

doi:10.3799/dqkx.2011.027

三江南段—中南半岛特提斯蛇绿岩大地构造与成矿

张宏远^{1,2,3}, 刘俊来^{1,2}

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

3. School of Earth Sciences, the University of Queensland, Steele Building, St Lucia., Brisbane 4072, Australia

摘要: 青藏高原东南部特提斯研究是世界地质研究的热点之一, 而三江南段—中南半岛地区是该研究的薄弱而分散地区。因此在特提斯构造域背景下, 结合地层学、岩石学、构造学及古生物学等前人成果资料, 利用中小尺度构造解析, 厘定蛇绿岩混杂带构造古地理并论述成矿规律具有重要意义。(1) 在特提斯构造格局基础上, 圈定出与蛇绿岩空间配套的构造岩浆带, 并厘定了缝合带的展布和消减极性规律, 建立了构造古地理图, 从中可以看出古、中、新特提斯变形依次变弱。(2) 古特提斯蛇绿岩带典型蛇绿岩区的地质构造解析研究表明其经历印支期以来多期强烈构造活动改造。(3) 蛇绿岩带对部分重要矿产资源的形成及分布具有显著控制作用: 蛇绿岩带内的超基性岩是岩浆型钴、镍矿带的重要成矿物质来源; 洋壳关闭及板块碰撞过程中形成的与蛇绿岩带平行分布的大面积酸性岩浆是热液型钨锡矿带的重要物质来源; 中新世前后的构造转折促进了全区热液型矿床的形成。

关键词: 特提斯蛇绿岩; 大地构造; 构造转折; 成矿作用。

中图分类号: P618.2; P588.1

文章编号: 1000-2383(2011)02-0262-15

收稿日期: 2010-07-12

Plate Tectonics and Mineralization of the Tethyan Ophiolite in the Southern Sanjiang and Indo-China Peninsular Area

ZHANG Hong-yuan^{1,2,3}, LIU Jun-lai^{1,2}

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. School of Earth Sciences, the University of Queensland, Steele Building, St Lucia., Brisbane 4072, Australia

Abstract: The research about Tethys along the eastern boundary of the Qinghai-Tibet plateau arouses great interests of geologists from all over the world. However, geological jobs keep relatively inadequate and decentralized in the Sanjiang-Indo-China multinational area. Therefore, under the Tethyan tectonic background, it is significant to determine rules of tectonic geography and mineralization of the Tethyan ophiolite complex belt, and to discover the direct evidence of ocean plates based on the former research including its stratigraphy, petrology, structural geology and paleontology. Our study covers the following aspects: (1) The suture location and the subduction direction of different periods are concluded by connecting the tectonic magma belts with the orogenic belt. A geometric pattern of a more fragmentary ophiolite geography of the paleo-Tethys contrasting to that of meso-neo-Tethys can be found easily from the paleogeography. (2) The initial location of sutures greatly changed by events of Indo-Chinese epoch, Yanshanian epoch, and Himalayan epoch can be concluded from our research of the typical ophiolite outcrop area. (3) The formation and distribution of some important mineral resources are obviously controlled by the ophiolite complex belt. The ultra basic rock belts provide the ore material resources of magmatic cobalt and nickel metallogenic belt. The large area of acid magma formed during the course of the close and collision of plates, parallel to the ophiolite belt, is the important material resource of the hydrothermal wolfram and tin deposit belts. The formation of the regional hydrothermal deposits was improved by the transition of tectonic system around the Miocene.

Key words: the Tethyan ophiolite; plate tectonics; transition of tectonic system; mineralization.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(No. 2006BAB01A03-3-2); 中国地质调查局项目(No. 200811008); 国家自然科学基金重点项目(No. 90814006)。

作者简介: 张宏远(1977—), 男, 讲师, 构造地质学专业, E-mail: zhanghongyuan@cugb.edu.cn

板块构造研究,其最大困难不是现代板块的划分,而是对大陆上古板块边界的研究(李春昱等,1982),时代可上溯至前寒武纪(李继亮等,1990; Wang *et al.*, 1996; Zhao *et al.*, 2003; 李江海等, 2004). 离散边界一种特殊的洋壳组合——蛇绿岩的具有多解性的大地构造指示. 蛇绿岩组合最早由19世纪初法国人布朗尼特(Brongniart)提出,并于20世纪初由施坦曼(Steinmann)提出自下而上的橄榄岩(蛇纹岩)、辉绿岩(枕状玄武岩)和放射虫燧石岩三位一体组合特征. 洋中脊超基性杂岩具低分熔性,主体是二辉橄榄岩(高温橄榄岩),而微型扩张中心地幔分熔程度高,主体是斜辉橄榄岩(车自成和姜洪训,1987;刘国惠等,1993). 古大洋板块的离散、汇聚边界缝合线常因消减或消亡而难以厘定,常位于最新的蛇绿岩带上;但基于更为详细的岩石学和蛇绿岩剖面研究,发现蛇绿岩的产出环境多样,在洋中脊、岛弧、弧后盆地、弧前盆地、小海盆和被动大陆边缘等均可形成.

研究区三江—中南半岛地区地处喜马拉雅东构造结东南侧,大地构造问题复杂(黄汲清,1945;车自成和姜洪训,1987;黄汲清和陈炳蔚,1987; Sengor and Botum, 1989; Ziegler, 1989; Klemme and Ulmische, 1991; 冯庆来和刘本培, 1993; 刘本培等, 1993; 潘桂棠等, 1997; Metcalfe, 1998, 1999, 2002; 钟大赟, 1998; Wang *et al.*, 2000; 车自成等, 2002; 闫全人等, 2005; Jian *et al.*, 2009). 研究区由于横跨古劳亚大陆和冈瓦纳陆构造叠加区的特提斯造山带,故不同于标准克拉通地块区. 这个规模巨大的特提斯构造域主要是由在古生代以来特提斯洋旋回演化过程中发展起来的系列微板块组成,并以具有板块边缘性质的蛇绿杂岩带接合而成(图1). 中、新生代以来特提斯大规模旋回性扩张和消减伴随着新微板块的不断裂解和增生,产生了多种体制下的强烈的构造岩浆活动,出现了横断山块断带(王铠元和孙克祥, 2001)以及三江构造岩浆带(刘增乾等, 1993; 莫宣学等, 2009)等,最终这些微板块全部拼贴于欧亚大陆南缘,呈“歹字形”(李四光, 1973). 由于跨越多个国家,故就特提斯演化过程问题百家争鸣,并存在一些争议,如西缅地块与保山—掸泰地块的界线问题,难河—程逸带的板块性质问题,实皆断裂的板块地位问题等.

本文拟在特提斯构造域背景下,结合前人资料和构造岩浆带划分,归纳三江南段—中南半岛特提斯构造域蛇绿岩分布、地球化学特征、形成时代和大

地构造极性,探讨特提斯古缝合线位置和古地理演化格局. 笔者曾就缝合带弯曲现象,以印支地块为研究对象,从逆时针剪切构造体系出发,认为西北缘与东北缘主要深大断裂初始活动三阶段的序列,即哀牢山剪切带、澜沧江断裂及奠边府断裂、南定河断裂及澜沧—景洪断裂(Zhang *et al.*, 2009),在此结合昌宁—孟连带中段典型蛇绿岩结构构造特征进行进一步分析. 最后在上述研究基础上探讨区域大地构造成矿规律性.

1 大地构造背景

若从1885年德国地质学家M. 诺伊迈尔提出中生代“中央地中海”和1888—1893年奥地利地质学家E. 修斯将“中央地中海”改称“特提斯”算起,特提斯的研究已有100多年历史. 其地理意义在于代表了地质历史时期冈瓦纳古陆和劳亚古陆南北两大陆间具洋壳基底的海洋及其两侧大陆边缘不同深度的海域;而地质方面,国内外地质学家则通过将今论古,不断加深着对特提斯构造域宏、微观结构和地质演化及其与成矿关系的认识.

全球特提斯构造域主体北西西—南东东向横亘半个地球,西起墨西哥湾—加勒比海、向东经欧洲—北非地中海、西亚、中亚并延到东南亚—澳大利亚北部,平均宽度约为地球经线的六分之一. 从宏观上看,横向结构可分为劳亚大陆在古生代时的拼合增生带、中生代特提斯内微板块(洋盆及大陆碎块)的最终拼合带、新生代冈瓦纳大陆北缘的大陆架区沉积区等北、中、南3个带(甘克文, 2000).

