

高喜马拉雅普兰地区 东西向韧性拆离作用及其构造意义

戚学祥 许志琴 史仁灯 陈方远

(中国地质科学院地质研究所 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京 100037)

摘要:高喜马拉雅地体西部普兰地区东西向面状韧性拆离作用发育,韧性拆离带内的岩石都经历了不同程度的塑性变形,糜棱岩化作用普遍存在,面理向东缓倾,拉伸线理向东倾伏,倾伏角 $5\sim 18^\circ$ 。不对称旋转应变构造指示韧性拆离带具有早期自西向东的运动性质,及后期又经历了自东向西脆韧性变形的特点。EBSD 组构测定结果反映糜棱岩中变形石英的晶格优选方位具有自西向东的高温柱面 $\{10\bar{1}0\}\langle a \rangle$ 、中温菱面 $\{10\bar{1}\bar{1}\}\langle a \rangle$ 和自东往西的中温菱面 $\{10\bar{1}\bar{1}\}\langle a \rangle$ 、低温底面 $\{0001\}\langle a \rangle$ 两组滑移系,结合糜棱岩中普遍存在的不对称旋转构造特点分析说明构造带早期自西向东韧性拆离作用形成于中高温环境,后期自东向西的脆韧性变形形成于中低温环境。锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果表明普兰地区高喜马拉雅变质基底原岩形成于 1863 Ma。普兰东西向韧性拆离作用形成于中新世,与高喜马拉雅地体南北两侧的 MCT 和 STDS 形成时代相吻合,是印度板块向北俯冲产生的挤压应力作用于弧形喜马拉雅造山带时,分解出平行于造山带方向的剪切应力促使造山带内中下地壳的物质沿平行于造山带方向发生塑性流动形成的,是与 MCT 和 STDS 在同一构造事件中同一构造应力场内形成的,是青藏高原大规模南北向缩短、隆升和一部分物质向东逃逸的产物。

关键词:高喜马拉雅;普兰;面状韧性拆离构造;石英晶格优选方位

中图分类号:P313 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)02-0291-08

自中新世以来,高喜马拉雅地体经历了广泛的伸展作用,形成规模宏大的走向近东西向北滑脱的藏南滑移系(STDS)、走向近南北的正断层系和面状韧性拆离构造带。其中,前二者的地质特征、成因机制及相互关系等已引起国内外学者的关注,认为 STDS 是中新世印度板块向青藏高原下俯冲导致高喜马拉雅地体被挤出及特提斯喜马拉雅相对向北拆离形成的^[1-9],正断层系是在 STDS 形成之后,由于青藏高原隆升后的同构造垮塌^[10,11]或大陆斜向碰撞和变形分解等^[3-6,12]引起的。面状韧性拆离构造带在尼泊尔境内的 Marsyandi 等地已有报道^[9]。近年来,笔者随许志琴院士领导的中法科考队在藏南进行野外调研时,发现在高喜马拉雅普兰、吉隆、亚东等地区前寒武纪变质岩中普遍发育一组糜棱面理产状平缓、拉伸线理倾伏向近东西、倾伏角很小的面状韧性拆离构造。为此,笔者将以普兰面状韧性拆离构造带为例,对其地质特征及其构造意义进行初步探讨。

1 地质概况

喜马拉雅造山带位于青藏高原南缘,南北宽 300~500 km,自雅鲁藏布缝合带向南至主前锋冲断带,依次为特提斯喜马拉雅、高喜马拉雅、低喜马拉雅和次喜马拉雅 4 个近于平行的地体,其间分别以藏南滑移系(STDS)、主中央冲断带(MCT)和主边冲断带(MBT)为界^[13](图 1-a)。

特提斯喜马拉雅地体分布于雅鲁藏布缝合带与藏南滑移系之间,从古生代到中生代地层都有出露,但以印度板块北侧石炭—侏罗世稳定陆缘相沉积岩系为主,经低级变质作用形成板岩、千枚岩等。中生代岩浆活动较为频繁。

高喜马拉雅地体分布于藏南滑移系和主中央冲断带之间,呈一走向北西西—西—东—北东东,向南突出的弧形构造带,长约 2500 km。主要由前寒武纪变质岩系构成的变质基底和浅色花岗岩组成。变质基底下部为含蓝晶石、十字石和

收稿日期:2006-02-07;改回日期:2006-02-20

基金项目:973 专项(2003CB7165004)和国家自然科学基金重大项目(NSFC40399140)资助。

作者简介:戚学祥,男,1963 年生,博士,研究员,主要从事变质变形构造等方面的研究;E-mail:qixuexiang@ccsd.cn。

石榴石的片岩、片麻岩,上部主要由含夕线石、石榴石的片岩、片麻岩和石英岩、大理岩及混合岩组成。其中,片岩类的原岩为杂砂岩、粉砂岩和砂质粘土岩;片麻岩类原岩为杂砂岩、粉砂-砂质粘土岩和泥灰岩,有些片麻岩具有明显的花岗岩片麻岩特征,其原岩应为花岗岩类;石英岩类的原岩为石英砂岩或石英杂砂岩;大理岩的原岩为含少量泥质的灰岩^[4]。根据岩石矿物组合特征可分为绿片岩相黑云母带、低角闪岩相十字石-蓝晶石带和高角闪岩相夕线石带。由于构造变形,它们在空间上的分布次序受到破坏,具有缺失和重复出现的非稳定型特点。在普兰地区出露的变质岩属夕线石带片岩、片麻岩类。

