

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2020.09002

于远山,张斌辉,陈敏华,王宏,牛浩斌,董其升,任希杰,曹聪,2022. 滇西勐海西定地区南段组褶皱叠层构造及其研究意义. 沉积与特提斯地质, 42(4):626-641. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2020.09002

YU Y S, ZHANG B H, CHEN M H, WANG H, NIU H B, DONG Q S, REN X J, CAO C, 2022. Folding Layers of the Nanduan Formation in the Xiding area, Menghai, Western Yunnan. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(4):626-641. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2020.09002

滇西勐海西定地区南段组褶皱叠层构造及其研究意义

于远山¹, 张斌辉¹, 陈敏华¹, 王宏¹, 牛浩斌¹, 董其升², 任希杰², 曹 聪²

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 四川省地质矿产勘查开发局攀西地质大队, 四川 西昌 615000)

摘要:滇西勐海西定地区,在大地构造上位于西南“三江”造山带南段昌宁—孟连结合带东侧的双江—澜沧俯冲增生杂岩带内。该区分布有一套晚古生代的浅变质碎屑岩系——南段组(DCn)。该套地层既显示层型面状构造型式,又发育有顺层片理、顺层掩卧褶皱、粘滞型石香肠及顺层韧性剪切带等构造形迹,具明显的分层剪切变形、横向构造置换和顺层固态流变特点,构成较典型的褶皱叠层构造。本文对其构造变形特征进行了系统分析与总结,结合区域构造背景研究成果认为,南段组褶皱叠层构造总体形成于昌宁—孟连古特提斯洋闭合后同碰撞造山收缩挤压背景下的伸展剪切机制。同时指出,南段组是经过构造改造重建而形成的构造地层单元,应称其为南段岩组;现今露头剖面所见南段岩组岩性组合及厚度只代表改造后构造地层的岩性组合特征及褶皱层的露头厚度,不能完全代表南段组原沉积地层的韵律组合及沉积地层厚度;应按构造地层单位进行划分、填图和研究。褶皱层构造作为浅变质岩区一种普遍的构造型式,是对岩石变形组合特征的客观认识,其构造型式、形成机制、形成层次以及形成时间的研究对分析造山带构造演化过程和深化大陆动力学机制的认识具有科学意义。

关键词:勐海西定地区;南段组;褶皱层构造;分层剪切变形;横向构造置换

中图分类号:P542+.2

文献标识码:A

Folding Layers of Nanduan Formation, Xiding, Menghai, Western Yunnan

YU Yuanshan¹, ZHANG Binhui¹, CHEN Minhua¹, WANG Hong¹, NIU Haobin¹,
DONG Qisheng², REN Xijie², CAO Cong²

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China; 2. Panxi Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Sichuan Province, Xichang 615000, China)

Abstract: The Upper Paleozoic Nanduan Formation, a set of epimetamorphic clastic rocks, occurs in the accretionary complex of the Shuangjiang-Lancang subduction belt in Xiding area of Menghai, western Yunnan. Previously, the Nanduan Formation is thought to be a suite of normal stratigraphic sequences. In this paper, based on detailed geological investigation and research, it is believed that the Nanduan Formation is actually a tectonic-stratigraphic unit which is composed of folding layers. A lot of typical structures of folding layers, such as bedding schistosity, recumbent folds, viscous sausages and bedding ductile shear zones, have been identified in the Nanduan Formation. The folding layer structures in Nanduan Formation are with obvious characteristics such as stratified shear deformation, transverse structural replacement, and solid-state rheology. Considering regional tectonic background, it is suggested that the folding layer structures of the Nanduan Formation are formed by the

收稿日期:2020-05-18; 改回日期:2020-09-23 责任编辑:郭秀梅

作者简介:于远山(1966—),男,高级工程师,主要从事区域地质矿产调查研究工作。E-mail:yys008@126.com

资助项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20190053)

extensional shear mechanism under the background of orogenic collisional contraction and compression after the closure of Changning-Menglian Paleo Tethys Ocean. At the same time, it is pointed out that the Nanduan Formation is a structural stratigraphic unit formed by structural reconstruction and reconstruction, and it should be called the Nanduan Rock Formation. The lithologic assemblage and thickness of the Nanduan Formation seen in present outcrops can only represent the reconstructed lithologic assemblage and thickness of folding layers, which are not the rhythmic assemblage of the original sedimentary strata and the thickness of the sedimentary strata. The Nanduan Formation should be divided, mapped and studied according to structural stratigraphic units.

Key words: Xiding area of Menghai; Nanduan Formation; folding layer structure; stratified shear deformation; transverse tectonic replacement.

0 引言

褶皱层(folding layer)最初是由中国学者(单文琅等,1984)在研究北京西山浅变质盖层构造时提出的一个概念。其涵义是指:在地壳较深构造层次中,在伸展构造体制的水平分层剪切流变机制下,原生成层岩系发生变形—变质作用而形成的一套基本上能按时代新老划分的大套层序,但在本质上,它又是经过构造重建的、发育有以顺层韧性剪切带和顺层掩卧褶皱为主体的固态流变构造群落,并经历强烈递进变形,由新生的平行面状构造横向置换原生层理(或先期面理)而形成的崭新的构造地层单元(单文琅等,1984,1991b;傅昭仁和单文琅,1990;傅昭仁和蔡学林,1996)。这一概念提出后,引起了国内变质岩区构造研究者的关注,先后在多地变质岩区发现有褶皱层构造,并分别对其形态特征、构造变形样式或变形机制等方面进行了不同程度的研究(单文琅和傅昭仁,1987;宋鸿林和单文琅,1987;傅昭仁和单文琅,1989,1990;宋鸿林等,1989,1992;单文琅等,1991a;孙爱群等,1995;唐智等,1995;汤加富等,1995;王根厚等,1996,1997;傅昭仁等,1997;梁斌,1998;方维萱等,2001;王果胜等,2004),极大地丰富了人们对变质岩构造变形特点、变形方式及形成机理的认知。

研究表明,褶皱层是浅变质岩区一种常见构造型式,在层状变质岩区存在普遍性(宋鸿林等,1989;傅昭仁和单文琅,1990;傅昭仁等,1997)。虽然之前,对褶皱层构造的形成机制尚存伸展体制(宋鸿林和单文琅,1987;宋鸿林等,1989,1992;单文琅等,1991a;傅昭仁和蔡学林,1996;梁斌,1998;方维萱等,2001;王果胜等,2004)与伸展和挤压构造体制均可形成(孙爱群等,1995)的不同看法;但作为一种对岩石变形特征的客观认识,褶皱层构造对

正确理解中浅变质岩系的构造变形型式,恢复构造应力场和区域变形环境(孙爱群等,1995),探讨古构造的演化模式均有重要的实践和理论意义(单文琅等,1984)。同时,人们发现变质岩构造是探讨下部地壳变形行为的一个极重要窗口,研究变质岩构造是恢复早期地壳动力学演化过程的主要途径之一(凌贤长,1995)。

滇西勐海西定地区,地处西南“三江”特提斯造山带的南段。该区分布有一套晚古生代的浅变质岩系——南段组(DC_n)(图1)。该套地层岩性较单调,主要由一套浅灰、灰白色厚层块状、中薄层状或透镜体状不等粒片理化变质石英砂岩或石英片岩、绢云石英千枚岩、绢云母片岩或绢云母千枚岩等层状变质岩石组成。2019年,笔者在该区1:5万区调工作中,发现该套地层既有层型面状构造型式,又发育有顺层片理、顺层掩卧褶皱、粘滞型石香肠及顺层韧性剪切带等特征,其“层状”构造实际上是经过构造改造而成的缓倾构造面理;其间强应变带和弱应变域岩石相间排列,显示明显的分层剪切变形、横向构造置换和顺层固态流变特点,构成较典型的褶皱层构造。本文对勐海西定地区南段组褶皱层构造变形特征进行分析研究,并探讨其形成机制及在变质岩区地质填图和区域构造研究工作中的意义。

1 区域地质背景

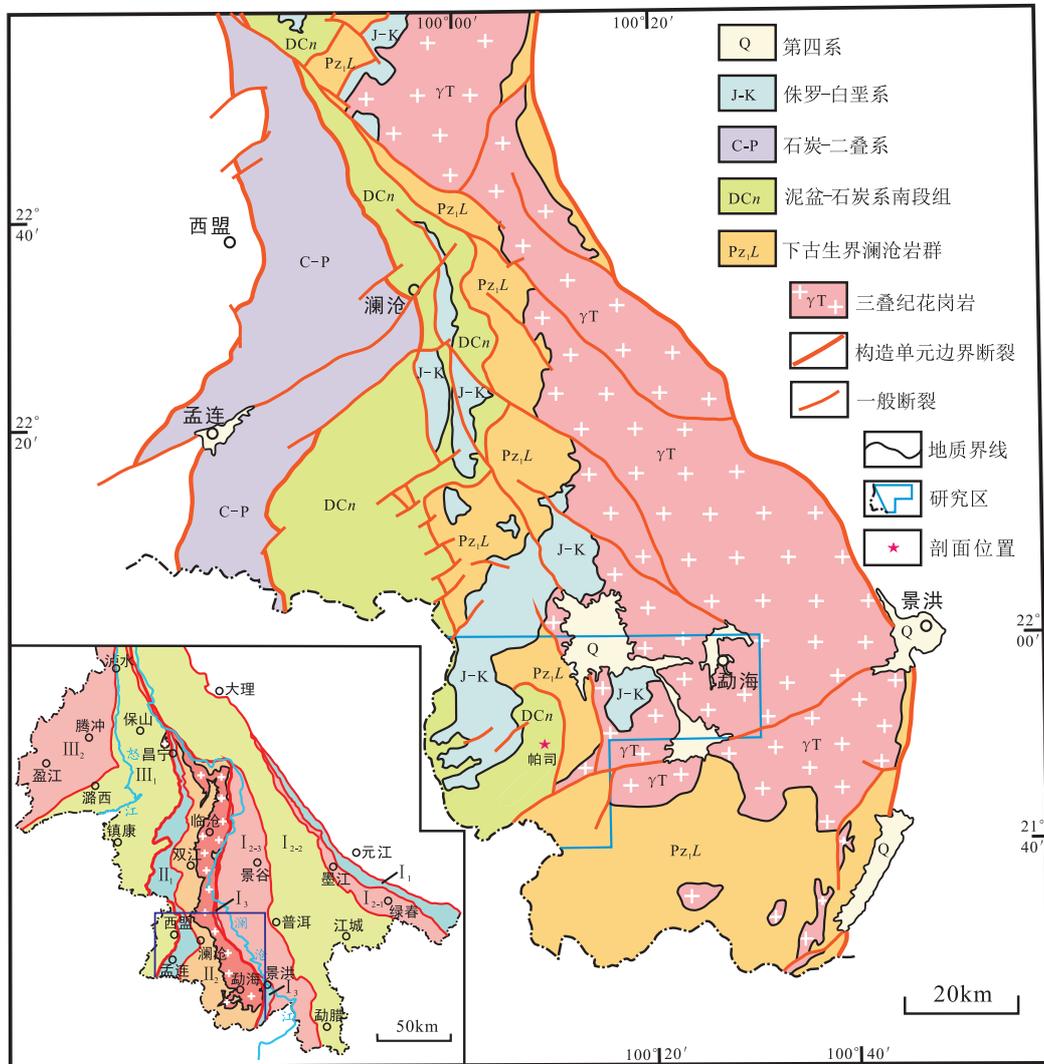
研究区在大地构造上位于西南“三江”造山带南段昌宁—孟连结合带东侧的双江—澜沧俯冲增生杂岩带内(王保弟等,2018),其东邻俯冲增生杂岩系主体的澜沧岩群变质岩,西接昌宁—孟连结合带(图1)。

