17; 发表日期: 2024-03-28

① 刘劲鸿, 2003. 华北板块北缘碰撞带研究现状. 国家自然科学基金项目申请书: 5-14.

的蓝片岩及蓝片岩相的岩石、蛇绿岩套(杂岩)和超高压榴辉岩及榴辉岩相岩石,作为确立板块俯冲带的实证来判断,认为西段、东段和延吉段证据比较充分^①。

工作区吉林段,其研究程度相对较低。关键 1:提出的红旗岭地区蛇绿杂岩、小绥河蛇绿杂岩、芹菜沟-头道沟蛇绿杂岩、机房沟-水曲柳蛇绿杂岩和波泥河蛇绿杂岩,早在 20 世纪 70—80 年代吉林省中部 1:20 万几个区域地质调查中查实这些镁铁质-超美铁质岩的存在^②,但迄今为止没有找到确凿的枕状构造及其他大洋或洋盆产生的淬火组构,含放射虫、海绵骨针或微化石的硅质岩或不纯硅质岩等证据,而产生争议^③;关键 2:因缺少高压蓝片岩相岩石及其低温高压矿物组合,而提出“碰而不撞”“软碰撞”的构造模式。关键 3:缺少榴辉岩相的超高压变质杂岩。因此,笔者选择长春-盘石-蛟河地区作为首要目标工作区调查求证。1999—2003 年间,终于在盘石地区发现高压蓝片岩相岩石,在蛟河地区发现超高压榴辉岩相变质杂岩。两项重要成果对确立吉林段是高压超高压板块碰撞俯冲带提供极为有力的实证。

上述发现 2000 年只做简要报道^[1],现将超高压榴辉岩相变质杂岩详细资料予以发表,高压蓝片岩相岩石的资料另文。

1 产出地质背景简述

本文所研究的地区大地构造处伊舒断裂与敦密断裂间吉林造山带之中部、张广才岭地块之南端。恰是西伯利亚板块(佳木斯-兴凯地块)与华北板块(龙岗地块)碰撞汇聚区,是研究板块碰撞造山构造演化的理想区域。发现地在蛟河市新开河镇的东南部,曾作为蓝晶石矿点进行过地表普查。地理坐标为北纬 $43^{\circ}43' - 43^{\circ}44'$,东经 $127^{\circ}02' - 127^{\circ}04'$ 。区内出露下二叠统大河深组地层和海西晚期花岗斑岩^[2],大河深组主要为流纹质凝灰岩为主,局部为安山质凝灰岩和砂板岩。大河深组呈岩块与南部的海西晚期花岗岩呈断裂构造接触。海西晚期花岗斑岩侵入到大河深组岩块中间部位,并一起遭受到罗圈沟-大石虎狭长的强韧性剪切带的变形变质作用,共同构成构造杂岩体(图 1)。杂岩呈透镜体状,规模不大,宽处约 350m,长约 900m。本文将其称为新开河构造杂岩(后文简称‘杂岩’)。变形变质后有燕山早期闪长岩岩脉顺构造面理侵入。罗圈沟-大石虎狭长的强韧性剪切带的形成时限,应在海西晚期花岗岩侵入后,燕山早期细粒闪长岩侵入之前。

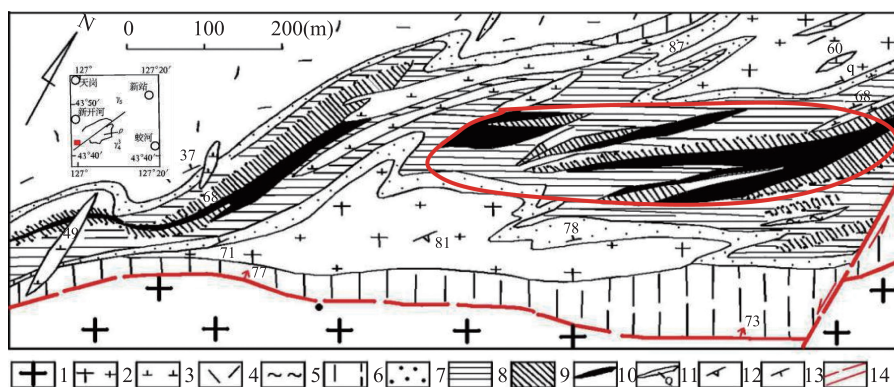


图 1 新开河杂岩地质图(略修改)^[2]

Fig. 1 Geological map of Xinkaihe tectonic mafic rocks(slightly modified)^[2]

1. 华力西晚期花岗岩;2. 糜棱岩化花岗斑岩;3. 细粒闪长岩;4. 糜棱岩化流纹质凝灰岩;5. 黄铁绢云母绿泥片岩;
6. 砂岩、板岩;7. 绢云母石英片岩;8. 白云母石英片岩;9. 蓝晶石白云母石英片岩;10. 蓝晶石石英岩;11. 石英脉;
12. 侵入体接触面及原生流动构造产状;13. 片理产状;14. 实测及推测断层。红方块为工作区位置;红色圈为采样区

① 刘劲鸿等,1994. 吉林首早古生界地质与成矿作用项目设计书。

② 吉林省地矿局区域地质调查所,1972—1897. 桦树林子幅、吉林市幅、长春市幅、盘石市幅、蛟河市幅、舒兰市幅等 1:20 万区域地质调查报告。

2 杂岩的岩石特征

该构造杂岩由糜棱岩、糜棱片岩(白云母石英片岩)、蓝晶石白云母石英片岩和白云母蓝晶石石英岩等组成。构造面理总体呈 NE60°, 产状 318° < 74° (图 1)。

杂岩体具有显著变形变质程度分带: 内带是强应变带, 向外变形变质程度依次变弱。外带是糜棱岩化带或糜棱岩带, 由糜棱岩化流纹质凝灰岩或千糜岩(绢云母石英片岩)组成。中带为变晶糜棱岩(白云母石英片岩)。内带是蓝晶石带, 它产于显褶皱形态的白云母石英片岩内, 呈右斜列式长透镜体或无根钩状体形式存在, 蓝晶石带可分出蓝晶石白云母石英片岩亚带和块状蓝晶石石英岩亚带(图 1)。中带和内带岩石是本次主要研究目标。

2.1 白云母石英片岩

为紧闭褶皱变形的构造透镜体, 宽处约 320m, 尾部 5~35m; 长大于 900m。其东北部见有变余糜棱片岩(绢云绿泥片岩)小透镜体。

该岩石具有鳞片-片状粒状变晶结构, 片状、条带状、皱纹状构造。主要由石英(含量 60%~70%)、白(绢)云母(含量约 30%)和黄铁矿(含量 2%~3%)等矿物组成。石英多发生动态重结晶, 晶界缝合线状、锯齿状, 弱波状消光。白云母与石英各自呈条带(纹)相间平行分布。矿物共生组合: Ms1+Qtz1。局域见变余糜棱岩(绢云母石英片岩)(图 2a)其矿物共生组合: Srt1+Qtz。