高喜马拉雅地体内的断裂构造发育,构造特征明显的藏南滑移系(STDS)和主中央冲断带(MCT)东西向构造构成其南北边界,南北走向正断层系多以地堑的形式构成

目的断陷盆地,如普兰、聂拉木、亚东—谷路正断层系等(图1-a)。普兰正断层体系位于普兰盆地东缘,走向近南北,倾向西^[5,6,12]。断层上盘为发生褶皱的古生代、中生代沉积岩和新近纪普兰群砂砾岩及产状近水平不整合覆盖于普兰群之上的第四纪沉积物,断层下盘为高喜马拉雅地体内的前寒武纪糜棱岩化片麻岩和片麻状浅色花岗岩(图1-b,图1-c,图2)。

低喜马拉雅地体分布于高喜马拉雅地体南侧,介于主中央冲断带和主边冲断带之间,出露地层主要为前寒武纪变质岩和古生界-中生界绿片岩相变质岩,岩浆活动明显。

2 普兰面状韧性拆离构造带特征

普兰面状韧性拆离构造带分布于高喜马拉雅地体上部,西起普兰盆地东部,经那木那尼峰沿高喜马拉雅地体向东延

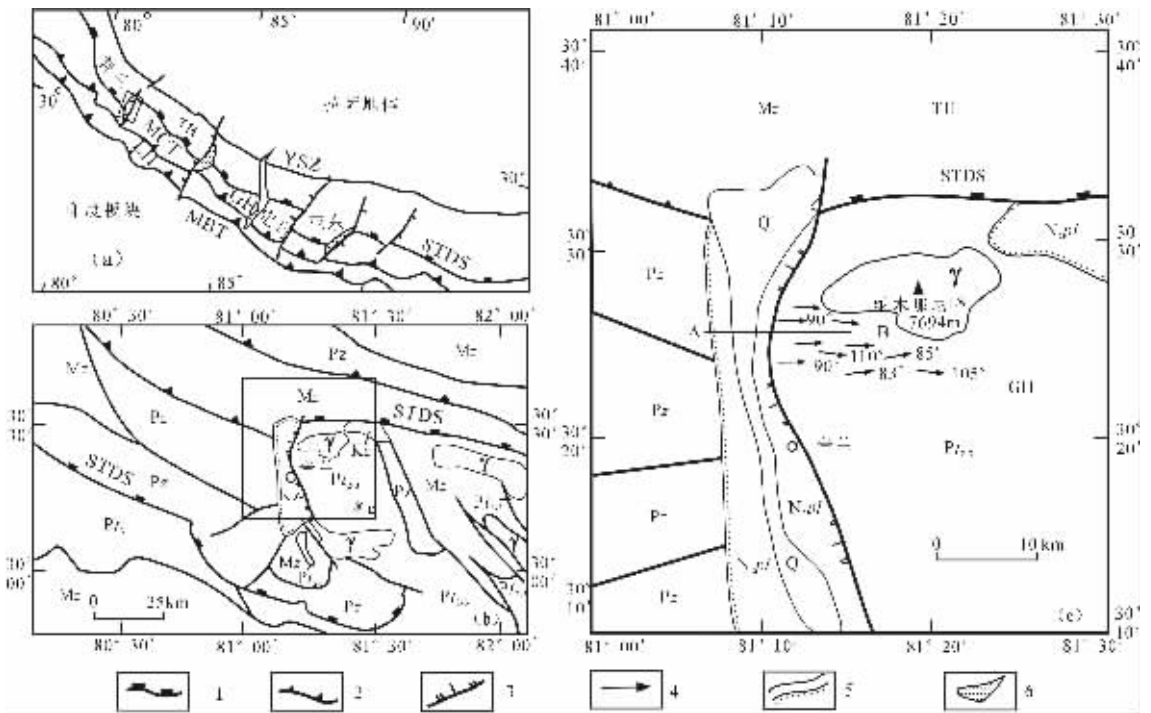


图1 普兰构造地质略图(据 1:100 万普兰幅地质图修编)^①

1—藏南拆离系;2—逆冲断层带;3—正断层系;4—拉伸线理;5—地层界限及不整合边界;6—断陷盆地;

Pt₂₋₃—中—晚元古代变质岩;Pt₃—新元古代变质岩;Pz—古生代地层;Mz—中生代地层;Kz—新生代地层;

N_{2pl}—新近纪普兰群;Q—第四纪沉积物;γ—新生代糜棱岩化花岗岩;STDS—藏南拆离系;MCT—主中央冲断系;MBT—主边冲断系;

YSZ—雅鲁藏布缝合带;TH—特提斯喜马拉雅地体;GH—高喜马拉雅地体;LH—低喜马拉雅地体

Fig.1 Tectonic sketch map of Burang (modified from the 1:1 million geological map of the Burang Sheet)

1—Southern Tibet detachment system;2—Thrust zone;3—Normal fault system;4—Stretching lineation;5—Stratigraphic boundary and unconformity;6—Downfaulted basin;Pt₂₋₃—Meso- and Cenoproterozoic metamorphic rocks;Pt₃—Neoproterozoic metamorphic rocks;

Pz—Paleozoic strata;Mz—Mesozoic strata;Kz—Cenozoic strata;N_{2pl}—Neogene Period Burang Group;Q—Quaternary sediment;

γ—Cenozoic mylonitic granite;STDS—Southern Tibet detachment system;MCT—Main Central Thrust;

MBT—Main Boundary Thrust;TH—Tethy Himalaya terrane;GH—Greater Himalaya terrane;LH—Lesser Himalaya terrane

① 丁孝忠. 普兰幅 1:100 地质图, 2005.

