

藏北羌塘中北部红脊山地区蓝闪石+硬柱石 变质矿物组合的特征及其意义

陆济璞, 张 能, 黄位鸿, 唐专红, 李玉坤,
许 华, 周秋娥, 陆 刚, 李 乾

LU Ji-pu, ZHANG Neng, HUANG Wei-hong, TANG Zhuan-hong,
LI Yu-kun, XU Hua, ZHOU Qiu-e, LU Gang, LI Qian

广西区域地质调查研究院, 广西 桂林 541003

Guangxi Institute of Regional Geological Survey, Guilin 541003, Guangxi, China

摘要: 蓝闪石+硬柱石是羌塘中北部红脊山地区首次发现的呈北西—南东走向展布的硬柱蓝闪片岩带中典型的低温高压变质矿物组合。蓝闪石呈浅蓝灰色, 纤柱状, 硬柱石无色, 多呈团块状, 较均匀地与蓝闪石混杂分布。电子探针分析表明, 蓝闪石主要为铁蓝闪石和青铝闪石, 硬柱石为较典型的硬柱石。硬柱蓝闪片岩呈(透镜状)构造岩块分布, 与围岩呈断层接触, 原岩主要为变质玄武岩及少量辉(长)绿岩、基性火山碎屑岩, 围岩为变质砂岩、板岩和少量碳酸盐岩。红脊山硬柱蓝闪片岩带伴有构造混杂岩发育, 二者共存构成红脊山地区北羌塘甜水河陆块与南羌塘查多岗日陆块之间的分界线。

关键词: 蓝闪石+硬柱石; 组合; 低温高压变质; 西藏; 羌塘中北部; 红脊山

中图分类号: P578.955; P578.969

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2006)01-02-0070-06

Lu J P, Zhang N, Huang W H, Tang Z H, Li Y K, Xu H, Zhou Q E, Lu G, Li Q. Characteristics and significance of the metamorphic minerals glaucophane-lawsonite assemblage in the Hongjishan area, north-central Qiangtang, northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2): 70-75

Abstract: Glaucophane-lawsonite is a typical low-temperature/high-pressure mineral assemblage in a NW-SE-trending lawsonite-glaucophane schist zone first found in the Hongjishan area in north-central Qiangtang. Glaucophane is light bluish gray in color and fibro-prismatic in shape; lawsonite is colorless and mostly occurs as patches mixed evenly with glaucophane. Microprobe analysis suggests that glaucophane is mainly ferroglauco-phane and crossite, while lawsonite is relatively typical one. Lawsonite-glaucophane schist occurs as (lenticular) tectonic blocks and shows a faulted contact with country rocks. The protoliths consist predominantly of metabasalt with small amounts of (gabbro) diabase and basic pyroclastic rocks. The country rocks consist of metasediment and slate with minor carbonate rocks. The Hongjishan lawsonite-glaucophane schist zone is accompanied by tectonic mélanges, both of which constitute the boundary between the Tianshuihe block in northern Qiangtang and the Chagdo Kangri block in southern Qiangtang in the Hongjishan area.

Key words: glaucophane-lawsonite; assemblage; low-temperature/high-pressure metamorphism; Tibet; north-central Qiangtang; Hongjishan

西藏北部羌塘地区发现低温高压变质带——蓝片岩带
早有报道。1:100万区域地质调查在冈玛错、果干加年山、角木

日、双湖等地发现蓝闪片岩等高压变质岩^①。《西藏自治区区域地质志》^[1]进行了初步总结归纳。李才等^[2,3]对蓝片岩带进行

收稿日期: 2005-07-27; 修订日期: 2005-11-02

地质项目: 中国地质调查局项目《1:25万查多岗日幅、布若错幅区域地质调查》(200313000012)成果之一。

作者简介: 陆济璞(1971-)男, 工程师, 从事区域地质调查研究工作。E-mail: lujipu@tom.com

① 西藏自治区地质矿产局. 1:100万改则幅区域地质调查报告. 1986.