2.2 蓝晶石白云母石英片岩

该岩石紧靠并平行块状蓝晶石石英岩的北西侧展布, 长透镜体状, 宽处 20m~40m, 长 250m~480m 不等。由于变质温压递进变高, 在白云母石英片岩中产生蓝晶石, 形成斑状变晶结构(图 2e), 渐多的蓝晶石定向断续分布, 与经静态重结晶的原片岩的石英和白云母条带构成条带状构造、片状构造(图 2f)。蓝晶石呈他形柱粒状或板状变晶, 以含较多石英包体与筛眼结构为特征(图 2e)。少数显波状消光, 似应力双晶(图 2e)。有这种特征的是早期蓝晶石(Ky1), 含量 5%~20%。白云母呈条片

状, 与石英边界较平直(图 2f), 向多硅变种转化, Si(Puf) = 3.239-3.233。白云母含量 20%~25%。石英晶体近自形半自形粒状, 晶边较平直, 含量 50%~60%。局部完成动态向静态重结晶及成分分异的置换。石英和白云母的含量随蓝晶石含量增多有渐次减少的趋势。共生矿物组合: Ms1(Pen1)+Ky1+Qtz(1+2)+Py。

2.3 白云母蓝晶石石英岩——榴辉岩相的超高压变质岩

2.3.1 白云母蓝晶石石英岩的岩石学特征

出露于最内带, 呈块状、似层状、透镜状和无根钩状体, 其规模和产状基本同蓝晶石白云母石英岩。该岩石以块状构造、片麻状构造和多斑状变晶结构、柱粒状变晶结构为特征(图 2b~d)。少量多硅白云母(Ms2 即 Phe2 高硅多硅白云母)在石英条带和蓝晶石内并与其边界平行, 显示基本达平衡共生。石英晶体近自形半自形粒状, 晶边三结点为 120°或近 120°。岩石完成动态向静态重结晶及成分分异的置换。蓝晶石含量显著增多, 这种进变质的蓝晶石(Ky2)晶体生长较好, 呈自形-半自形板状或柱粒状, 石英包体明显减少, 粒径变大, 一般 5.0~10.0mm, 最长可达 20.0mm, 少数具有膝折或阶步(图 2b)。含量 > 30%, 最可达 70%以上, 可称石英蓝晶石岩(图 2d)。石英含量随蓝晶石含量增多渐次减少, 为 20%~65%, 局部有富集。含水矿物多硅白云母含量急剧减少, 含量 5%~10%。白云母的 Si 高, Si(Puf) = 3.535-3.440。除蓝晶石、多硅白云母、石英之外, 还有微量的金红石、锆石、黄铁矿(图 2g)和极罕见的碳硅石(Moissanite)。经仔细鉴定, 没有查到矽线石和长石。共生矿物组合: Ky2+Ms2(Phe2)+Qtz(2)+Rt+Zm+Py+SiC。