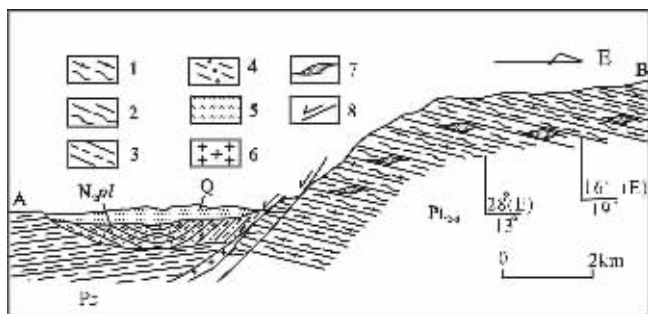


图 2 普兰面状韧性拆离构造剖面图

1—糜棱岩化长英质片麻岩;2—长英质糜棱岩;3—古生代沉积岩;
4—普兰群砂砾岩;5—第四纪沉积物;6—浅色花岗岩;7—长英质碎斑;
8—正断层;Pt₂₃—中—新元古界;Pz—古生界;N_{2pl}—普兰群;Q—第四系

Fig.2 Structural section of the Burang planar ductile detachment zone

1—Mylonitic felsic gneiss; 2—Felsic mylonite; 3—Paleozoic sedimentary rocks;
4—Pebble conglomerate of the Burang Group; 5—Quaternary sediment;
6—Leucogranite; 7—Felsic porphyroclasts; 8—Normal fault; Pt₂₃—Meso- and Neoproterozoic; Pz—Paleozoic; N_{2pl}—Burang Group; Q—Quaternary

伸。构造带内的岩石都经历了不同程度的变形变质,形成相应的糜棱岩、糜棱岩化类岩石和变形构造(图 1-c,图 2)。

2.1 韧性拆离构造带性质

普兰面状韧性拆离构造带内岩石糜棱岩化作用明显,糜棱岩、糜棱面理和拉伸线理发育。糜棱岩化类构造岩在该带比较发育,出露厚度在 200 m 以上,其主要类型有夕线石长英质糜棱岩、含绿帘石夕线石长英质糜棱岩、含夕线石黑云母长英质糜棱岩(图 3)、花岗质糜棱岩及相应的糜棱岩化长英质片麻岩、糜棱岩化花岗岩和糜棱岩化大理岩。糜棱面理主要由云母等片状矿物和夕线石等纤维状矿物与长英质矿物相间排列或缎带状石英条带与长石、云母等相间排列,或粗粒长英质矿物与细粒长英质矿物相间分布构成(图 3-1),倾向东,倾角 10°~20°,因不对称无根褶皱的存在,引起糜棱面理倾角发生变化,局部可达 29°。拉伸线理主要由长石、黑云母及拉长的石英等在糜棱面理上定向排列所组成,显微镜下可见拉长的细粒与粗粒长英质矿物相间排列及面状斜列的微细石英缎带构成(图 3-1,图 3-5 及图 3-6),倾向 83°~115°,倾角 5°~18°。总体来看,普兰面状韧性拆离构造带中糜棱面理和拉伸线理普遍存在,糜棱面理向东倾,倾角平缓,拉伸线理向东倾伏,倾伏角较小,展示出清晰的面状韧性拆离构造特征。

韧性拆离构造带内的岩石都经历了不同程度的塑性变形,形成大量可指示运动方向的剪切标志。露头尺度上,XZ 面发育的由长英质薄层或糜棱面理在递进剪切应力作用下形成的 S-C 组构、不对称旋转碎斑、长英质条带被拉断旋转形成的不对称旋转透镜体、布丁及不对称无根褶皱等均显示

出明显的自西向东滑移的运动方向;显微尺度下,长石或石英集合体构成的“6”或“8”型旋转碎斑(图 3-1、图 3-3)、云母鱼(图 3-3)、斜列缎带状石英与剪切面构成的 S-C 组构(图 3-1、图 3-2)等都指示韧性拆离构造带上盘自西向东的剪切运动特征。与此同时,镜下可见少量切割早期剪切指向为自东向西的脆韧性构造(图 3-1、图 3-4)。

2.2 EBSD 组构测定及石英晶格优选方位

在拆离构造带内采集拉伸线理发育的长英质糜棱岩样品,沿平行于拉伸线理、垂直于面理的 XZ 面上磨制 5 cm×2.5 cm 探针片。通过镜下观察查明石英类型、粒度和分布状况。运用大陆动力学实验室内日本电子公司(JEOL)的 JSM-56101v 型扫描电镜和丹麦 HKL 公司的 CHANNEL5 型 EBSD 仪器对经过精细抛光的糜棱岩薄片进行石英组构测定,在 20 kV 条件下,首先利用 EBSD 系统确定石英的衍射模型,并标明衍射点指数,然后在薄片范围内进行矿物的优选方位测定,每个样品测试 4600~7600 点。样品中石英亚颗粒发育,定向排列构成缎带。石英缎带粒度约 1 mm×0.1 mm,个别可达 2 mm×0.25 mm,它们定向排列构成面理(图 3-5、图 3-6),或构成长石碎斑尾部(图 3-3)。测试结果显示石英的晶格优选方位有两组,一组为自西向东旋转的高温柱面滑移系 {10 $\bar{1}$ 0} <a>(图 4-b~d, f)和中温菱面滑移系 {10 $\bar{1}$ $\bar{1}$ } <a>(图 3-a, b, e),另一组为自东向西旋转的中温菱面滑移系 {10 $\bar{1}$ 0} <a>(图 4-c, e, f)和低温底面滑移系 {0001} <a>(图 4-d),前者反映韧性拆离构造带早期形成于中高温环境,运动性质为自西向东方向运移,晚期经历了中低温韧性变形,运动性质为自东向西滑移^[15-17],这种特征与镜下所观察到的糜棱岩中自西向东滑移的构造指向被相反指向的脆-韧性构造切割的现象相吻合(图 3-1、图 3-4)。说明该韧性构造带早期在中高温环境下自西向东滑移,之后又经历了反方向的脆-韧性变形。