了较深入的研究,并获得青铝闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄 $222.5\text{ Ma}\pm 3.7\text{ Ma}$,认为是晚三叠世俯冲板块的变质产物,是龙木错—双湖缝合带^[2-7]的重要组成部分。然而,冈玛错—双湖蓝片岩带中至今未发现硬柱石、硬玉等典型低温高压变质矿物,致使不同学者对蓝片岩的成因持有不同的认识^[11,68]。

红脊山位于西藏羌塘地区北部,地理坐标:东经 $84^{\circ}29'$ 、北纬 $34^{\circ}20'$ 。自然环境恶劣,人迹罕至,是名副其实的“无人区”,以往的地质调查研究程度很低。在1:25万查多岗日幅、布若错幅区域地质调查中,于龙木错—双湖(—澜沧江)缝合带^[1,8,9]之北约60 km红脊山一带首次发现硬柱蓝闪片岩带(图1),并发现典型的低温高压变质矿物组合:蓝闪石+硬柱石组合,这对北羌塘地区地质构造研究具有重要意义。

1 硬柱蓝闪片岩剖面描述

红脊山硬柱蓝闪片岩出露良好,测有3条剖面控制。剖面上岩石遭受变形改造强烈,构造混杂作用明显。择其一自南至北简述,各分层厚度不能代表原始沉积厚度,仅供参考。

西藏尼玛县红脊山硬柱蓝闪片岩实测剖面(图2)

