

王宏, 林方成, 李兴振, 等. 老挝及邻区构造单元划分与构造演化[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 71–84.

Wang Hong, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. The division of tectonic units and tectonic evolution in Laos and its adjacent regions[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 71–84(in Chinese with English abstract).

## 老挝及邻区构造单元划分与构造演化

王 宏 林方成 李兴振 施美凤

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

**摘要:**藏东南三江—印支地区是世界构造地质研究的热点地区之一, 而老挝位于中南半岛中北部, 相比于周边邻区地质研究程度较低。文章结合近年来参加项目研究成果, 综合前人研究资料, 通过区域对比分析, 总结归纳区内各构造单元的延伸趋势及其相互关系, 对老挝及邻区进行构造单元划分, 并初步概括了老挝及邻区的大地构造演化史。基于区域构造—岩石组合的分布发育及时空属性特征, 文章将该区划分为 7 个三级构造单元: 景洪—素可泰火山弧、难河—程逸缝合带、思茅—彭世洛地块、莫边府—黎府缝合带、万象—昆嵩地块、色潘—三岐缝合带、长山地块。研究区在不同地质历史阶段具有多重大地构造属性, 总体上经历了 3 个重要大地构造演化阶段: 前特提斯演化、特提斯演化和中生代陆内演化阶段。前特提斯演化时期, 主体表现为昆嵩、长山古地块的形成, 一直到早古生代都具有亲扬子—华南地块的大地构造属性。自中晚古生代至早中生代为古特提斯演化时期, 表现为以莫边府—黎府洋、色潘—三岐洋、难河—程逸弧后洋及邻区马江洋为主导的洋陆构造演化格局。晚中生代—新生代则为板内伸展、走滑、地壳物质均衡调整及伴生的盆地形成、碱性岩浆活动等作用期, 也是区内现今地质构造格局的定形期。

**关键词:**构造单元划分; 构造演化; 老挝; 东南亚

中图分类号: P548 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)01-0071-14

## The division of tectonic units and tectonic evolution in Laos and its adjacent regions

WANG Hong, LIN Fang-cheng, LI Xing-zhen, SHI Mei-feng

(Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** Structural research on the Sanjiang–Indosinian region of southeast Tibet has aroused much interest among geologists all over the world. However, Laos, which is located in north–central Indochina peninsula, remains insufficiently studied in comparison with neighboring China, Thailand and Vietnam. Combined with the latest project research results as well as the previous research data, the authors preliminarily made division of tectonic units and summarized tectonic evolution of Laos and adjacent regions through the regional comparative analysis and the study of the extension trends of individual tectonic units and their interrelations. On the basis of the temporal–spatial distribution nature of the regional structure–rocks, the authors divided the study area into 7 third grade structural units, i.e., Jinghong–Sukhothai arc block, Nam–Uttaradit suture, Simao–Phitsanulok block, Dien bien phu–

收稿日期: 2013-09-26 ; 改回日期: 2014-12-29

基金项目: 中央地勘基金境外矿产资源风险勘查项目 ([2011]D3-03) 和中国地质调查局国土资源大调查项目 (1212011120337) 联合资助。

作者简介: 王宏, 男, 1985 年生, 硕士, 工程师, 主要从事矿床学、大地构造与成矿学研究; E-mail: wangh1213@sina.com。

通讯作者: 林方成, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿产地质、成矿规律和成矿预测研究; E-mail: linfc@126.com。

Loei suture, Vientiane–Kontum block, Sepon–Tam Ky suture, and Truongson block. The study area had multiple tectonic natures during different geological stages. On the whole, the study area has experienced three important tectonic evolution stages, i.e., Pre–Tethys, Tethys, and Meso–Cenozoic intracontinental stages. During the Pre–Tethys evolution which lasted to Early Paleozoic, mainly rigid Kontom and Truongson block came into being, which had affinity to the Yangtze–South China block. From the Late Paleozoic–Early Mesozoic, the study area became a part of the Tethyan domain with the opening of Paleo–Tethys, which showed an ocean–land tectonic framework that led to the formation and evolution of Dien bien phu–Loei Ocean, Sepon–Tam Ky Ocean, Nam–Uttaradit arc–back Ocean and Song Ma Ocean. Late Mesozoic–Cenozoic was a period during which modern geological structure framework began to form, and there existed intraplate extension, strike–slipping, crustal mass isostatic adjustment, basin formation and coeval alkaline magmatic activities.

**Key words:** division of tectonic units; tectonic evolution; Laos; Southeast Asia

**About the first author:** WANG Hong, male, born in 1985, assistant engineer, mainly engages in the study of mineral deposits, geotectonics and ore formation; E–mail: wangh1213@sina.com.

**About the corresponding author:** LIN Fang–cheng, male, born in 1963, doctor, senior researcher, mainly engages in the study of ore geology, ore–forming regularity and ore exploration; E–mail: linfc@126.com.

老挝地处东南亚中南半岛中北部,在大地构造上位于印支地块区(西界为澜沧江—清莱—劳勿缝合带,北东界为金沙江—哀牢山—马江缝合带)<sup>[1-2]</sup>(图1),地质构造比较复杂。其主要构造单元可与毗邻的中国云南、越南、柬埔寨、泰国等的构造单元相互连接和延伸。

老挝及邻区经历了复杂的地质构造演化,发育较多的区域性缝合带及微地块。前人对其地质构造分区研究程度较低,构造单元划分仍存在争议。早期学者,如Phan等(1991)<sup>[3]</sup>、Dickins等(1995)<sup>[4]</sup>和李方夏等(1995)<sup>[5]</sup>等主要从古地理—地层建造角度对研究区进行过简略的构造划分研究;近年来,李兴振等(2004)<sup>[1-2]</sup>、林方成等(2006,2010)<sup>①②</sup>和陈永清等(2010)<sup>[6]</sup>等也对研究区进行过构造划分研究,但划分方案并不一致,以李兴振等(2004)<sup>[1-2]</sup>基于板块构造理论的三级构造单元划分和林方成等(2010)<sup>②</sup>的四级构造单元划分较为合理和具有代表性。目前国内外学者对东南亚地区开展了大量的研究工作,取得一系列进展,在老挝及邻区印支地块的构造属性、老越长山带印支期热构造演化等方面达成共识。然而,区内几条重要结合带的延伸、形成演化历史及其间微地块的归属和构造演化等问题仍有争议,如:(1)难河—程逸缝合带延伸及闭合前洋盆的性质<sup>[7-12]</sup>;(2)哀牢山—奠边府古特提斯缝合带的向南延伸与衔接<sup>[1,12]</sup>③;(3)马江洋的俯冲极性、时代

及其与长山带的作用机制<sup>[13-20]</sup>;(4)色潘—三岐缝合带及闭合前大洋性质<sup>[13,16,21]</sup>;(5)新生代奠边府断裂走滑机制与时间等。对这些问题的解决与厘定,直接影响着对于研究区大地构造单元划分和演化历史的认识,以及对于构造—岩浆—成矿带划分及相关铜金铁等内生金属成矿作用环境的判别。

本文拟结合前人研究资料和近几年的项目研究成果,从区内基本构造单元特征总结分析切入,对老挝及邻区进行构造单元划分,并初步总结老挝及邻区的大地构造演化史。

## 1 大地构造单元划分及其基本地质特征

在大地构造研究中,不同学者有着不同的构造单元划分依据。研究区是古特提斯构造域的重要组成部分,区内主要构造单元是中国青藏—三江带古特提斯构造向东南的延伸。本文借鉴近年来前人对老挝(或东南亚)的大地构造划分和研究<sup>[1-5,22]</sup>,以林方成等(2010)<sup>②</sup>的构造单元划分方案为基础,依据区域构造—岩石的分布发育情况及时空属性,将研究区自西向东划分为7个三级大地构造单元(将印支地块区作为二级构造单元;并将其内部的缝合带作为与地块并列的构造单元划分),即景洪—素可泰火山弧、难河—程逸缝合带、思茅—彭世洛地块、奠边府—黎府缝合带、万象—昆嵩地块、色潘—三

①林方成,李兴振,刘朝基,等. 东南亚地质矿产对比研究成果报告. 成都地质调查中心内部资料, 2006.

②林方成,李兴振,施美凤,等. 三江—湄公河成矿带地质背景与成矿规律对比研究成果报告. 成都地质调查中心内部资料, 2010.