2.3 糜棱岩主要矿物变形特征

长英质糜棱岩中的主要矿物有长石、石英、黑云母和白云母,特征性矿物为夕线石,它们都有不同程度的塑性变形,其变形特点如下。

斜长石和钾长石是该区糜棱岩中最普遍的矿物,常以碎斑的形式产出,部分呈细小颗粒分布于基质或具核幔结构的长石碎斑底部。它们在糜棱岩中相对含量虽然不同,但其变形特点相似,波状消光、亚颗粒、核幔结构、晶内滑移、拉断旋转及局部存在的斜长石双晶或应力双晶弯曲等晶内变形现象较发育(图 3-1、图 3-3)。

石英是糜棱岩中的主要造岩矿物之一,显微镜下清楚地展示出其强烈的塑性变形特征——亚颗粒、波状消光、缎带状构造等。缎带状石英普遍发育是该区糜棱岩的显著特征(图 3-5、图 3-6),它们呈缎带状与云母类矿物相间分布构成糜棱面理,或围绕长石类旋转碎斑展开构成其尾部(图 3-1、图 3-3)或与定向排列的长石等一起构成 S-C 组构(图 3-1),

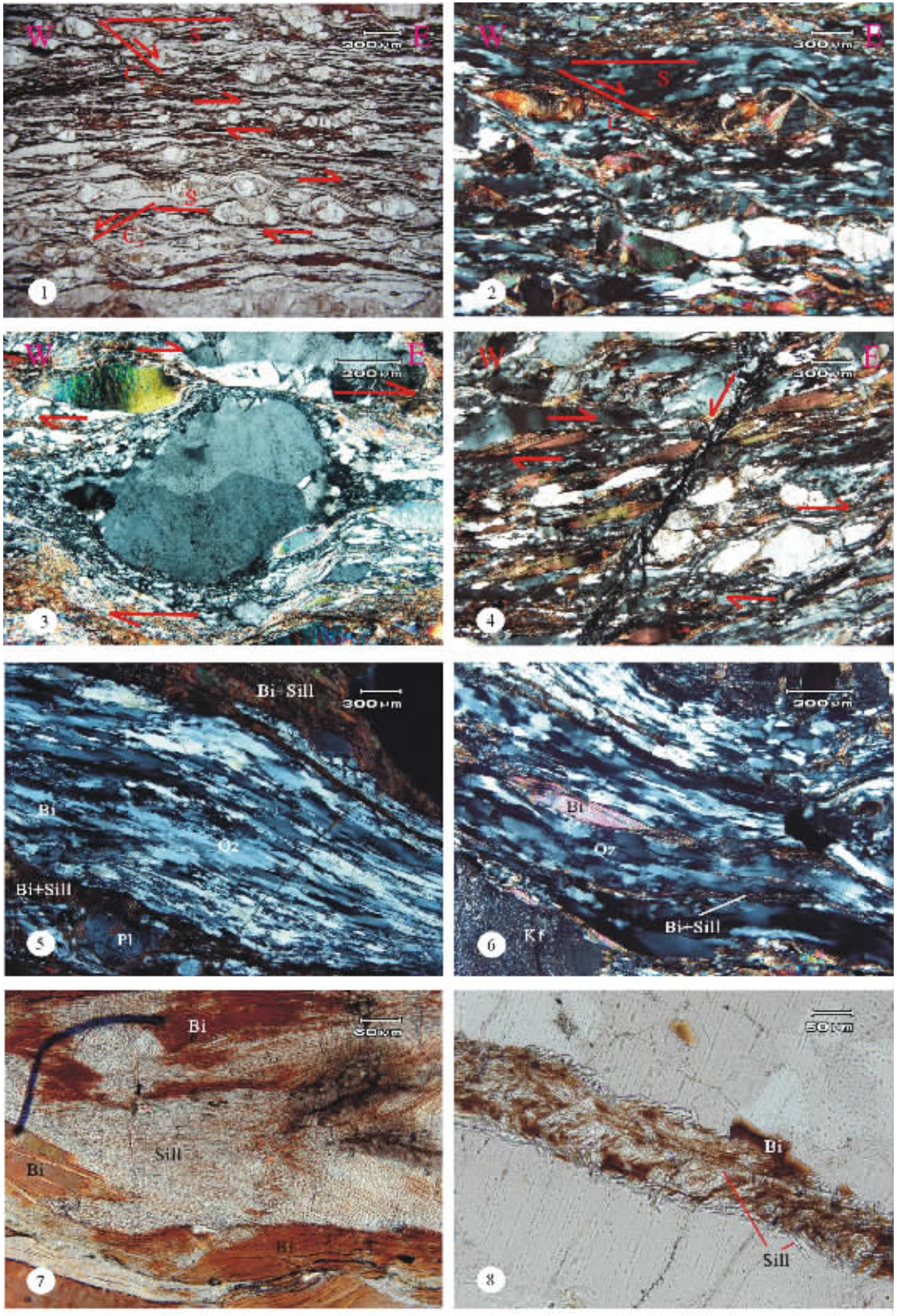


图3 普兰面状韧性拆离构造带糜棱岩中的构造指向及主要矿物变形特征
 Kf—钾长石;Pl—斜长石;Sill—夕线石;Bi—黑云母;Qz—石英

Fig.3 Structural senses and deformational features for main minerals in mylonite of the Burang planar ductile detachment zone
 Kf—potassium feldspar;Pl—plagioclase;Sill—silimanite;Bi—biotite;Qz—quartz