59.灰色劈理化变质石英砂岩 82.52 m
58.灰色绢云千枚岩 17.79 m

==== 脆韧性剪切界面 =====

57.灰绿色蓝闪硬柱绿泥片岩,局部夹劈理化变质石英砂岩、变质凝灰质粉砂岩透镜体 37.57 m

56.灰绿色硬柱蓝闪岩,具变余气孔状、杏仁状构造 30.62 m

55.灰绿色透闪钠长绿帘绿泥片岩 17.11 m

==== 脆韧性剪切界面 =====

54.灰黄、灰绿色劈理化变质石英砂岩 8.10 m

53.灰色劈理化含硅质团块、条带状大理岩,局部夹变质细砂岩 25.52 m

52.灰绿色劈理化变质石英砂岩 10.97 m

51.灰色劈理化含硅质条带或团块大理岩,局部夹变质细砂岩 7.31 m

==== 脆韧性剪切界面 =====

50.灰绿色硬柱蓝闪岩,呈透镜状产出,边部片理发育,中部为

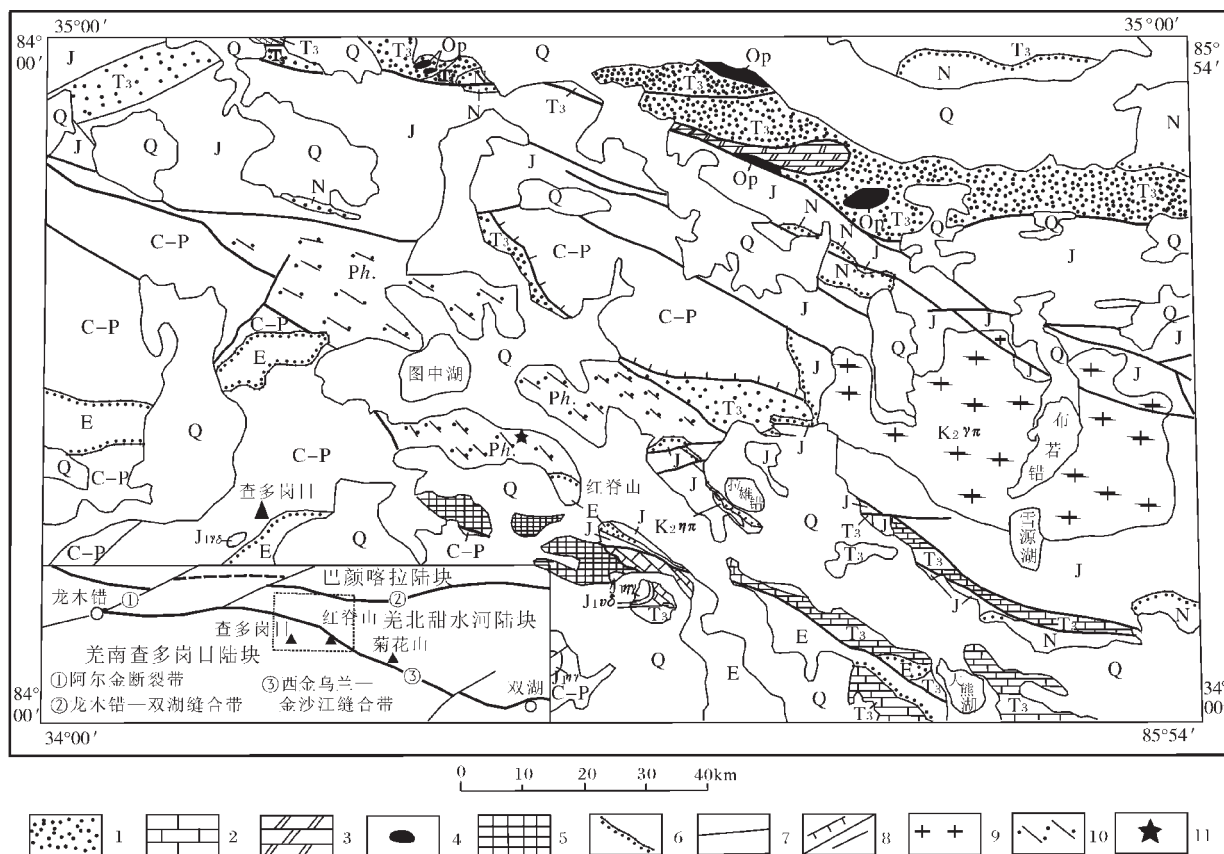


图1 红脊山地区地质图(据1:25万查多岗日幅、布若错幅地质图(2005)修改)

Fig.1 Geological map of the Hongjishan area

Q—第四系 N—新近系 E—古近系 J—侏罗系 T₃—上三叠统 Ph—红脊山岩组 C-P—石炭系—二叠系(擦蒙组、展金组、曲地组、图北湖组) K₂γπ—晚白垩世花岗岩岩, K₁ηπ—早白垩世二长斑岩 J₁δ—早侏罗世辉长闪长岩 J₁ηγ—早侏罗世二长花岗岩;
1—晚三叠世碎屑岩夹火山岩沉积 2—晚三叠世碳酸盐沉积 3—中三叠世硅泥质沉积 4—蛇绿岩 5—角闪岩相变质岩块;
6—角度不整合界线 7—区域性断裂 8—推覆构造/断层 9—花岗岩 10—硬柱蓝闪片岩带 11—剖面位置