我国大部分国土受特提斯构造域的强烈影响,蛇绿岩在分布、地球化学特征、形成时代和可能的大地构造背景等方面具有不同特征(张旗等, 2003; Zhang *et al.*, 2008),表现在华北、扬子、塔里木稳定地块的边界上,如:(1)早古生代末形成祁连山及华南加里东期褶皱带,闭合于三叠纪(李兴振等, 1999)劳亚大陆在古生代时的拼合增生带,包括分隔华北板块与西伯利亚板块的古亚洲洋,主要的蛇绿岩为古生代,包括西准噶尔蛇绿岩、东准噶尔蛇绿岩、天山蛇绿岩、北山蛇绿岩、内蒙蛇绿岩、东北蛇绿岩等.(2)分隔华北板块与扬子板块的秦岭—祁连—昆仑洋,包括新元古代北秦岭松树沟蛇绿岩、二郎坪蛇绿岩、北祁连玉石沟蛇绿岩(史仁灯等, 2004; Hou *et al.*, 2006)、东昆仑清水泉蛇绿岩、寒武纪西昆仑库地蛇绿岩(Xiao *et al.*, 2002, 2004, 2005)等. 秦

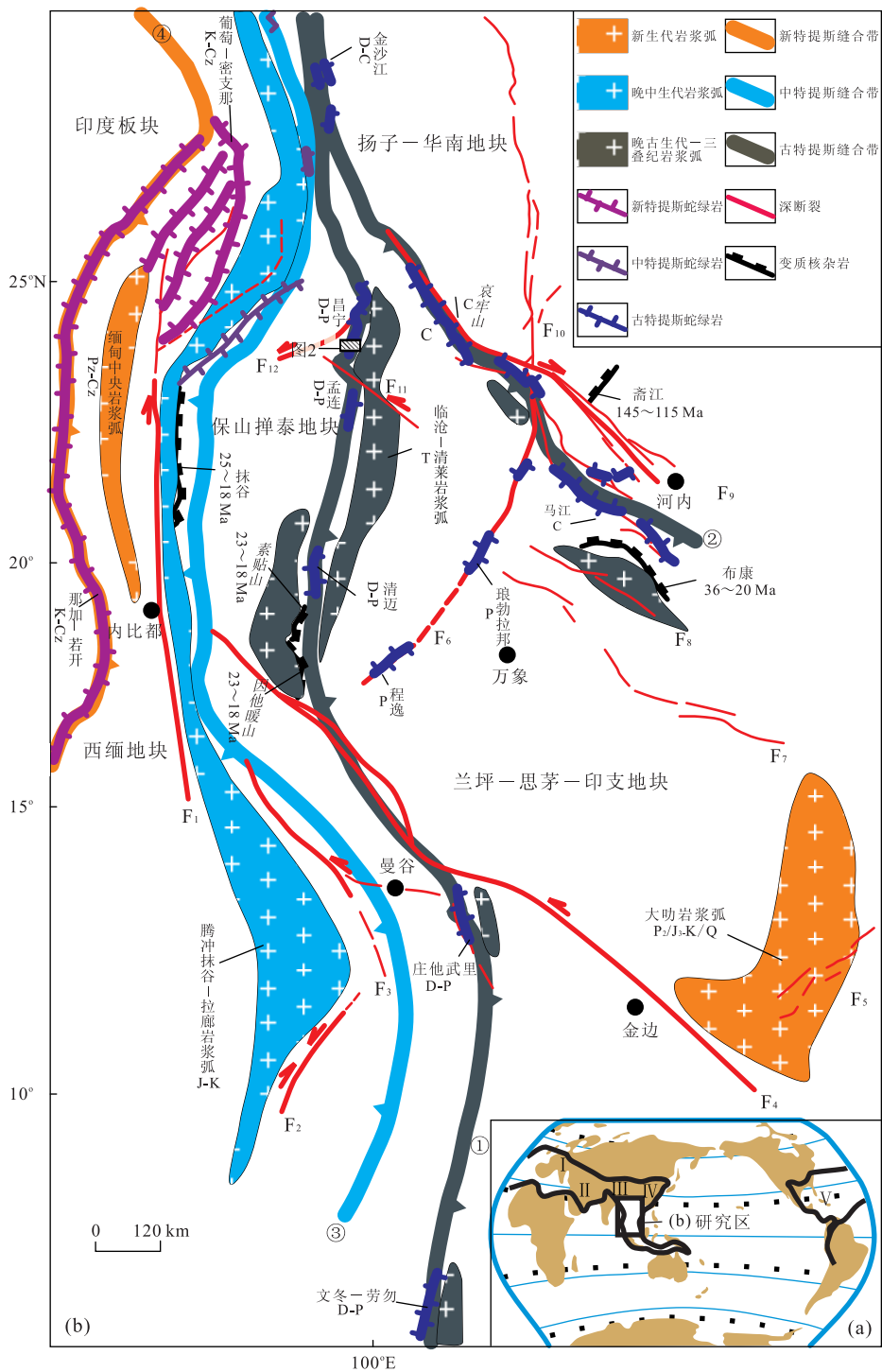


图 1 三江南段—中南半岛地区板块构造

Fig. 1 Plate tectonics of souththern Sanjiang and Indo-China peninsula

a. 特提斯范围及分带(甘克文, 2000); b. ①昌宁—孟连—清迈古特提斯缝合带(时空参考: Praditnan and Tongtaow, 1984; 黄汲清和陈炳蔚, 1987; 方念乔, 1993; Ueno and Igo, 1997; 莫宣学等, 1998; 钟大赉, 1998; Sashida *et al.*, 2000; Morley *et al.*, 2001; Ueno and Hisada, 2001; Feng, 2002; Feng *et al.*, 2005); ②哀牢山—马江古特提斯缝合带(时空参考: Leloup *et al.*, 1995; Metcalfe, 1997; Wang *et al.*, 2000; 闫全人等, 2005; Trung *et al.*, 2006; Jian *et al.*, 2009); ③班公湖—怒江中特提斯缝合带(时空参考: 潘桂棠等, 1983; 李方夏等, 1995; Bertrand *et al.*, 1999; 李兴振等, 2002; 陈玉禄等, 2006; 王根厚等, 2007); ④雅鲁藏布—那加—若开新特提斯缝合带(时空参考: Upton *et al.*, 1997; 钟大赉, 1998; Socquet and Pubellier, 2005); F₁. 怒江—实皆断裂; F₂. 拉廊断裂; F₃. 三塔断裂; F₄. 洞里萨湖断裂; F₅. 大叻一边和断裂; F₆. 奠边府断裂; F₇. 长山—岷港断裂; F₈. 兰江断裂; F₉. 哀牢山—红河断裂; F₁₀. 鲜水河—小江断裂; F₁₁. 澜沧—景洪断裂; F₁₂. 南定河断裂; I. 经欧洲—北非地中海; II. 西亚; III. 东南亚; IV. 澳大利亚北部; V. 墨西哥湾—加勒比海

岭—祁连—昆仑洋洋盆东西向绵延数千公里,活动时间自新元古代—中生代,是地质历史时期的一个重要洋盆,在空间上可能沟通了古亚洲洋和特提斯洋。(3)中生代早期特提斯内微板块(洋盆及大陆碎块)的最终拼合带,包括①分隔古冈瓦纳大陆及劳亚大陆的古澜沧江洋,即指分隔扬子—华南地块与兰坪—思茅—印支地块的松潘—金沙江—哀牢山—马江洋,证据主要有甘孜—理塘蛇绿岩、金沙江—哀牢山蛇绿岩、澜沧江—昌宁—孟连蛇绿岩等四条蛇绿杂岩带,闭合时间为晚二叠世—早三叠世(Wu *et al.*, 1995; Metcalfe, 1997; 潘桂棠等, 1997; Zhang, 1998; 闫全人等, 2005; Hou *et al.*, 2007)。目前,藏东—横断山一带的蛇绿岩带由于靠近东构造结,虽然因纵向置换强烈变得构造复杂,但研究程度较高,已被确定属于古特提斯范畴(Metcalfe, 1997; 钟大赉, 1998; 闫全人等, 2005; Hou *et al.*, 2007; 王根厚等, 2007)。(2)中生代晚期特提斯内微板块(洋盆及大陆碎块)的最终拼合带,班公湖—怒江蛇绿岩,部分学者称其为中特提斯(黄汲清和陈炳蔚, 1987)。(4)喜马拉雅新特提斯和环太平洋构造域,晚中生代打开,并于新生代关闭的古洋盆。蛇绿岩新特提斯洋闭合时间为 55 ~ 45 Ma (Molnar and Tapponnier, 1975; Acharyya, 2001)。

蛇绿岩展布往往与深大断裂重合,如北秦岭商丹断裂带与松树沟蛇绿岩带(张国伟等, 2001; 许志琴等, 2006)。由于蛇绿岩经受改造,一般以混杂岩带形式出现,因此,不同研究尺度得出的结论不尽相同。

2 三江—中南半岛特提斯蛇绿岩古地理

蛇绿岩与大陆内部超镁铁岩、镁铁岩差异性(Miyashiro, 1975; Naldrett and Cabri, 1976)、深大断裂、地层时代与沉积相的显著差异、古生物分区、混杂堆积、古地磁、双变质带,以及地壳深部的重、磁力异常等多种研究成果,对三江—中南半岛特提斯大地构造演化研究具有重要意义。

2.1 古特提斯蛇绿岩带

该带在三江南段—中南半岛地区主要出露于昌宁—孟连—清迈一线及以东,自东向西有:甘孜—理塘蛇绿岩带、金沙江—哀牢山—马江蛇绿岩带、澜沧江—昌宁—孟连—清迈蛇绿岩带。其区域上几何分布特点是很少连续(图 1, 表 1),总体属于泥盆纪张开,并成为中生代早期特提斯内微板块(洋盆及大陆

碎块)的最终拼合带。

2.1.1 洋中脊蛇绿岩 (1)甘孜—理塘蛇绿岩带。辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年分析,该带中辉长岩的结晶分离年龄为 292 ± 4 Ma,从而确定甘孜—理塘特提斯洋的蛇绿岩洋壳的形成年代为石炭纪末或二叠纪初(闫全人等, 2005)。

(2)金沙江—哀牢山—马江蛇绿岩带。该带地处兰坪—思茅地块与扬子—华南地块界线,虽然莫边府断裂将该蛇绿岩带明显右行错移,但消减方向是一致的。古岩浆弧东侧,说明消减方向向西(Wang *et al.*, 2000)。该蛇绿岩带代表的特提斯洋盆打开时间大约在石炭纪中期,关闭时间大约在三叠纪。在马江断裂一带,蛇纹岩块非常发育。两侧的前中石炭世浅海相动物完全不同,但两侧的中石炭世浅海相动物是一致的,这一方面与马江缝合带早—中石炭世大规模褶皱、逆冲和推覆活动以及泰国东北印支岩系内类似于华南的石炭纪植物等现象不矛盾,另一方面也显示了大洋的扩张过程(Metcalfe, 1997)。超基性岩岩石学研究表明可能是缓慢扩张的特提斯洋壳(Trung *et al.*, 2006)。在哀牢山一带,蛇绿岩与深海相沉积岩伴生,建造发育时间为晚石炭世至晚二叠世。晚三叠世缝合带闭合,发育卡尼期砾岩和砂岩,诺利期灰岩和瑞替期砂岩。中新世出现沿缝合带北缘的陆内韧性走滑活动(Leloup *et al.*, 1995),点苍山一带发育变质核杂岩(刘俊来等, 2006)。在金沙江附近的蛇绿岩,建造发育时代为石炭—二叠纪(Jian *et al.*, 2009),其上不整合覆盖有上二叠统一侏罗系,说明晚二叠世开始关闭。碰撞及碰撞后造山使蛇绿混杂岩带中泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系等以外来体形式并存(Metcalfe, 1997)。