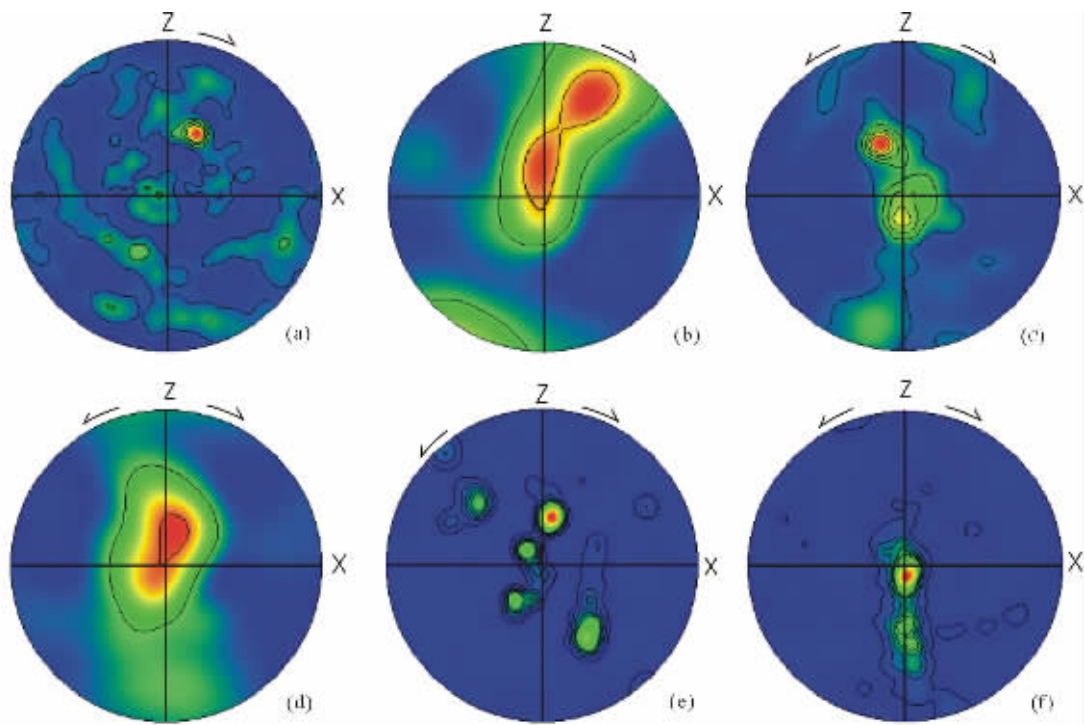


图 4 糜棱岩中石英晶格优选方位(下半球投影)

Fig.4 Lattice preferred orientations of quartz from mylonites in Burang (lower hemisphere stereographic projections)

部分缎带状石英具有一定程度的重结晶现象(图 3-5)。

夕线石是高喜马拉雅地体中变质带划分的标志性矿物,在区内长英质糜棱岩中普遍发育。它们多呈纤维状、毛发状沿面理分布,常常呈透镜状或条带状集合体产出,分布于长英质矿物晶粒间,少量呈放射状或火焰状穿插到长石和石英晶体中。这些夕线石常与黑云母伴生,其间呈明显的渐变关系,部分夕线石集合体中保留有黑云母残留块体(图 3-7)。说明该类夕线石是在岩石变形变质过程中黑云母分解的产物,它们沿糜棱面理定向生长,并向临近矿物中穿插。此外,该区糜棱岩中还发现一种针状、粒度相对较粗、定向排列的夕线石集合体,沿长英质矿物粒间生长(图 3-8),可能是早期结晶的产物。

3 普兰面状韧性拆离构造形成时代的确定

3.1 高喜马拉雅变质基底原岩的形成时代

3.1.1 样品及测定方法

糜棱岩化花岗质片麻岩(45-12)样品采自普兰东部高喜马拉雅地体内。岩石中的主要矿物有石英、钾长石、斜长石和黑云母;副矿物有锆石、榍石和磷灰石等。其中,石英呈不规则粒状,粒度 0.05~0.2 mm,含量约 35%;黑云母呈半自形片状定向分布,粒度 0.02~0.2 mm,含量约 15%;长石半自形—他形板柱状,粒度在 0.02~0.1 mm 范围内,含量约 48%,副矿物粒度小,多呈星点状分布,含量约 2%。

锆石分选由河北省地质调查研究院完成。样品经常规的粉碎、磁选和重选,分选出纯度较高的锆石,并在双目镜下经人工挑选后用环氧树脂将其和标样固定成圆饼状,用不同型号砂纸和磨料将锆石磨去一半并抛光。在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室对抛光好的锆石进行阴极发光成像观察,查明锆石内部结构,然后在北京等离子探针中心的高灵敏度离子探针 SHRIMP II 仪器上进行锆石 U-Pb 同位素定年测试。样品的 Pb/U 值是根据测量时标样的 UO/U-Pb/U 关系和样品的 UO/U 来标定的,样品中的 U、Th 和 Pb 含量是根据标样的 Zr、U、Th 含量和测定的 Zr、U 和 Pb 值来校正的。测定的标样为 TEM 锆石,每测定 3 个点后插入一次标样测定,以便校正。

3.1.2 锆石特征及 SHRIMP U-Pb 定年结果

样品中的锆石大部分呈短柱状,个别呈长柱状,粒度在 0.03~0.1 mm,长宽比 1.5:1,个别可达 2:1,晶形为半自形—他形,晶面平整光滑。锆石阴极发光图像显示部分锆石内部韵律环带发育,个别锆石的韵律环带不发育,而且所有锆石都不存在继承性残晶及新生环边。锆石 U、Th 含量分别变化于 237~2590 $\mu\text{g/g}$ 和 47~1487 $\mu\text{g/g}$, Th/U 值除 15 号点外,都在 0.2~0.7(表 1), Th、U 值之间具有一定程度的正相关性。这些特征展示出锆石具有岩浆成因性质^[18-19]。测定的 15 粒锆石 SHRIMP U-Pb 年龄变化于 1392~1791 Ma(表 1)。在谐和图上,所有样品点都分布于谐和线下方,但它们都沿一条直线分

