

都龙-Song Chay 变质穹隆体变形与构造年代 ——南海盆地北缘早期扩张作用始于华南地块张裂的证据

颜丹平^{1,2}, 周美夫³, 王 焰³, 汪昌亮¹, 赵太平²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640

3. 香港大学地球科学系, 香港

摘要: 南海盆地的扩张经历了早期(中生代晚期至新生代早期)和晚期(32~17 Ma)2个快速阶段,但2阶段在时间上相继,在形成机制上也可能是一致的。然而由于南海盆地与周围板块侧向作用的关系复杂,对扩张机制的认识一直极具争议,新的构造分析和测年资料表明“弧后扩张”及“走滑扩张”模式均与事实有出入。对位于华南地块西南缘的都龙-Song Chay 变质穹隆体的研究表明,在中生代至新生代时期,至少经历了2期重要的伸展构造: D₁期(237~228 Ma)穹隆的隆升与表露阶段,代表了印支期造山作用前的伸展构造; D₂期(86~78 Ma)叠加和改造阶段,并有可能始于176~146 Ma,致使穹隆进一步隆升和表露。D₂期构造在发育时间、伸展方向及变形方式上既与华南地块同时期区域伸展构造特征相一致,也与南海盆地北缘早期扩张特征相一致。因此,作为华南地块的组成部分,南海盆地北缘的早期扩张也是华南中生代晚期至新生代早期伸展构造的组成部分。由此推测,南海盆地扩张的动力学机制可能主要来自于华南地块的板内变形作用,而哀牢山—红河断裂带的左行走滑作用对南海盆地新生代的扩张起到推动和加强作用。

关键词: 南海盆地北缘; 都龙-Song Chay 变质穹隆体; 华南地块; 伸展构造; 构造年代。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2005)04-0402-11

收稿日期: 2005-02-25

Structural Styles and Chronological Evidences from Dulong-Song Chay Tectonic Dome: Earlier Spreading of South China Sea Basin due to Late Mesozoic to Early Cenozoic Extension of South China Block

YAN Dan-ping^{1,2}, ZHOU Mei-fu³, WANG Yan³, WANG Chang-liang¹, ZHAO Tai-ping²

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

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China

Abstract: The South China Sea basin expanded firstly from Late Mesozoic to Early Cenozoic, and then at 32–17 Ma. The second stage of extension formed immediately after the first stage, and both extensions are consistent with the forming mechanism. New structural analysis and geochronological data are both inconsistent with the current models of backarc extension and extension by strike-slip fault. New data of structural styles and geochronometry in the Dulong-Song Chay metamorphic dome indicate at least two epoches of major extensional tectonics: the D₁ deformation of the rising and exhumation of the dome occurred at 237–228 Ma; and the D₂ deformation overprinted and re-deformed on the dome at 86–78 Ma. Of them, the D₂ deformation shows a consistent forming time, extensional direction and tectonic regime amongst the Dulong-Song Chay dome, South China block and the north margin of the South China Sea basin. Regional geology shows that the north margin of the South China Sea basin belongs to the South China block. Therefore, we interpret that the Late Mesozoic to Early Cenozoic extensional tectonics occurred in the north margin of the South China Sea basin as a result of the interplate deformation of

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 40472106; 40434011; 40172070).

作者简介: 颜丹平(1964—), 男, 博士, 教授, 主要从事构造地质学、盆地构造及构造地球化学的教学与研究工作. E-mail: yandp@cugb.edu.cn

the South China block. The Ailaoshan-Red River sinistral slip strengthened the Cenozoic extension in the South China Sea.

Key words: South China Sea basin; Dulong-Song Chay metamorphic dome; South China block; extensional tectonic; geo-chronological determination.