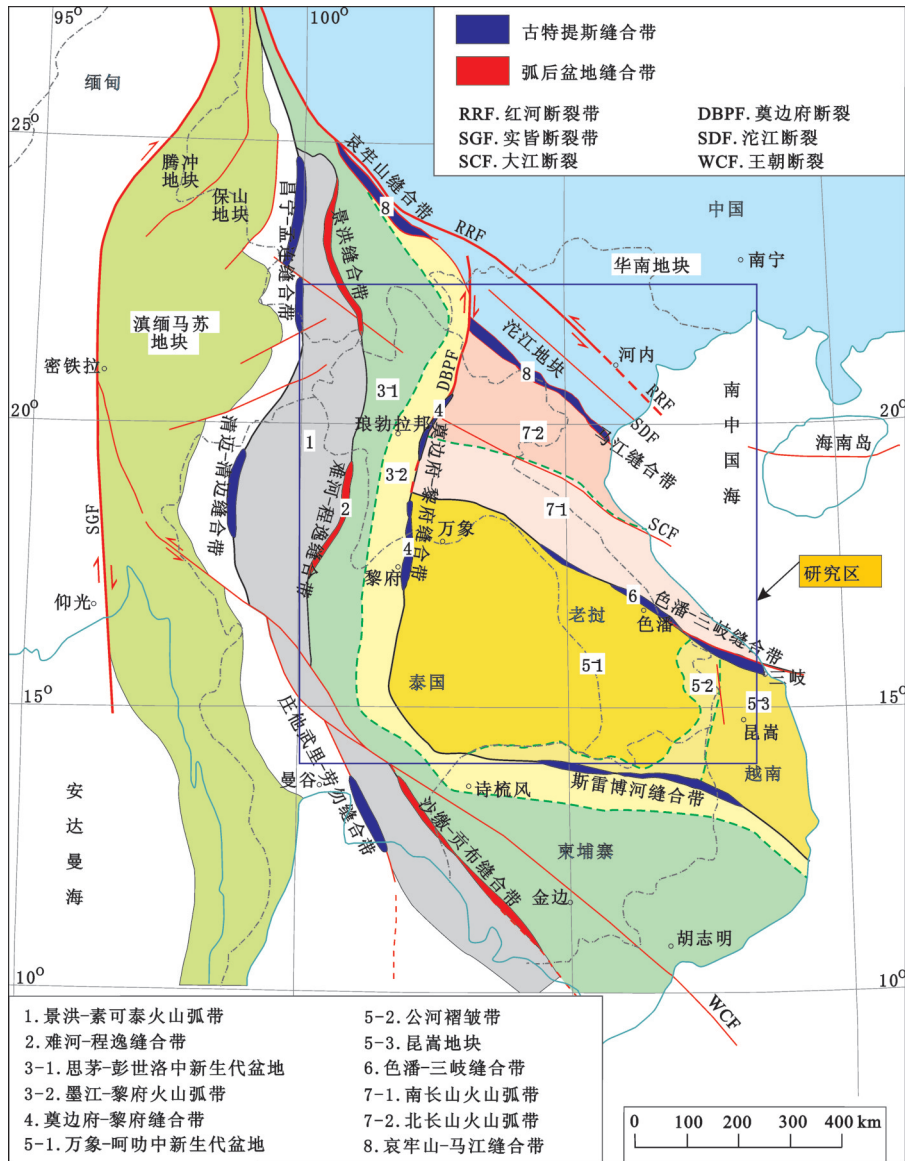


图1 老挝及邻区构造单元划分简图(据 Metcalfe(1999)<sup>[31]</sup>, Lepvrier et al.(2004,2008)<sup>[16-17]</sup>; 林方成等(2010)<sup>①</sup>等综合汇编)  
 Fig.1 Simplified geological map showing structural units of Laos and adjacent regions (b) (modified after Metcalfe(1999)<sup>[31]</sup>,  
 Lepvrier et al.(2004, 2008)<sup>[16-17]</sup>; Lin Fangcheng et al.(2010)<sup>①</sup>)

岐缝合带、长山地块,其中三个地块可进一步划分为数个次级构造单元(图1)。

### 1.1 景洪—素可泰火山弧

位于昌宁—清莱缝合带以东,北段在中国境内称为杂多—景洪火山弧带<sup>[23]</sup>,向南过老挝西部至泰国接素可泰弧地块<sup>[24]</sup>。

带内主要发育上石炭统—三叠系陆源碎屑岩、灰岩及火山岩,二叠系—三叠系英安岩—安山岩—玄

武岩等弧火山岩系,且中下三叠统火山岩地化数据显示陆缘弧特征<sup>[24-26]</sup>,暗示这一岛弧具备大陆基底<sup>[12,27-28]</sup>。这些早期地层遭受后期褶皱作用形成NE向褶皱带,并被晚三叠世诺利斯期陆相砂岩不整合覆盖。侵入岩主要为早中三叠世岛弧I型花岗岩和晚三叠世S型花岗岩。

### 1.2 难河—程逸缝合带

位于泰国难河、程逸、沙缴一带,东南延伸经庄他

①林方成, 李兴振, 施美凤, 等. 三江—湄公河成矿带地质背景与成矿规律对比研究成果报告. 成都地质调查中心内部资料, 2010.

武里至柬埔寨贡布地区。带内物质组成可分为中东西3部分:东部主要由中晚二叠世灰岩、硅质岩组成;中部主体为席状变质岩体;西部则是典型的蛇绿混杂岩带,在难河—程逸、沙缴 Thung Kabin 一带出露最好<sup>[11]</sup>,是一个由弧后盆地玄武岩—安山岩系列、岛弧玄武岩—安山岩—英安岩系列及SSZ型的堆晶岩、橄榄岩、蛇纹岩等镁铁质—超镁铁质岩和硅质岩组成的混杂岩带<sup>[7,10,12]</sup>。此外,在富松山和程逸地区缝合带内西侧存在榴辉岩—蓝片岩及蓝闪绿片岩相组合,表明存在高压低温变质作用—高压变质带<sup>[29]</sup>。构造指向向东加积逆冲,向西俯冲<sup>[28]</sup>。缝合带混杂岩之上为上三叠统 Nam Pat 组浊积砂岩—火山岩碎屑砾岩所不整合覆盖<sup>[29-30]</sup>,其上又被晚三叠世—早侏罗世发育的呵叻群红层不整合覆盖。

### 1.3 思茅—彭世洛地块

位于难河—程逸缝合带以东、哀牢山—奠边府—黎府缝合带以西。该地块可进一步划分为西部思茅—彭世洛中生代盆地和东部墨江—黎府火山弧带两个次级构造单元。

思茅—彭世洛中生代盆地:位于难河—程逸缝合带东侧,是在晚二叠世—早三叠世难河—程逸弧后洋盆闭合后,盆山转换过程中形成的陆内盆地,中晚三叠世具周缘前陆盆地性质。盆地北段即中国兰坪—思茅盆地,南段为泰国彭世洛盆地,中段为老挝沙耶武里—丰沙里盆地,主要由上三叠统前陆盆地相含煤磨拉石沉积岩系、侏罗系—古近系红色陆相碎屑岩系组成<sup>[3]</sup>。

墨江—黎府火山弧带:与东侧奠边府—黎府缝合带近平行展布,发育一套从基性(玄武岩)、中性(安山岩)到酸性(流纹岩)的晚石炭世—中三叠世岛弧型钙碱性火山岩系列<sup>[32]</sup>。中酸性侵入岩分布于老挝巴莱、泰国黎府地区,以岛弧I型花岗岩为主,如黎府 Chatree 金银矿区钙碱性花岗闪长岩的侵位年龄为中三叠世(锆石U—Pb年龄(244±7)Ma)<sup>①</sup>。上三叠统一白垩系陆相含盐层红色碎屑岩系不整合上覆于石炭—二叠系陆源碎屑岩—碳酸盐岩和火山岩系之上。构造变形表现为晚古生代及其以前的岩层大都形成向东倒转的同斜褶皱及向东的逆冲断裂,二叠系向东逆冲在呵叻盆地红层之上。

### 1.4 奠边府—黎府缝合带

中国云南哀牢山带南东延伸经墨江地段后分为两支:东支向南东延伸接越南马江缝合带<sup>[1-2,20,34-35]</sup>,西支南延相继接奠边府断裂带、黎府缝合带和东南端的斯雷博河缝合带<sup>[1,36]</sup>。在哀牢山带和马江带发育较为完整的蛇绿岩层序,由下而上依次为变质橄榄岩(二辉橄榄岩和方辉橄榄岩)、堆晶杂岩、基性熔岩(钠长玄武岩和辉石玄武岩等)及含放射虫硅质岩<sup>[37]</sup>。但奠边府断裂带和斯雷博河一带蛇绿混杂岩存在的确切证据及岩石组合特征仍需进一步野外查证。

在老挝超基性岩仅见于琅勃拉邦东奠边府断裂带与南康河谷交切地带;在泰国北部黎府巴春地区,发育由MORBS和洋内岛弧镁铁质熔岩构成的晚泥盆世枕状熔岩、枕状角砾熔岩和玄武质碎屑岩<sup>[36]</sup>。泰国黎府—碧差汶弧火山岩显示在成熟弧后盆地和大洋盆地中喷发成因的地球化学特性<sup>[32]</sup>。碧差汶东南的二叠纪浊积岩中含有蛇纹岩砾石,在沿Lom Sak—Chum Phae公路出露的中二叠统 Nam Duk 组(沙那武里群上部第三岩性段)砂岩中发现有尖晶石碎屑,地球化学分析表明这些尖晶石起源于弧前地幔橄榄岩,其时代早于中二叠世。Takositkanon et al(1997)<sup>[38]</sup>据此并结合地层具有向东逆冲的构造变形样式,认为存在一个大致南北走向的新缝合带,并将其命名为黎府缝合带。Le Van De (1997)<sup>[39]</sup>通过与在柬老越交界地带的斯雷博河洋对比研究认为,黎府缝合带与斯雷博河缝合带形成时代大致相同,洋盆发育于中晚古生代,关闭于二叠纪末、三叠纪初,发育晚二叠世—早三叠世的陆源碎屑岩、碳酸盐岩和炭质沉积为代表的造山杂岩。

尽管该带在老挝、泰国和柬埔寨境内迄今仅发现较少的镁铁质—超镁铁质岩,但其西侧发育耦合良好的墨江—黎府火山弧带,且Sone and Metcalfe (2008)<sup>[12]</sup>认为哀牢山缝合带不可能通过奠边府断裂与难河缝合带相连接,因而笔者将其单独作为一个缝合带划出。

### 1.5 万象—昆嵩地块

万象—昆嵩地块西南以奠边府—黎府—斯雷博河缝合带为界、北东以色潘—三岐缝合带为界、东临南海盆地,可进一步划分为万象—呵叻中生代盆

①林方成, 李兴振, 施美凤, 等. 三江—湄公河成矿带地质背景与成矿规律对比研究成果报告. 成都地质调查中心内部资料, 2010.