表 1 锆石 SHRIMP U-Pb 定年测试结果
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb dating

样品	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb*/10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb _c /10 ⁻²	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	
												年龄/Ma	1σ
1.1	2197	1487	578	0.03	0.70	0.11423	0.28	4.82	3.4	0.306	3.4	1,721	52
3.1	2590	1425	713	0.10	0.57	0.11339	0.29	5.01	3.4	0.320	3.4	1,791	53
6.1	395	120	101	0.45	0.32	0.11368	0.77	4.64	3.5	0.296	3.4	1,671	51
8.1	348	81	72.7	0.82	0.24	0.1134	1.2	3.77	3.6	0.2410	3.5	1,392	43
15.1	685	47	179	0.17	0.07	0.11542	0.48	4.83	3.5	0.303	3.4	1,709	52
18.1	998	365	259	0.13	0.38	0.11360	0.69	4.73	4.2	0.302	4.1	1,700	62
25.1	384	75	99.1	0.30	0.20	0.11526	0.68	4.75	3.5	0.299	3.4	1,687	51
28.1	503	185	132	0.26	0.38	0.11410	0.65	4.80	3.5	0.305	3.4	1,715	52
29.1	733	173	172	0.25	0.24	0.11380	0.63	4.28	3.5	0.2730	3.4	1,556	48
30.1	455	144	115	0.38	0.33	0.11408	0.70	4.60	3.5	0.292	3.4	1,653	50
39.1	237	110	65.6	0.48	0.48	0.1149	0.94	5.07	3.6	0.320	3.5	1,791	54
65.1	663	210	169	0.37	0.33	0.11252	0.57	4.60	3.5	0.296	3.4	1,673	51
71.1	484	139	122	0.13	0.30	0.11471	0.54	4.63	3.6	0.293	3.5	1,655	51
78.1	725	275	189	0.12	0.39	0.11440	0.44	4.78	3.5	0.303	3.4	1,706	51
84.1	423	125	105	0.38	0.31	0.11165	0.70	4.42	3.5	0.2871	3.4	1,627	49

注:²⁰⁶Pb_c为普通铅,²⁰⁶Pb*为放射性铅。

布,与谐和线相交,上交点年龄为(1863.8±7.5)Ma,置信度为95%,MSWD为2.5(图5)。从谐和图上来看,样品点均落在谐和线下方,分布范围较大,且都落在一条线上,说明该样品曾发生过Pb丢失,锆石内部的U、Pb进行过重新调整,但各锆石内部U、Pb调整的比例是一致的,结合锆石内部韵律环带发育及Th/U比值除个别样品外都大于0.2等分析认为其上交点年龄代表了变质基底原岩的形成时代。

3.2 普兰面状韧性拆离构造带的形成时代

高喜马拉雅地体内最主要的构造为东西向构造体系和南北向构造体系。其中,东西向构造由MCT、STDS组成,南北向构造体系有正断层系和产状平缓的面状韧性拆离构造系。正断层系在喜马拉雅造山带内都存在,主要以裂谷的形式产出,多与造山带走向垂直,切割MCT、STDS和产状平缓的面状韧性拆离构造带,并将其错开,如申扎—定结、亚东—谷路等^[5-6,12],普兰正断层系也不例外地切割了STDS和产状平缓的韧性拆离构造带(图1~2),反映正断层系是在东西向构造体系和韧性拆离构造带系之后形成的。普兰正断层系中顺断层面侵位的同构造未变形浅色花岗岩体(图2)白云母K-Ar年龄为16Ma^[5],与聂拉木和亚东两个与正断层系有关的同构造浅色花岗岩侵位时代分别为15Ma和13Ma^[9]及Marsyandi正断层系构造岩中白云母Ar-Ar年龄为14Ma^[20]一致,表明高喜马拉雅地体在16~13Ma经历了一次广泛的南北向断裂作用。普兰面状韧性拆离构造带中糜棱岩化浅色花岗岩独居石等离子探针年龄为19Ma^[12],与尼泊尔境内Dudh Khola地区面理向东倾的面状糜棱岩化浅色花岗岩单颗独居石U-Pb同位素和白云母Ar-Ar同位素测年结果24~18Ma^[8,20]基本一致,说明高喜马拉雅地体内产状平缓的面状韧性拆离构造带可能形成于24~18Ma,普兰面状韧性拆离构造在19Ma

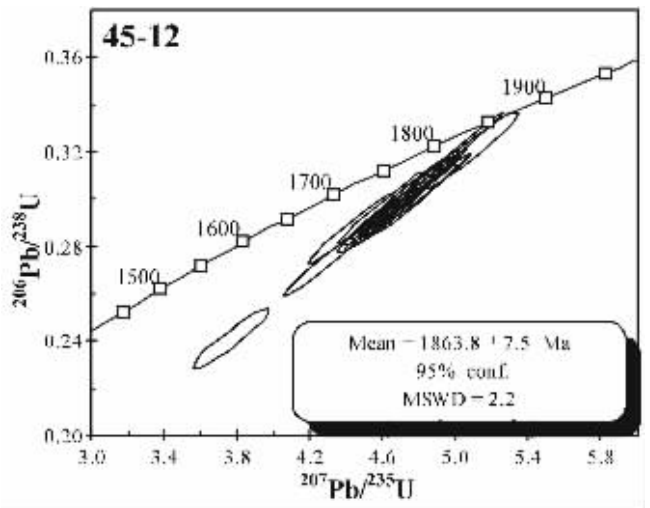


图 5 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄谐和图
Fig.5 Zircon SHRIMP U-Pb concordia diagram