2.3.2 白云母蓝晶石石英岩的矿物学特征

对该岩石中具有标型性矿物白云母、蓝晶石、石英及少量的锆石、极罕见的碳硅石做了电子探针成分分析, 其化学成分结果列于表 1。

(1) 白云母的化学成分及变种

高压-超高压变质岩中白云母化学成分变化大, 有些研究者做过报道^[3-5]。根据我们获得的测定结果, 依单位结构式的 Si(Puf) = 3 为划分标准, 可区

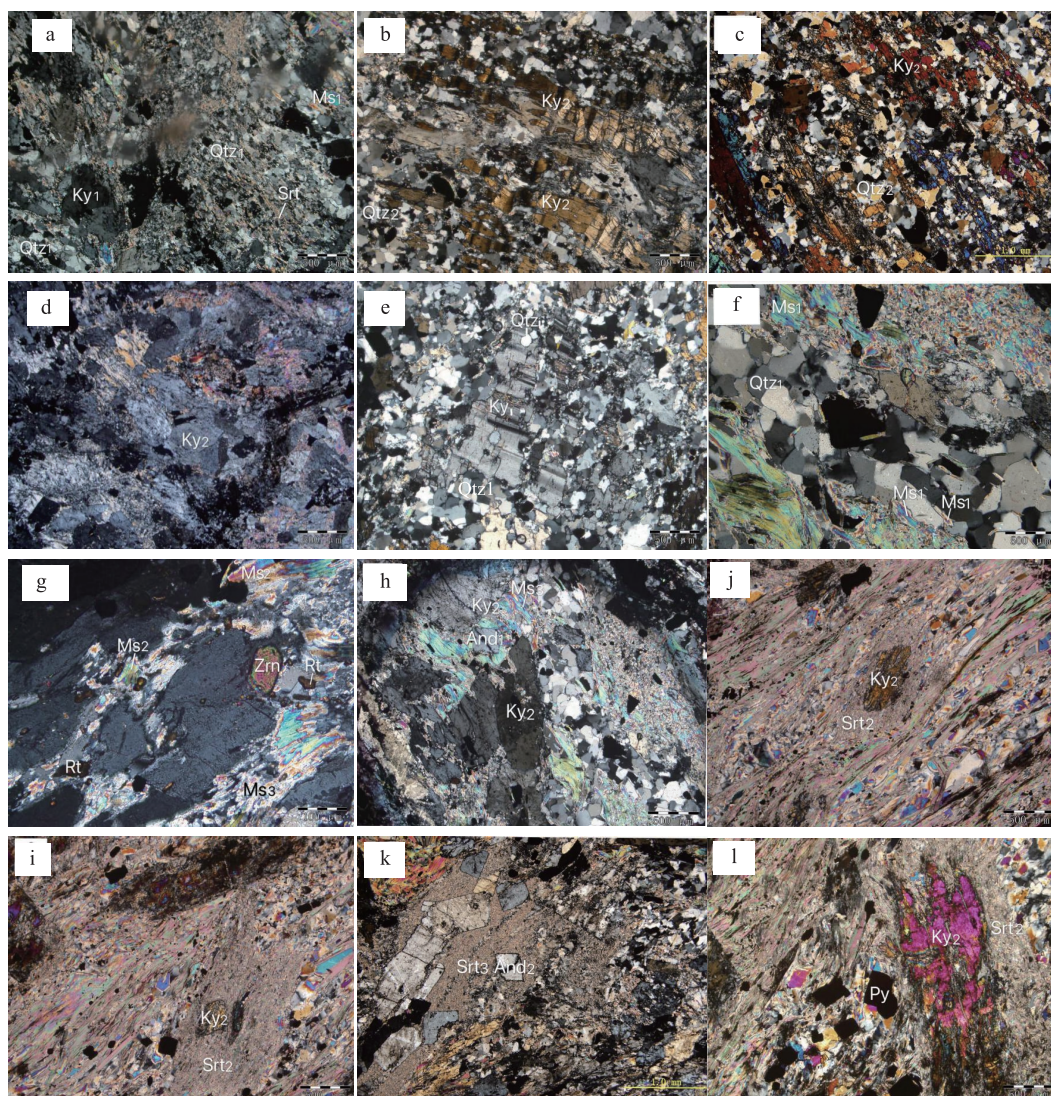


图 2 偏光显微镜下照片

Fig. 2 Photo of polarised light microscope

a. 蓝晶石白云母石英片岩的片状构造,局部残留糜棱构造;b. 和 c. 蓝晶石石英岩的片状-片麻状构造;d. 块状石英蓝晶石岩
e. 蓝晶石白云母石英片岩中蓝晶石变斑晶内石英包体。下面的石英包体有自碎粒边,周围有不同方向裂纹,裂纹靠近石英宽,远离石英渐窄至消失。蓝晶石变斑晶具似应力双晶状波状消光,石英动态重结晶;f. 具条带构造的蓝晶石白云母石英片岩,石英基本为静态重结晶;多硅白云母长边与石英晶边平行(Ms1 即 phe1 多硅白云母),似有压溶现象;g. 白云母蓝晶石石英岩的锆石(Zrn)、金红石(Rt)(有定向分布趋势)、多硅白云母(Ms2 即 Phe2)和 Ky2;h. Ky2 退变为白云母(Ms3),残余 Ky2 与白云母集合体显示 Ky2 的板状晶体假象,在其假象上产生自形红柱石(And1)。j 和 i. 蓝晶石(Ky2)旋转并产生退变,在其周围产生绢云母(Srt2),蓝晶石成残斑状,绢云母(Srt2)集合体明显晚于退变形成的片理;k. 绢云母(Srt3)细脉之后又形成新的自形红柱石(And2);l. 蓝晶石(Ky2)残斑,呈港湾状压溶边,其上部形成绢云母(Srt2)冠状体。

分出 4 个变种:高硅多硅白云母(1,2)、多硅白云母(3,4)、普通白云母(5,6,7,8)和贫硅白(绢)云母(9,10,11)。高硅的 Pen2 产自蓝晶石石英岩, Pen1 产于蓝晶石白云母石英岩,普通白云母(Si 略高于 3)(Ms3)(图 2g, h)和贫硅绢云母(Si 不足 3)(Srt2)(图 2j, i, k, l)是多硅白云母或蓝晶石的退变质的产

物。4 个变种的 Si (Puf) 分别为 3.535-3.440、3.239-3.233、3.028-3.008 和 2.630-2.940。

(2) 碳硅石的初步确定

天然碳硅石是极为罕见的。最初是 Henri Moissn 于 1893 年在陨石中发现的,并以其姓名命名的矿物^[6]。后来在其他岩石中也有发现,因此有

人认为天然碳硅石不具有压力和构造背景的特殊意义。我国最早是 1975 年矿点调查提供线索:大别山宿松群董家山蛇纹岩中发现天然碳硅石^[7,8]。1982 年吉林省地质局第二地质调查所报道在本文所研究的蓝晶石石英岩内发现天然碳硅石^[2],但至今没有查到鉴定和化学成分及形态方面的资料。本次在薄片观察研究中也发现 2 粒极高突起、具三角晶面粒状、浅淡蓝色矿物,疑似碳硅石,用探针(能谱)测得 Si 分别为 31.33 和 31.34,没测出其他杂质,计算其分子式分别为 Si_{1.12}C 和 Si_{1.12}C,基本符合 SiC。值得声明的是此次工作是初步的,尚难确切保证制片过程中有无碳化硅混入(受限环境、精尖鉴定手段方法和专用设备)。所以在确定高压-超高压变质作用峰期温压约束条件时只能视为参考。

表 1 白云母、蓝晶石、锆石、碳硅石及石英包体的电子探针分析结果(WB%)

Table 1 Electronic probe analysis results of Muscovite, Kyanite Quartz, Zircon and Moissanite(WB%)

序号	样号	矿物名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	
1	J04	多硅白云母	54.82	0.00	29.90	0.70	0.00	0.00	0.26	9.82	0.99	—	96.49
2	J06	多硅白云母	53.57	0.67	31.49	0.59	0.00	0.00	0.00	9.55	0.83	—	96.70
3	J-1	多硅白云母	51.67	0.06	36.98	0.55	0.27	0.05	0.04	5.77	1.83	0.64	97.86
4	J-2	多硅白云母	51.39	0.00	36.82	0.25	0.38	0.00	0.06	6.93	1.59	0.16	97.58
5	J04.1	白云母	46.09	0.12	38.86	0.21	0.23	0.00	0.00	9.43	1.06	0.01	96.00
6	J04.2	白云母	46.57	0.10	38.69	0.27	0.22	0.00	0.05	9.31	0.99	0.03	96.24
7	J02.1	白云母	46.19	0.05	38.49	0.25	0.24	0.01	0.05	9.43	0.99	0.01	95.70
8	J02.2	白云母	46.37	0.07	38.60	0.23	0.21	0.00	0.00	9.76	1.17	0.02	96.44
9	2	绢(白)云母	44.89	0.20	38.22	0.43	0.34	0.05	0.37	8.15	0.79	0.00	93.04
10	2	绢(白)云母	43.96	0.00	39.72	0.36	0.32	0.00	0.00	8.10	0.74	0.00	93.20
11	2	绢(白)云母	43.67	0.07	39.40	0.29	0.37	0.05	0.04	8.93	1.03	0.00	93.86
12	2	石英	90.15	0.03	0.49	0.22	0.02	0.04	0.00	0.03	0.04	0.06	91.09
13	5	石英	87.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.09	87.45
14	5	石英	88.84	0.10	0.99	0.21	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	0.00	90.2
15	J04.3	蓝晶石	36.89	0.04	62.99	0.15	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	100.11
16	5	锆石	26.04	0.04	0.00	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.17	0.25	26.61
17	5	锆石	26.92	0.10	0.29	0.21	0.00	0.32	0.00	0.20	0.08	0.50	28.64
18	1	碳硅石	31.33(Si)										
19	3	碳硅石	31.34(Si)										

注:1. 表中 1~19 为序号;

2. 矿物序号及电子探针测定单位:1-4,长春科技大学探针室,王薇,1999. 11;5-8,15,北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室电子探针实验室,舒桂明,2003. 09. 19;9-14,16-19,吉林大学地学院探针室,王薇,2002. 04. 12;