地、公河褶皱带和昆嵩地块三个次级构造单元。

万象—呵叻中生代盆地:沉积演化特征与思茅—彭世洛中生代盆地相似,发育地层主要为一套三叠系—古近系陆相含盐红层岩系(统称为呵叻群)。该盆地是东南亚最主要的大型钾盐—盐岩—石膏矿盆地。构造变形以开阔褶皱为特征。

公河褶皱带:带内主要由古生代地层构成。在桑(San)河上游地段以发育寒武系片岩和石英岩、志留系页岩及泥盆系含放射虫硅质岩为特征<sup>[1]</sup>;而塞公河带为一套寒武系—志留系(Auvong群和Lounda组)的浅变质火山—沉积岩系<sup>[3]</sup>。早古生代末—晚古生代初遭受加里东造山运动改造,形成褶皱带,并发育以大禄(Dailoc)高铝花岗岩类为代表的造山期Matery构造穹窿杂岩和下一中泥盆统(Thanthan组)红色磨拉石相沉积。

昆嵩地块:为一古陆块,由结晶基底和盖层构成。结晶基底主要由太古宇和元古宇组成:太古宇下部为镁铁质麻粒岩、变基性火山岩,中部为镁铁质—硅铝质过渡特征斜长片麻岩,上部为硅铝质花岗岩;元古宇为斜长片麻岩、(辉长)角闪岩和矽线石片岩及由混合花岗岩组成的变质花岗岩层<sup>[1-2,40]</sup>。其上盖层主要是中三叠统碎屑岩、碳酸盐及少量流纹岩,以及中侏罗统造山磨拉石相砂砾岩层<sup>[39]</sup>。

万象—昆嵩地块岩浆活动强烈,前寒武纪至中生代主要发育花岗质侵入岩类。在老挝南部、柬埔寨东北部和安溪裂谷及波罗芬高原中也有大量中生代(三叠纪后)的酸性岩浆喷发。新生代在板内伸展走滑背景下,发育大面积裂隙式溢流玄武岩。

### 1.6 色潘—三岐缝合带

色潘—三岐缝合带呈北西向展布,从越南三岐向北西经老挝的色潘、他曲,在万荣附近被莫边府断裂所截切。北西段隐没于万象—呵叻盆地中生代地层之下,南东段主要由三岐断裂带、他曲—色潘断裂带构成,古洋壳以超镁铁质岩、镁铁质岩和陆源碎屑岩为代表的蛇绿混杂岩组合出露在Thanh My—Kham Due一带<sup>[39]</sup>,前人将其命名为三岐(TamKy)—福山(Fhuson)缝合带<sup>[16]</sup>,代表一个古大洋域<sup>[21,39]</sup>。受后期强烈构造变形作用,蛇绿混杂岩体(纯橄榄岩、蛇纹岩、角闪石辉石岩、辉长岩等)呈构造透镜体沿缝合带断续出露。带内还出露有石英岩、云片岩等中高级变质岩系和绿片岩、变凝灰岩、

变流纹岩—玄武岩等中低级火山变质岩系<sup>[16]</sup>。

### 1.7 长山地块

长山地块介于南部色潘—三岐缝合带与北部马江缝合带之间。Phan et al(1991)<sup>[1]</sup>将长山地块和两侧缝合带统一称为越南—老挝长山褶皱带。块体内主要发育有前寒武纪中高级变质岩及奥陶纪—白垩纪的沉积岩和火成岩。该地块可以大江(Song Ca)断裂为界进一步划分为南长山火山弧带和北长山火山弧带两个次级构造带。

南长山火山弧带:位于大江断裂以南,主要发育泥盆—石炭纪活动陆缘—岛弧型钙碱性火山—侵入岩<sup>[41]</sup>和早中二叠世碰撞造山型花岗岩,指示南长山带在中晚古生代为活动岛弧或陆缘弧,二叠纪时为一碰撞造山岩浆岩带。此外,带内还发育有奥陶—志留纪产三叶虫化石的复理石沉积岩系及侏罗纪板内花岗岩<sup>[17,39]</sup>。

北长山火山弧带:位于大江断裂以北,对应于Le Van De(1997)<sup>[39]</sup>的华特山火山弧带。在南部华特山发育有前寒武系,下部为元古宙混合岩化角闪岩夹黑云斜长片麻岩、结晶片岩;上部为新元古代—早寒武世Bukhang组变质岩。显生宙主要发育有晚石炭世—二叠纪的碳酸盐岩—陆源碎屑沉积岩系和玄武岩、安山岩等岛弧型钙碱性火山岩系,晚二叠—早三叠世闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩等侵入岩系、侏罗纪板内花岗岩<sup>[17,47]</sup>。此外,中晚三叠世在北部紧邻马江缝合带存在呈NW—SE向展布桑怒裂谷作用带,经西北部莫边府右行走滑断裂错移延伸至云南绿春一带,发育中上三叠统高山寨组火山—沉积岩系。

长山带褶皱作用最初发生在早石炭世<sup>[42]</sup>,之后遭受三叠纪强烈印支期热—构造事件形成,亦称长山褶皱带<sup>[16-17,47]</sup>,且在褶皱构造过程中岩浆活动异常强烈<sup>[18]</sup>。

## 2 区域构造演化史

印支地块不是简单地以一个前寒武陆核为主体而形成的单一大陆,而是由思茅—彭世洛、万象—昆嵩、长山地块和相邻景洪—素可泰等火山弧及其间的碰撞结合带或造山带组合经长期演化汇聚而成的复合大陆。其具有大小块体众多、地质结构复杂的特征,且在不同地质历史阶段具有多重大地构造属性,

总体上经历了3个重要大地构造演化阶段:前特提斯演化、特提斯演化和中生代陆内演化阶段。

在特提斯洋演化阶段划分上,不同学者有不同的划分方案,且在时空演化界定尺度上有所不同。Stocklin(1974)<sup>[43]</sup>将伊朗北部 Alborz 山脉北坡以北的海洋称古特提斯洋,将晚三叠世沿伊朗北部扎格罗斯(Zagros)一线裂开的洋称“新特提斯”。黄汲清等(1987)<sup>[44]</sup>详细论述了中国及邻区特提斯海的演化,并按演化时期划分出古特提斯、中特提斯、新特提斯。罗建宁等(1991)<sup>[45]</sup>提出东特提斯洋盆的形成应从新元古代开始,并在东特提斯构造域内按演化阶段划分出始特提斯(震旦纪至志留纪)、古特提斯(泥盆纪至早三叠世)、中特提斯(中、晚三叠世至中侏罗世)和新特提斯(晚侏罗世至新近纪)。其中,始特提斯相当于钟大赉等(1998)<sup>[46]</sup>提出的原特提斯。本文共涉及到马江洋、奠边府—黎府洋、难河—程逸洋和色潘—三岐洋四个古大洋的发展演化,其中前三个大洋的形成演化时代为泥盆纪—早三叠世,属黄汲清等(1987)<sup>[44]</sup>和罗建宁等(1991)<sup>[45]</sup>的古特提斯时期;而色潘—三岐洋则形成较早,演化时代为寒武纪—石炭纪,跨越原、古特提斯两个时期,以古特提斯演化为主。

### 2.1 前特提斯演化阶段

前特提斯演化阶段主要指太古—元古代基底演化(陆块形成)时期。区内发育有两个古地块,即昆嵩地块和长山地块。依据构造—岩相—古地理重建,两者在前寒武时期可能相连为一个整体,具有亲扬子—华南地块的属性特征<sup>[9,40]</sup>,保留了自太古代到新元古代地壳演化的记录。昆嵩作为印支地块区内部最古老的地块,最早形成于太古宙<sup>[9,48]</sup>,发育昆嵩群硅镁质麻粒岩、结晶片岩及大量混合岩(含TTG岩系),成为古洋壳上漂浮的零星陆壳。其上与下元古界呈构造接触,发育早—中元古代火山—沉积岩系(绿岩建造),经里菲期(新元古代早期)构造运动普遍遭受混合岩化作用,变质程度达角闪岩—麻粒岩相,形成元古宙结晶基底,开始进入稳定地块发展阶段。

长山地块则形成较晚,早期物质主要为发育在华特山地区的元古宙—早寒武世角闪岩、结晶片岩、石英岩、片麻岩及混合岩等中高级变质岩,构成地块结晶基底;早—中生代发育高铝、高硅、高钠

的花岗岩—混合岩穹隆,经加里东期构造运动形成具硅铝质特性的实质性大陆壳。新形成的地块与其间的大洋相互作用,进入特提斯洋演化阶段。

### 2.2 特提斯演化阶段

稳定刚性地块形成之后,从中晚古生代—中三叠世,研究区构造发展进入特提斯洋演化阶段,其间主要经历了古特提斯洋(包括分支、弧后等附属洋盆)的发生、发展、消减和关闭等阶段。同时伴生着复杂的成岩—成矿作用。下面将以马江洋、奠边府—黎府洋、难河—程逸洋及色潘—三岐洋的萌生、发展、消亡为主线,着重论述古特提斯洋与印支主体地块或地体间的演化关系。

#### 2.2.1 马江(洋)缝合带的形成演化

马江缝合带是印支地块和扬子地块的古碰撞结合带<sup>[14,16-19,34,47]</sup>。其向北西接哀牢山缝合带,共同组成古特提斯金沙江—哀牢山—马江洋的残余。古大洋在早期分隔了思茅—印支地块与扬子—华南地块<sup>[1-2,34-35,37]</sup>(图2)。但作为古特提斯洋在东部的一个主洋盆,马江洋的开合时代一直没有得到较好的地质证据来限定<sup>[15]</sup>。