(3)澜沧江—昌宁—孟连—清迈—庄他武里—文冬—劳勿蛇绿岩带。该带位于保山掸泰地块(Sibumasu Block)和兰坪—思茅地块的构造结合带上,向北可与龙目错—双湖缝合带相接。前人多将昌宁—孟连带与庄他武里—文冬—劳勿带相连(钟大赉, 1998),只是中新世以来被梅平—洞里萨湖断裂平移错开。结合地层对比、区域构造图,并从沿挡帕河、南皮河、小黑江横穿蛇绿岩带,可见该带发育于下寒武统一石炭统构造层及上石炭统一—中三叠统构造层之间,演化具有穿时性,断续透镜状分布。三江南段蛇绿岩岩石组合具有远洋及洋脊特征(方念乔, 1993; 莫宣学等, 1998),可与泰国清迈一带对比(Feng *et al.*, 2005)。泰国北部芳县—清迈一线位于高热流值带(Pradidtan and Tongtaow, 1984;

表 1 穿越三江南段—中南半岛地区的主要蛇绿岩带

Table 1 Major ophiolite belts crossing the southern Sanjiang area and the Indo-China peninsula

蛇绿岩带	大地构造界线	消减极性	古地理背景及演化	资料来源
金沙江	兰坪—思茅地 块与扬子—华 南地块	向西或南西	古特提斯分支,地理环境亲劳亚,晚二叠世—早三叠世发育;三叠纪早期关闭	Metcalfe, 1997
哀牢山			古特提斯分支,两侧地理环境亲劳亚,晚石炭世—晚二叠世发育,闭合于晚三叠世;古近纪以来遭受陆内走滑改造过程而就位	Leloup <i>et al.</i> , 1995; Metcalfe, 1997
马江	印支地块与扬子—华南地块	无	古特提斯分支,地理环境亲劳亚,关闭于中石炭世	Metcalfe, 1997
难河—程逸	兰坪—思茅地 块与印支地块		古特提斯分支,发育于石炭纪—二叠纪—三叠纪,含有蓝片岩;侏罗纪红层和三叠纪末板内大陆玄武岩不整合覆盖于缝合带岩系之上	Metcalfe, 1997
澜沧江	保山—掸泰地 块与兰坪—思 茅地块		古特提斯主枝,发育于泥盆纪—石炭纪. 二叠纪开始消减,以洋底基性喷出岩为标志. 早三叠世关闭,中三叠世陆相碎屑岩不整合于缝合带岩系之上	Metcalfe, 1997
昌宁—清迈	保山—掸泰地 块与兰坪—思 茅地块		古特提斯主枝,发育于早泥盆世—二叠纪;关闭于早、中三叠世	Metcalfe, 1997
庄他武里	保山—掸泰地 块与印支地块	向东	古特提斯主枝,发生时间早于早奥陶世,存在早奥陶世花岗质透镜体,锆石 U-Pb 时代为 486 ± 5 Ma. 中三叠世关闭	Hada <i>et al.</i> , 1999
文冬—劳勿	保山—掸泰地 块与印支地块	向西	古特提斯主枝,发育于泥盆—早—中二叠世,关闭时间以晚三叠世 (230 ± 9 Ma) 到早侏罗世 (207 ± 14 Ma) “S”型花岗岩为标志	Metcalfe, 1997
班公湖—怒江	保山—掸泰地 块与西缅甸地 块		中特提斯,两侧地理环境亲冈瓦纳,发育于中生代,关闭于白垩纪. 存在腾冲白垩纪岩浆岩带	潘桂棠等,1983; 王根厚等,2007
那加—若开	印度板块与西 缅甸地块	向东	新特提斯,两侧地理环境亲冈瓦纳,关闭于中新世,证据有实皆韧性—脆韧性走滑断裂带,走滑时间为上新世 12~20 Ma;梅平断裂右行走滑改造了昌宁—清迈蛇绿岩带,磷灰石裂变径迹年龄始于始新世巴尔通期—中新世布尔迪加尔期内,即 40~18 Ma;高黎贡山韧性—脆韧性走滑断裂带,走滑时间为上新世 12~20 Ma	Upton <i>et al.</i> , 1997; 钟大赉,1998; Socquet and Pubellier, 2005

Morley *et al.* , 2001). 消减闭合过程中,伴随发育二叠纪—三叠纪花岗岩,如著名的有临沧花岗岩基、素贴山—因他暖山岩体等,位于该蛇绿岩带东侧,指示出向东俯冲的极性. 该带内比较难以理解的问题是在澜沧江弧火山岩内出现的二叠纪蛇绿岩组合,被莫宣学等(1998, 2001)认为是三叠纪弧后扩展盆地,可与泰国清莱一带对比(Feng *et al.* , 2005).

与难河—程逸—沙缴带相比,本带是主要缝合带,体现在大洋存在时间普遍较长,即泥盆纪—早中生代. 从昌宁孟连带地层格架看,特提斯最晚于中三叠世关闭. 滇西地区,平掌组火山岩生物地层学显示其具有海山或洋岛背景(Feng, 2002),拥有大洋沉积证据(方念乔, 1993). 而向南,泰国芳县—清迈一带发育蛇纹岩,含有早石炭世澜沧江洋中脊扩张带信息. 泰国北部因他暖带内的芳县硅质岩拥有与昌宁孟连带相同的放射虫硅质岩年龄(Sashida *et al.* , 2000),即泥盆纪—早中生代,同时该地广泛发育有

晚二叠世海山石灰岩含赤道特提斯有孔虫系列(Ueno and Igo, 1997). 再向南到马来半岛,文冬—劳勿构造带 20 世纪七八十年代即被厘定为蛇绿岩带(黄汲清和陈炳蔚, 1987),拥有缝合带的增生相: 主要岩石类型有增生杂岩、大洋纹理燧石、泥质岩、浊积韵律岩、混杂岩、蛇纹岩和大陆边缘及大陆架沉积物,该带代表了东南亚被保山—掸泰地块和印支大陆地块碰撞破坏的古特提斯洋,是古特提斯洋在晚古生代向北俯冲于印支板块之下、并于三叠纪时保山—掸泰地块与印支地块碰撞俯冲的产物.

清迈蛇绿岩为特提斯主界线. 部分学者建议泰国境内的缝合线应该位于因他暖带西侧,原因是因他暖山及以东地区缺乏具有典型意义的早二叠世亲冈瓦纳的冰积混杂岩(Ueno and Hisada, 2001). 但是清迈附近拥有蛇绿岩残留体、因他暖地块拥有亲冈瓦纳特提斯沉积物.

2.1.2 弧后盆地蛇绿岩 琅勃拉邦—难河—程逸

蛇绿岩带位于临沧—素可泰岩浆弧带东侧(图1),带内拥有早二叠世—中三叠世放射虫硅质岩(Hada *et al.*, 1999)及蛇绿岩,存在时间较短,不是特提斯洋主枝。前已述及,该带不是印支地块与保山掸泰地块的结合带,因为就连其西侧的因他暖带都缺乏典型冈瓦纳大陆特征。该带可能是印支地块内封闭的难河弧后盆地残留体,早二叠世张开,晚三叠世关闭(Ueno and Hisada, 2001)。

2.2 班公湖—怒江中特提斯蛇绿岩带

大地构造上该蛇绿岩带分隔了保山—掸泰地块及西缅地块,属于中生代晚期特提斯内微板块(洋盆及大陆碎块)的最终拼合带。向北西可与班公湖相连构成区域性的班公湖—怒江板块结合带(潘桂棠等, 1983),在西段那曲区觉翁蛇绿岩剖面完整(陈玉禄等, 2006)。三江南段零星分布于泸水—福贡一线、高黎贡山东侧的怒江一带,推测该带向南延入东缅、泰西因他暖地块及抹谷变质核杂岩之间通过,直至拉廊晚中生代岩浆弧东侧泰国湾内。

该带与中特提斯洋的拉开和消减对应。三江南段—中南半岛地区,该带受消减碰撞及喜山运动影响强烈,经历了区域收缩、旋转、伸展等多种变形改造,总体向西消减。西藏境内班公湖—怒江带洋盆扩张期为早三叠世—中侏罗世,闭合期为晚侏罗世—早白垩世早期,陆—陆碰撞期为早白垩世晚期—晚白垩世晚期(王根厚等, 2007),总体向南俯冲(李兴振等, 2002)。

腾冲—实皆—三塔—拉廊构造岩浆带总体南北向展布,北段为向北帚状撒开的腾冲—实皆岩浆带;中段为狭长的抹谷变质核杂岩,分布晚白垩世花岗闪长岩岩基;南段为泰缅边界三塔—拉廊岩浆岩带,介于安达曼海和泰国湾之间的半岛内的岩浆岩带,北部为梅平走滑断裂局限,南部达劳勿—文冬缝合带,总体近南北走向,主要由S型—I型花岗岩组成,展布严格受断裂控制,以拉廊断裂带及三塔断裂带为中心具对称分布特点,并呈共轭条带状V字型展布,时代120~65 Ma不等,主要分布于拉廊断裂带及三塔断裂带沿线;东西两侧为三叠纪末—侏罗纪早期花岗岩及闪长岩(李方夏等, 1995)。