区域构造研究认为,昌宁—孟连原—古特提斯经历了早古生代原特提斯大洋扩张、早古生代中晚

期—晚古生代特提斯洋俯冲消减、晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚、晚三叠世晚碰撞造山等阶段的演化过程(王保弟等,2018)。期间,原特提斯洋东向俯冲消减先后形成早古生代构造增生杂岩——“澜沧岩群”及晚奥陶世—志留纪岩浆弧等物质记录;泥盆纪—晚二叠世古特提斯洋盆扩张与俯冲消减并存,先后出现大陆斜坡→大陆隆→深海盆地及洋盆—洋岛—海山等构造—古地理格局;早中生代的碰撞造山铸就了区域构造格架和主体构造型式。

本文所指南段组,1:20万勐海幅区调曾称其为南坑河组^①,1:25万澜沧县、勐海县幅区调改称南段组^②;本文沿用后者。研究区内,南段组岩性主要为

不等粒变石英砂岩、条纹状或条带状含绢云白云石英片岩、绢云石英片岩、绢云母片岩或千枚岩与绢云石英千枚岩、变泥质粉砂岩或泥质板岩等变质碎屑岩;其与下伏澜沧岩群变质片岩系呈不同性质断层构造接触;其上被侏罗—白垩系陆相红盆未变质沉积地层不整合所覆,局部为断层接触。区域上,南段组之上零星整合有二叠系拉巴组(P_l)碎屑岩,并一同不整合伏于侏罗—白垩系地层之下。南段组(DC_n)变质原岩被认为大致构成粗细相间的韵律层序,具有被动大陆边缘浊流沉积的某些特征;其形成时代据化石及微体古生物等分析属泥盆—石炭纪,沉积物源来自东侧的“临沧外来地体”^{②③}。



I—羌塘—三江造山系; I₁—哀牢山结合带; I₂—兰坪—思茅地块; I_{2,1}—墨江—绿春陆缘弧; I_{2,2}—兰坪—思茅地块; I_{2,3}—竹卡—景谷岩浆弧; I₃—澜沧江结合带; II—昌宁—孟连对接带; II₁—昌宁—孟连结合带; II₂—双江—澜沧俯冲增生杂岩带; III—冈底斯—腾冲造山系; III₁—保山—镇康地块; III₂—冈底斯—腾冲岩浆弧

图1 滇西澜沧—勐海一带区域地质简图(据云南省地质调查院,2013;王保弟等,2018 修改)

Fig.1 Geologic sketch map of Lancang-Menghai area, Western Yunnan

区内调研显示,南段组主要经历了三期明显的构造变形。第一期构造变形产生区域变质,形成南段组浅变质岩系主体及大量石英、白云母、绢云母、少量绿泥石等变质矿物,以及同构造分泌石英脉,同时形成区域片理—— S_1 面理;区域 S_1 面理密集发育,改造置换早期面理——原生 S_0 面及其褶皱,使其原有褶皱构造完全破坏,并难以恢复,仅从局部残存 S_0 及零星露头 $S_1//S_0$ 的产态看,早期褶皱似为轴面近直立或向东陡倾的近南北向纵弯复式褶曲,由近东西向挤压形成;结合区域地质背景, S_1 应属主碰撞(王保弟等,2018)挤压阶段,改造原生 S_0 面及其地层褶皱,发生纵向构造置换,形成透入性密集分布的挤压片理,它总体是原 S_0 褶皱的轴面劈理。第二期构造变形,主要发生近水平顺层剪切及横向构造置换,使原纵向陡立 S_1 区域片理及分泌石英脉横向褶曲,形成大量顺层掩卧褶皱及不连续剪切面理 S_2 (间隔型轴面劈理)、褶皱变形石英脉等,并产生千糜岩化、多晶石英集合体条带等动态重结晶作用。第三期构造变形相对较弱,使南段组层型面状浅变质岩系(与 S_2 剪切面理展布方向一致)与其上覆未变质侏罗—白垩系地层一同掀斜或褶断,产生纵弯宽缓波状褶曲及切层断层等;岩层产状及地层展布形态表明,应力来自四方,以近东西挤压为主,南北向挤压为次。第二期构造,改造了南段组浅变质岩系的原有产态,使其岩层及构造组合大致顺 S_2 面理方向展布,奠定了南段组现今的构造型式,应属该区主期变形构造(单文琅等,1991b;傅昭仁和蔡学林,1996),本文探讨的即是该期构造,有研究者称之为第二世代(D_2)变形构造(钟大赉等,1998)。

2 褶皱层构造变形特征

研究区南段组浅变质岩总体呈片理发育的缓倾似层状或波状褶曲形态,其总的构造变形特征是相对能干岩层变形较弱,而软弱岩层变形强;除局部因后期断裂等构造影响使片理及其褶曲产态发生改变而呈现集中复杂的多期褶曲构造外,大部分地段,不同变形习性或变形样式的片理化岩石分层产出(图2),其“层间”多见“顺层”片理强直韧性剪切面理、顺层掩卧褶皱、粘滞型石香肠、顺层构造透镜体及同构造分泌变形脉等褶皱层构造的基本要素,构成“顺层固态流变构造群落”(单文琅等,1984,1991b)。这套“顺层”产出的构造组合,独立

产于后期褶断构造的内部,其片理(轴面片理)产状一般较平缓,仅因受后期褶断构造变动影响而变陡或变位(图2)。

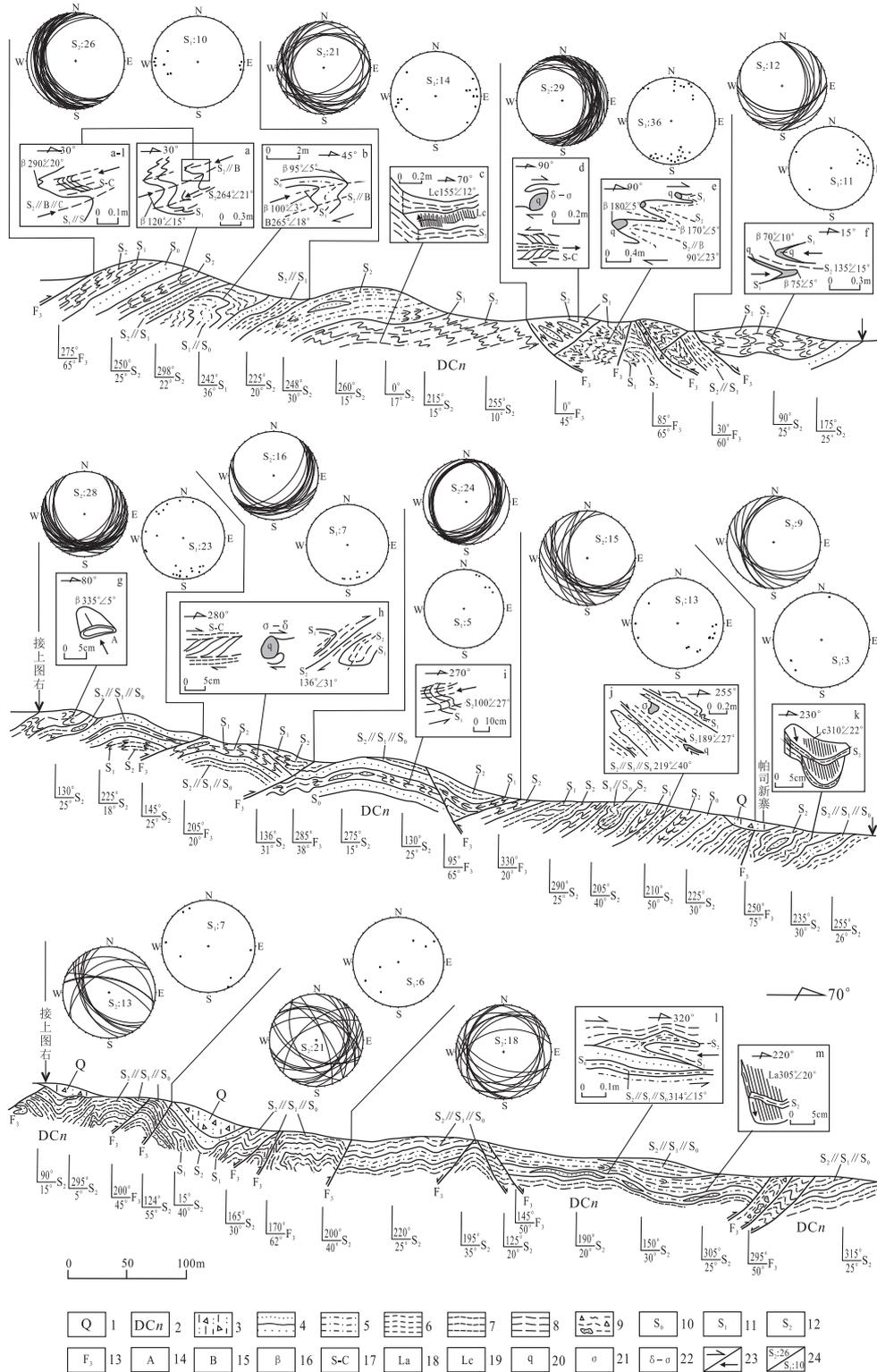
2.1 分层剪切变形及横向构造置换

露头中,南段组变质岩层时以能干岩层为主,夹少量薄的软弱片岩层(图3a);时则相对能干岩层与软弱岩层大致间互(图3b、c);时则以软弱岩层为主,不夹或夹少量不稳定能干岩层(图3d)。以能干岩石为主的浅变质岩层中,其能干岩层——变石英砂岩常呈厚层状、块状或厚度不一的似层状,保留了变余砂状结构或原生 S_0 面,不见或仅见弱的片理化,表现出较明显的稳定性,变形明显较弱;而夹于能干岩层之间薄的软弱层(绢云母片岩或千枚岩等),则构成顺层剪切构造片岩带或强片理化带(图3a),有时包绕被拉断的变石英砂岩透镜体,整体呈现顺层剪切滑动性质。