时就已开始活动。

4 讨论与结论

普兰面状韧性拆离构造带展布于高喜马拉雅地体内,其拆离方向与造山带走向平行,与造山带挤压方向垂直,其拆离作用时代与高喜马拉雅地体南北两侧的MCT(18~23Ma^[2,21])和STDS(19~22Ma^[7,22-24])形成时代基本一致,表明它们是同一构造事件形成的,是同造山拆离的产物^[25]。即印度板块向北俯冲过程中,向北的挤压应力作用于弧形喜马拉雅边缘时主应力发生分解^[3,26],与喜马拉雅弧形边界垂直的

应力使其发生强烈缩短,并使高喜马拉雅地体向南斜向挤出逆冲在低喜马拉雅地体之上,同时特提斯喜马拉雅相对高喜马拉雅向北拆离,形成 MCT 和 STDS 两个边界性构造带^[1,27-28]。在此过程中,平行于喜马拉雅弧形边界的应力使处于中下地壳的高喜马拉雅地体沿着平行于弧形边界的方向发生面向流动,形成拉伸线理与造山带走向平行的面状韧性拆离构造带^[29],其形成机制与许志琴等^[30]提出的挤出构造模式相吻合,说明普兰面状韧性拆离构造带是高喜马拉雅地体在同一构造应力场内形成的构造表现形式之一。此外,Fossen et al^[31]在模拟实验的基础上提出的转换挤压和转换拆离模式也清楚地展现了当应力垂直分量不变时,水平应力分量将促使物质发生横向流变的动力学机制。由此可见,高喜马拉雅地体内由平行于造山带方向拉伸作用形成的面状拆离构造带与倾向北的 STDS 是在同一构造事件中同一构造应力场内形成的不同构造形式,地体内的物质在喜马拉雅造山带形成和隆升过程中发生南北向缩短的同时也存在自西向东塑性流动,即青藏高原在大规模南北向缩短和隆升的同时,有一部分物质向东逃逸。

参考文献 (References):

- [1] Burchfiel B C, Royden L. North-south extension within the convergent Himalayan region[J]. *Geology*, 1985, 13:679~682.
- [2] Coleman M E. Orogen-parallel and orogen-perpendicular extension in the central Nepalese Himalayas [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1996, 108(12):1594~1607.
- [3] Seeber L, Pecher A. Strain partitioning along the Himalayan arc and the Nanga Parbat antiform[J]. *Geology*, 1998, 26(9):791~794.
- [4] McCaferly R, Nabelek J. Role of oblique convergence in the active deformation of the Himalaya and southern Tibetan Plateau[J]. *Geology*, 1998,26:691~694.
- [5] 张进江,丁林,钟大赟,等. 喜马拉雅平行于造山带拆离——是垮塌的标志还是挤压隆升过程的产物?[J]. *科学通报*,1999,44(19):2031~2036.
Zhang Jinjiang, Ding Lin, Zhong Dalai, et al. Orogen-parallel extension in Himalayas: Is it the marker of collapse or result of compress lift? [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999,44(19):2031~2036 (in Chinese).
- [6] 张进江,郭磊,丁林. 申扎-定结正断层体系中、南段构造特征及其与藏南滑移系的关系[J]. *科学通报*,2002,47(10):738~743.
Zhang Jinjiang, Guo Lei, Ding Lin. Tectonic feature on the middle to south part of Shenzha-Dingjie normal fault system and its relationship with the south Tibetan detachment [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002,47(10):738~743(in Chinese).
- [7] Hodges K V, Parrish R R, Lux D R, et al. Simultaneous Miocene extension and shortening in the Himalayan orogen[J]. *Science*, 1992, 258:1466~1470.
- [8] Hodges K V. Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2000, 112(3):324~350.
- [9] 许志琴,杨经绥,梁凤华,等. 喜马拉雅地体的泛非——早古生代造山事件年龄记录[J]. *岩石学报*,2005,21(1):1~12.
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Liang Fenghua, et al. Pan-african and early Paleozoic orogenic events in the Himalaya terrane: Inference from SHRIMP U-Pb Zircon ages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1):1~12(in Chinese with English abstract).
- [10] Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet[J]. *J Geophys Res*, 1978,83:5361~5375.
- [11] England P C, Houseman G. Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau[J]. *J Geophys Res*, 1989, 94:17561~17579.
- [12] 陈正乐,王小凤, Ryerson J F, 等. 西藏西南部普兰盆地东缘拆离构造初步研究[J]. *地质论评*,1999, 45(3):295~230.
Chen Zhenle, Wang Xiaofeng, Ryerson J F, et al. Primary study on the detachment in the southeastern margin of Pulan basin, south Tibetan[J]. *Geological Review*, 1999, 45(3):295~230(in Chinese with English abstract).
- [13] Burchfiel B C, Zhiliang C, Hodges K V, et al. The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shorting in a collisional mountain belt[J]. *Geological Society of America Special paper* 269,41
- [14] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993,35~256.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region. *Regional Geology of Xizang Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 35~256 (in Chinese with English abstract).
- [15] Heilbronner R P, Pauli C. Integrated spatial and orientation analysis of quartz c-axes by computer-aided microscopy [J]. *Internal of Structural Geology*, 1993, 15(3-5):369~382.
- [16] Mancktelow N S, Pennacchioni G. The influence of grain boundary fluids on the microstructure of quartz-feldspar mylonites [J]. *Journal of Structural Geology*, 2004, 26:47~69.
- [17] Stipp M, Stunitz H, Heilbronner R, et al. The eastern Tonale fault zone: a natural laboratory for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C. *Journal of Structural Geology*, 2002, 24(24):1861~1884.
- [18] Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[A]. In: Hancher J M, Hoskin P W. O(eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy & Geochemistry* [C]. New York: American Mineralogy Society, 2003. 53:27~62.
- [19] Sue k, David S, William C. Identifying granite sources by SHRIMP U-Pb zircon geochronology: An application to the Lachlan fold belt[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1999,137:323~341.
- [20] Coleman M E, Hodges K V. Evidence for Tibetan platean uplift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west extension[J]. *Nature*,1995, 374:49~52.
- [21] Coleman M E, Parrish R R. Constraints on Miocene high