中新世前后北西—南东向韧性走滑伸展(Bertrand *et al.*, 1999)及其后的实皆断裂脆韧性右行走滑改造,对于区域岩浆构造的格局形成具有重要意义。

2.3 那加—若开—葡萄新特提斯蛇绿岩带

该带出露于印缅边境若开山及缅甸北部密支那—葡萄一带,广泛分布白垩纪超基性岩(ΣK) (蛇绿

岩)。这里是新特提斯缝合线,其东侧有缅甸古近纪中央岩浆弧。

缅甸中南部博固山脉西侧见有粗玄岩墙和橄榄粗玄岩岩床分布,主峰博巴山(海拔1 518 m)附近可见从基性(橄榄粗玄岩)、中性(安山岩)到酸性(流纹岩)的火山岩序列及古火山口。博巴山向北:钦敦江沿线主要为超基性、基性、中酸性小型侵入岩群及火山杂岩带;敏金山脉一带发育渐新世花岗闪长岩。

上述蛇绿岩带及岩浆弧的相对位置表明了俯冲极性是向东的。注意到上述蛇绿岩年龄比岩浆弧年龄老,正说明了在碰撞造山带的混杂带中出现的大洋岩石圈火成岩一般都远比碰撞事件更老(李继亮等, 1999)这一规律。

3 典型蛇绿杂岩——昌宁—孟连带中段地质结构及构造

昌宁—孟连构造带位于滇西南地区,北起昌宁,经耿马、双江、澜沧,向南延至孟连、景洪地区,大地构造上属滇西古特提斯造山带的一部分,介于保山地块与思茅地块(兰坪—思茅—印支地块)之间,总体近南北向展布。

大尺度宏观分析表明,由于受到左行走滑型北东—南西向的南定河断裂和北西—南东向的澜沧—景洪断裂的影响,造成了昌宁—孟连古缝合线一些宏观弧形弯曲现象,显然是受到南定河断裂及澜沧—景洪断裂的共同影响(Zhang *et al.*, 2009)。应当指出澜沧江断裂、南定河断裂、澜沧—景洪断裂分割的块体内部记录了更多构造叠加细节。昌宁—孟连带中段的南皮河—小黑江地区正是位于3条断裂之间(图1,图2)。下面从该剖面结构、构造叠加变形2个方面出发,探讨蛇绿岩带演化过程问题。

3.1 垂向结构

昌宁—孟连构造带的基底地层为中元古代大勐龙群、澜沧群和西盟群变质岩系。

基底地层上保存有完整的古特提斯洋壳沉积岩系。这套地层带最下部为一套早泥盆世的三角洲前缘斜坡至深陆棚环境的黄绿灰色砂岩、粉砂岩与泥页岩互层夹黑色浅灰色硅质岩沉积,即腊垒组,有早泥盆世的单笔石组合、放射虫化石组合以及头足类、牙形石等化石。其上部发育三套地层带,即洋盆地层带、海山—洋岛地层带和洋内弧地层带。发育有早泥盆世—中三叠世放射虫硅质岩、石炭—二叠纪海山型碳酸盐

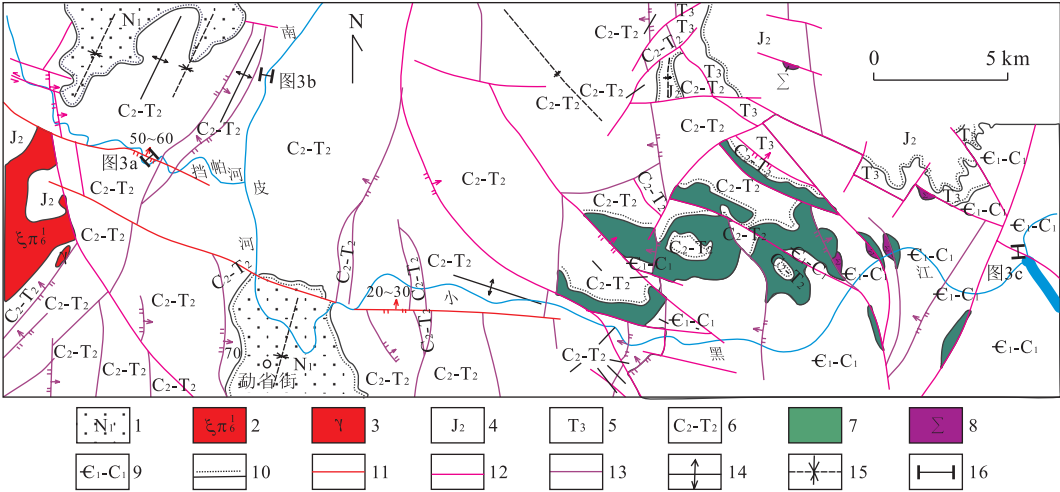


图 2 南皮河一小黑江地区地质构造(以云南省地质矿产局(1990)、中华人民共和国 1:20 万耿马幅地质图为底图编制)

Fig. 2 Structural geological map of the Nanpi river and small black river area

1. 中新统河湖相构造层; 2. 古近纪英安斑岩; 3. 花岗岩; 4. 中侏罗统河湖相—浅海相构造层; 5. 上三叠统浅海相构造层; 6. 上石炭统一中三叠统海相—海陆交互相构造层; 7. 古特提斯蛇绿岩; 8. 古特提斯超基性岩; 9. 下寒武统一下石炭统构造层; 10. 不整合面; 11. 第三期断层(第四纪); 12. 第二期断层(中新世?); 13. 第一期断层(古近纪); 14. 背斜; 15. 向斜; 16. 实测剖面

岩以及蛇绿岩套残留体(Wu *et al.*, 1995).

盖层包括上三叠统及更新的地层. 上三叠统(三岔河组)为山间盆地磨拉石沉积组合, 出露极少, 与下伏地层呈不整合关系; 中侏罗统(龙海组、柳湾组、勐嘎组和花开左组)至下白垩统(景星组)为红层组合; 新近纪(南林组和芒棒组)同腾冲地层分区、保山地层分区能够对比; 第四纪主要为河湖相沉积物, 零星分布. 三岔河组仅零星分布于凤庆、双江一带, 厚 400 m 以上. 凤庆三岔河为一套灰色砾岩、砂砾岩、砂岩、泥岩组成的多个下粗上细的沉积旋回, 中部夹碳质页岩和泥灰岩, 上部紫红色层逐渐增多. 双江勐嘎河由灰绿色砾岩、砂砾岩、细砂岩、粉砂质页岩组成三个下粗上细的沉积旋回, 中部旋回夹煤线和碳质页岩. 由北而南由近海河湖相向河湖沼泽相变化.

3.2 区域横向结构

方宗杰等(1992)对于海相标志层层位、刘本培等(1993)对海山、方念乔(1993)对洋内弧性质以及云南省地质矿产局(1996)对海相岩系的“平掌组”等进行了深入研究. 冯庆来和刘本培(1993)根据蛇绿岩地层区古生物地层学及大地构造属性, 将昌宁—孟连带古海洋构造地理格局由西向东分为耿马地块被动陆缘至残余洋盆地层带、孟连洋盆地层带、平掌组海山—洋岛地层带、澜沧县拉巴乡洋内弧地层带、澜沧—景洪弧前盆地地层带等五带.

3.3 蛇绿岩系的改造

与青藏高原隆升会对北祁连蛇绿岩带造成无根

式改造及超高压物质就位(Yin *et al.*, 2007)类似, 强烈的构造改造可能使一套典型的蛇绿岩系遭受强烈破坏. 古特提斯昌宁—孟连带就遭受了强烈的多期构造改造, 并使得强烈直立、无根、紧闭等褶皱变形和不同级别变质的该岩系就位.

较全区尺度而言, 上述洋内弧地层带中段即耿马南皮河—小黑江一带的地质构造旋回时间跨度要小的多, 仅新生代即可能有三期构造活动得以析出, 即中新世之前有两期, 中新世之后有一期.

第一期, 相关构造样式形成时代可能上溯至三叠纪, 这里划分较粗略. 逆断层 NE-SW 展布, NW-SE 向收缩运动并有同向转换断层调节, 伴随古近纪英安岩体产出而停止(图 2).

第二期, 截切古近纪英安岩体的前中新世逆断层 NW-SE 展布, NE-SW 向收缩运动, 构造叠加造成中新统河湖相构造盆地产生. 南皮河组(P_1n)泥灰岩夹薄层泥岩系与大明山组(P_1dm)灰岩、鲕状灰岩之间为断层接触关系, 但区域上是整合关系, 反映出从大明山期到南皮河期为海水变浅、升降频繁的时期, 但遭受了上述两期构造改造(图 3a, 3b). 在小黑江检查站北见岩性组合为中上泥盆统中薄层石灰岩、泥质板岩、砂岩及千枚岩. 构造方面发育强烈褶皱构造, 构造透镜体发育, 褶皱轴面 $35^\circ < 88^\circ$, 指示受 NE-SW 向挤压, 膝折型褶皱发育, 石英脉发育于轴处, 灰岩常以透镜体的形式出现, 最大主应力方向可由剪切脉尖端指示, 为 $115^\circ < 295^\circ$ (图 3c); 显微构