0 引言

对于南海盆地扩张机制及其与南海周围板块的侧向作用的关系,特别是与新生代哀牢山—红河断裂带左行走滑作用的联系(图 1),一直是极具争议的课题。

研究已经证明,在南海盆地北部中生代晚期至新生代早期及新生代均形成了陆缘张裂带(龚再升等,1997;邹和平,1997;李思田等,1998;中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室,1998)。事实上,南海盆地北部陆缘张裂开始于晚白垩世—古新世(Ru and Pigott, 1986),南海北部含油气盆地主要形成于晚白垩世—早第三纪,而南海中央海盆的海底扩张一般认为是发生在晚渐新世—中中新世(32~17 Ma)(Taylor and Hayes, 1980),它们在形

成时间上有明显的先后关系,在形成机制上则具有明显的继承性和一致性。关于这些张裂带的形成机制、演化阶段和演化模式的认识虽各有不同(Karig, 1971; Taylor and Hayes, 1980; Tapponnier *et al.*, 1982),但这些模式都给出了一个共同特点,即主要是考虑侧向上的板块相互作用,并主要围绕着南海盆地中央海盆新生代的海底扩张来论述问题,而对陆缘区,特别是华南的构造演化与南海盆地扩张的关系考虑不足。

哀牢山—红河断裂带发生的强烈的左行走滑作用在华南、滇西三江地区和印支半岛产生不同程度和不同形式的板内变形作用,如大规模的块体顺时针旋转、深部构造调整和伸展变形等(Tapponnier *et al.*, 1990; Schärer *et al.*, 1994; Leloup *et al.*, 1995; Harrison *et al.*, 1996; Jolivet *et al.*, 1999; Yan *et*

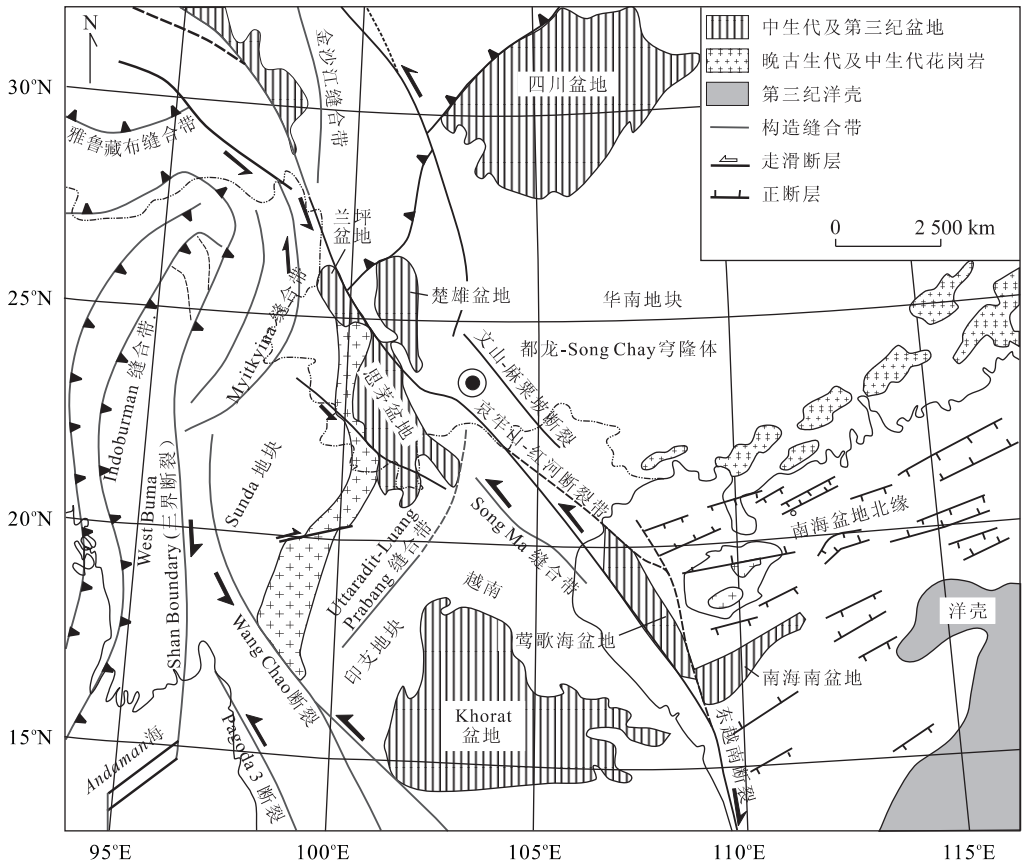


图 1 华南地块、印支地块区域构造略图(Chung *et al.*, 1997; 胥颐等, 2003)