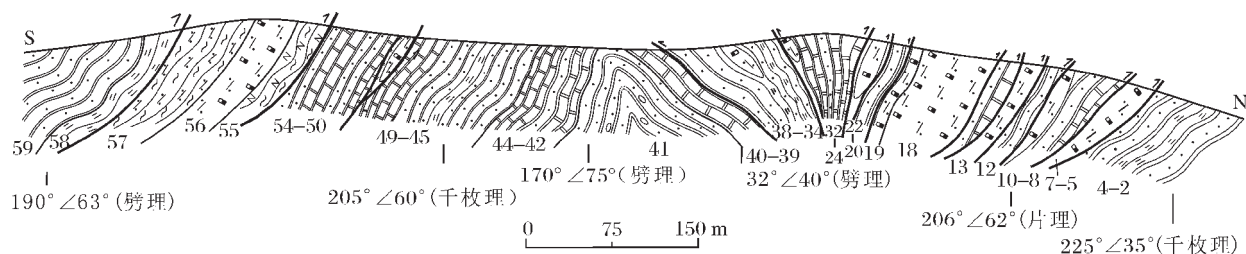


图2 红脊山硬柱蓝闪片岩剖面示意图

Fig.2 Diagrammatic section of the Hongjishan lawsonite-glaucophane schist

块状构造	1.83 m	19.灰绿色含硬柱蓝闪透闪片岩	9.78 m
==== 脆韧性剪切界面 =====		18.灰绿色硬柱蓝闪片岩	54.39 m
49~47.灰色劈理化含硅质条带或团块大理岩,局部夹变质细砂岩	42.96 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
46.灰色劈理化变石英砂岩,局部夹灰色绢云千枚岩	65.20 m	17.灰绿色劈理化变质砂岩,局部夹劈理化大理岩	5.46 m
45.灰、浅灰白色劈理化石英砂岩	1.73 m	16、15.灰色劈理化大理岩,局部夹深灰色透镜状、似层状硅质岩及变质砂岩	16.38 m
==== 脆韧性剪切界面 =====		14.灰绿色劈理化大理岩夹深灰色绿泥绢云千枚岩	10.92 m
44~42.灰色、深灰色劈理化大理岩,局部夹透镜状变质砂岩、硅质岩	42.69 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
41.灰、灰白色劈理化变质钙质石英砂岩,局部夹钙质砾岩	15.89 m	13.灰绿色(含辉石)硬柱蓝闪岩,呈透镜状产出,边部发育片理构造,中部残存杏仁状构造,原岩为玄武岩	6.37 m
40.灰、浅灰色劈理化含少量硅质团块大理岩	10.58 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
39.灰黑色大理岩	9.40 m	12.灰色劈理化变质石英砂岩	19.11 m
38.灰、灰绿色劈理化变质石英砂岩,局部夹变质凝灰质砂岩	31.47 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		11.灰绿色硬柱蓝闪片岩。呈透镜状产出,自边部至中部片理减弱,残余杏仁状构造,原岩为玄武岩	4.55 m
37、36.灰绿色硬柱蓝闪片岩,呈透镜状产出,边部片理发育,中部较弱,具变余杏仁状构造,原岩为玄武岩	8.10 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		10.灰绿色劈理化砂岩	18.94 m
35.灰绿色劈理化变质石英砂岩夹灰色绢云千枚岩,局部为二者互层	23.96 m	9、8.灰、浅灰色劈理化大理岩夹白云质大理岩	17.87 m
34.灰色、灰绿色劈理化变质凝灰质砂岩	2.86 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		7.灰绿色硬柱蓝闪岩,透镜状,边部片理发育	1.12 m
33.灰绿色硬柱蓝闪片岩,呈透镜状产出,边部片理发育,中部较弱,原岩为玄武岩	2.86 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		6.灰绿色阳起绢云钠长千枚岩	1.67 m
32~24.灰白、浅灰、灰色劈理化大理岩,局部夹劈理化变质砂岩和透镜状、团块状硅质岩	53.59 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		5.灰绿色硬柱蓝闪岩,边部具片状构造	16.75 m
23.灰绿色硬柱蓝闪片岩,呈透镜状产出,边部片理发育,中部较弱,原岩为玄武岩	9.78 m	==== 脆韧性剪切界面 =====	
==== 脆韧性剪切界面 =====		4.灰、灰黄色劈理化变质石英砂岩	9.49 m
22.灰色劈理化碳酸盐化砂岩	4.89 m	3.灰色绢云千枚岩、白云母片岩	5.03 m
21.灰色、灰绿色钠长绿泥绢云千枚岩	2.93 m	2.灰色劈理化碳酸盐化砂岩	35.21 m
20.灰色劈理化石英砂岩	11.74 m	1.第四纪冲积物覆盖	10.06 m
==== 脆韧性剪切界面 =====			

2 高压变质岩主要岩石类型及产状

硬柱蓝闪片岩产于宽约30 km、呈北西—南东走向展布的具有强弱分带性的脆—韧性变形带中,已控制出露长度60 km。详细填图解剖查明,硬柱蓝闪片岩与变质砂岩、板岩发生构造混杂作用,呈长透镜体状的岩块产出。岩块大小不一,宽几米到1000 m,长几米到几千米,长轴与主构造线方向

一致。岩块与围岩(基质)呈脆韧性剪切界面接触,其边部面理非常发育,自外至内变形减弱,中心往往呈块状构造。

硬柱蓝闪片岩的岩性主要有硬柱蓝闪片岩、硬柱蓝闪岩、透闪石化硬柱蓝闪片岩、透闪石化含硬柱蓝闪片岩、蓝闪硬柱绿泥片岩、蓝闪阳起(片)岩、阳起蓝闪片岩、斜黝帘石化蓝闪片岩、含蓝闪石劈理化变质辉长(绿)岩,仅一个样品为含蓝闪石劈理化砂岩、含蓝闪石大理岩。