因沿马江带后期褶皱、逆冲和走滑剪切等构造作用强烈,关于古特提斯马江洋打开时代的地质证据保存较差、难以厘定。前人通过对金沙江—哀牢山缝合带和马江缝合带的蛇绿混杂岩带及相配套俯冲型火山弧、碰撞型岩浆岩、富铝型铬铁矿、古生物等对比分析研究认为,金沙江—哀牢山洋与马江洋在晚古生代—早三叠世为相连统一、发展演化近等时的古特提斯主洋盆<sup>[1-2,16-17,34-35]</sup>,并且很可能与早古生代原特提斯洋盆相衍发展,从而形成原、古特提斯蛇绿岩在同一条带上叠加混杂的现象<sup>[37]</sup>。Janvier等(1997)<sup>[49]</sup>研究认为,至少在泥盆纪时印支和扬子地块之间就有洋盆存在,形成生物地理障壁。早泥盆世北部的腕足动物群(e.g., *Howitia wangi* and *Euryspirifer tonkinensis* faunas of Bac Bu and Mia Le formations)在越南马江带以北以及中国云南和广西的下泥盆统中都有广泛分布,但在马江缝合带以南未有产出;而北部从未发现越南中部产出的中泥盆世 *Emanuella ronensis*(D<sub>2</sub>—D<sub>3</sub>)群落。虽然这种生物隔离在早泥盆世很明显,但在吉维特期(D<sub>2</sub>)差异便逐渐消失,与古特提斯亲缘的无脊椎动物在华南和越北均有发现,表明在泥盆纪时扬子地块

和古印支地块之间即使存在洋盆壁障,洋盆也不会一直很大。里和(Ly Hoa)中泥盆统的脊椎动物至少包括一个典型华南早泥盆世 yunnanolepiform 胴甲鱼的发现,有力地证明了古印支和扬子地块在中泥盆世时有过紧密的接触<sup>[50]</sup>。而 Hutchison(1989)<sup>[48]</sup>研究认为沿马江带存在一个在泥盆纪前闭合的洋盆。

目前,国内外学者对马江洋俯冲阶段的时限认识较为一致,但关于其消亡—闭合的时代研究仍存在诸多争议。早期多数学者认为马江洋闭合于晚泥盆世—早石炭世<sup>[3,33,42,48-49]</sup>,但也有不少学者主张闭合碰撞发生在早三叠世<sup>[13-18,35,47]</sup>,闭合略滞后于哀牢山洋<sup>[47]</sup>,持续到中三叠世<sup>[35,51]</sup>,盆山转换为长山—昆嵩区的印支期造山运动。近年来,在越南长山带新研究的构造和地质年代学数据显示,沿马江带印支—华南地块开始碰撞于晚二叠世—早三叠世<sup>[19]</sup>。但关于马江洋是单向俯冲还是双向俯冲及俯冲极性等问题,还存在较大争议,如西南向俯冲<sup>[18,52]</sup>,北东俯冲<sup>[16]</sup>。Cai et al(2009)<sup>[19]</sup>根据海南岛南部和马江缝合带南部发育晚二叠世钙碱性I型花岗质岩类、滇琼缝合带西段南部地区出露的岛弧拉斑系列玄武岩,认为马江洋向南西俯冲。这一个观点跟 Wang et al(2000)<sup>[34]</sup>对金沙江—哀牢山古特提斯洋向南俯冲的研究结果是一致的。

综合前人观点及区域构造—岩石组合证据,本文认为晚泥盆世之前在原印支和扬子地块之间存在一个原马江洋(原特提斯洋的一部分),因在北长山带发育晚奥陶—早志留世钙碱性弧火山—侵入岩<sup>[48]</sup>、古生代岛弧火山—沉积序列<sup>[53]</sup>、早中泥盆世生物地理隔离<sup>[49]</sup>和晚泥盆世生物一致性<sup>[50]</sup>、新元古界—寒武系片岩—石英岩及白云岩(被动陆缘沉积)、奥陶—志留系海相灰岩及砂页岩夹安山岩(具活动陆缘性质)、未分的志留系—泥盆系海相复理石沉积及下石炭统含煤磨拉石沉积。虽然在马江带暂不能对原特提斯残留物质进行构造岩相带划分厘定,但结合 Hutchison(1989)<sup>[49]</sup>认为马江洋闭合于晚泥盆世—早石炭世的观点,并与哀牢山缝合带进行对比,基本可以推定在晚泥盆—早石炭世原马江洋消亡、印支与扬子地块发生过一次汇聚碰撞,但程度较弱(或为软碰撞),甚至局部地段保留残留海成分。随后,早石炭世期间,在原结合带位置大洋重新打开、扩张,形成古特提斯马江洋的雏形。诚然,也不排除残留原特提斯洋与新打开

古特提斯洋并存,或晚泥盆世末碰撞只是弧陆造山而古特提斯在弧后裂张形成的可能性,关于这些问题的答案目前还不得而知,亟需地质工作者作进一步的研究考证。

古特提斯马江洋在晚泥盆世—早石炭世打开,至晚石炭世扩张至大西洋型洋盆阶段(图2),发育上石炭统一二叠统 Muonglong 组被动陆缘型巨厚复理石沉积和早二叠世红色放射虫硅质岩,以沿北长山带出露的灰岩、泥灰岩夹砂岩、页岩和硅质岩为代表,且遭受强烈褶皱变形。随后洋板在早二叠世早中期开始发生南西向斜向俯冲作用,形成北长山带莫边府—桑怒二叠纪—早三叠世俯冲造山岩浆弧,以发育钙碱性火山—侵入岩系(Chieng Khuong、Dien Bien、Song Ma granite complexes 及 Song Da、Dong Trau

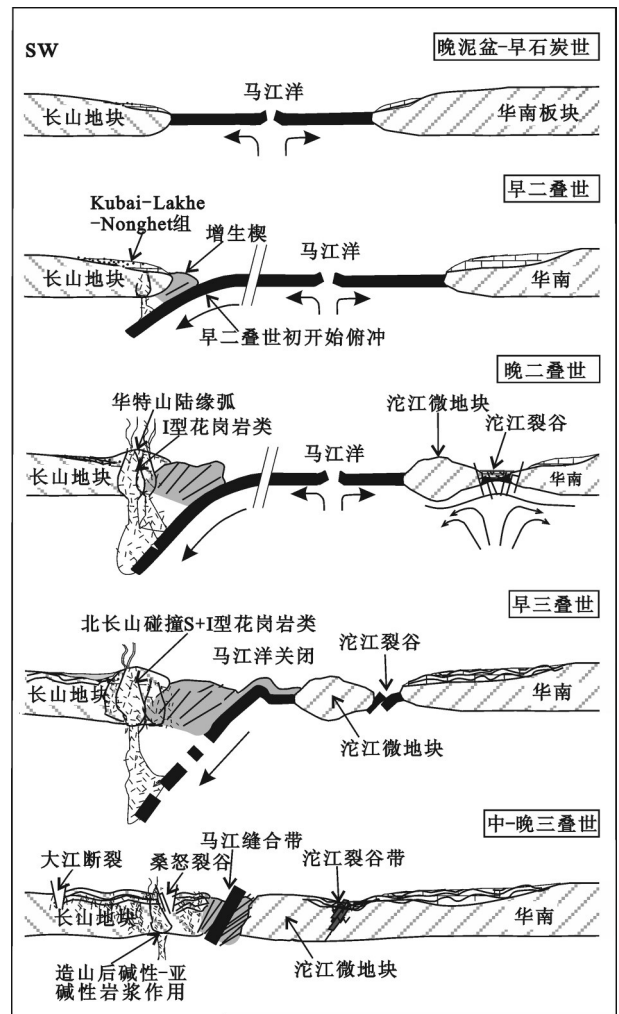


图2 马江洋(缝合带)的形成演化模式  
Fig.2 The formation—evolution model of Song Ma Ocean

volcanic formation)为代表,形成时代主要是早二叠世晚期—早三叠世(Phia Bioc 花岗岩体 U-Pb 年龄  $(244.4 \pm 1.2) \text{Ma}$ ;  $280 \sim 245 \text{Ma}$ <sup>[18,47,54]</sup>)。早三叠世初马江洋闭合转入残留海盆,发生弧—陆碰撞,马江蛇绿混杂岩带(蛇纹石化橄榄岩、方辉橄榄岩、纯橄榄岩、辉长岩—角闪岩、辉长—辉绿岩、铬铁矿体及玄武岩和硅质岩;变玄武岩锆石 U-Pb 年龄  $(251 \pm 1) \text{Ma}$ ; 变辉长岩、玄武岩 Sm-Nd 等时线年龄  $313 \sim 335 \text{Ma}$ )<sup>[55]</sup>就位,形成北长山带碰撞型岩浆弧及其西侧大江弧后前陆盆地,发育时代为  $259 \sim 245 \text{Ma}$  的过铝质碰撞造山花岗岩和  $245 \sim 199 \text{Ma}$  碰撞后伸展背景亚碱性火山—侵入岩系列<sup>[18,47,52]</sup>。并且在混杂岩中发育有双变质带中低温高压带的榴辉岩和蓝闪石片岩<sup>[56]</sup>。地层关系上表现为蛇绿混杂岩带被上覆晚三叠世磨拉石建造不整合覆盖。