Fig. 1 An outline tectonic map of South China block and Indochina block

al., 2005), 并产生了巨大的板内变形量(Rangin *et al.*, 1995a; Jolivet *et al.*, 1999)(图 1). 与此同时, 在印支半岛(Rangin *et al.*, 1995b)和泰国境内(Lacassin *et al.*, 1997), 还发育了与之平行的北西向左行走滑断裂, 如 Song Ma、Wang Chao 和 Pagoda 3 断裂(图 1). 与北北西向左行走滑断裂系配套, 还发育了与之共轭配套的北东向右行走滑断裂系. 二组共轭断裂系控制了华南、滇西南—印支半岛地区各地块新生代的边界环境, 并形成独具特色的菱形块体及伸展—走滑构造和构造盆地(Roger *et al.*, 2000; Maluskia *et al.*, 2001; Yan *et al.*, 2005). 然而, 对于哀牢山—红河断裂带左行走滑是否控制南海盆地的扩张, 以及如何控制的解释各有不同.

从构造变形及地质年代学研究出发, 多数研究结果认为是晚渐新世—早中新世哀牢山—红河断裂带左行走滑和同期活动的东越南断裂的右行走滑共同主导了南海洋盆的打开和扩张(Tapponnier *et al.*, 1990; Jolivet *et al.*, 1999; 胥颐等, 2003). 然而, 从区内片麻岩穹隆冷却史和岩石地质年代学分析表明, 哀牢山—红河断裂带左行韧性走滑形成于 27~22 Ma, 其脆性变形可能持续至 20~17 Ma(Leloup *et al.*, 1995; Chung *et al.*, 1997), 而南海洋盆的磁异常条带及新生代古地磁极研究表明, 南海洋盆打开于 32~16 Ma(Taylor and Hayes, 1980, 1983; Briais *et al.*, 1993). 这些说明, 南海洋盆的扩张要早于哀牢山—红河断裂带的左行走滑, 而且在左行走滑作用停止后, 洋盆还在继续扩张(Chung *et al.*, 1997). 因此, 在时间上南海盆地的扩张也与印度板块和欧亚板块的碰撞不一致(李思田等, 1998; 张进江等, 1999; 邹和平, 2001), 而且, 南海北部陆缘张裂的成因也很难与大洋板块俯冲造成的“弧后扩张”相联系(邹和平, 2001).

长期以来, 对于南海盆地扩张的机制, 很少从华南地块本身的构造演化来寻找. 实际上, 近年更详细的构造分析和更精确的年代学约束结果越来越多地显示, 哀牢山—红河断裂带的左行走滑作用及周边板块和太平洋板块的俯冲作用, 可能主要是对南海盆地的扩张进行了叠加和改造, 并非扩张的原动力. 因此, 从中生代末—新生代华南地块构造演化寻找突破, 是解决南海盆地早期扩张机制的关键.

本文在前人研究基础上, 通过对位于哀牢山—红河断裂北侧、华南地块西南的都龙(Li and Deng, 1996)-Song Chay 变质穹隆体(Roger *et al.*, 2000;

Maluskia *et al.*, 2001)(图 2)的构造变形样式和地质年代学分析后认为, 在晚白垩世—早第三纪华南地块内部发生的近南北向的板内伸展作用, 是导致南海盆地北缘发生早期张裂作用的原动力, 随后印度板块的碰撞和楔入产生的挤出构造, 使哀牢山—红河断裂带形成左行走滑, 越(南)东断裂产生右行走滑, 加剧了南海盆地的扩张, 并最终形成洋盆.