典型的低温高压变质矿物组合为硬柱石+蓝闪石、硬柱石+蓝闪石+钠长石、硬柱石+蓝闪石+钠长石+绿泥石±方解石等。

蓝闪石、硬柱石的出现与原岩成分密切相关。根据岩石成分及残存的原岩结构构造(斑状结构、辉绿结构、气孔和杏仁状构造等)特征恢复原岩,硬柱蓝闪片岩的原岩主要是玄武岩,少量辉长岩、辉绿岩、基性火山碎屑岩,偶见砂岩、碳酸盐岩。

3 矿物属种及矿物化学成分

3.1 蓝闪石镜下特征

蓝闪石类矿物多呈浅蓝灰色、纤柱状晶体。岩块的边部受变形作用改造,蓝闪石呈定向分布,岩块核部蓝闪石呈放射状(团块)、纤柱状杂乱分布,未显定向分布之特征(图3-a),粒度大小以0.5 mm左右为主,个别长达1~2 mm,含量1%~76%。镜下可见蓝闪石切割片理现象(图3-b),反映岩石遭受了多期次变形变质作用改造。镜下观察蓝闪石未见有环带结构。其光性特征,多色性 N_g =灰蓝—深蓝色, N_p =无色或浅黄色, N_m =灰紫色,角闪石式解理,消光角 $N_g \wedge C=4^\circ \sim 12^\circ$,延性为正延性,干涉色Ⅰ级至Ⅱ级底(-) $2V=0^\circ \sim 50^\circ$,中正突起。

3.2 蓝闪石化学成分特征

蓝闪石电子探针分析结果见表1。可以看出, SiO_2 (53.20%~58.23%)、 Al_2O_3 (6.33%~9.72%)、 Na_2O (6.43%~8.65%)含量较高, FeO *略高(13.60%~20.76%), MgO (4.48%~8.23%)、 CaO (0.37%~2.86%)明显较低。 FeO *与 MgO 呈负相关性。自核部到边部, SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 MgO 含量略有增高,而 FeO *含量减少。 $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al^{VI})$ 为0.15~0.48, $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 为0.30~0.74。在角闪石类分类图解^[10]上,投影点分别落于蓝闪石、铁蓝闪石、青铝闪石区(图4)。可见,本区蓝闪石属于铁蓝闪石和青铝闪石。

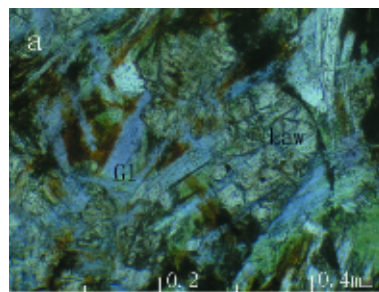
3.3 硬柱石镜下特征

硬柱石多呈团块状,较均匀地与蓝闪石混杂分布,含量0~35%。镜下观察,可见其被蓝闪石穿插(图3-c),又见其内“包含”有蓝闪石,显示二者呈共生组合关系。硬柱石晶形较好,为自形—半自形柱状,呈正方形、短长方形、菱形或平直的多边形,粒度0.05~0.5 mm。无色,高正突起,折射率略低于辉石,2组解理发育,具简单或聚片双晶,干涉色Ⅰ级顶到Ⅱ级底,延性为负延性,二轴晶(+) $2V$ 大。

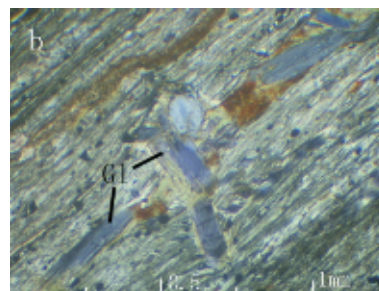
3.4 硬柱石化学成分特征

硬柱石电子探针分析结果见表2。与标准硬柱石相比,

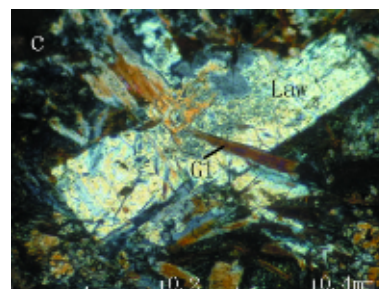
SiO_2 含量偏高,为38.54%~39.93%, Al_2O_3 明显较高,为29.69%~31.38%, CaO 明显较低,为16.02%~17.85%,另含少



a. 蓝闪石与硬柱石共生(单偏光)



b. 蓝闪石切割片理(单偏光)



c. 蓝闪石与硬柱石共生(正交偏光)