#### 2.2.2 奠边府—黎府(洋)缝合带的形成演化

该缝合带在老挝、泰国和柬埔寨境内迄今仅发现较少的镁铁质—超镁铁质岩,但鉴于其西侧有一个发育完好的墨江—黎府火山弧带,结合与哀牢山、斯雷博河缝合带的对比研究,本文认为晚古生代期间在思茅—彭世洛微地块与万象—昆嵩地块西缘间存在一近南北向的金沙江—哀牢山古特提斯洋的南部分支洋盆,即奠边府—黎府洋。

Le Van De(1997)<sup>[39]</sup>通过与在柬老越交界地带的斯雷博河(Srepol River)洋对比研究认为,奠边府—黎府缝合带与斯雷博河缝合带形成时代大致相同,洋盆发育于中晚古生代,二叠纪末—三叠纪初开始闭合,发育晚二叠世—早三叠世的陆源碎屑岩、碳酸盐岩和碳质沉积为代表的造山杂岩。作为哀牢山洋的南支,其演化时限跟哀牢山洋基本是一致的。

洋盆可能打开于早—中泥盆世(图3),在黎府巴春地区,晚泥盆世枕状熔岩、枕状角砾熔岩被推断是由 MORBs 和洋内岛弧镁铁质熔岩构成<sup>[36]</sup>。早二叠世开始向西俯冲消减,在云南江城、万象西北部、丰沙里—巴莱—黎府一带发育中晚二叠世—中三叠世陆缘弧型钙碱性火山—侵入岩系。中/晚三叠世洋盆关闭,思茅—彭世洛微地块与万象—昆嵩地块碰撞拼合,在琅勃拉邦东奠边府断裂带与南康(Khan)河谷交切地带、黎府巴春等地段蛇绿混杂岩就位,形成晚三叠世巴莱—黎府碰撞造山 S 型花岗岩带。同时,思茅—彭世洛中新生代盆地可能兼具

与这一碰撞造山带相匹配的同碰撞前陆盆地性质。碰撞缝合带在黎府向东南延至柬埔寨境内接斯雷博河带,三叠纪末—侏罗纪初发育了一套晚造山杂岩的磨拉石相地层和有关的造山侵入岩<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.3 难河—程逸(洋)缝合带的形成演化

缝合带沿泰国难河—程逸—沙缴一带出露最好,早期被认为代表古特提斯洋主缝合带<sup>[57]</sup>,与哀牢山缝合带可以连接<sup>[28]</sup>,但近年来大量研究发现其应是弧后洋盆闭合的产物<sup>[12,28,58-60]</sup>,是与昌宁—孟连—清莱古特提斯主洋盆近平行的石炭纪—早三叠世弧后扩张洋盆。该带向北延伸情况不明。虽然在老挝和云南与其相配置的景洪—素可泰二叠纪弧火山岩出露良好,但却未见蛇绿混杂岩踪迹,可能与弧后小洋盆的性质和规模有关或呈隐缝合带潜没在兰坪—思茅盆地中生代红层之下<sup>[37]</sup>。

晚石炭世—早二叠世,因古特提斯洋向东俯冲,诱发难河—程逸带发生弧后张裂<sup>[12,28,58-59]</sup>,素可泰弧地块裂离古印支地块,难河—程逸弧后盆地洋形成(早二叠世末),在泰国 Saraburi 和柬埔寨 Sisophon 发育中晚二叠世灰岩、深海盆地硅质岩建造及中晚二叠世之交的洋岛型火山岩系<sup>[10]</sup>。晚二叠世洋盆开始消减,向西俯冲到景洪—素可泰弧地块之下(图3),发育景洪—素可泰晚二叠—中三叠世火山弧钙碱性火山岩系和早三叠世 I 型钙碱性花岗岩类。

中三叠世洋盆关闭,难河—程逸蛇绿混杂岩带就位<sup>[8,10]</sup>,思茅—呵叻地块与素可泰弧地块碰撞造山,形成景洪—素可泰中晚三叠世同碰撞 S 型钙碱性花岗岩和后三叠世碰撞后伸展高钾钙碱性火山岩。在程逸—帕府沿线出露石炭—二叠纪镁铁质—超镁铁质岩、浊积岩、绿片岩和变质杂砂岩,并发育有榴辉岩、蓝闪石片岩和绿片岩的岩石组合<sup>[29]</sup>,构造指向向东加积逆冲、向西俯冲。与碰撞造山相对应,发育具弧后前陆盆地性质的三叠纪难河盆地和具周缘前陆盆地性质中三叠世思茅—彭世洛盆地(中—上三叠统主要为碎屑岩和碳酸盐岩,下部发育有浊积砂板岩,上部为磨拉石堆积)。缝合带之上为上三叠统 Nam Pat 组浊积砂岩—火山岩碎屑砾岩所不整合覆盖<sup>[30]</sup>,其上又被早侏罗世的呵叻群红层不整合上覆。

#### 2.2.4 色潘—三岐(洋)缝合带的形成演化

色潘—三岐缝合带沿越南三岐—老挝色潘、他



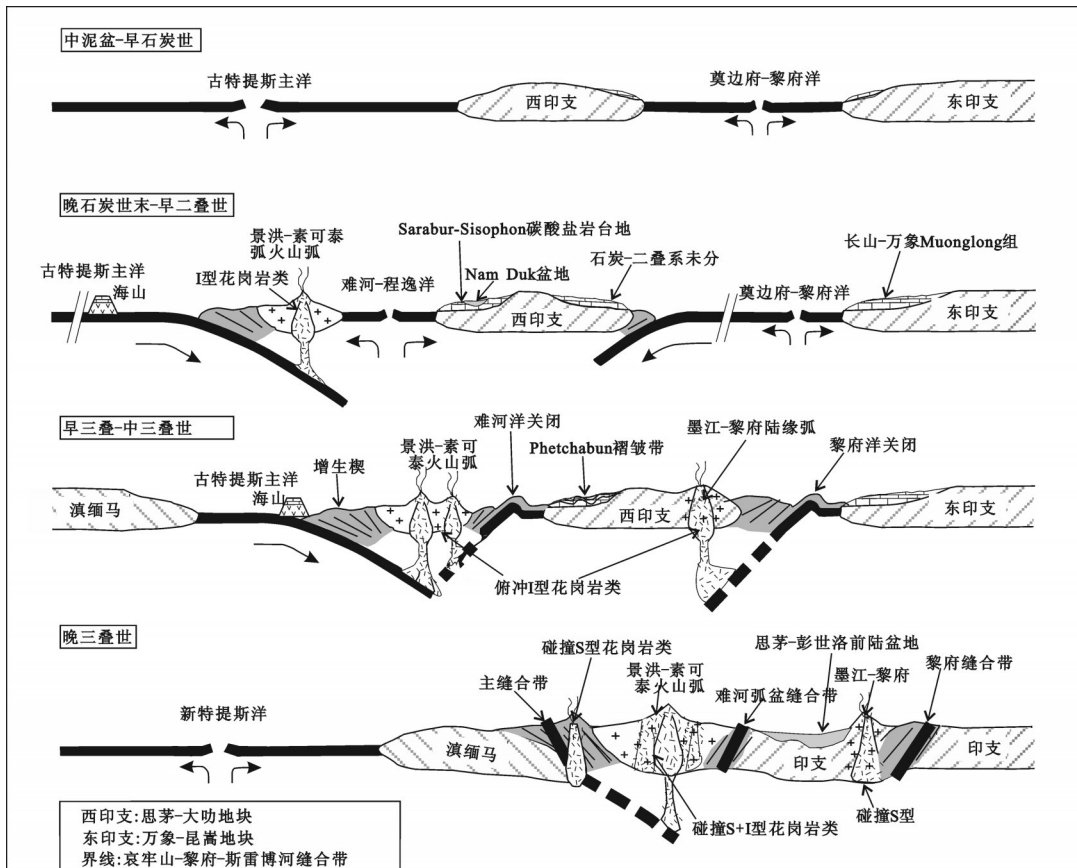


图3 奠边府-黎府洋和难河-程逸弧后洋的演化及其缝合带的形成演化模式(据 Sone and Metcalfe(2008)<sup>[12]</sup>、林方成等(2010)<sup>①</sup>、Metcalf(2011)<sup>[28]</sup>综合汇编)

Fig.3 The formation-evolution model of Dien Bien Phu-Loei Ocean (modified after Sone and Metcalfe(2008)<sup>[12]</sup>; Lin Fangcheng et al.(2010)<sup>①</sup>; Metcalfe(2011)<sup>[28]</sup>)

曲一带展布,与 Lepvrier et al(2004)<sup>[16]</sup>提出的三岐-福山缝合带基本一致,代表一个古大洋域<sup>[13,21]</sup>,在早一中古生代分隔了万象-昆嵩地块和长山地块。

该大洋在早古生代归属性质不明,打开、俯冲开始时代目前皆不能准确判定。据林方成等(2010)<sup>①</sup>研究表明,色潘-三岐带原洋壳南北消减闭合不等时。向北俯冲可能发生于志留纪末-泥盆纪初,闭合于石炭纪末期(图4),发育南长山泥盆-石炭纪活动陆缘-火山岛弧型钙碱性岩浆岩和晚石炭世-早二叠世碰撞造山花岗岩。向南俯冲开始时代则较早,沿南部的 Kham Duc 带,寒武纪洋壳在奥陶纪-志留纪时向南俯冲在昆嵩地块之下,在志留纪末俯冲结束,形成昆嵩 Dien Binh 陆缘弧型钙碱性花岗岩类-变安山岩系列火山岩<sup>[61]</sup>。并发育早泥盆世

陆相红层。下古生界洋壳以超镁铁质岩、镁铁质岩为代表的蛇绿混杂岩组合出露在 Thanh My-Kham Due 一带<sup>[39]</sup>。受后期强烈构造变形作用,蛇绿混杂岩体(纯橄榄岩、蛇纹岩、角闪石辉石岩、辉长岩等)呈构造透镜体沿缝合带断续出露。

### 2.3 中生代陆内演化阶段

中晚三叠世,随着区内古特提斯洋盆的全面闭合,形成了马江、奠边府-黎府、难河-程逸等碰撞缝合带,使得素可泰弧地块、思茅-呵叻地块、万象-昆嵩地块与长山地块及扬子-华南地块拼贴回复到一个统一的大陆环境中,揭开了印支陆块区中生代陆内构造(变形变质)-岩浆-沉积演化新时代的序幕。

本文将研究区中生代区域构造演化进一步

①林方成, 李兴振, 施美凤, 等. 三江-湄公河成矿带地质背景与成矿规律对比研究成果报告. 成都地质调查中心内部资料, 2010.