1 区域地质背景

以哀牢山—红河断裂带为界, 北东为华南地块, 南西为印支地块(滇西南及印支半岛)(图 1). 华南地块由扬子和华夏 2 个块体在新元古—古生代拼合而成(Ren, 1996; Yan *et al.*, 2003a). 华南地块由震旦系至新生界扬子区稳定型沉积盖层与不整合伏于其下的前震旦纪变质基底组成, 变质基底包括中元古代昆阳群、板溪群及与其相当层位组成的褶皱基底(云南省地质矿产局, 1990; Yan *et al.*, 2003a). 中生代以后, 随着华南地块与华北地块碰撞拼合, 华南的构造和沉积发生分异而变得较为复杂. 华南中生代最显著的构造变形是印支期—燕山早期大规模的由南东向北西的推覆构造(Yan *et al.*, 2003a), 并造成地壳加厚, 其后由于地壳调整, 在华南地块内部, 中生代末期至新生代发生区域性伸展作用, 并形成了一系列的北东—南西向伸展断陷盆地(陈跃辉等, 1996a, 1996b; 舒良树等, 1998; 梁新权和郭定良, 2003).

滇西南及印支半岛是由若干小地块组成, 并为一系列的走滑断层所分隔(图 1)(云南省地矿局, 1990; Arhendt *et al.*, 1993; Fan *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2005). 主要的地块包括越老地块、Khorat-Kontum 地块、Uttaradit 地块、Chiang Mai-Kachin 西地块. 各主要地块陆壳可能最终形成于震旦纪末—寒武纪的晚泛非运动, 基底主要由前震旦纪变质岩系组成, 主要包括变质年龄 806~1 102 Ma 的元古宇高黎贡山群和察隅群千枚岩、片岩系、片麻岩、混合岩系及其相当岩石. 盖层发育不完整, 在区域西部的察隅—腾冲一带, 富含冈瓦纳生物群的泥盆—二叠系碎屑—碳酸盐岩夹中基性火山岩和石炭—二叠系冰海相含砾板岩假整合于下奥陶统桑曲组之上, 但在保山地区, 震旦—寒武系具浅变质特征, 而且寒武—泥盆纪沉积盖层之间呈整合渐变过渡关系, 表明陆壳基底未经剧烈的造山作用, 是一种未成