3. 石英为蓝晶石中的包裹体,此石英似有自碎现象,角粒似具可対性。这是其中的 3 个角粒化学成分,其化学成分基本相同。

表 2 矿物晶体化学式

Table 2 Mineral crystal chemical formulas

1	J04	多硅白云母	(K _{0.806} Na _{0.124}) _{0.930} (Al _{1.271} Si _{0.535} Fe _{0.039} Mg _{0.000} Ca _{0.000} Mn _{0.016} Ti _{0.000} Cr _{0.000}) _{2.878} Al[Si ₃ O ₁₀](OH) ₂
2	J06	多硅白云母	(K _{0.780} Na _{0.108}) _{0.888} (Al _{1.386} Si _{0.440} Fe _{0.031} Mg _{0.000} Ca _{0.000} Mn _{0.000} Ti _{0.000} Cr _{0.000}) _{2.857} Al[Si ₃ O ₁₀](OH) ₂
3	J-1	多硅白云母	(K _{0.458} Na _{0.226}) _{0.684} (Al _{1.729} Si _{0.233} Fe _{0.030} Mg _{0.026} Ca _{0.004} Mn _{0.004} Ti _{0.004} Cr _{0.030}) _{2.060} Al[Si ₃ O ₁₀](OH) ₂
4	J-2	多硅白云母	(K _{0.561} Na _{0.197}) _{0.758} (Al _{1.735} Si _{0.239} Fe _{0.011} Mg _{0.034} Ca _{0.000} Mn _{0.004} Ti _{0.000} Cr _{0.008}) _{2.031} Al[Si ₃ O ₁₀](OH) ₂
5	J04.1	白云母	(K _{0.786} Na _{0.133}) _{0.917} (Al _{1.988} Si _{0.008} Fe _{0.012} Mg _{0.02} Ca _{0.000} Mn _{0.000} Ti _{0.008} Cr _{0.00}) _{2.032} Al[Si ₃ O ₁₀](OH) ₂

续表

6	J04.2	白云母	$(K_{0.773}Na_{0.125})_{0.898}(Al_{1.965}Si_{0.027}Fe_{0.016}Mg_{0.020}Ca_{0.000}Mn_{0.004}Ti_{0.004}Cr_{0.000})_{2.063}Al[Si_3O_{10}](OH)_2$
7	J02.1	白云母	$(K_{0.787}Na_{0.128})_{0.953}(Al_{1.976}Si_{0.028}Fe_{0.012}Mg_{0.024}Ca_{0.000}Mn_{0.004}Ti_{0.004}Cr_{0.000})_{2.048}Al[Si_3O_{10}](OH)_2$
8	J02.2	白云母	$(K_{0.812}Na_{0.148})_{0.960}(Al_{1.969}Si_{0.027}Fe_{0.012}Mg_{0.019}Ca_{0.000}Mn_{0.000}Ti_{0.004}Cr_{0.000})_{2.031}Al[Si_3O_{10}](OH)_2$
9	2	贫硅白云母	$(K_{0.613}Na_{0.092})_{0.705}(Al_{1.271}Fe_{0.021}Mg_{0.028}Mn_{0.018}Ca_{0.004}Ti_{0.011}Cr_{0.000})_{2.723}Al[Al_{0.370}Si_{2.630}O_{10}](OH)_2$
10	2	贫硅白云母	$(K_{0.691}Na_{0.096})_{0.787}(Al_{2.073}Fe_{0.020}Mg_{0.032}Mn_{0.000}Ca_{0.000}Ti_{0.000}Cr_{0.000})_{2.125}Al[Al_{0.060}Si_{2.940}O_{10}](OH)_2$
11	2	贫硅白云母	$(K_{0.763}Na_{0.137})_{0.900}(Al_{1.816}Fe_{0.016}Mg_{0.036}Mn_{0.004}Ca_{0.004}Ti_{0.004}Cr_{0.000})_{1.880}Al[Al_{0.084}Si_{2.916}O_{10}](OH)_2$
12	2	石英	$(Si_{0.993}Al_{0.070}Fe_{0.002}Mg_{0.001}Mn_{0.000}K_{0.000}Na_{0.001}Cr_{0.000})_{1.018}O_2$
13	5	石英	$(Si_{0.999}Al_{0.070}Fe_{0.000}Mg_{0.000}Mn_{0.000}K_{0.000}Na_{0.003}Cr_{0.000})_{1.002}O_2$
14	5	石英	$(Si_{0.987}Al_{0.013}Fe_{0.002}Mg_{0.000}Mn_{0.000}K_{0.000}Na_{0.003}Cr_{0.000})_{1.005}O_2$
15	J04.3	蓝晶石	$(K_{0.000}Na_{0.000})_{0.000}(Al_{1.998}Mg_{0.000}Fe_{0.003}Mn_{0.000}Ca_{0.002}Ti_{0.002}Cr_{0.000})_{2.005}O[Al_{0.005}Si_{0.995}O_4]$
16	5	锆石	$Zr[(Si_{0.984}Al_{0.000}Fe_{0.005}Mg_{0.002}Mn_{0.000}Ca_{0.000}K_{0.000}Na_{0.004}Ti_{0.002}Cr_{0.009})_{1.017}O_4]$
17	5	锆石	$Zr[(Si_{0.907}Al_{0.002}Fe_{0.060}Mg_{0.000}Mn_{0.000}Ca_{0.012}K_{0.008}Na_{0.004}Ti_{0.002}Cr_{0.012})_{1.017}O_4]$
18	1	碳硅石	$Si_{1.12}C$
19	3	碳硅石	$Si_{1.12}C$

注:1. 1~19 为序号,同表 1;

2. 白云母晶体化学式以 11 个氧离子为基计算。

20 世纪 90 年代至 21 世纪初在苏鲁-大别超高压变质带和中国大陆科学钻探(CCCD)岩芯等高压-超高压变质带内榴辉岩或榴辉岩相岩石内先后发现天然碳硅石(徐树桐等)^[7]和(齐学祥、杨经绥、许志琴等)^[8],肯定碳硅石的地质构造意义。认为 CCSD-PP2 岩芯内退变榴辉岩是扬子板块俯冲至 200km 以下的上地幔下部,经超高压变质作用,形成碳硅石等矿物后,快速折返的产物。

(3) 蓝晶石

鉴别出 2 期蓝晶石,它们的主要特征在 2.2 和 2.3 中已做了描述,其化学成分基本是蓝晶石的理论成分见表 1(J04.3)。显微镜下显示蓝晶石发生强烈的退变质作用,呈残斑状或假象状态(图 2h.) (图 2j. i. k. l),少量保存原状。