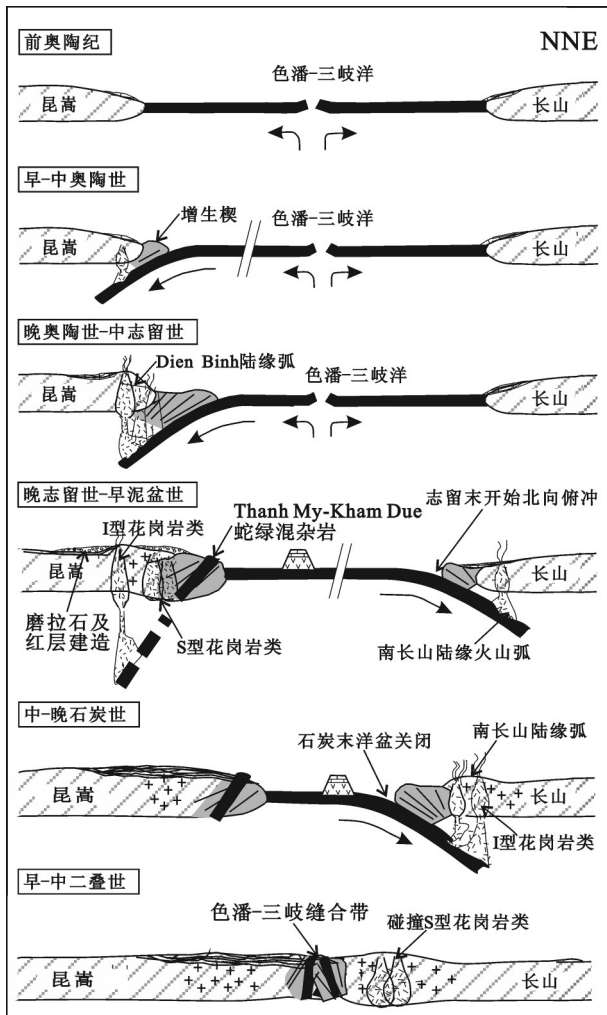


图4 色潘—三岐洋(缝合带)形成演化模式  
Fig.4 The formation-evolution model  
of Sepon-Tam Ky Ocean

划分为3个亚阶段,即印支期碰撞造山亚阶段、燕山期碰后伸展亚阶段和喜山期地质格局定形亚阶段。

### 2.3.1 印支期碰撞造山亚阶段

印支期最重要的构造表现在三叠纪先后形成3条碰撞带和1条褶皱带:马江碰撞带、奠边府—黎府碰撞带、难河—程逸碰撞带和长山褶皱带。

#### (1) 马江碰撞带

印支与扬子—华南地块之间的碰撞结合带。其碰撞作用始于早三叠世,延续至中三叠世,主碰撞在早三叠世晚期。马江南侧沿桑怒带中三叠世晚期发生裂谷作用,形成桑怒裂谷带,晚三叠世末再次挤压褶皱;北侧晚二叠纪沱江(Song Da)陆间裂谷(可能受控于峨眉山幔柱活动机制)<sup>[62]</sup>关闭<sup>[17]</sup>。

印支运动形成北长山褶皱造山带。

#### (2) 奠边府—黎府碰撞带

思茅—彭世洛微地块与万象—昆嵩地块之间的拼接带。中/晚三叠世之交,奠边府—黎府洋开始关闭,晚三叠世末完成碰撞拼合。

#### (3) 难河—程逸碰撞带

景洪—素可泰弧地块与思茅—彭世洛地块在难河、程逸一段的拼接带。弧后洋盆从中三叠世初开始闭合,并于晚三叠世完成碰撞拼合。发育一系列东向加积逆冲断褶带。

此外,与碰撞造山相耦合,形成了思茅—彭世洛、难河等一些三叠纪与主碰撞造山带相耦合的前陆盆地和大江等山间山前盆地,研究区由盆山转换进入山控盆发展阶段。

#### (4) 长山褶皱带

马江洋闭合后,三叠纪印支运动是长山—昆嵩地史上最主要的热构造事件。在早三叠世华南向印支地块斜向俯冲—碰撞、中三叠世挤压造山背景下,形成了典型的印支期老挝—越南长山火山弧带。沿该带广泛发育与近平行右行走滑断裂相关的韧性剪切变形带和高级变质作用(一角闪岩相)及深成岩浆活动,如印支晚期 Da Nang—Khe San 断裂带发生右行走滑剪切、Song Ca 带发生右行转换挤压和发育韧性花状构造、Song Ma 变质核杂岩(如分布于老挝边境的 Son La 至 Song Ma)等。来自2个剪切带的同构造期云母 Ar-Ar 测年平均年龄为 245 Ma(237~253 Ma)<sup>[16-17]</sup>。

印支运动也作用于南部的昆嵩地块,东西向糜棱岩化剪切带变形变质作用可达至 Binh Son、Quang Ngai 一线<sup>[6]</sup>。造就了昆嵩地块片麻质基底的重新活化和印支期高压麻粒岩相变质条件的发育,形成了广泛的强烈变形变质、混合岩化和中酸性深成侵入岩。

### 2.3.2 燕山期碰后伸展亚阶段

区内燕山期地质演化以碰撞造山后的伸展背景为主导。造山过程中地壳缩短增厚,造山后深层次地壳将发生均衡调整—去“山根”作用和底侵—拆沉作用,造成加厚地壳减薄,浅层次地壳发生伸展,发育一系列山间、山前断陷—坳陷盆地。与后碰撞造山相耦合,难河、思茅—彭世洛等也由挤压前陆盆地转换为伸展裂陷盆地。

燕山期,沿长山带热构造变形变质作用也较发育,如在 Da Nang—Khe Sanh and Song Ca 地区存在一期白垩纪中期的韧性剪切运动,同构造白云母 Ar—Ar 年龄为 120~90 Ma<sup>[17]</sup>。在长山—昆嵩地区,燕山期板内中酸性岩浆活动仅次于印支期,发育大量高硅高碱花岗质侵入岩类,在岩性、成岩—成矿机制上可与中国燕山期华南型壳熔花岗岩相对比。

### 2.3.3 喜山期地质格局定形亚阶段

新生代伊始,藏东南三江与中南半岛地区,在遭受了印度—欧亚板块早期的正向碰撞之后随之经历了后期演化阶段的侧向碰撞与斜向俯冲过程。在此期间,发生了藏东南三江—中南半岛地区下地壳物质流动及表层地壳物质南东向的逃逸与地块旋转<sup>[63-65]</sup>(图5),同时伴生大规模陆内走滑作用。其中,奠边府右行走滑断裂和马江断裂北侧的红河大型左行走滑断裂(沿走滑断裂系发育高钾碱性岩浆活动),担当了迁移调整印支地块区地壳物质均衡的角色,基本控制了印支地块的顺时针旋转挤出逃逸和变形,奠定了印支地块区现今的大地构造格局。

在中晚新生代板内走滑伸展大背景下,区内深大断裂发育,地幔热物质沿深断裂系垂向上涌,与浅部拉张减压机制互相促进,形成波罗芬新生代构造高原和上新世—更新世大规模裂隙式亚碱性高铝玄武岩喷发,造就规模宏大的玄武岩高原及第四纪红土型铝土矿床。

## 3 结 论

(1) 老挝及邻区位于中南半岛中北部,隶属于印支陆块区,是由众多小块体及其间拼接带组成的结构复杂的统一陆块。在地史演化进程中,不同地质历史阶段具有不同的大地构造演化特征。

(2) 研究区自西向东划分为7个三级大地构造单元:景洪—素可泰火山弧、难河—程逸缝合带、思茅—彭世洛地块、奠边府—黎府缝合带、万象—昆嵩地块、色潘—三岐缝合带、长山地块。

(3) 前特提斯演化时期,主体为昆嵩—长山地块,具有亲扬子—华南地块的属性,保留了自太古代到新元古代地壳演化的记录。一直到早古生代时期,长山地块的大地构造属性与扬子—华南地区依然具有密切的亲缘关系。