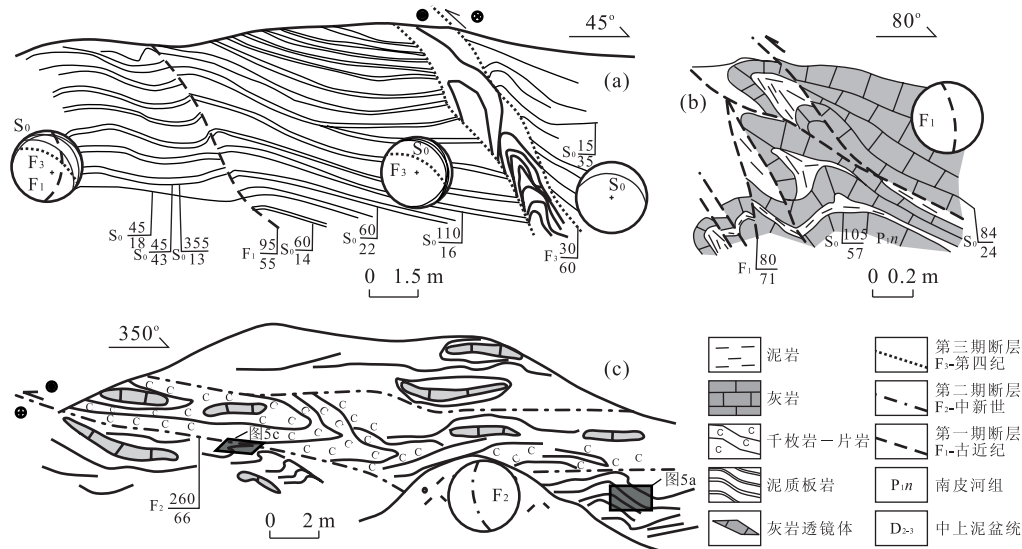


图 3 跨越缝合线小黑江沿线蛇绿岩相关岩层三期变形的厘定

Fig. 3 Field sections on three period of deformation along the Small Black River area, changing the ophiolite related formation across the paleo-Tethyan suture zone

a. 挡帕河桥:南皮河组剖面,断层隔开地块内部板状交错层理明显,层理产状下半球赤平投影显示断层造成了地块相对转动,揭示断层 F_1 和 F_3 均为压扭性质,前者为右行压扭,后者为左行压扭;b. 南皮河大桥:南皮河组剖面,地层遭受 F_1 断层强烈冲断改造,造成众多剪切变形褶皱、倒转褶皱发育, F_1 具右旋逆冲断层;c. 检查站:中上泥盆统剖面,炭质千枚岩—构造片岩褶皱发育,系早期变形作用,并为 NNW 向高角度西倾右行逆掩断层 F_2 切割,晚期构造体制为 NW-SE 向收缩,以张节理为标志

造解析支持了该运动学判断,并根据石英位错蠕变所显示的定向拉长、波状消光及云母的重结晶特点判断其属于中低绿片岩相条件下的剪切变形,即低温动力变质(图 4a~4d). 总之,宏观上看主体挤压(收缩)方向应为 NE-SW 向,最大主应力轴 σ_1 为 NNE 向. 这一方向应力作用也能较为合理地解释宏观及微观上观察到的断裂的左行特征.

第三期活动代表重要的隆升过程(图 2). 中新世接受湖盆相沉积建造. 中新世以后—第四纪明显有一期构造事件,表现为中新世沉积盆地被断层截切,褐煤层岩系被缓掀斜,逆断层近东西展布, NNE-SSW 向收缩运动,发育低角度逆断层与逆冲推覆构造,至今仍造成地震活动.

该推断与段建中等(2001)对滇西新生代构造演化划分为 3 个发展阶段一致,即晚始新世—渐新世末,喜马拉雅构造运动的会聚碰撞,滇西及青藏高原会聚带地壳急剧缩短;中新世—晚上新世,滇西地区处于相对稳定时期;早更新世—全新世,滇西“三江”地区为强烈的抬升运动,从而造就了滇西地区原始高原地貌的基本轮廓.

弧前盆地地层带,在景洪曼飞龙水库东山冲断带,可见岩性主要为上二叠统龙潭组板岩、粉砂岩及部分微晶片岩,膝折变形构造发育,早期应力场为

NE-SW 向,并产生褶皱冲断构造及地层不同程度变质;晚期应力场方向可能不变,但产生右行走滑断裂活动(图 5);显微构造发育的片状糜棱结构解析揭示的运动方向一致,根据石英动态重结晶显示的聚晶条带及云母重结晶域的膝折特征,判断其经历了中高绿片岩相条件下的动力变质过程.

4 构造与成矿关系讨论

三江中南半岛地区位于全球特提斯构造域的中亚—东南亚“Z”字形地段,经历古生代以来多个演化旋回,最终形成于新生代,记录了冈瓦纳、劳亚大陆之间华夏陆块群的复杂异地离散和聚合的复杂过程. 前人研究表明,构造旋回时间跨度与空间尺度相对应,同时矿带类型受控于岩石构造组合(黄汲清和陈炳蔚, 1987; 翟裕生和林新多, 1993; 莫宣学等, 2001). 研究区种类繁多的岩石构造组合决定了多样的矿产资源赋存性. 如前述,区域上,蛇绿混杂岩带岩石组合具有带状展布的,分布往往与深大断裂平行,将各古陆块连接到了一起(图 1、表 1). 结合东南亚五国及邻区主要成矿带划分图资料(成都地质矿产研究所, 2006),探讨蛇绿杂岩带演化过程中相关的矿产.

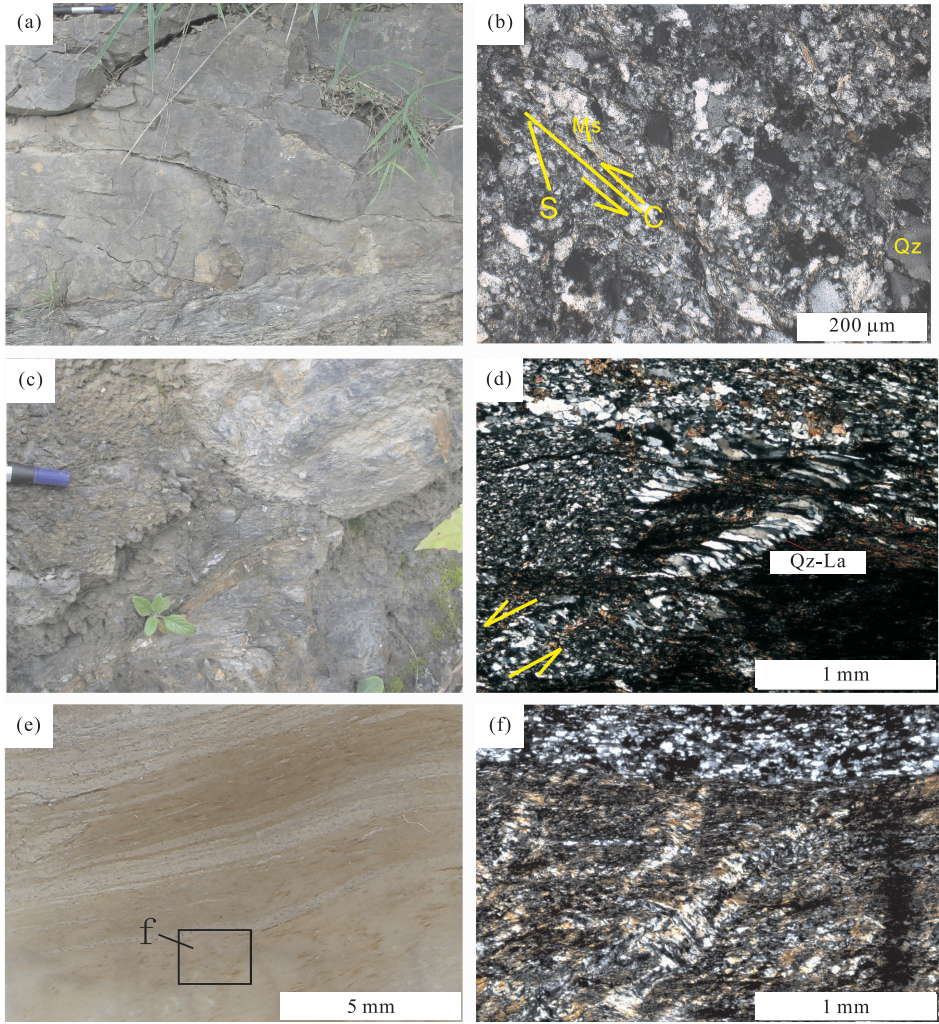


图 4 剪切带小尺度—显微尺度构造

Fig. 4 Structural analysis of small to micro scale along shear zone

a. 变质砂岩透镜体, 双重构造; b. 正交偏光下标本 09092-1 变质砂岩(与 a 对应)的石英域(Qz)和白云母(Ms)域定义的 S-C 组构指示逆时针剪切; c. 左行小型剪切带, 俯视图, 记号笔长约 15 cm; d. 正交偏光下标本 09092-2(与 c 对应)长英质片状糜棱岩发育石英拉长线理, S-C 组构指示逆时针剪切; e. 薄片照, 域结构明显, 自然光, 曼飞龙水库云母石英片岩 09120; f. 正交偏光下标本 09120(与 e 对应)片状糜棱岩富石英域及云母域分化明显, 其中富云母域膝折指示右行剪切作用

(1) 板块边缘成矿带: 昌宁—孟连带内老厂型块状硫化物矿床, 可能形成于板块演化的裂谷阶段(杨开辉等, 1992); 镍、铬矿床, 主要沿金沙江、哀牢山、马江缝合线发育, 在那加—若开山一带也有一些, 属超基性岩浆岩型, 大地构造上发育于石炭纪板块离散边缘; 锡钨成矿带, 主要沿与上述蛇绿岩带平行展布的区域酸性岩浆岩带分布, 形成于板块汇聚边缘。

(2) 不同古板块成矿带: 热液型铜矿床分布于昌宁—孟连—清迈带以东, 以西稀少, 说明其与劳亚大陆裂解演化关系更密切。推测可能与特提斯演化过程中活跃在劳亚大陆内部的地幔对流有关(郭新生等, 2001; 孙勇等, 2002; 肖龙等, 2005)。