在相对能干岩层与软弱岩层大致间互(图3b、c)或以软弱岩层为主的变质岩层中(图3d),相对能干岩层一般为绢云石英千枚岩或含绢云白云石英片岩,软弱岩层则主要由绢云母片岩、绢云千枚岩、少量粉砂质或泥质板岩等变质细碎屑岩“互层”组成,不夹或夹少量相对能干岩层,其变形受相邻岩石能干性差异、岩层厚度、主岩性界面或所处构造部位的控制而具有不同的变形习性,分别呈不同岩性强直面理的片岩层、千枚岩层与含有片理小褶皱的弱变形岩层或“顺层”掩卧褶皱层相间排布,组成“分层”发育不同样式褶曲的流变构造层带;或者呈单调强直的片岩层与千枚岩层间互,组成主要发育平直或波状面理为主的构造片岩层带(图2)。

在镜下,南段组不同能干性岩石表现出较明显的变形差异,分别呈现出仅见早期片理(图4a)或强直剪切片理(图4b)、石英颗粒的压扁或拉长以及亚晶粒旋转动态重结晶作用形成的多晶集合体条带及透镜体(图4c)、早期片理褶曲(图4d)等不同变形特征。反映受岩性组分、粒度及变形分解等因素的影响,而具不同的变形强度(单文琅等,1991b;傅昭仁和蔡学林,1996),显微构造与野外宏观变形特点基本一致。

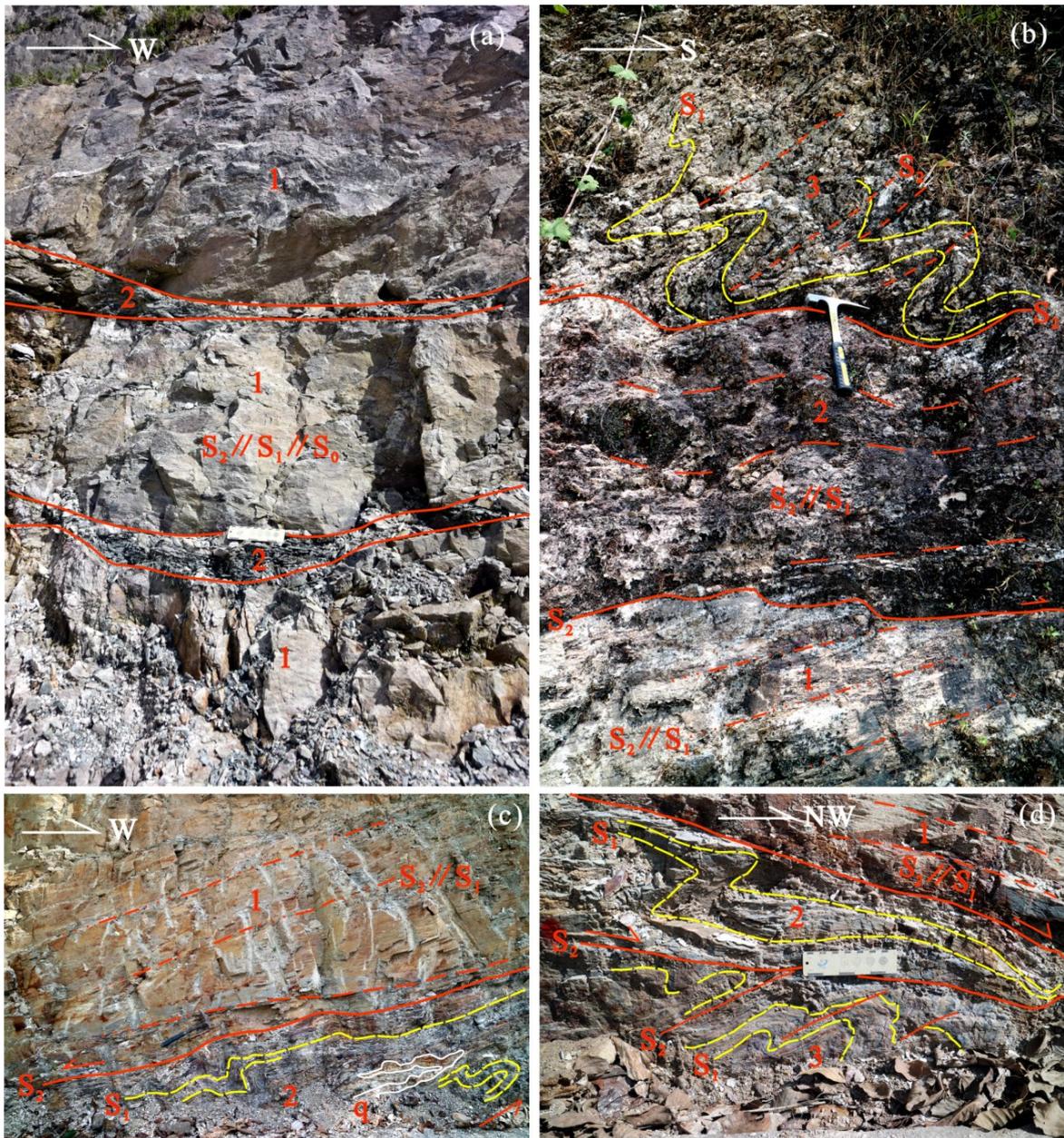
前已述及,南段组浅变质岩系总体呈片理发育的缓倾似层状或波状褶曲形态,显示出其构造群落(或组合)的主体要素主要呈横向顺层展布的“层型面状”构造型式。其中,厚大能干岩层夹薄软弱层基本反映了新生剪切面理平行于原生 S_0 面。新生剪



1—第四系;2—泥盆系—石炭系南段组;3—残坡积堆积;4—变质石英砂岩(弱片理化);5—绢云石英千枚岩;6—绢云千枚岩及泥质、粉砂质板岩;7—绢云母片岩;8—含绢白云石英片岩或绢云石英片岩;9—构造角砾及破碎变质岩;10—原生层理或变余层理;11—第一期构造面理;12—第二期构造面理;13—第三期断层构造;14—鞘褶皱;15— S_1 褶皱轴面(片理);16— S_1 褶皱枢纽;17—S-C组构;18—拉伸线理;19—擦痕线理;20—石英脉(或石英杆、旋转石香肠);21— σ 型旋转石香肠;22— δ - σ 型旋转石香肠;23—剪切指向/运动学方向;24— S_2 面理/ S_1 褶皱枢纽产状统计数及其极射赤平投影(下半球)

图2 研究区帕司新寨南段组路线地质-构造剖面图

Fig. 2 Geological structural profile of the Nandan Formation in the study area



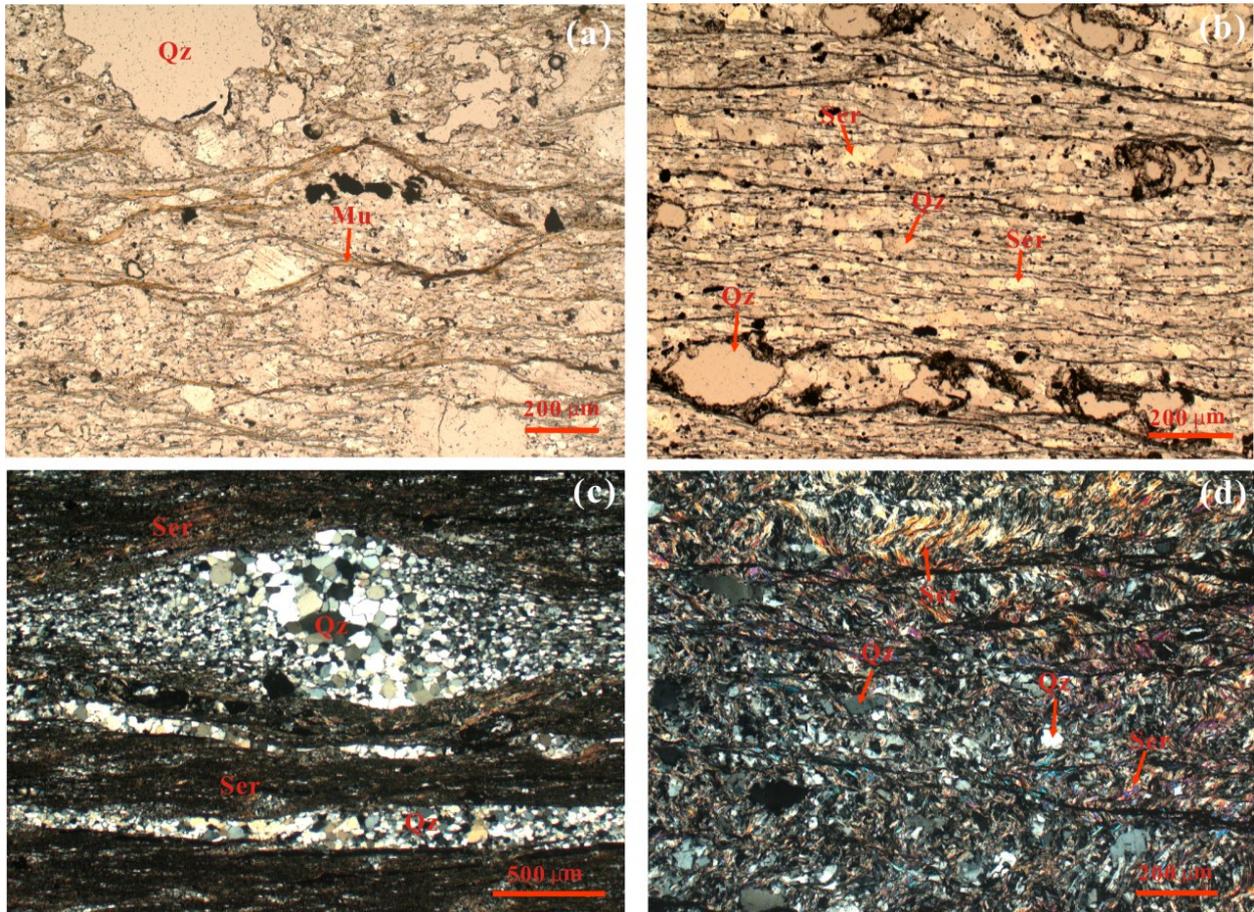
a. 弱片理化厚层石英砂岩(1)夹薄层绢云母片岩(2); b. 强直绢云石英千枚岩(1)与具波状褶曲(2)及斜卧褶曲的绢云石英片岩(3)间互;
c. 强直绢云石英千枚岩(1)与具片理褶曲变形的含绢云白云石英片岩(2)“分层”出现,q为石英脉;d. 强直绢云千枚岩(1)与片理呈Z型平卧褶曲的绢云石英千枚岩(2)及M型斜歪褶曲的含绢云白云石英片岩(3)“互层”产出