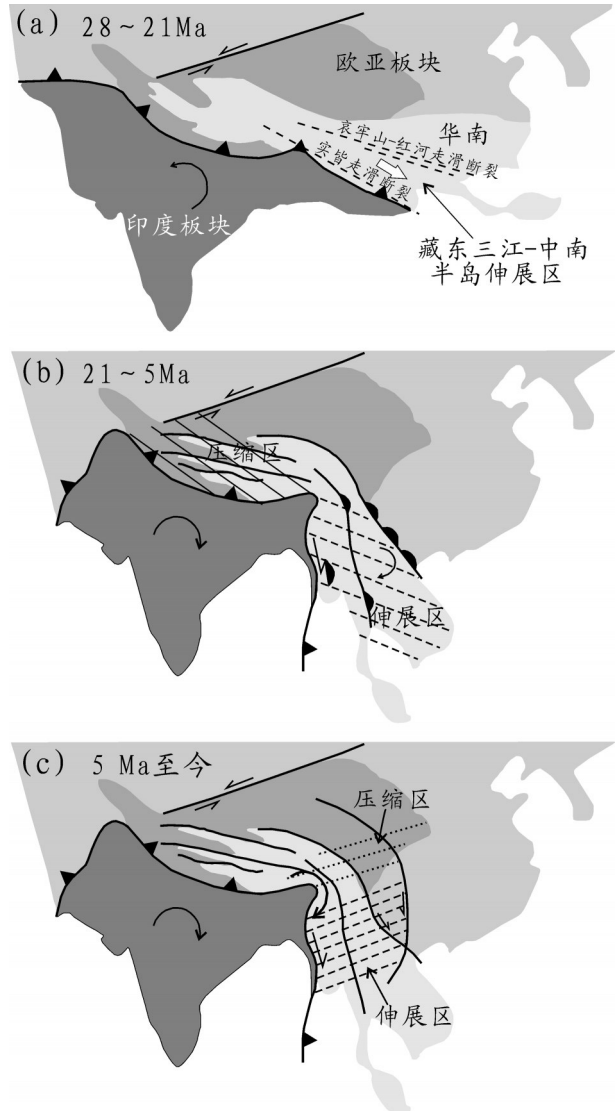


图5 藏东三江—中南半岛地区新生代构造演化示意图  
(据唐渊(2010)<sup>[66]</sup>修改)

a—28~21 Ma, 印支地块沿着两条重要边界断裂(即红河—哀牢山断裂与实皆断裂)向南东逃逸;b—21~5 Ma, 藏东三江—中南半岛地区区域性伸展;c—5 Ma 之后,藏东三江—中南半岛地区区域应力场差异,即北部表现为近 E—W 向压缩,南部表现为近 E—W 向伸展

Fig.5 Sketch map showing tectonic evolution of the Sanjiang—Indosinian region in southeast Tibet  
(modified after Tang(2010)<sup>[66]</sup>)

a—28~21 Ma, Indosinian block escape to the southeast along Red River fault and Sagaing fault; b—21~5 Ma, Regional extension of the Sanjiang—Indosinian region; c—after 5 Ma, the northern part of the Sanjiang—Indosinian region shows E—W compression, whereas the southern part shows E—W extension

(4) 晚古生代—早中生代时期,研究区奠边府—黎府洋、色潘—三岐洋、马江洋及难河—程逸洋

隶属于古特提斯构造域东段的分支洋盆或弧后洋盆,到二叠纪—早三叠世这些洋盆相继闭合,形成马江—奠边府—黎府—难河—程逸等碰撞缝合带,并使得印支地块(素可泰火山弧、思茅—呵叻地块、万象—昆嵩地块和长山地块)与扬子—华南地块拼合回复到统一的陆内环境中。

(5)晚中生代碰撞造山后的区域性伸展期,形成难河、思茅—彭世洛等伸展盆地;在长山—昆嵩地区发育热构造变形变质、走滑剪切及大量高硅高碱中酸性侵入岩浆活动。

(6)新生代为现今地质构造格局定形期,在藏东南三江—印支地区地壳物质受印度板块侧向挤压向南东逃逸并发生顺时针块体旋转的背景下,研究区及周边地壳物质重新均衡调整,发育奠边府、红河等大型走滑断裂及伴生高钾碱性岩浆活动和上新—更新世波罗芬高原大规模玄武岩喷溢。

**致谢:**本文是在前人大量研究的基础上,对老挝及邻区的大地构造单元基本特征及构造演化作出的初步概括,在此对所参考和引用文献的作者表示衷心的感谢。对审稿专家和编辑部李亚萍老师给予本文的意见和修改建议深表感谢。

### 参考文献(References):

- [1] 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 大湄公河次地区主要结合带的对比与连接[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(4): 1-12.  
Li Xingzhen, Liu Chaoji, Ding Jun. Correlation and connection of the main suture zones in the Greater Mekong subregion[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(4): 1-12(in Chinese with English abstract).
- [2] 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 大湄公河次地区构造单元划分[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(4): 13-20.  
Li Xingzhen, Liu Chaoji, Ding Jun. Division of the tectonic units in the Greater Mekong subregion[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(4): 13-20(in Chinese with English abstract).
- [3] Phan C T, Le D A, Le D B, et al. Geology of Cambodia, Laos and Vietnam (Explanatory to the geological map Cambodia, Laos and Vietnam at 1: 1000000 scale), 2nd edition[M]. Published by the Geological Survey of Vietnam, 1991: 1-158.
- [4] Dickins J M, Phan C T. Indosinian Tectogeny in the geological correlation of Vietnam and adjacent regions. 1995, 8:87-96.
- [5] 李方夏, 赵应龙, 王卓之, 等. 东南亚地质矿产与矿业经济[M]. 云南: 云南省地质矿产局, 1995: 11-19.  
Li Fangxia, Zhao Yinglong, Wang Zhuozhi, et al. Geology and Mineral Resources and the Mining Economy of Southeast Asia[M]. Yunnan, 1995: 11-19(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈永清, 刘俊来, 冯庆来, 等. 东南亚中南半岛地质及与花岗岩有关的矿床[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 46-49.  
Chen Yongqing, Liu Junlai, Feng Qinglai, et al. Geology and Ore Deposits Associated with Granites in Indo-China Peninsula of Southeastern Asia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 46-49(in Chinese with English abstract).
- [7] Barr S M, Macdonald A S. Nan River suture zone, northern Thailand[J]. Geology, 1987, 15:907-910.
- [8] Singharajwarapan S, Berry R F. Structural analysis of the accretionary complex in Sirikit Dam area, Uttaradit, northern Thailand[J]. J. Southeast Asian Earth, 1993, 8:233-245.
- [9] Metcalfe I. Gondwanaland origin, dispersion, and accretion of East and Southeast Asian continental terranes[J]. Journal of South American Earth Sciences, 1994, 7:333-347.
- [10] Hada S, Bunopas S. Terrane analysis and tectonics of the Nan-Chantha Buri suture zone[C]//Dheeradolok P, et al. Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic evolution of Southeast Asia and the South Pacific. Bangkok, Thailand, 1997: 1-303.
- [11] Wakita K, Metcalfe I. Ocean plate stratigraphy in east and southeast Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 24: 679-702.
- [12] Sone M, Metcalfe I. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny[J]. C. R. Geoscience, Tectonics, 2008, 340:166-179.
- [13] Sengör A M C, Altiner D, Cin A, et al. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana land[C]//Audley-Charles M G, Hallam A. (eds.). Gondwana and Tethys. Geol. Soc. Spec. Publ., 1988, 37: 119-181.
- [14] Chung S L, Lan C Y, Lo C H, et al. The Indosinian orogeny and closure of eastern Paleo-Tethys: amalgamation between the Indochina and South China blocks in the Early Triassic[J]. In GEOSEA 98, Malaysia, 1998: 17-19.
- [15] Lepvrier C, Maluski H, Vuong N V, et al. Indosinian NW-trending shear zones with in the Truong Son belt (Vietnam): <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints[J]. Tectonophysics, 1997, 283: 105-127.
- [16] Lepvrier C, Maluski H, Vuong N V, et al. The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son Belt and Kontum Massif): Implications for the geodynamic evolution of Indochina[J]. Tectonophysics, 2004, 393: 87-118.
- [17] Lepvrier C, Nguyen V V, Maluski H, et al. Indosinian tectonics in Vietnam[J]. C. R. Geoscience, Tectonics, 2008, 340: 9211.
- [18] Hoa T T, Anh T T, Phuong N T, et al. Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indo China[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2008, 340: 112-126.
- [19] Cai J X, Zhang K J. A new model for the Indo-china and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic[J].