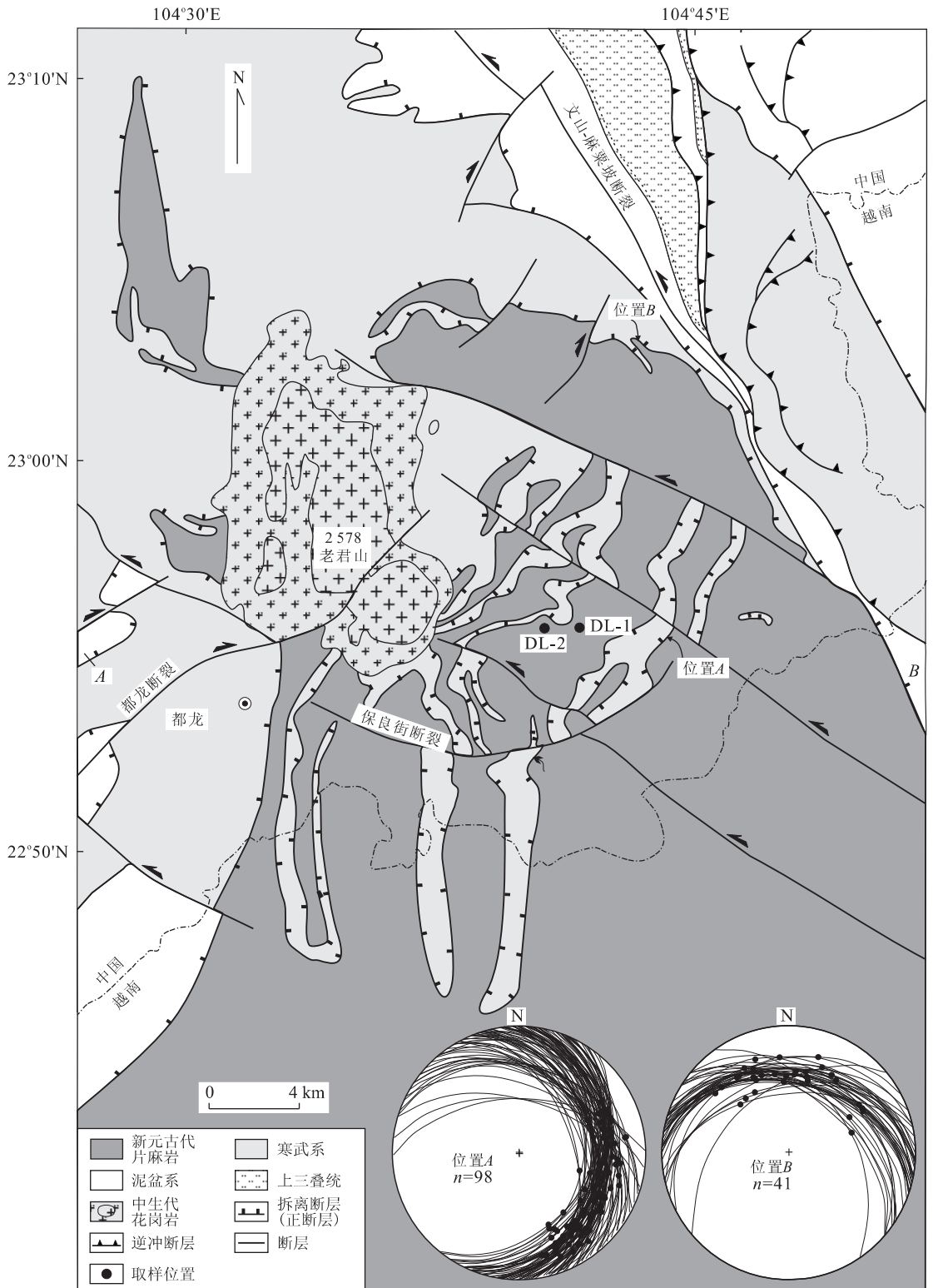


图 2 都龙变质穹隆体地质图

Fig. 2 Geological map of Dulong metamorphidome

南部完整的 Song Chay 变质穹隆体参见 Roger *et al.* (2000)和 Maluskia *et al.* (2001)

熟陆壳地块体。在更东侧,与保山地块毗邻的临沧地
块澜沧群顶部南坑河组与下伏惠民组不整合接触,

且岩石组合与保山奥陶系非常相似,表明早古生代
存在保山—临沧联合地块,并为滇缅板块的一部分。

2 都龙-Song Chay 变质穹隆体后期构造变形形迹与变质作用

都龙变质穹隆体位于哀牢山—红河断裂带与文山—麻栗坡断裂之间,一部分分布于我国云南省,另一部分向南延入越南境内,名叫 Song Chay 穹隆体,本文合并称之为都龙-Song Chay 变质穹隆体(图 1, 2)。文山—麻栗坡断裂与哀牢山—红河断裂平行延伸,具有左行韧—脆性变形特征。都龙-Song Chay 变质穹隆体平面上呈椭圆状,东西宽度约 35 km,南北长约 75 km。