图3 蓝闪石和硬柱石镜下特征

Fig.3 Microscopic features of glaucophane and lawsonite

Gl—蓝闪石 Law—硬柱石

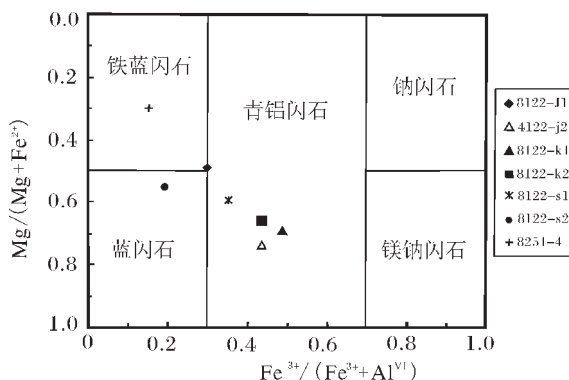


图4 蓝闪石化学成分图解(据Leake, 1978)^[10]

Fig.4 Diagram of the chemical composition of glaucophane

量的FeO*(0.27%~1.78%)和Na₂O(0~1.23%)。自核部到边部,SiO₂、Al₂O₃、FeO*含量略有增高或持平。

4 讨 论

蓝闪石—硬柱石相形成的温压条件一般为 $T=250\sim350^{\circ}\text{C}$ $p=0.5\sim1.2\text{ GPa}$ 。但其形成的地质条件比较复杂,可能与板块俯冲、碰撞作用有关,即可能是大陆壳深俯冲作用的结果。红脊山硬柱蓝闪片岩带中出现斜黧帘石交代硬柱石,出现了阳起石等变质矿物,说明其变质温度较高。将硬柱蓝闪片岩中的蓝闪石化学成分投影到 $\text{NaM}_4\text{—Al}^{\text{IV}}$ 变异图解^[11]上求得压力值为0.7 GPa(图5),结合矿物共生组合、变质相及变质反应关系,在 $p\text{—}T$ 图解^[12]上大致确定变质温度、压力范围,红脊山硬柱石+蓝闪石组合形成条件大致为 $T=375\sim420^{\circ}\text{C}$ $p=0.7\sim0.9\text{ GPa}$ 。

红脊山硬柱蓝闪片岩中的蓝闪石、硬柱石粒度极细,蓝闪石无环带构造,晶形差;硬柱蓝闪片岩呈构造透镜体产出,边部片理发育,往岩块中心变形减弱,蓝闪石取代了铁镁质矿物,但原岩辉石斑晶仍有残留;出现斜黧帘石交代硬柱石,但二者同时存在,可能是变质作用持续时间短,二者均未达到平衡反应的结果。由此可见,红脊山硬柱蓝闪片岩的形成与构造变形作用密切相关,变质持续时间短,是“不彻底的”低温高压变质作用的产物。

进而言之,沿红脊山硬柱蓝闪片岩带发育有不同时代、不同构造背景的地质体,以断层或韧性剪切带为边界的构造混杂堆积为特征,笔者称之为红脊山构造混杂岩带^①(图1)。该混杂岩带构成了南、北羌塘的分界线,其南西为查多岗日陆块,以发育上石炭统—下二叠统擦拉组、展金组、曲地组为特征,属羌南地层区;北东为羌北甜水河陆块,出露上三叠统和侏罗系,地层古生物特征反映属于羌北地层区^[1,2,13]。显然,红脊山硬柱蓝闪片岩带的形成和羌北甜水河陆块与羌南查多岗日陆块碰撞密切相关。

区域资料显示,红脊山硬柱蓝闪片岩与龙木错—双湖古特提斯缝合带^[2,8,9]上的蓝片岩具有许多相同或相似之处。由于冈玛错—双湖蓝片岩带^②中未发现硬柱石、硬玉等典型低温高压变质矿物,使蓝片岩的成因解析受到了一些质疑。红脊山硬柱蓝闪片岩中发现蓝闪石+硬柱石典型的低温高