- Tectonophysics, 2009, 467: 35–43.
- [20] 刘俊来, 唐渊, 宋志杰, 等. 滇西哀牢山构造带: 结构与演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1285–1303.  
Liu Junlai, Tang Yuan, Song Zhijie, et al. The Ailaoshan belt in western Yunnan: Tectonic framework and tectonic evolution[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(5): 1285–1303(in Chinese with English abstract).
- [21] Le D B, Ngo G T. Phanerozoic ophiolites in Indochina[C]//Proc. of the IGCP Symposium on Geology of SE Asia, Hanoi J. Geol., 1995, B5–6: 212–221.
- [22] Hall R, Blundell D J. Tectonic Evolution of Southeast Asia[M]. Geological Society Special Publication, 1996: 1100–1106.
- [23] 李兴振, 刘增乾, 潘桂棠. 西南三江地区构造单元划分及地史演化[J]. 特提斯地质, 1991, 13: 1–19.  
Li Xingzhen, Liu Zengqian, Pan Guitang. Division of tectonic elements and geological evolution in the Nujiang–Lancangjiang–Jinshajiang area, southwestern China[J]. Tethyan Geology, 1991, 13: 1–19(in Chinese with English abstract).
- [24] Barr S M, Macdonald A S. Toward a late Paleozoic– early Mesozoic tectonic model for Thailand[J]. Journal of Thai Geosciences, 1991, 1: 11–22.
- [25] Barr S M, Macdonald A S, Ounchanum P, et al. Age, tectonic setting and regional implications of the ChiangKhong volcanic suite, northern Thailand[J]. J. Geol. Soc., Lond, 2006, 163: 1037–1046.
- [26] Panjasawatwong Y, Phajuy B, Hada S. Tectonic setting of the Permo–Triassic Chiang Khong volcanic rocks, northern Thailand based on petrochemical characteristics[J]. Gondwana Res., 2003, 6: 743–755.
- [27] Metcalfe I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 551–566.
- [28] Metcalfe I. Palaeozoic– Mesozoic history of SE Asia[J]. The Geological Society of London, 2011, 355: 7–35.
- [29] Salyapongse S, Putthapiban P. A reconsideration of the Nan Suture[C]//Dheeradiok P, et al. Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific. 1997: 134–156.
- [30] Singharajwarapan S. Provenance of sandstone in the Triassic Nam Pat Group, northern Thailand[C]//Ratanasthien B, Rieb S L (eds.). Proceedings of the International Symposium on Shallow Tethys 5, Department of Geological Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 1999: 465–480.
- [31] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: an overview[C]//Metcalfe I (ed.). Gondwana Dispersion and Asian Accretion, Final Results Volume for IGCP Project 321. Balkema, Rotterdam, 1999: 9–28.
- [32] Phajuy B, Panjasawatwong Y, Osataporn P. Preliminary geochemical study of volcanic rocks in the Pang Mayao area, Phrao, Chiang Mai, Northern Thailand: tectonic setting of formation[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 24(6): 765–776.
- [33] Metcalfe I. Pre– Cretaceous evolution of SE Asian terranes[C]//Hall R, Blundell D (ed.). Tectonic Evolution of Southeast Asia. Geological Society Special Publication, 1996, 106: 97–122.
- [34] Wang X F, Metcalfe I, Jian P, et al. The Jinshajiang– Ailaoshan Suture Zone, China: tectonostratigraphy age and evolution[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 675–690.
- [35] Trung N M, Tsujimori T, Itaya T. Honvang serpentinite body of the Song Ma fault zone, northern Vietnam: A remnant of oceanic lithosphere within the Indochina – South China suture[J]. Gondwana Res., 2006, 9: 225–230.
- [36] Panjasawatwong Y. Geochemistry and tectonic setting of eruption of central Loei volcanics in the Pak Chom area, Loei, northeast Thailand[C]//Dheeradiok P, et al. Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific. 1997.
- [37] 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 123–181.  
Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao, et al. Tethys Tectonic Evolution and Metallogenesis in the Nujiang– Lancangjiang– Jinshajiang Area, Southwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 123– 181(in Chinese with English abstract).
- [38] Takositkanon C V, Hisada K, Ueno K, et al. New suture and terrane deduced from detrital chromian spinel in sandstone of the Nam Duk Formation, north– central Thailand: Preliminary report[C]// Dheeradiok P, et al. Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific. 1997.
- [39] Le Van De. Outline of plate– tectonic evolution of continental crust of Vietnam[C]//Dheeradiok, P. Proceedings of the International Conferences on Stratigraphy and Tectonic Evolution of southeast Asia and the South Pacific. 1997: 832–847.
- [40] 施美凤, 林方成, 李兴振, 等. 东南亚中南半岛与中国西南邻区地壳分区及沉积演化历史[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1244–1256.  
Shi Meifeng, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. Stratigraphic zoning and tectonic events in Indochina and adjacent areas of southwest China[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1244– 1256 (in Chinese with English abstract).
- [41] 赵红娟, 陈永清, 卢映祥. 老挝长山成矿带与花岗岩有关的铜金铁矿床的成矿模式[J]. 地质通报, 2011, 30(10): 1619–1627.  
Zhao Hongjuan, Chen Yongqing, Lu Yingxiang. Ore– forming model for Cu–Au–Fe ore deposits associated with granites in the Truongson ore– forming belt of Laos[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(10): 1619–1627(in Chinese with English abstract).
- [42] Gatinsky Y G, Hutchison C S. Cathaysia, Gondwanaland and Paleo– tethys in the evolution of continental Southeast Asia[J]. Bulletin of the Geological Society of Malays, 1987, 20: 179–199.
- [43] Stocklin J. Possible ancient continental margins in Iran[J].

- Geological Society of London, 1974, 131: 726–753.
- [44] 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1–190.
- Huang Jiqing, Chen Bingwei. Tethys Evolution in China and Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1–190 (in Chinese with English abstract).
- [45] 罗建宁. 三江地区三叠纪沉积盆地类型及其地质特征[J]. 特提斯地质, 1991, 15: 21–34.
- Luo Jianing. Geological characteristics and types of Triassic sedimentary basins in the Nujiang– Lancangjiang– Jinshajiang area[J]. Tethyan Geology, 1991, 15: 21– 34(in Chinese with English abstract).
- [46] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 150–196.
- Zhong Dalai. The Paleotethyan Orogenic Belt in Western Yunnan– Sichuan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 150–196(in Chinese with English abstract).
- [47] Liu J L, et al. Permo– Triassic granitoids in the northern part of the Truong Son belt, NW Vietnam: Geochronology, geochemistry and tectonic implications[J]. Gondwana Res., doi:10.1016/j.gr.2011.10.011.
- [48] Hutchison C S. Geological Evolution of Southeast Asia[M]. Clarendon, Oxford., 1989: 1–368.
- [49] Janvier P, Tong– Dzuy Thanh, Ta Hoa Phuong, et al. The Devonian vertebrates (Placodermi, Sarcopterygii) from central Vietnam and their bearing on the Devonian paleo– geography of Southeast Asia[J]. J. Asian Earth Sci., 1997, 5:393–406.
- [50] Tong D T, Vu K. Stratigraphic Units of Vietnam[M]. Vietnam National University Publishing House, Hanoi, 2006, 1–526.
- [51] Hahn L. The Indosinian Orogeny in Thailand and adjacent areas. Mem[J]. Soc. Geol. Fr., 1984, 147: 71–82.
- [52] Lan C Y, Chung S L, Shen J S, et al. Geochemical and Sr– Nd isotopic characteristics of granitic rock from northern Vietnam[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 267–280.
- [53] Findlay R H. The Song Ma Anticlinorium, North Vietnam: the structure of an allochthonous terrane containing and early Palaeozoic island arc sequence[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1997, 15(6): 453–464.
- [54] Tong D T, Janvier P, Ta H P. Fish suggests continental connections between the Indochina and South China blocks in Middle Devonian time[J]. Geology, 1996, 24: 571–574.
- [55] Vuong N V, Hansen B T, Wemmer K, et al. U– Pb and Sm– Nd dating on ophiolitic rocks of the Song Ma suture zone (northern Vietnam): Evidence for upper Paleozoic paleotethyan lithospheric remnants[J]. Journal of Geodynamics, 2012, 3: 1–8.
- [56] Nakano N, Osanai Y, Owada M, et al. Geologic and metamorphic evolution of the basement complexes in the Kontum Massif, central Vietnam[J]. Gondwana Res., 2007, 12: 438–453.
- [57] Bunopas S, Vella P. Tectonic and geologic evolution of Thailand, in Proceedings, workshop on stratigraphic correlation of Thailand and Malaysia[C]//Geological Society of Thailand and Geological Society of Malaysia, Bangkok, 1983, 1: 307–322.
- [58] Ueno K, Hisada K. The Nan–Uttaradit–Sa Kao Suture as a main Paleo–Tethyan Suture in Thailand: is it real? [J]. Gondwana Res., 2001, 4: 804–880.
- [59] Ueno K, Wang Y, Wang X. Fusulinoidean faunal succession of a Paleo– Tethyan oceanic seamount in the Changning– Menglian Belt, West Yunnan, Southwest China: An overview[J]. The Island Arc, 2003, 12: 145–161.
- [60] 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, 等. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸[J]. 地学前缘, 2002, 9(3): 161–171.
- Liu Benpei, Feng Qinglai, Chonglakmani, C, et al. Framework of the Paleotethyan archipelago ocean of western Yunnan and its elongation towards north and south[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(3):161–171(in Chinese with English abstract).
- [61] Vu V T. La chaîne indosinienne au Vietnam: Pétrologie et géochronologie du bloc métamorphique de Kon Tum[D]. Ph.D thesis, University of Montpellier, France, 2004: 1–60.
- [62] Hanski E, Walker R J, Huhma H, et al. Origin of Permian – Triassic komatiites, north– western Vietnam[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2003, 147: 453–469.
- [63] 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 等. 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[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 775–786.
- Liu Junlai, Song Zhijie, Cao Shuyun, et al. 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[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4):775– 786(in Chinese with English abstract).
- [64] 王宏, 林方成, 李兴振, 等. 缅甸中北部及邻区构造单元划分及新特提斯构造演化[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 912–922.
- Wang Hong, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. Tectonic unit division and Neo– Tethys tectonic evolution in north– central Myanmar and its adjacent areas[J]. Geology in China, 2012, 39 (4): 912–922(in Chinese with English abstract).
- [65] Sato K, Liu Y, Zhu Z, et al. Tertiary paleomagnetic data from northwestern Yunnan, China: further evidence for large clockwise rotation of the Indochina block and its tectonic implications[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 185: 185–198.
- [66] 唐渊. 哀牢山–红河剪切(断裂)带构造变形、年代学特征及区域构造意义[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2010: 64–73.
- Tang Yuan. Structural Deformation, Geochronological Characterization and Regional Tectonic Implication of the Ailaoshan–Red River Shear(fault) Zone[D]. Master degree thesis, China University of Geosciences(Beijing), 2010: 64– 73(in Chinese with English abstract).