都龙变质穹隆体(图 2)由 2 个构造单元组成,即由前寒武纪变质基底组成的变质核及由寒武—泥盆系组成的沉积盖层,2 者为脆—韧性拆离断层分割,拆离断层中发育 S-C 组构、同构造变形等(Roger *et al.*, 2000; Maluskia *et al.*, 2001; Yan *et al.*, 2005)(图 3)。此外,在寒武系和泥盆系之间也发育一条规模较小的脆—韧性拆离断层,在变质核及沉积盖层中均不同程度地发育了 D₁ 期构造变形,包括 S₁ 构造面理和 L₁ 矿物拉伸线理。S₁ 为 S₀ 顺层掩卧褶皱的轴面劈理或顺层韧性剪切带面理,剪切运动指向 SSE 方向,因此 S₁ 与 S₀ 总体上近于平行;L₁ 总体上呈 NW—SE 方向;S₁L₁ 构造岩变质矿物组合白云母+黑云母+斜长石+石榴子石+(角闪石)+十字石+石英,向拆离断层及盖层变为白云母+黑云母+斜长石+绿泥石+石英,分别代表高绿片岩相至低绿片岩相变质作用。D₁ 构造组合表明变质穹隆体是在 NW—SE 向的伸展构造体制

下形成的。

D₂ 期韧—脆性构造变形明显叠加于 D₁ 期变形变质作用之上(图 2, 3),主要包括:(1)在全区较广泛发育的 NWW 向的左行走滑断层;(2)在穹隆体西侧和北侧少量发育的 NE 向右行走滑断层;(3)仅在穹隆体东侧发育的近 SN 向向东陡倾的逆冲断层;(4)野外及显微构造尺度下发育明显的叠加组构(图 3);(5)低绿片岩相变质矿物组合黑云母+绿泥石+石英+方解石。其中 NWW 向左行走滑断层带在都龙变质穹隆体中由 6 条平行的断层组成,总体呈右列排列,普遍规模不大,沿走向延伸仅几 km 至 10 余 km;NE 向断层规模则更小,延伸一般在 10 km 以内。NWW 向断层与 NE 向断右行层在都龙北西呈明显的互切关系,表明 2 者为共轭断层,其显示的主压应力方向为近 EW 向。因此,近 SN 向的逆冲断层可能是在这个应力场作用下派生出来的小规模变形(图 2)。

有的 D₂ 期断层显示一定的韧性变形特征。除断层面上发育了断层擦痕外,还发育了构造面理 S₂ 和定向分布矿物线理 L₂,具明显的组构叠加特征。新生变质矿物主要是细粒黑云母和石英。擦痕和矿物线理指向为北北西—南南东向。D₂ 期变形明显叠加于早期糜棱岩化组构之上(图 3)。

新生代哀牢山—红河断裂带左行走滑作用对都龙-Song Chay 变质穹隆体进行了再次强烈的构造叠加和改造(D₃),但主要表现为脆性变形特征。对这类构造的研究,前人已经作了详细的研究和报道(Tapponnier *et al.*, 1990; Leloup *et al.*, 1995; Rangin *et al.*, 1995; Li and Deng, 1996; Harrison

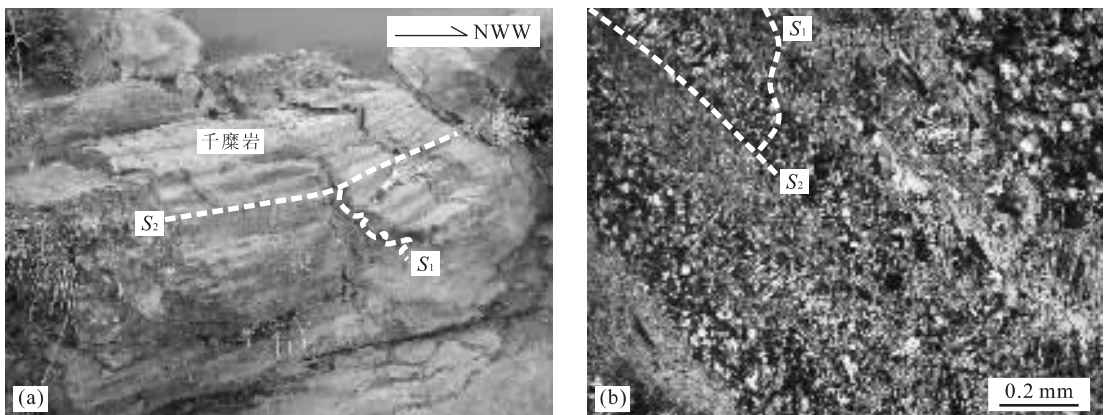


图 3 D₁ 和 D₂ 期构造叠加关系(图 1 的位置 A)

Fig. 3 Overprinted relationship of D₁ and D₂

a. 野外露头上表示的构造关系;b. 显微构造关系

et al., 1996; Gilley *et al.*, 2003).