(4) 石英是蓝晶石白云母石英岩和蓝晶石石英岩的主要的造岩矿物。蓝晶石内石英包体有自形和碎裂状 2 种。自形石英包体有碎粒薄边,碎粒薄边外围有不同方向微裂隙(图 2a),似沿蓝晶石不完善的解理或裂理发育的裂隙,裂隙靠近蓝晶石宽些,远渐窄。对碎裂状石英碎粒做了电子探针化学成分测定(表 1),成分基本相同,但也表明杂质和未测出的未知成分较多。

(5) 锆石和金红石

锆石和金红石呈自形或半自形粒状,分布在岩石中或呈蓝晶石包体(图 2g),含量均不足 1.0%,显定向分布趋势。见有金红石低温退变钛矿物边。通常由金红石退变形成钛矿物是 TiO_2 的低温低压变体,当金红石在温度低于 800~900℃时会发生矿物相变^[4],这可限定峰期温度 800~900℃,而初始折返时温度已不高于 800℃。余金杰等^[9]指出金红石同质多象变体(含钛相)对超高压俯冲深度及形成岩石的温压条件具有限定作用。一般来说,榴石代表低压低温含钛相,钛铁矿代表高温高压含钛相,金红石代表高温高压含钛相。宋衍茹、金振民^[10]著文评述了纳米超高压相金红石的地球动力学意义,认为可以作为大陆深俯冲示踪的矿物学标志。

锆石的电子探针分析化学成分(表 1)和晶体化学式列于表 2 中,其晶体化学式与锆石符合。P. Krestem 等^[11]认为产于超高压岩石中的锆石可能成为寻找金伯利岩的标志矿物。

2.3.3 白云母蓝晶石石英岩——达榴辉岩相的超高压变质岩的证据

(1) 榴辉岩相岩石及研究进展

为恰当认识蓝晶石石英岩是达榴辉岩相的超

高压变质岩,简略评述近 30 年榴辉岩的研究进展。20 世纪 90 年代至 21 世纪初是我国探索研究确证俯冲碰撞作用存在的高压-超高压变质矿物及其矿物组合的高热时期,尤其是对苏鲁-大别超高压变质带、柴北、中祁连、藏东和中国大陆科学钻探(CCCD)岩芯等高压-超高压变质带内榴辉岩的研究,取得一些关键性实证、创新板块构造理论和探索板块动力学机制等领先世界的重大成果^[12-14]。

1) 诸多研究者和文献^[12,15,16]都认为,榴辉岩由区域变质作用形成的变质岩类,在地壳浅表层是很少见的。榴辉岩的矿物组成,主要是绿辉石和富镁石榴子石,可含石英(柯石英)、蓝晶石、多硅白云母、尖晶石、金红石、蓝闪石、硬柱石、橄榄石、顽火辉石和少量刚玉、金刚石等矿物。但不含斜长石和矽线石。

2) 进一步证实和丰富榴辉岩产出特点:出露地表的稀少,但产状却十分复杂。概括起来有:蓝片岩相变质岩层中沿剪切带作为孤立的构造岩块或互层产出;白云母石英片岩、片麻岩或麻粒岩岩层中呈似层状、透镜状、块状产出;金伯利岩或橄榄岩中作为包体产出。

3) 发现和丰富榴辉岩类型,如新发现某些少见的非基性-超基性岩类榴辉岩类型、榴辉岩相高压-超高压变质泥质岩类、中酸性岩浆岩类变成的榴辉岩类,因此出现榴辉岩新分类:

凌贤长、卢良兆的分类^[21]:含柯石英及其假象的榴辉岩;含蓝晶石、黝帘石及多硅白云母组合榴辉岩;石榴子石、绿辉石、石英组合榴辉岩和(角闪石)石榴子石、辉石及有关岩石(非典型榴辉岩)4 种类型。

张泽明、许志琴等的分类^[22]:以主要的原生次要矿物为主,将超高压榴辉岩分为:富含金红石榴辉岩(高钛型)、多硅白云母榴辉岩(高铝型)、石英榴辉岩(高硅型)、蓝晶石多硅白云母榴辉岩(高铝型)、含少量原生次要矿物的普通榴辉岩(与石榴橄榄岩伴生)5 种类型。

江来利和徐树桐等发现典型由花岗质岩变成的榴辉岩相白片岩^[17]。

张树业和刘雅琴等在超高压变质岩石中发现含蓝晶石、刚玉、水黄玉的类白片岩^[18-20]。

4) 榴辉岩鉴别特征:有典型超高压矿物:柯石

英或金刚石或高硅多硅白云母及极少见的在极端温度、压力和极端还原环境条件下形成的天然碳硅石;矿物共生组合中, $\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$ 只有蓝晶石而无矽线石,也不出现任何成分的长石;峰期温度范围较宽、压力 $P > 2.5 \text{ GPa}$,地热梯度 $< 10^\circ\text{C}/\text{km}$ ^[22-25]。

5) 总结超高压变质岩俯冲-折返过程、阶段及退变作用的 PTt 样式等^[26,27]。

(2) 白云母蓝晶石石英岩达榴辉岩相的证据及定名

1) 证据 1: 2.3.1 所获地质记录: 岩石矿物共生组合为: $\text{Ky}2 + \text{Ms}2(\text{Phe}2) + \text{Qt}2\text{Z} + \text{Rt} + \text{Zt} + \text{Py} + \text{SiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$ 只有蓝晶石而无矽线石, 也没出现任何成分的长石;

2) 证据 2: 综合 2.3.1 和 2.3.2 中对高压-超高压变质岩常见的标志矿物(组合)或试验稳定或通常认为的稳定温压(范围)限定条件, 确定峰期温度 $700 \sim 750^\circ\text{C}$; 2.2 中揭示的蓝晶石白云母石英片岩的岩石学特征和标志矿物与共生组合, 确定温度 $550 \sim 600^\circ\text{C}$, 认为是进变次峰期的温度;

3) 证据 3: 用确定的峰期温度 ($700 \sim 750^\circ\text{C}$) 与高硅多硅白云母的 $\text{Si}(\text{pfu})3.535\text{--}3.440$ 特征值, 采用魏春景和宋文萍(2007)^[28](图 3), 求得峰期压力 $P = 2.7 \sim 3.3 \text{ GPa}$, 已达柯石英或金刚石形成的温压条件。俯冲深度 $89 \text{ km} \sim 110 \text{ km}$; 地温梯度 $6.82^\circ\text{C}/\text{km} \sim$