- temperature deformation and anatexis within the greater Himalaya from U–Pb geochronology [abs.]:EOS (Transactions, American Geophysical Union), 1995, 76:708.
- [22] Brun J P, Driessche V D. Syn–shortening versus post–thickening extension in the lithosphere[A]. Abstract Volume of BRGM, 1993, 25.
- [23] Parrish R R, Hodges K V. Isotopic constraints on the age and provenance of the Lesser and Greater Himalayan sequences, Nepalese Himalaya[J]. GSA Bulletin, 1996, 108(7):904–911.
- [24] Pecher A. The contact between the higher Himalaya crystallines and the Tibetan sedimentary series:Miocene large–scale dextral shearing[J]. Tectonics, 1991, 10:587–598.
- [25] Guillot S, Hodges K V, Le Fort P, et al. New constraints on the age of the Manaslu leucogranite:Evidence for episodic tectonic denudation in the central Himalayas[J]. Geology, 1994, 22:559–562.
- [26] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Activation of the Nyainqentanghla shear zone:Implications for uplift of the southern Tibetan plateau[J]. Tectonics, 1995, 14(3):658–676.
- [27] Carosi R B L, Molli G, Musumeci C I, et al. The south Tibetan detachment system in the Rongbuk valley, Everest region; deformation features and geological implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1998, 16:89–100.
- [28] Steck A, Epard J L, Vannay J C, et al. Geological transect across the Tso morari and Spiti areas: The nappe structures of the Tethys Himalaya[J]. Ecogae Geologicae Helvetiae, 1998, 91:103–121.
- [29] Little T A. Transpressive ductile flow and oblique ramping of lower crust in a two–sided orogen:Insight from quartz grain–shape fabrics near the Alpine fault, New Zealand[J]. Tectonics, 2004, 23, TC2013:1–24.
- [30] 许志琴, 张泽明, 刘福来, 等. 苏鲁高压—超高压变质带的折返构造及折返机制[J]. 地质学报, 2003, 77(4):433–450.
- Xu Zhiqin, Zhang Zeming, Liu Fulai, et al. Exhumation structure and mechanism of the Sulu ultrahigh–pressure metamorphic belt, central China [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(4):433–450 (in Chinese with English abstract).
- [31] Fossen H, Tikoff B. Extension models of transpression and transtension, and application to tectonic setting [J]. Geological Society, 1998, 135:15–33.

East–west–trending ductile detachment in the Burang area, Greater Himalaya, and its tectonic significance

QI Xue–xiang, XU Zhi–qin, SHI Ren–deng, CHEN Fang–yuan

(Key Laboratory for Continental Dynamic, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: All the rocks in the east–west planar ductile detachment zone in the Burang area in the western part of the Greater Himalaya terrane have suffered from plastic deformation to different degrees and mylonitization. The foliation of the mylonites dips gently to the east and the stretching lineation plunges to the east at 5° – 18° . Asymmetrical rotational strain structure indicates that the ductile detachment had the nature of east–directed movement in the early stage and the features of west–directed brittle–ductile deformation. Electron backscatter diffraction (EBSD) fabric analysis shows that the preferred orientation of deformed quartz in mylonites has two slip systems; the east–directed high–temperature prism $\{10\bar{1}0\}$ <a> and intermediate–temperature rhomb glide $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ <a> system and the west–directed intermediate–temperature rhomb glide $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ <a> and low–temperature basal glide $\{0001\}$ <a> system. This, combined with the characteristics of the asymmetric rotational structure prevalent in mylonites, suggests that the east–directed ductile detachment in the early stage formed in an intermediate– to high–temperature environment and that the west–directed brittle–ductile in the late stage formed in an intermediate– to low–temperature environment. Zircon SHRIMP U–Pb dating shows that the protolith of the metamorphic basement in the Burang area of the Greater Himalaya terrane formed at 1863 Ma. The isotopic dating of mylonitic granite and undeformed leucogranite show that the east–west–trending Burang planar ductile detachment took place in the early Miocene, which coincides with the ages of the MCT and STDS on the northern sides of the Greater Himalaya terrane. When the compressional stress produced by northward subduction of the Indian plate acted on the arcuate Himalayan orogenic belt, it was resolved into two components, one being orogen–parallel and the other orogen–perpendicular. The former caused plastic flow of the material of the middle and lower crustal below the orogenic belt, thus forming the Burang planar ductile detachment zone, while the latter resulted in the formation of the MCT and STDS. They are different tectonic styles formed in the same tectonic stress field and same tectonic event. The detachment zone is the product of large–scale north–south shortening and uplift and eastward escape of a part of material.

Key words: Greater Himalaya; Burang area; planar ductile detachment; quartz fabric

About the first author: QI Xue–xiang, male, born in 1963, Ph.D and senior researcher, his main research interests are metamorphism and deformation tectonics; E–mail: qixuexiang@ccsd.cn.