图3 南段组浅变质岩分层剪切变形

Fig.3 Slicing shear deformation in epimetamorphic rocks of the Nanduan Formation

切面理在能干岩层中表现为不同程度的片理化,而在软弱岩层中则为顺层剪切构造片岩带或强片理化带。在片理平直的单一岩性层内,难觅原生面理 S_0 ,仅见“顺层”片理;而在夹有相对能干岩层的软弱岩层内或能干性有所差异的互层岩系内,可见不同能干性岩层的横向褶曲变形,其以原生 S_0 面或早期(第一期, D_1)密集排布的透入性连续面理 S_1 ($S_1 // S_0$, S_1 可能为早期轴面片理;蔡学林和邓明森,

1985)为变形面形成规模不等的顺层掩卧褶皱,轴面为平缓延展的横向构造面理 S_2 (图5a)。 S_2 面理叠加于早期面理 S_1 之上,且多平行于 S_1 掩卧褶皱的翼部片理,而时难辨别;在发育早期(D_1)应变面理 S_1 的绢云石英片岩或含砂砾绢云白云石英片岩等相对能干岩层中,可见横向切穿 S_1 片理小褶曲的间隔型轴面片理(图5b,c),构成不连续面理 S_2 ,且在翼部形成S—C结构(其中 $S = S_1$, $C = S_2$),明显反映出



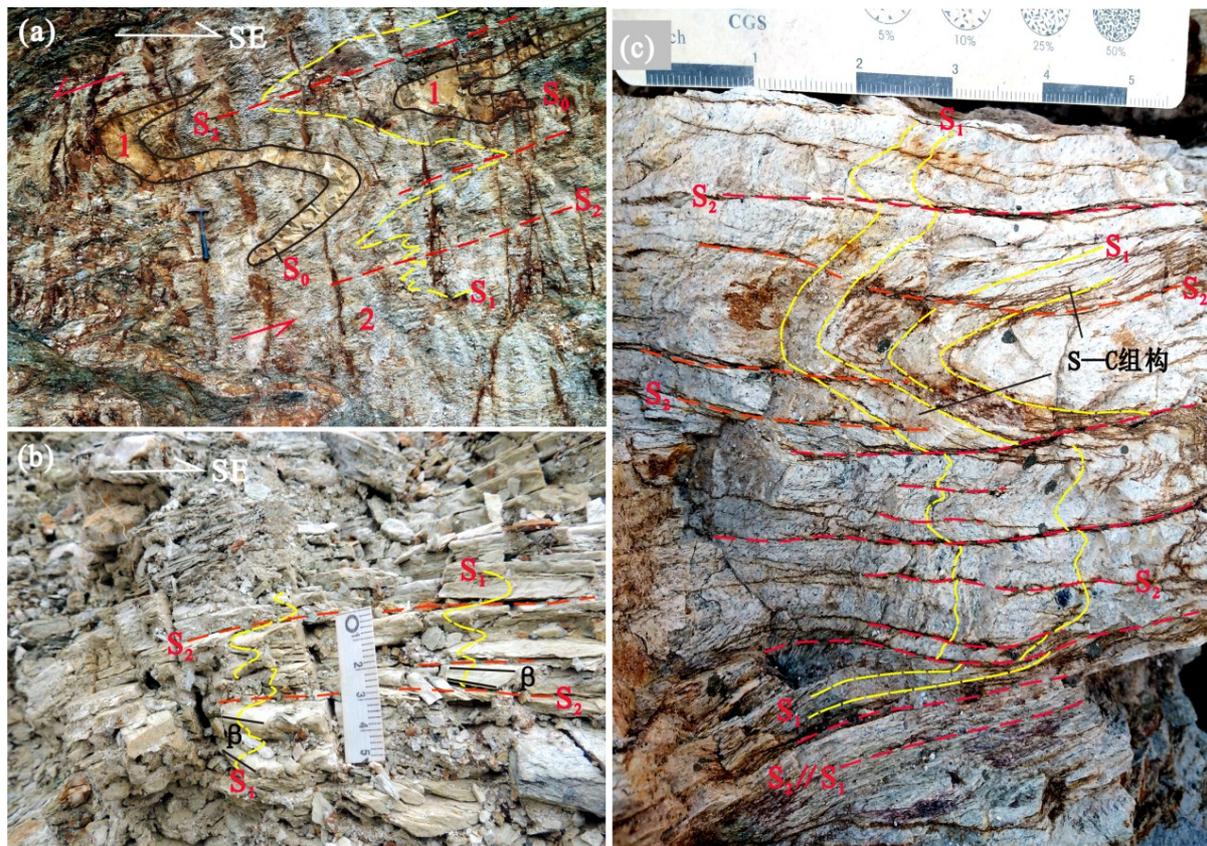
a. 能干性较强的变石英砂岩,石英颗粒大小不等,呈多种形状,主要见石英颗粒沿长轴定向,白云母呈纤维状、针状绕石英颗粒或其集合体定向排列,表现为不甚连续的片理(片理化),后期叠加改造迹象不明显;b. 能干性偏弱的绢云石英千枚岩,原有石英颗粒压扁或拉长,定向明显,顺层剪切改造产生强直透入性剪切面理条纹 S_2 ,剪切面理及局部较大的石英颗粒边缘充填暗色铁泥质物;c. 能干性较弱的绢云千枚岩,多晶石英集合体呈条带或透镜状(具同质细粒拖尾),与绢云母呈显微定向分层,而显示千糜岩化,反映形成于亚晶粒旋转动态重结晶机制,遭受了顺层剪切变形,其中石英颗粒的斜列排布可能代表了早期 S_1 面理的残余形迹;d. 能干性弱的变泥质粉砂岩,原填隙物(泥质)基本变为微鳞片状绢云母,细的石英颗粒在软的泥质“基质”中呈次棱角—次圆状,并构成定向片理 S_1 ,遭受后期剪切作用,形成暗色间隔劈理 S_2 ,切割原有 S_1 面理,并使之弯曲变形。Qz—石英、Mu—白云母、Ser—绢云母;a与b为单偏光,c与d为正交偏光

图4 不同能干性岩石的显微构造变形特征

Fig. 4 Microstructural deformation in metamorphic rocks of Nanduan Formation

S_2 面理的存在。现今露头中, S_2 面理主体横向展布,使整个浅变质岩层大致与之平行而顺其延展,表明 S_2 已成为控制南段组浅变质岩层总体产态及展布方向的主构造面理——新生顺层片理,其主体是 S_1 褶曲变形后的轴面片理——剪切片理 S_2 。观察整个南段组,软弱岩层仅在其发生与能干岩层协调一致的顺层掩卧褶皱或局部产生不协调流变褶皱时,才能判断出有新生 S_2 面理的存在,其是以早期 S_1 面理为变形面经顺层剪切及褶曲变形基础上形成的。在协调型顺层掩卧褶皱地段,新生 S_2 面理总体平行于 S_1 褶皱的轴面;表现为在以 S_1 为变形面的顺层掩卧褶皱的转折端处, S_2 面理与 S_1 大角度斜交—垂直,而其翼外的相邻褶皱层间部位, $S_2 // S_1$,横向片理密

集发育,构成的顺层剪切带(图5c)。局部半协调及不协调褶皱(傅昭仁和蔡学林,1996),虽然 S_1 褶曲产态及其轴面片理方向与 S_2 面理主方向有一定夹角,但褶曲仍限定在一定层段内,褶曲型式服从于顺层剪切变形的总体构造方向,显示属局部牵引流变(图3c,d),同样印证了 S_2 顺层剪切变形的存在。综上,区内南段组岩层总体构造面方向已由原生 S_0 面及早期片理 S_1 转变为新的顺层横向展布的新生剪切构造面理 S_2 方向,从而表现出经历了横向构造置换(傅昭仁和单文琅,1989)。客观上,南段组不同变形习性的岩石或岩性组合层以不同的厚度、规模或变形样式多级组合,构成强应变带与弱应变域岩石相间排列或顺“层”排布的特征(单文琅等,



a. 夹条带状变石英砂岩(1)残留体(S_0)的绢云石英千枚岩(2、 S_1)一起褶曲变形($S_1 // S_0$),形成轴面平行展布的横向构造面理 S_2 ; b. 具有早期应变面理(S_1)的绢云石英片岩遭受横向剪切变形,产生微小平卧褶曲及间隔面理 S_2 ; 相邻小褶皱枢纽(β)不完全一致,略有斜交; c. 具有 S_1 片理的含砂砾绢云白云石英片岩遭受横向剪切变形,产生小型平卧褶曲及间隔型轴面片理—新生剪切片理 S_2 ; 顺层掩卧褶皱的转折端处,间隔型轴面片理 S_2 与早期面理 S_1 大角度斜交—垂直,并在翼部形成 S—C 结构(其中 $S = S_1, C = S_2$); 褶皱层外的层间部位, $S_2 // S_1$, 横向片理密集发育,构成的顺层剪切带

图5 南段组浅变质岩横向构造置换

Fig. 5 Transverse structural replacements in epimetamorphic rocks of Nanduan Formation

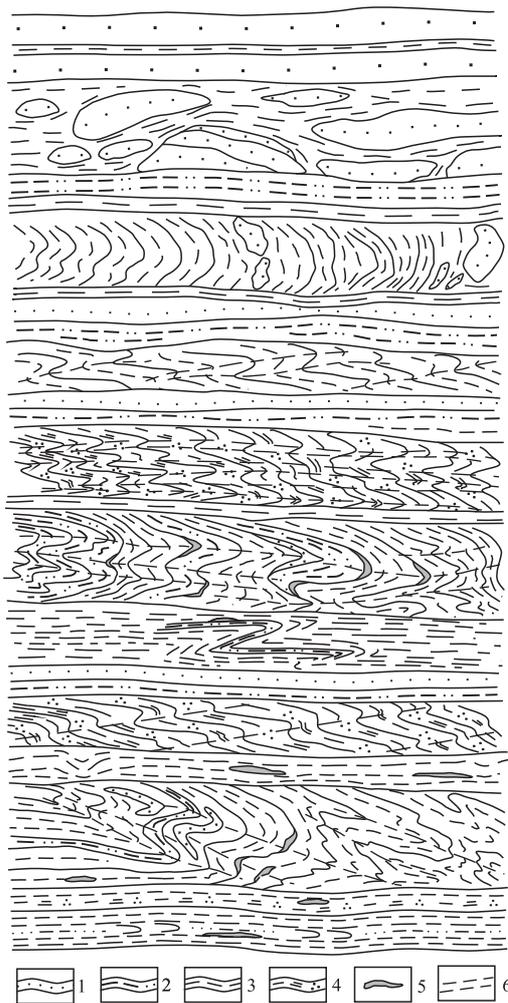
1991b; 傅昭仁和蔡学林, 1996; 宋鸿林等, 1992; 孙爱群等, 1995) (图6); 其现今的横向“层”型界面或顺“层”面理是经构造改造重建后叠加有新生构造面理 S_2 的“复合面理”(蔡学林和石绍清, 1981), 它是本区两期构造变形叠加改造后的产物; 其横向构造置换, 主要由第二期(D_2)构造变形——“顺层”剪切作用形成, 它被认为形成于水平分层剪切流变机制(单文琅和傅昭仁, 1987; 傅昭仁和蔡学林, 1996; 黄万夫, 1989)。