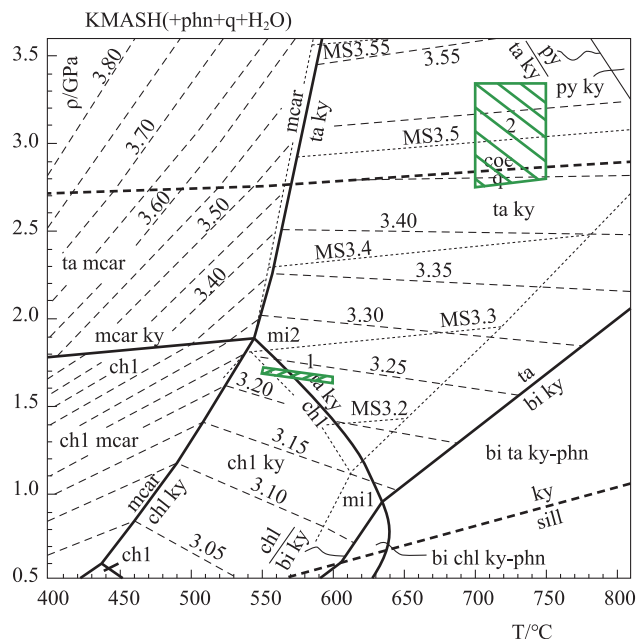


图 3 HAKMAS 体系模拟试验图^[28]

Fig. 3. Simulation test diagram of HAKMAS system^[28]

8. $43^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。上述地质记录证实蓝晶石石英岩已达榴辉岩相,定名高硅多硅白云母榴辉岩或高硅多硅白云母蓝晶石榴辉岩(富铝富硅型)。

4)用确定的次峰期温度($550\sim 600^{\circ}\text{C}$)与多硅白云母的 $\text{Si}(\text{pfu})3.239\sim 3.233$ 特征值,采用魏春景和宋文萍^[28],求得次峰期压力 $P=1.6\sim 1.7\text{GPa}$ 。俯冲深度 $53\text{km}\sim 56\text{km}$;地温梯度 $9.82^{\circ}\text{C}/\text{km}\sim 11.32^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。上述地质记录证实蓝晶石白云母石英(片)岩是高压相变质岩。

5)变质岩相的确定:采用 P-T-深度图解(图 4)确定俯冲带变质作用类型,确定峰期和次峰期的变质作用相系。次峰期为高压变质相,峰期为超高压榴辉岩相。

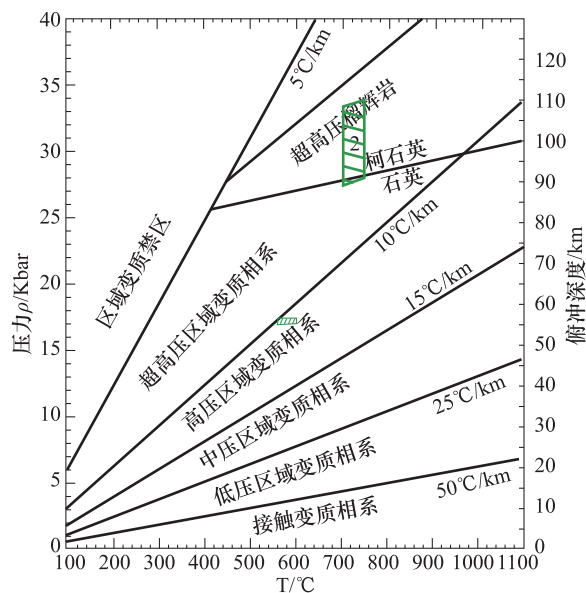


图 4 变质相系划分图(引自文献^[31],简化)

Fig. 4 Diagram of metamorphic phase system division(cited from literature [31],simplified)

3 高硅多硅白云母榴辉岩退变质作用

近 20 年先后在苏鲁、滇西和华北蒙古等多地发现退变榴辉岩^[8,29,30],并对高硅铝榴辉岩高压-超高压变质岩中蓝晶石、多硅白云母等矿物的退变现象和矿物相转变做了较深入的研究^[31-37]。

该榴辉岩俯冲达峰期后进入折返期,由于温压物理环境改变产生显著退变质作用。新开河构造杂岩产出的退变高硅铝榴辉岩的退变作用复杂,有其特殊性,如蓝晶石退变的独有特征尚未见报道。

主要退变地质现象:

(1)初始折返时,部分蓝晶石退变为叶片状白云母和残余蓝晶石,并呈集合体置换板状蓝晶石(图 2h),少数还保留完好假象。退变矿物组合为 $\text{Ky}2(\text{过稳定})+\text{MS}3(\text{叶片状})$,推测退变温度为 $500\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。

(2)折返中期,多数蓝晶石已完全发生退变,形成大量片状白云母($\text{MS}3$),呈叶片状白云母条带。其中还有少量呈残斑状,或产生压力影并伴随旋转。这样的蓝晶石退变,出现冠状体。冠状体由显微鳞片状绢云母($\text{Srt}2$)组成。冠状体切割叶片状白云母条带且显示蓝晶石被压溶产生的港湾状边形态(图 2j, i. l)。退变新生矿物为贫硅绢云母,推测温度约 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。

(3)在(1)(2)退变形成白云母集合体之上形成红柱石($\text{And}1$)(图 2h),或脉状绢云母($\text{Srt}3$)之上又叠加生成自形完好零星分布的红柱石($\text{And}2$)(图 2k)。

(4)多硅白云母退变为普通白云母,少数呈残斑状或出现退变的白云母边(图 2g, h);

(5)经历(1)(2)(3)(4)退变质作用,少量蓝晶石因被低温低压的绢云母包裹,得以保存残斑,而白(绢)云母的含量却显著增加。石英和绢(白)云母又经历形成红柱石($\text{And}1$)和形成红柱石($\text{And}2$)的温压环境($300\sim 400^{\circ}\text{C}$)后,结束退变剪切变质变形作用。

4 讨论与结论

在野外详细地质调查基础上,采集的东边的中带和内带新鲜有代表性的几十块岩石样品,用于显微镜鉴定和变质变形研究、挑选做电子探针的样品。根据上述岩石学、矿物学和岩组学的结果,得出如下结论:

4.1 首次在吉黑板块缝合带的吉林段发现退变超高压榴辉岩

这一发现不仅填补吉中段超高压变质作用的空白,而且将黑龙江省内俯冲碰撞带与内蒙古境内俯冲碰撞带连接起来成为一条,并经历高压-超高压变质作用的巨型碰撞俯冲带。确认这条巨型碰撞俯冲带经历高压-超高压变质作用,提供岩石学和矿