3 地质年代学分析

3.1 样品及分析测试原理

样品 DL-2 为采自 2 条 NW 向走滑断层之间的新鲜花岗质片麻岩。经薄片鉴定和分析,属正片麻岩。碎样至 60 目,用常规电磁选和磁选获得纯度大于 90% 的锆石,再在双目镜下进行挑纯。最终得到的锆石外表浑圆,以长柱状或圆柱状为主,长约 100~200 μm ,长/宽比约为 3:1。菲利普 XL30 SEM 阴极发光显微照片显示,锆石内部较暗,大多具有清晰的环带结构,具有岩浆成因特征。将锆石与标准锆石 TEM 粘贴在环氧树脂表面(标准锆石 CZ3U/Pb 年龄为 564 Ma),抛光后将待测锆石进行透射光、反射光和阴极发光扫描电镜显微照相。锆石 U/Pb 同位素分析在澳大利亚 Curtin 技术大学的 SHRIMP-II 离子探针上用标准测定程序条件进行(Compston *et al.*, 1984),数据处理程序参见 Ludwig (2001)。分析结果列于表 1。

样品 DL-1 为片麻状糜棱岩,采样位置见图 2。其中发育 D_1 和 D_2 期变形组构,镜下鉴定 D_1 期主要变质矿物组合包括石英、斜长石、角闪石和白云母等,发育 S-C 组构; D_2 期矿物组合主要有黑云母和石英,发育 S-C 组构。使用标准碎样、筛选、重液分离和磁选方法,在加拿大 Dalhousie 大学对上述样品进行分离,通过双目镜挑选得到纯度在 90% 以上的黑云母单矿物。样品在 McMaster 大学核反应堆进行照射,Ar 同位素分析在一个连接到双真空管钽阻炉的 VG3600 质谱仪上进行,分析标准样角闪石 MMhb-1 设定年龄值为 (520 ± 2) Ma (Samson and Alexander, 1987),实验流程参见 Muecke *et al.* (1988)。分析结果列于表 2。

3.2 结果分析

对 DL-2 中的锆石共测试了 17 个点(表 1),其中的数据结果较为复杂,仔细分析,得到了一些有用的信息。DL2-5 和 DL2-10 显示强烈的 Pb 丢失,导致误差明显偏大,因此不参加计算。15 个有用的点均沿不一致曲线分布(图 4a),其中 3 个点位于 150 Ma 年龄值以上,且年龄值分散,Th/U 比值较大(图 4b),有可能代表了较早期的岩浆活动年龄;另外的 12 个点中,有 2 组较集中的点(图 4c-d):一组由 3 个点组成,获得 (146 ± 3) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$

平均年龄值(图 4c);另一组由 6 个点组成,获得 (86 ± 2) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄值(图 4d),另外有 3 个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值较分散,年龄值介于上述 2 个组别之间(图 3a),可能也显示为一个连续的构造热事件过程。

DL-1 中的变质黑云母在 650~1 100 $^{\circ}\text{C}$ 间的 ^{39}Ar 释放量达到 99%,并给出了很好的坪年龄值 (84 ± 1) Ma(表 2,图 5)。对构造热阶段的数据进行 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 和 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄计算,数据的相关系数为 0.998 97。