表1 红脊山低温高压变质带蓝闪石化学成分
分析结果和晶体化学式

Table 1 Chemical analysis and cation proportion of glaucophane in the Hongjishan low-temperature/high-pressure metamorphic belt

样品号	8 1 2 2 - J		8 1 2 2 - K		8 1 2 2 - S		8251-4
矿物代号	G1-1	G1-2	G1-1	G1-2	G1-1	G1-2	G1
SiO ₂	55.63	56.06	53.20	54.91	56.68	58.23	57.57
TiO ₂	0.22	0.18	—	0.54	—	—	0.12
Al ₂ O ₃	9.67	9.72	10.20	8.52	9.52	10.82	6.33
FeO	16.85	14.97	17.47	15.88	15.64	13.60	20.76
MnO	0.28	—	0.63	—	0.36	—	0.29
MgO	6.07	6.92	7.47	8.23	7.84	7.54	4.48
CaO	0.66	0.37	1.20	2.86	0.40	0.41	0.39
Na ₂ O	7.65	8.65	6.46	6.43	6.61	6.69	7.02
K ₂ O	0.24	—	0.16	0.19	0.03	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	0.09	0.05	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	0.39
合计	97.26	96.86	97.57	97.57	97.16	97.34	97.36
Si	7.98	8.00	7.73	7.86	8.04	8.11	8.38
Ti	0.02	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01
Al	1.63	1.63	1.75	1.44	1.59	1.78	1.09
Fe ²⁺	1.34	0.52	0.73	0.92	1.15	1.27	2.30
Fe ³⁺	0.69	1.27	1.39	0.98	0.71	0.31	0.23
Mn	0.03	0.00	0.08	0.00	0.04	0.00	0.04
Mg	1.30	1.47	1.62	1.76	1.66	1.57	0.97
Ca	0.10	0.06	0.19	0.44	0.06	0.06	0.06
Na	2.13	2.39	1.82	1.78	1.82	1.81	1.98
K	0.04	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00
Al ^{VI}	1.615	1.634	1.473	1.298	1.298	1.298	1.298
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.493	0.739	0.690	0.656	0.591	0.551	0.297
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Al ^{VI})	0.298	0.437	0.486	0.430	0.353	0.193	0.151
图解结果	铁蓝闪石 青铝闪石 青铝闪石 青铝闪石 青铝闪石 蓝闪石 铁蓝闪石						

注:中国地质大学(北京)地质实验中心测试;矿物代号1为核部、2为边部;
据郑巧荣,电价差法,按镁铁质角闪石计算;氧化物含量为%

压变质矿物组合,无疑为羌塘中部大地构造研究提供了重要资料。

① 陆济璞,陆刚,许华,等.1:25万查多岗日幅、布若错幅区域地质调查野外工作总结.2005.

② 西藏自治区地质矿产局.1:100万改则幅区域地质调查报告.1986.

表2 硬柱石化学成分分析结果
Table 2 Chemical analysis of lawsonite

样品号	8122-J		8122-K		8122-S	
矿物代号	Law-1	Law-2	Law-1	Law-2	Law-1	Law-2
SiO ₂	39.55	39.93	39.70	39.71	38.54	39.62
TiO ₂	—	0.54	0.18	0.35	0.44	0.36
Al ₂ O ₃	29.69	31.38	30.97	30.97	30.97	30.79
FeO	1.53	0.36	0.27	0.66	0.25	1.78
MnO	—	—	0.31	—	0.17	—
MgO	—	—	—	—	—	—
CaO	17.44	16.02	16.73	17.50	17.85	16.87
Na ₂ O	1.23	0.87	0.36	—	—	0.30
K ₂ O	0.01	0.10	0.02	—	0.07	0.04
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—
合计	89.45	89.21	88.55	89.19	88.30	89.76

注：中国地质大学(北京)地质实验中心测试，矿物代号 1 为核部，2 为边部，氧化物含量%

5 结 论

(1) 红脊山硬柱蓝闪片岩带是呈北西—南东走向展布的低温高压变质带。蓝闪石呈浅蓝灰色，纤柱状，电子探针测试分析表明，蓝闪石为铁蓝闪石和青铝闪石，硬柱石多呈团块状，较均匀地与蓝闪石混杂分布。镜下观察，二者为共生关系。这是羌塘地区首次发现的典型低温高压变质矿物组合，这一矿物组合被解释为板块碰撞的变质产物。