物学关键证据。

4.2 该多硅白云母蓝晶石榴辉岩属C类榴辉岩,是退变高超高压富铝富硅型榴辉岩

用峰期矿物组合,即 $Ky_2 + Ms_2(Phe_2) + Qtz_2 + Rt + Zt + SiC$ 和高硅多硅白云母 $Si(puf) = 3.535 - 3.440$ 为约束条件。确定峰期温度约 $700 \sim 750^\circ\text{C}$, 采用魏春景等的图解(图2),得到峰期压力 $2.7 \sim 3.3\text{GPa}$ 。已达柯石英或金刚石形成的温压条件,俯冲深度 $89\text{km} \sim 110\text{km}$; 地温梯度 $6.82^\circ\text{C}/\text{km} \sim 8.42^\circ\text{C}/\text{km}$ (图4),为超高压榴辉岩相。

4.3 次峰期温压条件

蓝晶石白云母石英片岩中多硅白云母的 $Si = 3.239 - 3.223$ 、温度约 $550 \sim 600^\circ\text{C}$, 压力约 $1.6 \sim 1.7\text{GPa}$ (图3),地热梯度 $9.82^\circ\text{C}/\text{km} \sim 11.32^\circ\text{C}/\text{km}$ (图4),为高压变质岩相。

4.4 退变质温压条件

退变新生白云母 $Si = 3.028 - 3.008$, 温度 $450 \sim 500^\circ\text{C}$, 压力 $0.5 \sim 0.7\text{GPa}$ 。地热梯度 $19.5^\circ\text{C}/\text{km} \sim 30.2^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

退变新生绢云母 $Si = 2.940 - 2.630$, 温度 $350 \sim 300^\circ\text{C}$, 压力 $0.3 \sim 0.4\text{GPa}$ 。地热梯度 $18.2^\circ\text{C}/\text{km} \sim 35.0^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

4.5 俯冲-折返过程

新开河杂岩是经历高压-超高压剪切变质变形作用的变质杂岩。俯冲深度 $89\text{km} \sim 110\text{km}$, 达上地幔深度开始折返的。该杂岩经历俯冲峰期前和折返期两个明显不同又有内在联系的地质过程。与已知的超高压榴辉岩折返过程相似,但又有其明显的独特性。

杂岩经历俯冲峰期前绿片岩相(糜棱岩和绢云绿泥片岩)、低角闪岩相(白云母石英片岩)、角闪岩相、片麻岩相(蓝晶石白云母石英岩)和榴辉岩相(白云母蓝晶石石英岩)剪切进变质作用。

折返期经历有丰富流体参与的剪切退变质作用。退变新生的矿物构造置换和矿物相变记录表明:折返快速,温压降的快,最终以新生红柱石(And_2)及贫硅的绢云母(Srt_3)结束折返过程。其

俯冲-折返过程与苏鲁-大别等地区榴辉岩路径基本相同,P-T-t 轨迹顺时针,形似发卡状。

致谢:在制岩石薄片、显微照相、查找资料等方面得到局区调所周晓东总工程师、省地调院松权衡教授级高级工程师及吉林大学地学院磨片室师傅的热情支持和帮助,在此一并致以衷心的感谢。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 刘劲鸿. 中国华北地块北缘东段两类高压变质岩的发现及其地质意义[J]. 吉林地质, 2000, 19(1): 86.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-2427.2000.01.016>
- [2] 俞龙起, 陈铁城. 柳树沟动力变质成因蓝晶石矿的成矿作用[J]. 吉林地质, 1982, 1(2): 16-23.
DOI: CNKI: SuN: JLDZ. 0. 1982-02-002
- [3] 北京大学地质系岩矿教研室. 光性矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1979: 237-243.
- [4] 王濮, 潘兆橹, 翁玲宝, 等. 系统矿物学(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 1979: 431-438.
- [5] 靳是芹, 李鸿超. 成因矿物学概论(下册)[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1986: 242-262.
- [6] 莫跃支. 关于碳硅石的资料[J]. 矿物岩石, 1985(4): 118-123.
- [7] 徐树桐, 吴维平, 肖万生. 大别南部天然碳硅石[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(4): 314-322.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6524.2006.04.007>
- [8] 齐学祥, 杨经绥, 许志琴, 等. 中国大陆科学钻探预先导孔(CCS-D-PP2)退变榴辉岩中碳硅石的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 2007.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0569.2007.12.012>
- [9] 余金杰 王登红 王平安, 等. 俯冲-碰撞和高压-超高压变质岩中金红石研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 21(1): 47-52.
<https://doi.org/10.11867/j.issn.1001-8166.2006.01.0047>
- [10] 宋衍茹 金振民. 纳米级超高压相金红石——大陆深俯冲深度的示踪[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 267-272.
- [11] P. Krestem et. al. 金伯利岩内锆石——一个勘探金伯利岩的可能助手[J]. 黄瑞华译. 国外地质, 1976(7).
- [12] 贺同兴, 卢良兆, 李树勋, 等. 变质岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [13] 刘晓春. 大别山榴辉岩-片麻岩杂岩: 一个大陆碰撞带