(3) 结合前人研究, 初步总结全区尺度的中—新

生代演化与成矿特征如下: 中生代中三叠世, 大规模磨拉石盆地(Feng *et al.*, 2005)、印支期斋江变质核杂岩(Roger *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2006)等标志着古特提斯的关闭。白垩纪的岩浆岩带, 如白垩纪早期腾冲花岗岩带、那加—若开—葡萄超基性岩带等, 标志着中特提斯的消减。新生代: 这一阶段经历了复杂的造山过程(何科昭等, 1996), 部分学者认为主要存在侧向碰撞与斜向俯冲过程(Betrand and Rangin, 2003; 刘俊来等, 2006), 从而使得大量有用矿产得以富集, 滇西一带相关金矿有老王寨、冬瓜林、烂泥塘、金厂、大坪、铜厂街、老厂等, 剪切型的比较多(胡云中等, 1995; Hou *et al.*, 2007)。本文通过昌宁—孟连中段南皮河—小黑江地区区域填图、野

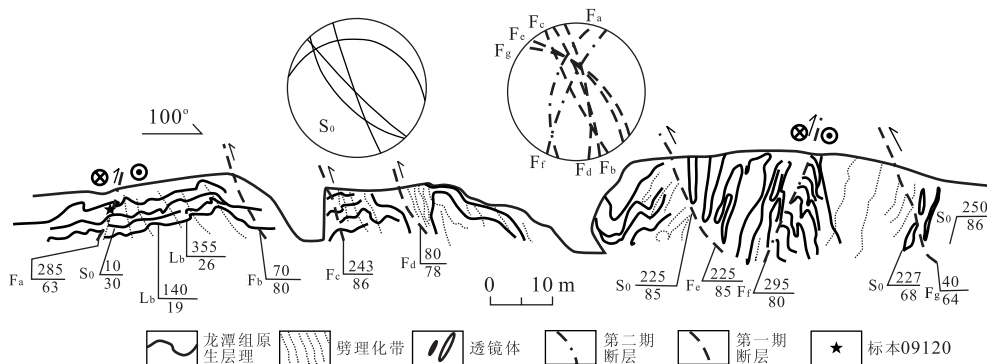


图5 曼飞龙水库东上二叠统龙潭组剖面膝折冲断构造

Fig. 5 Kink fold and thrust structures of the Upper Permian Longtan Formation near the Manfeilong Reservoir

露头以板—千枚岩级变质岩为主,发育原生层理(S_0),剪切型褶皱(L_b)及劈理化强烈,数条走滑—收缩性质断层。结合面状构造下半球赤平投影,厘定出早期受到区域 NW-NE 向中等角度冲断褶皱收缩断层($F_b + F_c + F_d + F_e + F_g$)改造,晚期受到区域高角度右行压扭断层($F_a + F_f$)改造

外及室内显微构造研究,揭示了新生代更细的构造改造演化的过程,剪切温压属于中低温。

值得指出的是,中新世是重要构造转折期和成矿期,是新特提斯的消亡和青藏高原的隆升的重要时期。一方面,东构造结附近最终形成了横断山褶皱束(黄汲清和陈炳蔚,1987),清迈以南地区逆冲推覆构造造成古缝合带未出露,以及庄他武理蛇绿岩带部分三叠纪岩浆弧作为上盘被冲至缝合带以西(刘本培等,2002)。另一方面,中新世前后还集中发育了大规模伸展构造如抹谷(Betrand *et al.*, 1999, 2001)、素贴山和因他暖山(Dunning *et al.*, 1995; Rhodes *et al.*, 1997; Morley, 2001)、布康(Jolivet *et al.*, 1999)等伸展性变质核杂岩构造;以及区域走滑构造如实皆(Betrand *et al.*, 1999)、哀牢山—红河(Leloup *et al.*, 1995)、梅平、三塔、拉廊等剪切带。

致谢:与中国地质大学陈永清教授、云南地矿局卢映祥研究员一起进行了野外工作,成都地质矿产研究所林方成研究员提供了部分东南亚矿产资料,在此一并致谢。感谢本文评阅人细致入微的评审意见。感谢赵鹏大院士的鼓励。

References

- Acharyya, S. K., 2001. The role of India-Asia collision in the amalgamation of the Gondwana-derived blocks and deep-seated magmatism during the Paleogene at the Himalayan foreland basin and around the Gongha syntaxis in the South China block. *Gondwana Research*, 4(1): 61—74. doi:10.1016/S1342—937X(05)70655—9
- Betrand, G., Rangin, C., 2003. Tectonics of the western margin of the Shan plateau (Central Myanmar): implication

- for the India-Indochina oblique convergence since the Oligocene. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(10): 1139—1157. doi:10.1016/S1367—9120(02)00183—9?
- Betrand, G., Rangin, C., Maluski, H., et al., 1999. Cenozoic metamorphism along the Shan scarp (Myanmar): evidences for ductile shear along the Sagaing fault or the northward migration of the eastern Himalayan syntaxis? *Geophysical Research Letters*, 26(7): 915—918. doi:10.1029/1999GL900136
- Betrand, G., Rangin, C., Maluski, H., et al., 2001. Diachronous cooling along the Mogok metamorphic belt (Shan scarp, Myanmar): the trace of the northward migration of the Indian syntaxis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(5): 649—659. doi:10.1016/S1367—9120(00)00061—4
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1990. Regional geology of Yunnan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1996. Stratigraphy (Lithostratic) of Yunnan Province—multiple classification and correlation of the stratigraphy of China (53). China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Che, Z. C., Jiang, H. X., 1987. Introduction to tectonics. Shaanxi Scientific & Technological Press, Xi'an (in Chinese).
- Che, Z. C., Liu, L., Luo, J. H., 2002. Regional geotectonics of China and its adjacent areas. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chen, Y. L., Zhang, K. Z., Yang, Z. M., et al., 2006. Discovery of a complete ophiolite section in the Jueweng area, Nagqu County, in the central segment of the Bangong Co-Nujiang junction zone, Qinghai-Tibet plateau. *Geological Bulletin of China*, 25(6): 694—699 (in Chinese)

with English abstract).

- Duan, J. Z., Xue, S. R., Qian, X. G., 2001. The Cenozoic geological tectonic framework and evolution in the Three-River area of West Yunnan. *Yunnan Geology*, 20(3): 243–253 (in Chinese with English abstract).
- Dunning, G. R., Macdonald, A. S., Barr, S. M., 1995. Zircon and monazite U-Pb dating of the Doi Inthanon core complex, northern Thailand: implications for extension within the Indosinian orogen. *Tectonophysics*, 251(1–4): 197–213. doi:10.1016/0040-1951(95)00037-2
- Fang, N. Q., 1993. Read the Tethys die from the Late Permian offshore deposits. In: the ICC No. 321 Chinese Group, ed., Proliferation of Asia. Seismological Press, Beijing, 57–60 (in Chinese).
- Fang, Z. J., Zhou, Z. C., Lin, M. J., 1992. Discussion on issues of the Changning-Menglian suture zone from the angle of the stratigraphy. *Journal of Stratigraphy*, 16(4): 292–303 (in Chinese).
- Feng, Q. L., 2002. Stratigraphy of volcanic rocks in the Changning-Menglian belt in southwestern Yunnan, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(6): 657–664. doi:10.1016/S1367-9120(02)00006-8
- Feng, Q. L., Chonglakmani, C., Helmcke, D., et al., 2005. Correlation of Triassic stratigraphy between the Simao and Lampang-Phrae basins: implications for the tectonopaleogeography of Southeast Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(6): 777–785. doi:10.1016/j.jseaes.2004.11.008
- Feng, Q. L., Liu, B. P., 1993. Stratigraphic investigation of the volcanic rocks in Changning-Menglian tectonic belt, southwestern Yunnan, China. *Geoscience*, 7(4): 402–409 (in Chinese with English abstract).
- Gan, K. W., 2000. The Tethys evolution and hydrocarbon distribution. *Marine Origin Petroleum Geology*, 5(4): 21–29 (in Chinese with English abstract).
- Guo, X. S., Chen, J. F., Zhang, X., et al., 2001. Nd isotopic ratios of K-enriched magmatic complexes from southeastern Guangxi Province: implications for upwelling of the mantle in southeastern China during the Mesozoic. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 19–27 (in Chinese with English abstract).
- Hada, S., Bunapas, S., Ishii, K., et al., 1999. Rift-drift history and the amalgamation of Shan-Thai and Indochina/East Malaysia blocks. In: Metcalfe, I., ed., Gondwana dispersion and Asian accretion. A. A. Balkema, Rotterdam, 67–87.
- He, K. Z., Zhao, C. H., He, H. S., 1996. Intracontinental rift and orogeny in western Yunnan, China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Hou, Q. Y., Zhao, Z. D., Zhang, H. F., et al., 2006. Indian Ocean-MORB-type isotopic signature of Yushigou ophiolite in North Qilian Mountains and its implications. *Science in China (Series D)*, 49(6): 561–572. doi: 10.1007/s11430-006-0561-8
- Hou, Z. Q., Zaw, K., Pan, G. T., et al., 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S. W. China: tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types. *Ore Geology Reviews*, 31(1–4): 48–87. doi: 10.1016/j.oregeorev.2004.12.007
- Hu, Y. Z., Tang, S. C., Wang, H. P., et al., 1995. Geology of the Ailaoshan gold deposits. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Huang, J. Q., 1945. On major tectonic forms of China. Geological memoirs of national geological survey of China, A(20). In: Huang Jiqing Book Collection (vol. 3), Geology and tectonics. Geological Publishing House, Beijing, 1992, 11–97 (in Chinese).
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. The evolution of the Tethys in China and adjacent regions. Geological Publishing House, Beijing, 1–78 (in Chinese).
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2009. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the paleo-Tethys orogen in Southwest China (II): insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province. *Lithos*, 113(3–4): 767–784. doi:10.1016/j.lithos.2009.04.006
- Jolivet, L., Maluski, H., Beyssac, O., et al., 1999. Oligocene-Miocene Bu Khang extensional gneiss dome in Vietnam: geodynamic implications. *Geology*, 27(1): 67–70. doi:10.1130/0091-7613(1999)027<0067:OM-BKEG>2.3.CO;2
- Klemme, H. D., Ulmische, G. F., 1991. Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors(1). *AAPG Bulletin*, 75(12): 1809–1851. doi: 10.1306/0C9B2A47-1710-11D7-8645000102C1865D
- Leloup, P. H., Lacassin, R., Tapponnier, P., et al., 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251(1–4): 3–10. doi:10.1016/0040-1951(95)00070-4
- Li, C. Y., Wang, Q., Liu, X. Y., et al., 1982. Tectonic map of Asia and its explanatory notes. Map Press, Beijing, 1–49 (in Chinese).
- Li, F. X., Zhao, Y. L., Wang, Z. Z., et al., 1995. Geology and