2.2 顺层掩卧褶皱

顺层掩卧褶皱主要发育于区内岩性成分差异不大、岩石韧性差较小的相对能干岩层或软弱岩层夹薄层能干岩层中。其以原生面理(S_0)或早期构造面理(S_1)为变形面而发生褶皱变形, 轴面及轴面劈理与上下能干岩层的层型界面及所赋软弱层的区域透入性剪切面理(S_2)产状基本一致, 缓倾或近

水平产出。顺层掩卧褶皱规模大小受所卷入褶皱岩层或岩系的厚度及其受限的顺层韧性剪切带的尺度的控制而相差悬殊, 但同一剪切层内的褶皱倒向近于一致, 多呈孤立平卧或随剪切方向而同斜的 Z、M、S、N 形(图 3b—d; 图 5a—c; 图 7a—e) 等等厚型或不对称褶皱。部分褶皱翼部被拉断而透镜化, 形成小尺度的片内无根褶皱或钩状褶皱(图 5a); 褶皱两翼近于平行或夹角很小, 长短一般不等, 转折端呈尖棱状—圆弧状, 顶部岩层加厚明显, 且偶伴褶皱石英脉(图 7a、b)、 δ - σ 型旋转石香肠(图 2d、h) 或石英杆(图 2e), 均反映了顺层剪切固态流变特征。

顺层掩卧褶皱的枢纽方向, 在不同的地段或“层位”中常不相同, 分别以近 E—W、NNE—SSW 和 NNW—SEE 向为主, NW—SE、NE—SW 向为次(图 2, 图 8a—c); 而在同一地段的露头层中又常见两组



1—变石英砂岩;2—绢云石英千枚岩;3—绢云母(石英)片岩;4—含绢云白云石英片岩;5—石英脉;6—轴面剪切片理

图6 南段组褶皱层构造模式图

Fig. 6 Structural model for folding layers in Nanduan Formation

不同方向枢纽的小褶皱分层并存的现象(上下两层小褶皱枢纽呈一定锐夹角,图 5b)。有时在同一露头中,见枢纽不同方向的小褶皱连续弯曲组成形态复杂的鞘褶皱(图 7e);并由此推断,在同一地段,枢纽方向不同的一些顺层掩卧小褶皱(尤其枢纽夹角较大的褶皱)可能分属某一复杂鞘褶皱(A型、舌状)不同层的侧翼(A型)、前缘(舌尖,B型)或者转弯部位(AB型)(图 9a)的局部构造;而不同地段,枢纽方向明显不同的顺层掩卧褶皱则可能反映了它们分处某大型顺层剪切复式鞘褶皱(A型、舌状)不同层的侧翼、前缘(舌尖)或者转弯部位(图 9b),指示本区南段组浅变质岩系的顺层剪切变形作用可能导致存在类似于造山带级别的复杂掩卧褶皱,褶皱层构造只是这一级别变形构造的露头片段。

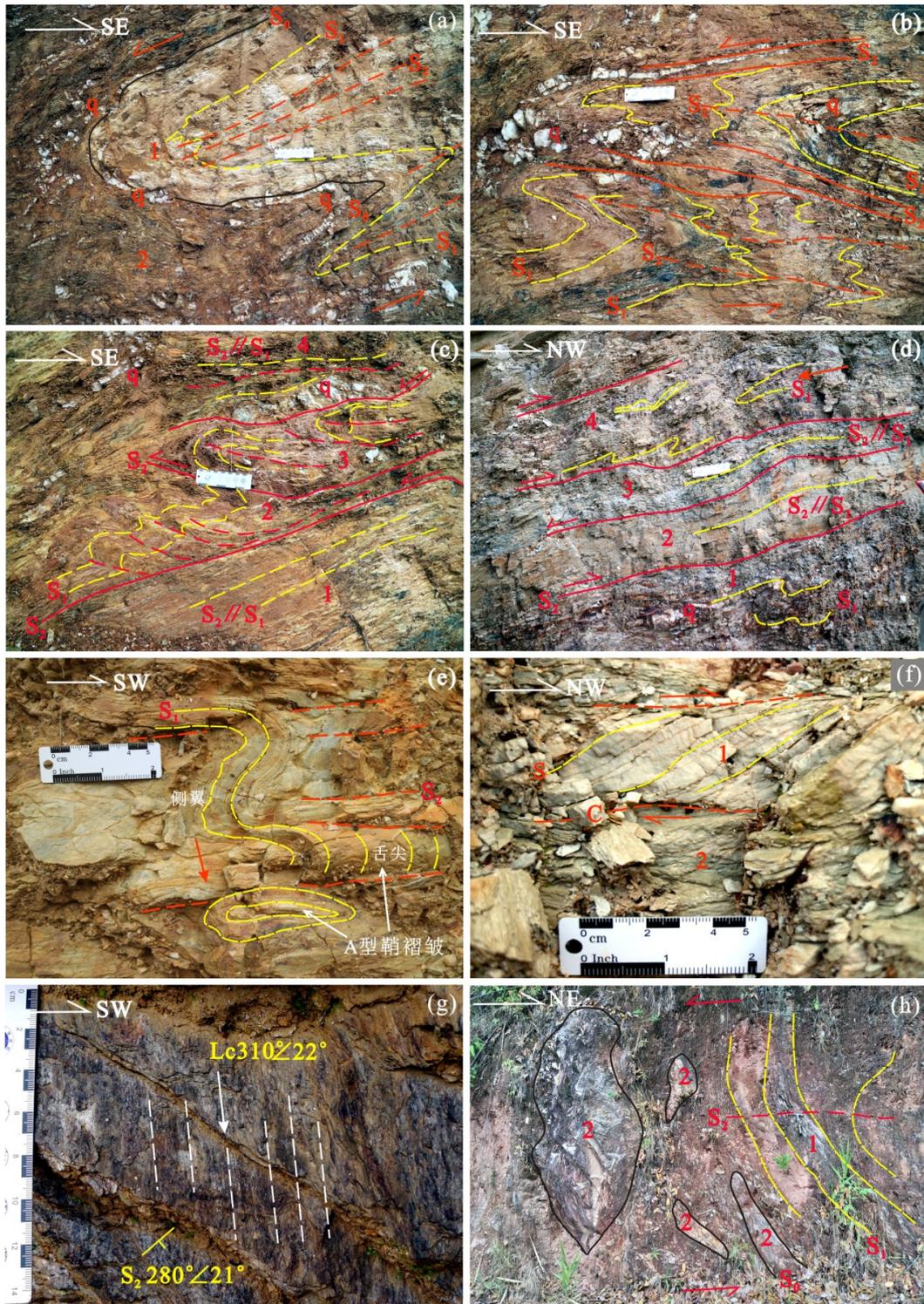
同一地段相邻层及不同地段 S_1 顺层掩卧(小)褶皱枢纽方向不同的现象可以用鞘褶皱形成演变过程或发展方式得到解释,即随着顺层剪切作用的进行,岩层产生由枢纽垂直于剪切方向的 B 型褶皱→枢纽斜交剪切方向的 AB 型褶皱→出现枢纽平行于剪切方向的 A 型(舌尖 B 型)褶皱演变(图 10a—d)。

2.3 顺层韧性剪切带

顺层韧性剪切带主要沿南段组内相对软弱的岩层或能干性有明显差异的岩性界面发育。在南段组厚大能干岩层间及以软弱岩层为主的岩性段内,分别呈现宽窄或厚度不一的顺层片理或顺层韧性剪切带。其多与顺层掩卧褶皱等紧密伴生,把不同性状的变形岩系分割开,构成了不同尺度的韧性剪切滑动界面或多级组合顺层韧性剪切带系统(傅昭仁和蔡学林,1996),并控制褶皱层内顺层掩卧褶皱的发育(图 7a—c)。

顺层剪切变形带的主要特征为发育各类构造片岩和新生剪切片理 S_2 ;其中构造片岩主要是对原有区域变质岩系的再造岩(凌贤长,1995)。在南段组中主要表现为对已有发育 S_1 面理变质片岩、千枚岩等的进一步改造,使原有 S_1 面理发生横向褶曲变形,或沿剪切方向发育新的条纹状、条带状强直或透镜状剪切面理,叠加动力变质而产生千糜岩化,出现动态重结晶作用、石英颗粒的压扁拉长及其与绢云母矿物的定向排列(图 4a—d)等变质变形现象,构成叠加新生剪切片理(S_2)的“复合面理”层带。宏观剪切带内时见石英分泌变形脉(图 7a—d)、紧闭无根小褶皱、 σ 型旋转石香肠、或相对能干岩石的构造透镜体(图 2j)等,受剪切的砂质绢云白云石英片岩中常见 S—C 结构(图 7f), S_2 面理上时见顺层擦痕线理和微晶矿物生长线理(图 7g)、拉伸线理(图 2m),局部透镜状强干变石英砂岩呈多米诺骨牌式构造,均显示顺层剪切的特点。

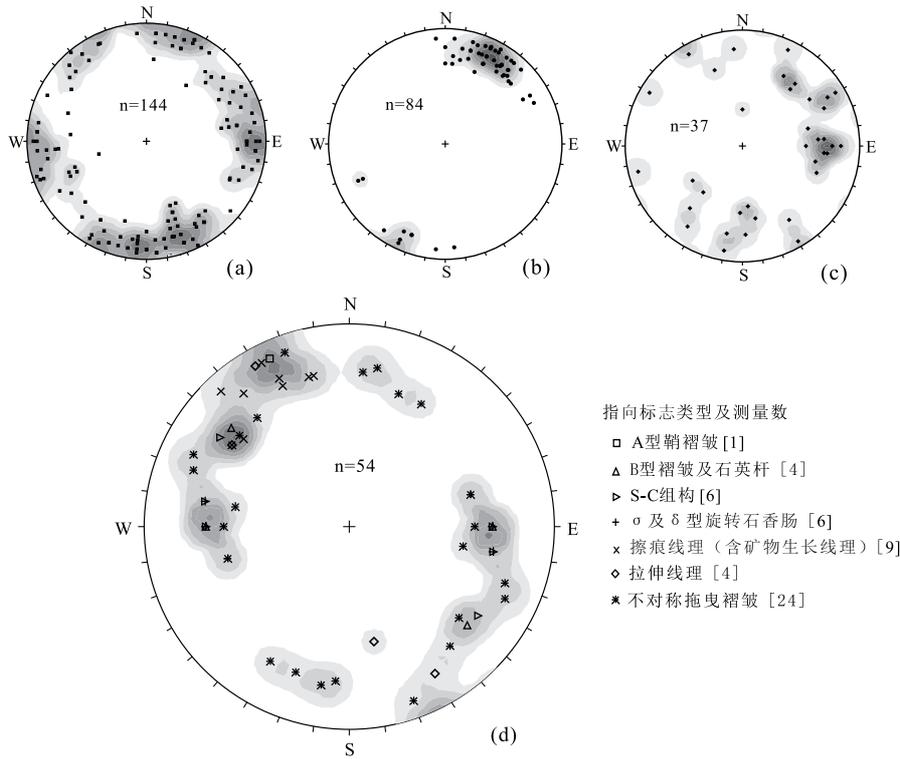
顺层剪切面理 S_2 主要为透入性的不连续面理或间隔型面理,与岩层中广泛密布的第一世代区域性连续面理 S_1 相比较,其发育程度或变形强度相对较弱,反映了二者形成时变形环境的差异。空间上, S_2 面理产状多变,不同地段常不一致,总体呈波状起伏的弧型面状形态,倾向以西倾(SW~NW 倾向)为主,东倾(SE~NE 倾向)为次,倾角一般较缓,多在 $10^\circ \sim 35^\circ$ 之间,仅局部受后期褶断构造影响变陡达 $40^\circ \sim 50^\circ$ 、甚至 $55^\circ \sim 60^\circ \pm$,总体走向为 NEE—