- 模型的岩石学证据[D]. 长春: 长春地质学院, 1992.
- [14] 郑永飞, 王勇生, 张兆忠, 等. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别-苏鲁造山带为例[J]. 科学通报, 2008, 53: 2129-2152.
DOI: SuN: KXTB. 0. 2008-18-002
- [15] 李爱菊. 中国大陆深钻(CCCD)榴辉岩岩石化学特征及成因探讨[D]. 硕士论文, 2019.
- [16] 刘福来, 许志琴, 杨经绥, 等. 中国苏北预先导孔 CCCO-PP2 片麻岩中锆石的矿物包裹体及其超高压变质的证据[J]. 科学通报, 2001, 46: 241-246.
DOI: 10. 1360/csb. 2001. 46-14-3-241
- [17] 江来利, 徐树桐, 等. 大别北东段超高压变质岩带蓝晶石石英岩中的白片岩组合[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1540-1543.
<https://doi.org/10.1038/sj.cr.7290029>
- [18] 刘雅琴, 胡克. 中国中部高铝质超高压变质岩[J]. 岩石学报 1999, 15: 54.
- [19] 刘晓春, 康维国, 张树业. 白片岩简介[J]. 长春地质学院学报: 鄂皖蓝片岩地质专辑, 1989: 158-160.
- [20] 刘雅琴, 张树业, 乔兰勇. 中陆壳高压变质带类白片岩的岩石矿物特征[J]. 地质论评, 1991, 37(4): 348-354.
- [21] 凌贤长, 卢良兆. 鲁东造山带中榴辉岩变质作用特征及其动力学机制[J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 19(2): 140-151.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6524.2000.02.006>
- [22] 张泽明, 许志琴, 徐惠芬. 苏鲁超高压变质带东海 zk730 孔榴辉岩的变质作用[J]. 地质学报, 1999(04): 321-333.
<https://doi.org/10.1088/0256-307X/15/11/025>
- [23] 索书田, 钟增球, 游振东, 等. 大别-苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义[J]. 地球科学, 2000, 25(6): 557-563.
<https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-2383.2000.06.002>
- [24] 杨经绥, 宋述光, 许志琴, 等. 柴达木-豫东早古生代高压-超高压变质带中发现典型的超高压矿物——柯石英[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 175-179.
- [25] 李学燮, 康维国, 徐培苍. 河南大别山区榴辉岩及蓝晶石石英岩中柯石英的发现[J]. 长春地质学院学报, 1993(3): 256-261.
- [26] 张泽明. 俯冲带变质作用与构造机制[J]. 岩石学报, 2021, 37(11): 3377-3389.
<https://doi.org/10.18654/1000-0569/2021.11.08>
- [27] 刘福来, 张泽明, 许志琴, 等. 东洱超高压变质区片麻岩中多硅白云母的微区化学成分分析及其保存的 Pt 信息[C]. 北京: 国际地质大会, 2000.
- [28] 魏春景, 宋文萍. 多硅白云母地质压力计的新进展[J]. 地质通报, 2007, 26(2): 1123-1131.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-2552.2007.09.014>
- [29] 王启宇, 牟传龙, 王保弟, 等. 滇西鲁甸金沙江结合带新发现退变榴辉岩[J]. 地球科学, 2020, 45(8): 2978-2988.
- [30] 倪志耀, 翟明国, 王仁石, 等. 华北古陆块北缘中段发现晚古生代退变榴辉岩[J]. 科学通报, 2004, 49(6): 585-591.
- [31] 梁文华, 许志琴, 陈方远. 苏鲁榴辉岩在俯冲期-折返早期的递进型塑性变形过程及对超高压变质岩折返动力学的启示[J]. 岩石学报, 2009, 25(7): 1587-1602.
DOI: CNKI: SuN: YSXB. 0. 2009-07-004
- [32] 许志琴, 张泽明, 刘福来. 苏鲁高压-超高压变质岩的折返构造及折返机制[J]. 地质学报, 2003.
DOI: 10. 3321/j. issn. 0001-5717
- [33] 王勇生, 朱光. 多硅白云母压力计在退变质作用的稳定性探讨[J]. 矿物学报, 2004, 24(4): 20-27.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-6872.2004.04.004>
- [34] 赵成浩, 顾连兴, 杜建国. 大别山榴辉岩退变质多硅白云母及地压计可用性探讨[J]. 矿物岩石杂志, 2003, 2(22): 157-161.
- [35] 赵忠岩, 方爱民. 超高压变质岩的塑性流变-显微构造和变形机制[J]. 岩石学报, 2005, 021(04): 1109-1116.
- [36] 陈伊翔. 大陆俯冲板片-地幔楔界面反向流体交代作用: 西阿尔卑斯造山带超高压白片岩的地球化学特征[J]. 地球科学, 2019, 44(12): 4057-4063.
- [37] 刘强, 金振民, 王超. 超高压榴辉岩中多硅白云母脱水熔融实验研究[C]. 武汉: 全国岩石地球动力学替化学地球动力学研讨会, 2007.

Discovery of Eclogite Facies Kyanite Quartzite in Central Jilin Province: Evidence of Ultra-high-pressure Metamorphism

LIU Jinhong^{1,*}, QIAO Guohua², SONG Ying², LIU YingYing³

(1. Jilin Provincial Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development, Changchun 130000, China;

2. Regional Geology and Mineral Resources Survey of Jilin Province, Changchun 130000, China;

3. Jilin Provincial Institute of Geological Sciences, Changchun 130000, China)

Abstract: The work area is located in the convergence domain of the Siberian plate and North China plate. The Jilin Province of the Soren-Xilamnlun river-Changchun-Heilog jiang plate collision zone. Before 2000, there was no empirical evidence of high-ultrahigh pressure transformation in the middle Jilin section. For this reason, the Changchun-Panshi-Jiaohe area was selected as the primary geological survey area. After comprehensively analysing the previous regional geological and mineral exploration data, we drew on the experience and achievements of studying the collision between the Suiu-dabie plate. Jiaohe blueschist origin was concerned. After fine field investigation, collecting fresh and representative samples, conducting microscopic identification, electron probe analysis and other work, the key identification and measurement results were obtained. Comprehensive results proved that the geological body producing kyanite undergoes high-pressure kyanite-quartzite was a metamorphic rock of gernet pgroxenite facies. This discovery is of fundamental importance for the establishment of the Jihei high pressure human ultra-high-pressure collision subduction zone. The discovery was briefly reported in 2000 and is now being published in detail.

The garnet-phase blueschist quartzite is massive, laminated, lenticular, and rootless hook like bodies occur in within the luoguangou Dashihu narrow ductile shear zone. The rock being sheared is late paleozoic Early perntian Daheshan formation and late variscan Granite Porphyry, which were deformed and metamorphosed to form blueschist dolomite quartz schist and dolomitic blueschist quartzite. The Peak mineral combination is $Ky_2 + Qz_2 + Ms_2(Phn_2) + Zt + Rt + Miss$, without Sili and Pl, which basically meets the constraining characteristics of eclogite facies. The peak metamorphic temperature reaches $700-750^{\circ}C$, indicating the $Si(pfu) = 3.440-3.535$ of phengite, and indicated metamorphic pressure reaches $p = 2.75-3.30 GPa$, which shows that the rock has undergone ultra-high pressure metamorphic process, and its temperature and pressure conditions have been comparable to those formed by coesite. The temperature of secondary peak period of is about $550^{\circ}C - 600^{\circ}C$ and the pressure is about $1.6 - 1.7 GPa$. The multi-phase nature of the blueschist, muscovite and quartz indicates that the rock is subjected to proses of subduction exhumation, and exhumation suffering from strong progressional and retrograde metamorphism. The temperature and pressure numbers of the metamorphism indicate that the paths are successively hornblende and green schist phases, with temperatures of about $500^{\circ}C - 450^{\circ}C$ and pressures of about $0.5 - 0.7 GPa$, and temperatures of about $300^{\circ}C - 350^{\circ}C$ and pressures of about $0.3 - 0.4 GPa$, respectively.

Keywords: Jilin Jiaohe; Xinkaihe tectonic mafic rocks; dolerite phase; blueschist quartzite; ultrahigh pressure metamorphism; Jihei collision subduction zone

DOI: 10. 48014/cesr. 20230907002

Citation: LIU Jinhong, QIAO Guohua, SONG Ying, et al. Discovery of eclogite facies Kyanite Quartzite in central Jilin Province; Evidence of Ultra-high-pressure metamorphism [J]. Chinese Earth Sciences Review, 2024, 3(1): 1-12.

Copyright © 2024 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