(2) 硬柱蓝闪片岩呈构造(岩块)透镜体分布，与围岩呈断层接触。蓝闪石、硬柱石的出现与原岩成分密切相关，恢复其原岩主要为玄武岩，少量辉长(辉绿)岩、基性火山碎屑岩。围岩为砂、板岩和少量碳酸盐岩。

(3) 红脊山硬柱蓝闪片岩及构造混杂岩带的发现，为建立本区构造格局、重塑本区地质构造演化历史提供了重要资料。红脊山硬柱蓝闪片岩带与构造混杂岩带构成北羌塘与南羌塘之间的碰撞带，是红脊山地区北羌塘甜水河陆块与南羌塘查多岗日陆块的分界线。区域构造格局上，红脊山硬柱蓝闪片岩及构造混杂岩带应理解为龙木错—双湖缝合带向西的延伸。

致谢：研究过程中得到吉林大学地球科学学院李才教授、于介江博士和成都地质矿产研究所潘桂棠研究员的指导和帮助；本院覃小锋高级工程师帮助矿物化学成分计算，杨

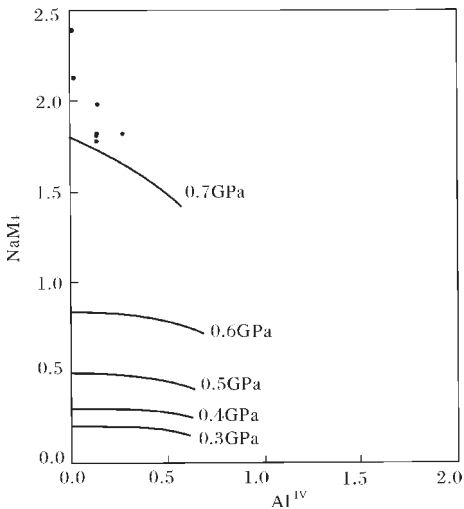


图5 蓝闪石NaM₄-Al^{IV}变异图解(据Brown, 1977)

Fig.5 NaM₄-Al^{IV} variation diagram of glaucophane

丽贞高级工程师协助岩矿鉴定，参加前期野外调查的还有卫小彦、唐朝霞等。在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献：

[1] 西藏自治区地质矿产勘查开发局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1993.
[2] 李才，程立人，胡克，等. 西藏龙木错—双湖古特提斯缝合带研究[M]. 北京：地质出版社，1995.
[3] 李才. 西藏羌塘中部蓝片岩青铝闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar定年及其地质意义[J]. 科学通报，1997，42(4)：488.
[4] 李才，翟庆国，程立人，等. 青藏高原羌塘地区几个关键地质问题的思考[J]. 地质通报，2005，24(4)：295-301.
[5] 李才. 西藏羌塘晚古生代地质与构造演化[J]. 西藏地质，2005，22(1)：1-18.
[6] 李才，李永铁，林源贤，等. 西藏双湖地区蓝闪片岩原岩Sm-Nd同位素定年[J]. 中国地质，2002，29(4)：355-359.
[7] 胡克，李才，程立人，等. 西藏羌塘中部冈错—双湖蓝片岩带及其构造意义[J]. 长春地质学院学报，1997，25(3)：268-274.
[8] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京：地质出版社，1994.
[9] 潘桂棠，李兴振，王立全，等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报，2002，21(11)：701-707.
[10] Leake B E. Nomenclature of amphibolites[J]. Mineral. Mag. and J. Mineral. Soc., 1978，42(4)：533-563.
[11] Brown E H. The crossite content of Ca-amphibolite as a guide to pressure of metamorphism[J]. J. Petrol., 1977，18(1)：53-72.
[12] Winkler H G F. Petrogenesis of metamorphic rocks[M]. Springer Verlag, 1975.
[13] 广西区域地质调查研究院. 1:25万查多岗日幅、布若错幅地质调查成果与进展[J]. 沉积与特提斯地质，2005，25(1-2)：28-33.