a. 产于软弱岩系(2)中的绢云石英千枚岩(1)之顺层掩卧褶皱($S_1 // S_0$),轴面平行于主构造面理 S_2 ,转折端伴有褶皱石英脉(q); b. 产于顺层掩卧褶皱(S_1)间的小规模韧性剪切带或构造片岩带(S_2),掩卧褶皱轴面平行于 S_2 ,转折端伴有顶厚褶皱石英脉(q); c. 由不同尺度剪切滑动界面分割控制的韧性剪切—褶叠层系统(1-4),1,4层为近平直的顺层韧性剪切带($S_2 // S_1$),2,3层为顺层掩卧褶皱(S_1)变形带,轴面为 S_2 ,局部伴有石香肠化透镜状石英脉(q); d. 由剪切滑动界面分割控制的不同性状变形岩系组成的韧性剪切带系统(1-4),1,4层伴有顺层掩卧褶皱(S_1),轴面为 S_2 ,2,3层为近平直的顺层韧性剪切带($S_2 // S_1$); e. 鞘褶皱; f. S—C 结构; g. 擦痕线理(Lc),表面伴矿物生长线理; h. 产于片岩系(1)中的变长英质砂岩透镜体(2),顺 S_1 片理展布($S_1 // S_0$),并随之一起褶曲变形,轴面为 S_2

图7 南段组浅变质岩褶叠层构造形迹

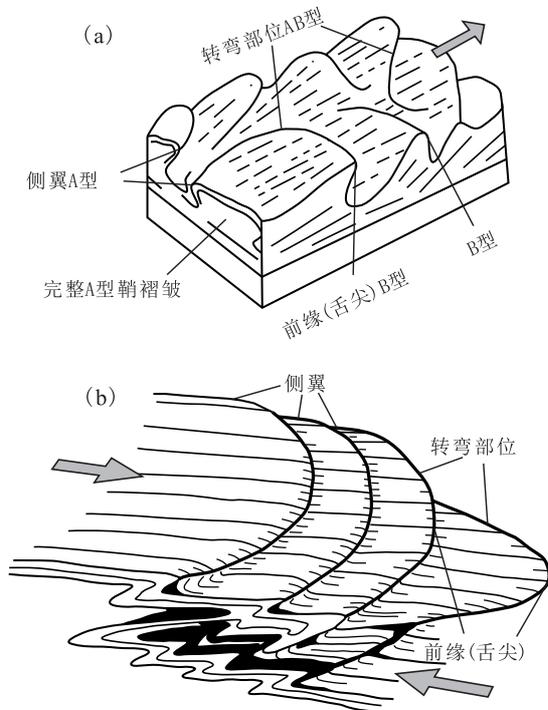
Fig. 7 Structural styles in folding layers of epimetamorphic rocks of Nanduan Formation



a. 帕司新寨剖面; b. 帕司老寨; c. 帕司外围路线; d. 帕司地区 S₂ 剪切指向判别

图 8 南段组内 S₁ 顺层掩卧褶皱枢纽 (a-c) 及 S₂ 剪切指向 (d) 极射赤平投影 (下半球) 极点分布图

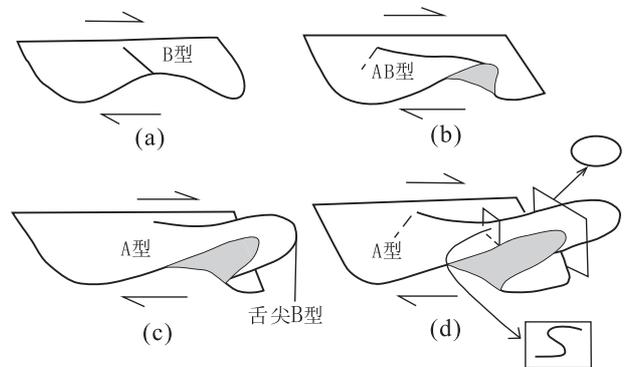
Fig. 8 Polar stereographic projection showing distribution of S₁ bedding fold hinge and shear direction of Nanduan Formation



(a) B型褶皱和逐渐发育中的鞘褶皱(据 M. 马托埃, 1980; 刘志宏等, 2011 略改); (b) 大型复杂复式鞘褶皱(据单文琅等, 1991b)

图 9 鞘褶皱模型图

Fig. 9 Sheath fold model



(a) — (d) 代表鞘褶皱形成的不同阶段; (d) 图中方框显示出鞘褶皱不同截面的形态

图 10 鞘褶皱形成演化模式图(据刘志宏等, 2011 略改)

Fig. 10 Pattern of formation and evolution of sheath folds

SWW 至 NNE - SSW 向, 与南段组地层的实际展布方向基本一致。

顺层韧性剪切带内发育的各种指向标志(S-C 组构、旋转石香肠、擦痕线理、矿物生长线理、拉伸线理、含石英杆的 B 型褶皱及不对称拖曳褶皱等, 图 2a—k) 显示同一地段分层剪切的运动方向多较一致, 但不同地段或不同层位中剪切运动方向有时

明显不同。从帕司地区的调研来看,不同地段或剪切层位中各种剪切标志所指示的运动学方向包含了多种剪切方向,但主要表现为SE→NW向(120° — 160° ~ 300° — 340°)顺层剪切,部分层段呈近E→W方向(75° — 110° ~ 255° — 280°)为主的顺层剪切,个别层段则呈NEE→SSW(5° — 30° ~ 185° — 210°)向或SSE→NWW(168° ~ 348°)向顺层剪切(图8d)。值得指出的是,指向标志中的擦痕线理(图2c、k)与拉伸线理(图2m);前者呈细密划痕,有时伴有暗色鳞片状云母矿物或浅色石英颗粒定向排列构成的矿物生长线理(图7g),后者呈压扁而细密拉长的石英薄层或条带,其上同样分布密集划痕;它们附着在 S_2 面理或其层间,产状随 S_2 面理起伏,有时与 S_2 面理局部产状一致,但多数与 S_1 面理产状不同。这些线理倾伏向集中于 130° — 155° ~ 310° — 335° 之间,倾伏角 5° ~ 22° ,多较平缓,显示出较为一致的SE→NW向顺层剪切运动学特征,并与露头中仅发现的一处较完整鞘褶皱(图2g)所指示的剪切方向(155° — 335°)基本一致(图8d),可能表明这一方向的剪切应力较其他方向强所致,反映该方向近于一致的线理及鞘褶皱应属主剪切运动学标志,其所指示的剪切运动方向,即SE→NW向顺层剪切,可能代表本区 S_2 顺层剪切变形的主应力方向。同时,调查发现,尽管 S_2 面理产状似弧面波状,不时起伏变化,或因后期(第三期)褶断构造影响使其局部产态变位,但多数地段或一段相对稳定的露头中所见各种运动学标志均指示南段组内 S_2 顺层剪切运动主体表现为上层相对于下层作正向剪切运动(图11),仅局部具逆向剪切的特点,反映本区南段组顺层韧性剪切带总体性质属正断型而非逆冲型(单文琅等,1991b),而主应力方向为SE→NW向的正断剪切性质与南段组浅变质岩层的总体展布方向近于垂直—斜交。

2.4 粘滞性石香肠和构造透镜体

粘滞性石香肠及构造透镜体主要由能干性较强的弱片理化变石英砂岩构成。它们因原岩层厚度不同或受变形强度不一而大小不等、形态各异,计有矩形、菱形、藕节形或透镜体型等。透镜体长轴方向多沿早期片理(S_1)展布,并随 S_1 片理一起褶曲变形(图7h)。在透镜体长轴方向顺主体剪切片理(S_2 // S_1)排列的软弱片岩中,透镜体局部受韧性剪切作用而石香肠化,其块段首尾基本相连,并发育细颈化现象(图6)。波状弯曲的肿缩状石香肠构

造或构造透镜体可能显示经高压塑性固态流变而成。与顺层掩卧褶皱紧密伴生的粘滞性石香肠构造或构造透镜体表现为纵向上分层发育的特点,同样反映了不均匀分层剪切流变的性质。

2.5 同构造分泌脉

同构造分泌结晶脉是伴随构造变形,原岩组分发生分解、迁移和重新聚集而形成新的矿物集合体;其矿物成分受围岩岩性的控制,一般在碳酸盐岩中为方解石脉,在硅质岩中为石英脉(单文琅等,1991b)。南段组浅变质岩中的同构造分泌结晶脉主要是石英脉,宽一般 $1\sim 20\text{cm}\pm$,长一般 $50\sim 300\text{cm}\pm$ 。其一般多沿岩层的早期片理(S_1)或不同岩性的分界面分布,多呈长条带状、团块状、透镜状等,并随围岩一起变形而石香肠化或呈旋转石香肠(图2d、h、j);有的随围岩 S_1 片理一起卷入顺层掩卧褶皱系而呈同构造分泌褶皱变形脉(图7a—b),并在转折端处加厚变大,有时发展成“石英杆”状构造(图2e),反映区内大部分石英脉在 S_1 片理形成时即已产生,而在第二世代(D_2)构造变形中形成不同形态,同时伴有进一步分泌重结晶。另外,沿 S_2 剪切面理和较平直岩层分界面发育和展布有一些细小分泌石英脉,呈细条纹或条带状,个别长条形石英脉随 S_2 剪切面理一起直接贯穿 S_1 片理褶皱的转折端,显示为与 S_2 剪切面理同期形成的同构造分泌脉;但这期脉总体数量较少,规模也相对较小,一般宽约 $0.5\sim 5\text{cm}\pm$,长约 $20\sim 100\text{cm}\pm$ 。