- mineral resources and mining economy in Southeast Asia. Bureau of Geology and Minerals Prospecting of Yunnan Province, Planning Committee of Yunnan Province, Yunnan (in Chinese).
- Li, J. H., Niu, X. L., Chen, Z., et al., 2004. Taihang deep nappe discovery and geological significance. *Progress in Natural Science*, 14(10): 1118—1127 (in Chinese).
- Li, J. L., Sun, S., Hao, J., et al., 1999. Time limit of collision event of collision orogens. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 315—320 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. L., Wang, K. Y., Wang, Q. C., et al., 1990. Early Proterozoic collision orogenic belt in Wutaishan area. *Chinese Journal of Geology*, 1: 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. G., 1973. Introduction to geomechanics. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Li, X. Z., Jiang, X. S., Sun, Z. M., et al., 2002. Collision process in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area, southwestern China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, X. Z., Liu, W. J., Wang, Y. Z., et al., 1999. The tectonic evolution and metallogenesis in the Tethys of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area, southwestern China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Liu, B. P., Feng, Q. L., Chonglakmani, C., et al., 2002. Framework of paleotethyan archipelago ocean of western Yunnan and its elongation towards north and south. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161—171 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. P., Feng, Q. L., Fang, N. Q., et al., 1993. Tectonic evolution of paleo-Tethys poly-island-ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang belts, southwestern Yunnan, China. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 18(5): 529—539 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. H., Zhang, S. G., You, Z. D., et al., 1993. The main metamorphic rock groups in Qinling and their metamorphic evolution. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Liu, J. L., Song, Z. J., Cao, S. Y., et al., 2006. The dynamic setting and processes of tectonic and magmatic evolution of the oblique collision zone between Indian and Eurasian plates; exemplified by the tectonic evolution of the Three River region, eastern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 775—786 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. Q., Li, X. Z., Ye, Q. T., et al., 1993. Division of tectono-magmatic zones and the distribution of deposits in the Sanjiang area. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Metcalf, I., 1997. The paleo-Tethys and Palaeozoic-Mesozoic tectonic evolution of Southeast Asia. In: Dheeradilok, P., Hinthong, C., Chaodumrong, P., et al., eds., Proceedings of the international conference on the stratigraphy and tectonic evolution of Southeast Asia and the South Pacific. Bangkok, Thailand, 260—272.
- Metcalf, I., 1998. Paleozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region: multidisciplinary constraints and implications for biogeography. In: Hall, R., Holloway, J. D., eds., Biogeography and geological evolution SE Asia. Backhuys Publ., Leiden, 25—41.
- Metcalf, I., 1999. Gondwana dispersion and Asian accretion, an overview. In: Metcalf, I., ed., Gondwana dispersion and Asian accretion. Final results volume for IGCP project 321. A. A. Balkema, Rotterdam, 9—28.
- Metcalf, I., 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(6): 551—566. doi: 10.1016/S1367-9120(02)00022-6
- Miyashiro, A., 1975. Classification, characteristics, and origin of ophiolites. *J. Geol.*, 83: 249—281.
- Mo, X. X., Deng, J. F., Dong, F. L., et al., 2001. Volcanic petro-tectonic assemblages in Sanjiang orogenic belt, SW China and implication for tectonics. *Geological Journal of China Universities*, 7(2): 121—138 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Shen, S. Y., Zhu, Q. W., et al., 1998. Volcanic-ophiolite and mineralization of middle-southern part in Sanjiang area of southwestern China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Yu, X. H., et al., 2009. Cenozoic igneous rock of collision-after collision at the Qinghai-Tibet plateau. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Molnar, P., Tapponnier, P., 1975. Cenozoic tectonics of Asia: effects of continental collision. *Science*, 189(4201): 419—426.
- Morley, C. K., Wogannan, N., Sankumarn, N., et al., 2001. Late Oligocene-recent stress evolution in rift basins of northern and Central Thailand: implications for escape tectonics. *Tectonophysics*, 334(2): 115—150. doi: 10.1016/S0040-1951(00)00300-0
- Naldrett, A. J., Cabri, L. J., 1976. Ultramafic and related mafic rocks; their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel-sulphides and platinum-group elements. *Economic Geology*, 71: 1131—1158.

- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., 1997. Geological structure formation and evolution of East Tethys. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G. T., Zheng, H. X., Xu, Y. R., et al., 1983. A preliminary study on Bangong Co-Nujiang suture. In: Editing Committee of Geological Memoirs of Qinghai-Xizang ed., Geological memoirs of Qinghai-Xizang plateau(12)-geological tectonics of "Sanjiang". Geological Publishing House, Beijing, 229—242 (in Chinese).
- Pradittan, S., Tongtaow, C., 1984. Cenozoic basins with petroleum potential in Thailand (in Thai). Conference on Applications of Geology and the National Development, Chulalongkorn University, Bangkok, 34—43.
- Rhodes, B. P., Blum, J., Devine, T., et al., 1997. Geology of the Doi Suthep metamorphic complex and adjacent Chiang Mai basin. In: Dheeradilok, P., Hinthong, C., Chaodumrong, P., et al., eds., Proceedings of the international Conference on stratigraphy and tectonic evolution of Southeast Asia and the South Pacific Bangkok, Thailand, 305—313.
- Roger, F., Leloup, P. H., Jolivet, M., et al., 2000. Long and complex thermal history of the Song Chay metamorphic dome (northern Vietnam) by multi-system geochronology. *Tectonophysics*, 321(4): 449—466. doi: 10.1016/S0040-1951(00)00085-8
- Sashida, K., Igo, H., Adachi, S., et al., 2000. Late Permian to Middle Triassic radiolarian faunas from northern Thailand. *Journal of Paleontology*, 74(5), 789—811.
- Sengor, A. M. C., Botum, U. J., 1989. The Tethys orogenic system; an introduction. In: Sengor, A. M. C., ed., Tectonic evolution of the Tethyan region. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 1—22.
- Shi, R. D., Yang, J. S., Wu, C. L., et al., 2004. First SHRIMP dating for the formation of the Late Sinian Yushigou ophiolite, North Qilian Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 78(5): 649—657 (in Chinese with English abstract).
- Socquet, A., Pubellier, M., 2005. Cenozoic deformation in western Yunnan (China-Myanmar border). *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(4): 495—515. doi: 10.1016/j.jseas.2004.03.006
- Sun, Y., Chen, L., Feng, T., et al., 2002. A dynamic model of paleo-Tethyan evolution: evidences from paleo-Tethyan ophiolite in China. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 32(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Trung, N. M., Tsujimori, T., Itaya, T., 2006. Honvong serpentinite body of the Song Ma fault zone, northern Vietnam: a remnant of oceanic lithosphere within the Indochina-South China suture. *Gondwana Research*, 9(1—2): 225—230.
- Ueno, K., Hisada, K., 2001. The Nan-Uttaradit-Sa Kaeo suture as a main paleo-Tethyan suture in Thailand. Is it real? *Gondwana Research*, 4(4): 804—806.
- Ueno, K., Igo, H., 1997. Late Paleozoic foraminifers from the Chiang Dao area, northern Thailand; geologic age, faunal affinity, and palaeobiogeographic implications. Proceedings of the 13th International Congress on the Carboniferous and Permian, Krakow, Poland, 339—358.
- Upton, D. R., Bristow, C. S., Hurford, C. S., et al., 1997. Tertiary tectonic denudation in northwestern Thailand: provisional results from apatite fission-track analysis. In: Dheeradilok, P., Hinthong, C., Chaodumrong, P., et al., eds., Proceedings of the international conference on stratigraphy and tectonic evolution in Southeast Asia and the South Pacific, Bangkok, Thailand, 421—431.
- Wang, G. H., Liang, D. Y., Zhang, W. J., et al., 2007. Tectono-paleogeographic characteristics in northeastern Tibet, China and spatial-temporal transition of the northern boundary of Gondwana. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 921—928 (in Chinese with English abstract).
- Wang, K. Y., Li, J. L., Hao, J., et al., 1996. The Wutaishan orogenic belt within the Shanxi Province, northern China; a record of Late Archaean collision tectonics. *Precambrian Research*, 78(1—3): 95—103. doi: 10.1016/0301-9268(95)00071-2
- Wang, K. Y., Sun, K. X., 2001. The selected comprehensive review on the geotectonics petrology and ore deposits in southwestern Sanjiang and the west margin of Yangtze platform. Yunnan Science and Technology Press, Kunming (in Chinese).
- Wang, X. F., Metcalfe, I., Jian, P., et al., 2000. The Jinshajiang-Ailaoshan suture zone, China: tectonostratigraphy, age and evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6): 675—690. doi: 10.1016/S1367-9120(00)00039-0
- Wu, H. R., Boulter, C. A., Ke, B., et al., 1995. The Changning-Menglian suture zone: a segment of the major Cathaysian-Gondwana divide in Southeast Asia. *Tectonophysics*, 242(3): 267—280. doi: 10.1016/0040-1951(94)00210-Z
- Xiao, L., Xu, Y. G., He, B., 2005. Mantle plume tectonics and Tethyan evolution: a preliminary interpretation in Sichuan and western Yunnan provinces. *Geological Science and Technology Information*, 24(4): 1—6 (in

Chinese with English abstract).