3 形成机制讨论

褶皱层构造一开始主要被认为是形成于地壳较深构造层次中,是地壳伸展构造体制下,发生水平分层剪切流变和横向构造置换作用的产物(单文琅等,1984,1991a,1991b;单文琅和傅昭仁,1987;宋鸿林和单文琅,1987;傅昭仁和单文琅,1989,1990;宋鸿林等,1989,1992;傅昭仁和蔡学林,1996);是大陆伸展构造系统中,位于韧性中间层的沉积盖层,受伸展作用而变形的的基本构造型式(宋鸿林等,1989;傅昭仁和单文琅,1990;单文琅等,1991a)。然而,孙爱群等(1995)在研究“内蒙古中元古界的褶皱层构造”后认为:“在地壳较深构造层次,岩层间存在的明显韧性差以及大规模韧性水平分层剪切作用是形成褶皱层构造的先决条件;褶皱层构造不仅仅在伸展构造体制中形成,只要条件具备,在挤压构造体制中也可形成”。似乎表明,褶皱层构造可

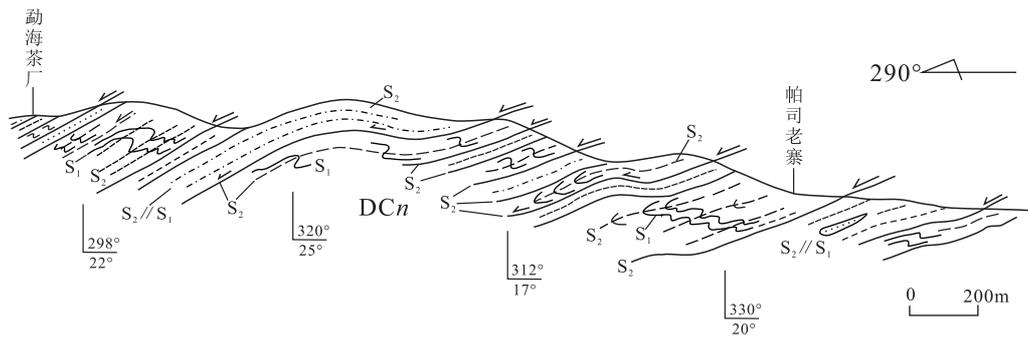


图 11 帕司老寨—勐海茶厂南段组褶叠层构造顺层正向剪切剖面示意图(图例同图 2)

Fig. 11 Schematic diagram showing bedding shear section of folding layers in Nandan Formation from Pasilaozhai to Menghai Tea Plantation (the legends are the same as Fig. 2)

能产生于不同的构造体制下。

研究区南段组褶叠层构造表明,其形成经历了明显的顺层剪切变形和横向构造置换而具有一定的固态流变特点,可以说褶叠层构造是韧性剪切作用的一种具体表现形式。而前人对韧性剪切带的研究告诉我们,韧性剪切带可以形成于地壳深部—浅部的不同地质环境中(刘志宏等,2011;许志琴等,1997),并且可以按照其形成机制或力学性质划分为收缩型、伸展型、转换型及挤出型等不同类型(许志琴等,1997)。

至于伸展构造,虽然始于大陆地壳伸展构造的识别和模式研究(宋鸿林等,1989;单文琅等,1991a;刘志宏等,2011;刘和甫,1995;陆克政等,1997;朱志澄,1987;马杏垣,1982),但其在造山带形成与演化中的作用和意义也先后引起了广泛关注(朱志澄,1987;马杏垣,1982;陈智梁,1990;李江海,1992;傅昭仁等,1992;朱志澄,1994;杨振升等,1995;张家声,1995;张进江和郑亚东,1996),不仅认为,造山带的伸展构造既有造山期前、同造山或造山晚期、碰撞造山后的构造伸展的多阶段性(陈智梁,1990;李江海,1992;朱志澄,1994;杨振升等,1995;张家声,1995;张进江和郑亚东,1996),也有垂直或平行于造山带伸展的多样性(张进江和郑亚东,1996)特点;同时,还将造山带伸展构造机制划分为同收缩(即同造山)阶段的侧向挤出机制、断坡垮塌机制、增生楔逆冲前锋迁移、走滑拉分伸展,以及造山后(包括造山末期)阶段的深部根带拆沉或对流夷平及浅部增厚的造山带楔体重力失稳等多种机制类型(张进江和郑亚东,1996)。

由此可见,自然界中的韧性剪切作用及伸展构造具有多种环境机制,远非一两种构造体制所能概

全。褶叠层构造作为韧性剪切作用的一种表现形式,其中所具有的“分层剪切变形和横向构造置换”是客观存在的构造现象,对其形成机制和变形环境的认识需要结合其构造组合特征及产生韧性剪切作用的区域构造背景条件加以具体分析。

就南段组而言,其褶叠层构造群落所表现出的顺层韧性剪切带具有以正向剪切为主、逆向剪切为辅的低角度缓倾、波状运动特点(图 11),其主体性质属正断型而非逆冲型(单文琅等,1991b);许志琴等(1997)将上覆岩石相对下伏岩石作正向下运动的韧性剪切带称为韧性滑覆(正)剪切带,并认为它是伸展型韧性剪切带的表现形式之一,据此,可基本认定南段组褶叠层构造应形成于伸展剪切构造体制。

结合区域地质背景,遭受剪切变形的南段组(DCn)浅变质岩及零星整合于其上的二叠系拉巴组均被侏罗—白垩系未变质陆相红盆沉积地层不整合覆盖^{②③},表明代表南段组第二世代构造变形(D₂)的伸展剪切作用应发生于二叠纪拉巴组沉积结束及其岩石第一期变形之后和上覆红盆沉积以前,变形时限大致在二叠纪末—侏罗纪之间。而已有研究表明,研究区在中—晚二叠世处于昌宁—孟连古特提斯洋盆自西向东的俯冲消减阶段,晚二叠世末—三叠世经历了碰撞造山作用过程(王保弟等,2018),总体构造环境属于近东西向收缩挤压背景;综合分析,本文认为,南段组褶叠层构造总体应形成于昌宁—孟连古特提斯洋关闭后同碰撞造山后期或晚碰撞(王保弟等,2018)收缩挤压背景下的伸展剪切机制。其SE→NW的主剪切运动方向大致与近东西向的收缩挤压方向斜交或相反,因此,本文倾向于该区的上述伸展剪切机制属侧向挤出式

伸展,并推断这种伸展可能一直延续到碰撞后的陆内伸展阶段,最终造成地壳表层侏罗—白垩系陆相断陷红盆沉积。

4 研究意义

4.1 构造地层划分

变质岩区虽广泛发育层状构造,但因经历了不同程度的变质—变形改造影响,其层状构造除变余原生层状构造外,主要为变质—变形作用形成的次生层状构造(杨振升,1989)。后者,常因变质形成新的变质矿物和变质岩,以及遭受较强的构造置换改造,而改变了原有岩石的特性和原有岩层的面貌,使原有正常地层层序面目全非,难以按正常沉积层序律及原有岩性组合来进行地层划分和对比(房立民等,1991)。

研究区南段组总体虽呈层型面状,不同岩性大致相间分布,但其内部发育多级组合顺层掩卧褶皱和韧性剪切系统,现今露头中所见的不同“层型”组合已是原有岩系经横向构造置换改造、打乱其原有正常层序而褶皱重组,构成的新的含有不同能干性岩石而强弱变形的“岩性+构造”组合层。南段组现今的层状构造已难以代表其原始沉积层序,其主体“层型”界面已是经过构造改造、横向置换所形成的构造界面,由此确认,发育褶皱层构造的南段组层状变质岩系是经构造改造而重建的构造地层(房立民等,1991;陈克强和汤加富,1995),应按构造地层单位(陈克强和汤加富,1995)进行划分和填图。据此,笔者认为应将南段组改称为“南段岩组”,其内部划分可依据不同岩性单元及其构造发育状况进行对比和构造分层,分别或部分建立非正式构造地层单位——各岩(性)段。各岩(性)段之间的接触关系为构造接触,它们的上下出露顺序仅代表研究区“南段岩组”层状变质岩系经构造改造而重建后目前构造—地层的叠置状况,并不代表原始沉积时的韵律顺序(或层序)和厚度。同时,区域上依照南段组现有岩性组合及其关系建立起来的原地层剖面及其地层厚度也需要重新审视,它不能完全代表南段组原有沉积韵律(或原始层序)及沉积厚度,因为在那里的区域资料^{②③④}中也能够看到褶皱层存在的影子。区域上的南段组也具有构造地层——南段岩组的性质,其剖面岩性组合应代表改造后的构造地层的岩石组合面貌,厚度则代表改造后的构造地层或褶皱层的露头厚度,岩性及其组合只大致

反映了原沉积地层的物质组份及某些韵律或层序特征。

综上,可以看出,褶皱层构造的确认对于识别大套层状浅变质岩系中普遍存在的“层理与劈(片)理一致”的表象(单文琅等,1984;傅昭仁和蔡学林,1996),正确区分假“沉积旋回(韵律)”与褶皱层构造,从而认定“褶皱层的厚度”(单文琅等,1984)不等于地层沉积厚度,发育褶皱层的层状变质岩系是构造地层,须按构造地层单位(陈克强和汤加富,1995)进行划分、填图和研究等具有重要的现实意义。

同时,从地层类型上看,褶皱层这种具有独特变形组合样式的构造地层,既不同于未变质或仅遭受轻微变质改造的正常沉积地层,也不同于产于构造缝合带中的构造混杂地层,更不同于中—深变质岩区的片岩—片麻岩套等变质地层(房立民等,1991;陈克强和汤加富,1995)。由于不同的构造地层类型有着不同的岩石组合特征及构造变形样式,产生于不同的地质构造部位或构造变形环境,并形成于不同的构造变形方式(陈克强和汤加富,1995),因此,褶皱层构造的确认对于厘定构造地层类型,分析其构造变形特征、所处构造环境及构造变形机制也有着一定理论指导意义。

4.2 区域构造研究

造山带被公认为是大陆动力学研究的“天然实验室”和关键地区(许志琴等,1997),其形成经历了长期复杂的发展演化过程,期间可能发生过多期次强烈的构造运动,而后期的构造作用则有可能将先期形成的各种地质体改造得面目全非(吴正文和张长厚,1999)。我们现今所能看到的地质构造形迹和构造组合,其地质发展的历史环境和条件、经受的力学过程和运动过程、机制形成的过程等,常常是人们无法直接经历和观察的;我们所看到的只是过程终结的产物,只能通过其一系列地质构造线索的分析、反演去探索构造发生发展的规律性,即所谓地质上的认识常常是通过反序方法来完成的(傅昭仁和蔡学林,1996)。而对褶皱层构造的认识与研究或许可视为这种反序法的具体途径之一。

前已述及,研究区经历了早古生代原特提斯大洋扩张、早古生代中晚期—晚古生代特提斯洋俯冲消减、晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚、晚三叠世晚碰撞造山等大地构造作用过程,形成了三期明显的变质—变形构造遗迹。褶皱层构造主要展示

了其中第二期,即主期变形构造的型式和特征,其以发育顺层韧性剪切带和顺层掩卧褶皱为特点,置换改造原有面理方向和构造样式,成为现有露头中大量保存的南段组主体构造组合型式。从变形机制上看,南段组褶皱层构造经受了分层剪切变形和横向构造置换,形成于伸展剪切构造体制;从变形时间上看,其发生于整合其上的二叠纪沉积之后及上覆不整合红盆沉积之前,变形时限大致在二叠纪末—侏罗纪之间,并在该区岩石第一期变形之后,总体形成于昌宁—孟连古特提斯洋关闭后同碰撞收缩挤压背景下的造山作用后期或晚碰撞造山阶段。从变形层次上看,南段组岩性以绢云石英千枚岩、绢云母千枚岩、绢云母片岩、绢云石英片岩或含绢白云石英片岩及变质石英砂岩等浅变质岩系为主,岩石中 S_1 面理主要为千枚理或片理,见层型改造变余层理,发育顶厚型及不对称斜卧型顺层掩卧褶皱, S_2 则为不甚连续的间隔型轴面劈理或剪切片理,基本反映了其形成时的地壳深度并非较深,总体处于地壳的中—浅部(10~5km)(许志琴等,1997);相当于M·马托埃(1980)经典构造层次模型中深部构造层次的上部(10~5km),即位于劈理前锋面之下的流劈理—顶厚褶皱带。镜下薄片显示南段组岩石的变质矿物主要为石英及绢云母、白云母等,反映其总体变质较浅;石英颗粒除有压扁或拉长外,还出现以亚晶粒旋转为主的动态重结晶作用,发育多晶集合体条带,表明形成温度主要为低—中温(300~500℃)(胡玲等,2009),变质程度属低—高绿片岩相。宏观与微观特征均显示,南段组 S_2 面理主要为不连续间隔劈理,明显不及普遍发育的 S_1 片理密集,表明南段组二期构造变形较一期构造变形为弱,二期构造变形层次相对可能略浅,这似乎也符合南段组褶皱层构造形成于伸展剪切构造体制的认识,说明由一期至二期,构造应力由主碰撞产生的挤压变形逐步减弱为晚碰撞出现伸展剪切变形。

综上所述可以看出,对南段组褶皱层这一构造组合型式构造变形样式、变形机制、形成时间和变形层次的研究,成为了分析研究区造山带主期构造特点和构造作用方式的有效途径,这对于确认该区晚碰撞造山的构造变形过程起了至关重要的作用。由于褶皱层构造是造山带浅变质岩区普遍存在的一种构造型式,其“以发育顺层韧性剪切带和顺层掩卧褶皱为主体的固态流变构造群落”及其中具有的

“分层剪切、横向构造置换”作用是客观存在的构造现象,因此,对其构造变形特征和规律的认识,对于细致刻画造山带形成演化历程和深化大陆动力学机制的研究具有重要的科学意义。

5 结论

(1)南段组层状浅变质岩系具有强应变带和弱变形域相间排列的特点,其内部发育的顺层片理及顺层韧性剪切带、顺层掩卧褶皱、粘滞型石香肠、构造透镜体及同构造分泌变形脉等构造形迹,构成褶皱层构造的基本要件。南段组褶皱层构造现今的“层”型界面或顺“层”面理表象代表了经构造改造重建后的新生构造面理 S_2 的展布方向。

(2)南段组褶皱层构造总体形成于昌宁—孟连古特提斯洋关闭后同碰撞造山收缩挤压背景下的伸展剪切机制,形成的构造层次属地壳的中—浅部。

(3)南段组浅变质岩是原生成层岩系发生变形—变质作用,经历分层剪切、固态流变和横向构造置换作用改造的结果,即经过构造重建而形成的构造地层单元。其现今露头剖面所见岩性组合及厚度只代表改造后构造地层的岩性组合特征及褶皱层的露头厚度,不能完全代表南段组原沉积地层的韵律组合及沉积地层厚度;应按构造地层单位进行划分、填图和研究。

(4)褶皱层构造作为浅变质岩区一种普遍的构造型式,是对岩石变形组合特征的客观认识,对其构造型式、形成机制、形成层次以及形成时间的研究对于分析造山带构造演化过程和深化大陆动力学机制的认识具有科学意义。

致谢:研究工作得到中国地质调查局成都地质调查中心丁俊研究员、云南地调局张志斌教授级高工的指导,并得到成都地质调查中心三江造山带区域地质调查二级项目王保弟研究员、王冬兵副研究员的关心与支持。勐海1:5万区调项目组全体同仁给予了大力帮助;匿名审稿人提出了建设性修改意见,在此一并致谢。

注释:

- ①云南省地质局,1979. 云南1:20万勐海幅(F47-XXIII)区域地质调查报告.
- ②云南省地质调查院,2013. 云南1:25万澜沧县幅(F47C002003)、勐海县幅(F47C003003)区域地质调查报告.
- ③云南省地质调查院,2003. 云南1:25万临沧县幅(F47C001003)、

滚轮幅(F47C001002)区域地质调查报告.

④云南省地质调查院,2017.云南1:5万香竹林幅(F47E001015)、勐勇幅(F47E001016)、勐撒幅(F47E002015)、懂过幅(F47E002016)、安雅幅(F47E003015)、勐库幅(F47E003016)、耿马幅(F47E003014)区域地质矿产调查报告.

参考文献(References):

- 蔡学林,邓明森,1985.轴面片理的结构样式[J].科学通报,30(15):1175-1178.
- 蔡学林,石绍清,1981.顺层片理形成机制分析[J].科学通报,26(9):558-560.
- 陈克强,汤加富,1995.构造地层单位的划分与使用[G]//构造地层单位研究.武汉:中国地质大学出版社:1-12.
- 陈智梁,1990.大陆造山带的伸展构造[J].四川地质学报,10(4):217-226.
- 房立民,杨振升,李勤,等,1991.变质岩区1:5万区域地质填图方法指南[M].武汉:中国地质大学出版社:1-226.
- 方维萱,张国伟,李亚林,2001.南秦岭晚古生代伸展构造特征及意义[J].西北大学学报(自然科学版),31(3):235-240.
- 傅昭仁,蔡学林,1996.变质岩区构造地质学[M].北京:地质出版社:1-243.
- 傅昭仁,李德威,李先福,等,1992.变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析[M].武汉:中国地质大学出版社:6-16.
- 傅昭仁,单文琅,1989.论横向构造置换[J].地球科学——中国地质大学学报,14(1):59-65.
- 傅昭仁,单文琅,1990.浅变质岩区褶皱层构造与地层划分[J].中国区域地质(3):262-268.
- 傅昭仁,宋鸿林,颜丹平,1997.扬子台地西缘江浪变质核杂岩结构及对成矿的控制[J].地质学报,71(2):113-122.
- 胡玲,刘俊来,纪沫,等,2009.变形显微构造识别手册[M].北京:地质出版社:5-67.
- 黄万夫,1989.北京西山流动变形碳酸盐岩的微构造分析[J].现代地质,3(2):223-234.
- 李江海,1992.造山带的伸展作用及其地壳演化意义[J].地质科技情报,11(3):10-18.
- 梁斌,1998.龙门山北段唐王寨—仰天窝地区伸展构造解析[J].四川地质学报,18(3):165-168.
- 凌贤长,1995.变质岩构造研究进展[J].国外前寒武纪地质,70(2):49-61.
- 凌贤长,1995.构造片岩评述[J].世界地质,14(3):28-33.
- 刘和甫,1995.伸展构造及其反转作用[J].地质前缘(中国地质大学,北京),2(1~2):113-124.
- 刘志宏,刘正宏,梁一鸿,等,2011.构造地质学(第二版)[M].北京:地质出版社:1-241.
- 陆克政,漆家福,戴俊生,等,1997.渤海湾新生代含油气盆地构造模式[M].北京:地质出版社:197-202.
- M.马托埃,1980.地壳变形[M].孙坦,张道安译,1984.北京:地质出版社:1-334.
- 马杏垣,1982.论伸展构造[J].地球科学,18(3):15-22.
- 单文琅,傅昭仁,1987.北京西山水平分层剪切流变构造初探[J].地球科学,12(2):113-120.
- 单文琅,傅昭仁,葛孟春,1984.北京西山的褶皱层与“顺层”固态流变构造群落[J].地球科学,25(2):33-42.
- 单文琅,傅昭仁,宋鸿林,1991a.大陆韧性伸展构造系统解析纲要[J].地球科学,15(5):515-522.
- 单文琅,宋鸿林,傅昭仁,等,1991b.构造变形分析的理论、方法和实践[M].武汉:中国地质大学出版社:1-160.
- 宋鸿林,单文琅,1987.剥离断层、板块内近水平的剪切带与伸展构造[J].地球科学,12(5):535-542.
- 宋鸿林,单文琅,傅昭仁,1992.论壳内韧性流层及其构造表现[J].现代地质,6(4):494-503.
- 宋鸿林,郑在胜,韦必则,1989.浅论伸展构造在基岩中的表现型式[J].地球科学,14(1):51-57.
- 孙爱群,牛树银,许传诗,1995.内蒙古中元古界的褶皱层构造[J].河北地质学院学报,18(1):20-26.
- 汤加富,侯明金,石乾华,等,1995.北淮阳地区变质地层序列与构造变形特征[J].安徽地质,5(3):50-59.
- 唐智,王康明,肖川,1995.冕宁三代褶皱层构造的发现及成因分析[J].四川地质学报,15(2):81-88.
- 王保弟,王立全,王冬兵,等,2018.三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化[J].地球科学,43(8):2527-2550.
- 王根厚,周详,普布次仁,等,1996.西藏他念他翁山链构造变形及其演化[M].北京:地质出版社:18-48.
- 王根厚,周详,曾庆高,等,1997.西藏康马热伸展变质核杂岩构造研究[J].成都理工学院学报,24(2):62-67.
- 王果胜,宋鸿林,马文璞,等,2004.北淮阳带东段变质构造地层早期构造变形及其区域地质意义[J].地质前缘,11(3):83-90.
- 吴正文,张长厚,1999.关于创建中国造山带理论的思考[J].地质前缘,6(3):21-29.
- 许志琴,张建新,徐惠芬,等,1997.中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学[M].北京:地质出版社:1-287.
- 杨振升,1989.变质岩区层状构造问题[J].中国区域地质(1):1-13.
- 杨振升,李三忠,刘永江,1995.大陆造山带中的隆—滑构造——一种前造山期伸展构造形式[J].长春地质学院学报,25(4):361-367.
- 张家声,1995.造山后伸展构造研究的最新进展[J].地质前缘,2(1~2):67-84.
- 张进江,郑亚东,1996.造山带伸展构造机制综述[J].地质科技情报,15(3):26-34.
- 钟大赉,等著,1998.滇川西部古特提斯造山带[M].北京:科学出版社:1-231.
- 朱志澄,1987.伸展构造和拆离断层[J].地质科技情报,6(1):18-25.
- 朱志澄,1994.变质核杂岩和伸展构造研究述评[J].地质科技情报,13(3):1-9.