- Xiao, W. J., Windley, B., Hao, J., et al., 2002. Arc-ophiolite obduction in the western Kunlun Range (China): implications for the Palaeozoic evolution of Central Asia. *Journal of the Geological Society*, 159(5): 517—528. doi: 10. 1144/0016—764901—135
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Badarch, G., et al., 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids; implications for the growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society*, 161(3): 339—342. doi: 10. 1144/0016—764903—165
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Liu, D. Y., et al., 2005. Accretionary tectonics of western Kunlun Orogen, China; a Paleozoic-Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *Journal of Geology*, 113(6): 687—705.
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Li, H. B., et al., 2006. The Early Palaeozoic terrene framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic belts at the central orogenic belt (COB). *Acta Geologica Sinica*, 80(12): 1793—1806 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Wang, C. Y., et al., 2006. Structural and geochronological constrains on the tectonic evolution of the Dulong-Song Chay tectonic dome in Yunnan Province, SW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(4—6): 332—353. doi: 10. 1016/j. jseas. 2005. 10. 011
- Yan, Q. R., Wang, Z. Q., Liu, S. W., et al., 2005. Opening of the Tethys in Southwest China and its significance to the breakup of the East Gondwanaland in the Late Paleozoic; evidence from SHRIMP UPb zircon for the Garze ophiolite block. *Chinese Science Bulletin*, 50(3): 256—264. doi: 10. 1007/BF02897536
- Yang, K. H., Hou, Z. Q., Mo, X. X., 1992. Volcanogenic massive sulfide deposits in Sanjiang region, Southwest China; geological features and main types. *Mineral Deposits*, 11(1): 35—44, 64 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Manning, C. E., Lovera, O., et al., 2007. Early Paleozoic tectonic and thermomechanical evolution of ultrahigh-pressure (UHP) metamorphic rocks in the northern Tibetan plateau, Northwest China. *International Geology Review*, 49(8): 681—716. doi: 10. 2747/0020—6814. 49. 8. 6810
- Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990. Regional geology of Yunnan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhai, Y. S., Lin, X. D., 1993. Ore field tectonics. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, G. W., Zhang, B. R., Yuan, X. C., et al., 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, H. Y., Liu, J. L., Wu, S. L., et al., 2009. Model of the Cenozoic fault tectonic systems and its geological property at the north part of the IndoChina Block. In: Proceedings of commemorate the 120th anniversary of Li Siguang and Li Siguang geological science award 20th anniversary conference. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, Oct., 26—28.
- Zhang, K. J., 1998. The Changning-Menglian suture zone: a segment of the major Cathaysian-Gondwana divide in Southeast Asia—comment. *Tectonophysics*, 290(3—4): 319—321. doi: 10. 1016/S0040—1951(98)00019—5
- Zhang, Q., Wang, C. Y., Liu, D. Y., et al., 2008. A brief review of ophiolites in China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(5—6): 308—324. doi: 10. 1016/j. jseas. 2007. 11. 012
- Zhang, Q., Zhou, G. Q., Wang, Y., 2003. The distribution of time and space of Chinese ophiolites, and their tectonic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. C., Sun, M., Wilde, S. A., et al., 2003. Assembly, accretion and breakup of the Paleo-Mesoproterozoic Columbia supercontinent; records in the North China craton. *Gondwana Research*, 6(3): 417—434. doi: 10. 1016/S1342—937X(05)70996—5
- Zhong, D. L., 1998. Paleo-Tethys orogenic zone in western Yunnan and western Sichuan. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Ziegler, P. A., 1989. Evolution of Laurussia: a study in Late Palaeozoic plate tectonics. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1—102.

附中文参考文献

- 车自成, 姜洪训, 1987. 大地构造学概论. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 车自成, 刘良, 罗金海, 2002. 中国及其邻区区域大地构造学. 北京: 科学出版社.
- 陈玉禄, 张宽忠, 杨志民, 等, 2006. 青藏高原班公湖—怒江结合带中段那曲县觉翁地区发现完整的蛇绿岩剖面. 地质通报, 25(6): 694—699.
- 段建中, 薛顺荣, 钱祥贵, 2001. 滇西“三江”地区新生代地质构造格局及其演化. 云南地质, 20(3): 243—253.
- 方念乔, 1993. 从滇西晚二叠世以后的远海沉积看古特提斯

- 消亡. 见: ICC 第 321 项中国工作组编, 亚洲的增生. 北京: 地震出版社, 57—60.
- 方宗杰, 周志澄, 林敏基, 1992. 从地层学的角度探讨昌宁—孟连缝合带的若干问题. 地层学杂志, 16(4): 292—303.
- 冯庆来, 刘本培, 1993. 滇西南昌宁—孟连构造带火山岩地层学研究. 现代地质, 7(4): 402—409.
- 甘克文, 2000. 特提斯域的演化和油气分布. 海相油气地质, 5(4): 21—29.
- 郭新生, 陈江峰, 张巽, 等, 2001. 桂东南富钾岩浆杂岩的 Nd 同位素组成: 华南中生代地幔物质上涌事件. 岩石学报, 17(1): 19—27.
- 何科昭, 赵崇贺, 何浩生, 等, 1996. 滇西陆内裂谷与造山作用. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 胡云中, 唐尚鹑, 王海平, 等, 1995. 哀牢山金矿地质. 北京: 地质出版社.
- 黄汲清, 1945. 中国主要地质构造单位(中文版). 地质专报, 甲种第 20 号. 见: 黄汲清著作选集(第三卷), 地质学及大地构造学. 北京: 地质出版社, 1992, 11—97.
- 黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京: 地质出版社, 1—78.
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚, 等, 1982. 亚洲大地构造图说明书. 北京: 地图出版社, 1—49.
- 李方夏, 赵应龙, 王卓之, 等, 1995. 东南亚地质矿产与矿业经济. 昆明: 云南省地质矿产局, 云南省计划委员会, 1—332.
- 李继亮, 孙枢, 郝杰, 等, 1999. 碰撞造山带的碰撞事件时限的确定. 岩石学报, 15(2): 315—320.
- 李继亮, 王凯怡, 王清晨, 等, 1990. 五台山早元古代碰撞造山带初步认识. 地质科学, 1: 1—11.
- 李江海, 牛向龙, 陈征, 等, 2004. 太行山区深层次推覆构造的发现及其地质意义. 自然科学进展, 14(10): 1118—1127.
- 李四光, 1973. 地质力学概论. 北京: 科学出版社.
- 李兴振, 李新胜, 孙志明, 等, 2002. 西南三江地区碰撞造山过程. 北京: 地质出版社.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等, 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿: 总论. 北京: 地质出版社.
- 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani, C., 等, 2002. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸. 地学前缘, 9(3): 161—171.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 等, 1993. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化. 地球科学——中国地质大学学报, 18(5): 529—539.
- 刘国惠, 张寿广, 游振东, 等, 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及其变质演化. 北京: 地质出版社.
- 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 等, 2006. 印度—欧亚侧向碰撞带构造—岩浆演化的动力学背景与过程——以藏东三江地区构造演化为例. 岩石学报, 22(4): 775—786.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等, 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律. 北京: 地质出版社.
- 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等, 2001. 西南三江造山带火山岩—构造组合及其意义. 高校地质学报, 7(2): 121—138.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文, 等, 1998. 三江中南段火山岩—蛇绿岩与成矿. 北京: 地质出版社.
- 莫宣学, 赵志丹, 喻学惠, 等, 2009. 青藏高原新生代碰撞—后碰撞火成岩. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 郑海翔, 徐耀荣, 等, 1983. 初论班公湖—怒江结合带. 见: 青藏高原地质文集(12). 北京: 地质出版社, 229—242.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等, 2004. 北祁连玉石沟蛇绿岩形成于晚震旦世的 SHRIMP 年龄证据. 地质学报, 78(5): 649—657.
- 孙勇, 陈亮, 冯涛, 等, 2002. 一种古特提斯演化的动力学模型——来自中国古特提斯蛇绿岩的证据. 西北大学学报(自然科学版), 32(1): 1—6.
- 王根厚, 梁定益, 张维杰, 等, 2007. 藏东北构造古地理特征及冈瓦纳北界的时空转换. 地质通报, 26(8): 921—928.
- 王铠元, 孙克祥, 2001. 西南三江及扬子西缘区构造岩矿综论集. 昆明: 云南科技出版社.
- 肖龙, 徐义刚, 何斌, 2005. 试论地幔柱构造与川滇西部古特提斯的演化. 地质科技情报, 24(4): 1—6.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等, 2006. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成. 地质学报, 80(12): 1793—1806.
- 闫全人, 王宗起, 刘树文, 等, 2005. 西南三江特提斯洋扩张与晚古生代东冈瓦纳裂解: 来自甘孜蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 年代学证据. 科学通报, 50(2): 158—166.
- 杨开辉, 侯增谦, 莫宣学, 1992. “三江”地区火山成因块状硫化物矿床的基本特征与主要类型. 矿床地质, 11(1): 35—44, 64.
- 云南省地质矿产局, 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 云南省地质矿产局, 1996. 云南省岩石地层——全国地层多重划分对比研究第 53 号. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 翟裕生, 林新多, 1993. 矿田构造学. 北京: 地质出版社.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等, 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社.
- 张旗, 周国庆, 王焰, 2003. 中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境. 岩石学报, 19(1): 1—8.
- 钟大赉, 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社.