4 问题讨论

都龙-Song Chay 变质穹隆体的基底拆离断层及其上下盘均发育完善的韧性剪切带和糜棱岩,代表了 D_1 期区域伸展作用,Yan *et al.* (2005)对 D_1 期变质成因角闪石进行的 Ar-Ar 测年结果为 (237 ± 5) Ma,区内上三叠统灰岩及泥岩互层不整合覆盖于 D_1 期变形之上(图 2),表明变质穹隆体隆升的主体时间为中三叠世早期,可能代表了印支期造山作用前的地壳调整(Yan *et al.*, 2005)。各构造单元为中生代多期花岗岩体侵入,花岗岩中黑云母单矿物曾获得 K-Ar 年龄为 186 Ma(云南第二区调队,1976),可能代表了最早期的岩浆侵位年龄。

D_2 期变形是叠加在 D_1 期之上的另一次区域伸展构造,矿物拉伸线理和断层擦痕指示其主体伸展方向为 NNW-SSE,而且都龙和 Song Chay 穹隆体显示了相似的变形特征,即目前出露的部分以韧-脆性变形为主,进一步说明在 D_2 期变形前,穹隆已经历了隆升过程(Roger *et al.*, 2000; Maluskia *et al.*, 2001)。在 Song-Chay 变质穹隆体中,也发育了 D_1 和 D_2 期伸展构造变形组合,其变形特征与都龙变质穹隆体相类似。 D_1 期变形新生的白云母 Ar-Ar 年龄为 (234 ± 0.8) Ma 和 (228 ± 0.5) Ma,可能代表了印支期造山作用前的区域伸展构造; D_2 期以韧-脆性变形为主,在其中除获得了岩浆锆石 U-Pb 年龄 (78 ± 4) Ma 外,在变质矿物中还获得了下列 Ar-Ar 年龄: (176 ± 2) Ma、 (166 ± 2) Ma(黑云母)和 (164 ± 2) Ma(白云母)(Maluskia *et al.*, 2001),与侵位于都龙穹隆体中的花岗岩一起,可能说明 D_2 期伸展作用在中侏罗世即已开始(Roger *et al.*, 2000; Maluskia *et al.*, 2001)。

在都龙穹隆体中,与 D_2 期伸展作用相关的花

表 2 DL-1 黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄测试结果

Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar analyses of the biotites from the DL-1

样品/矿物	t/℃	³⁹ Ar/mV	³⁹ Ar/%	t±1σ/Ma	ATM/%	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ⁴⁰ Ar	³⁹ Ar/ ⁴⁰ Ar	IIC/%
DL-1/黑云母	550	5.0	0.1	66.4±24	60.3	0.03	0.002 04	0.024 589	0.01
	600	10.3	0.3	82.5±11.5	42.5	0	0.001 438	0.028 539	0
	650	26.7	1.0	83.4±4.9	35.3	0	0.001 196	0.031 763	0
	700	61.6	2.3	82.4±2.8	47.4	0	0.001 605	0.026 151	0
	750	133.3	5.1	82.9±1.7	46.7	0	0.001 583	0.026 304	0
	800	540.8	20.8	84.3±.6	19.4	0	0.000 659	0.039 151	0
	850	752.9	29.0	84.5±.4	6.9	0	0.000 234	0.045 147	0
	900	510.4	19.7	84.4±.5	8.2	0	0.000 279	0.044 525	0
	950	182.9	7.0	84.3±.8	8.3	0	0.000 283	0.044 524	0
	1 000	316.1	12.2	84.3±.7	13.7	0	0.000 465	0.041 942	0
	1 100	34.0	1.3	86.6±3	1.4	-0.01	0.000 049	0.046 595	0
	1 250	10.7	0.4	79.6±13.1	60.8	0	0.002 06	0.020 145	0
	1 450	5.6	0.2	124.2±56.7	91.8	0.03	0.003 108	0.002 653	0.01

平均年龄(650~1 100 ℃)=(84.3±1)Ma(误差为 2σ,包括 J 中的误差,J=0.002 327±0.000 232(0.9%))

³⁷Ar/³⁹Ar, ³⁶Ar/⁴⁰Ar 和 ³⁹Ar/⁴⁰Ar 由质谱仪校正.

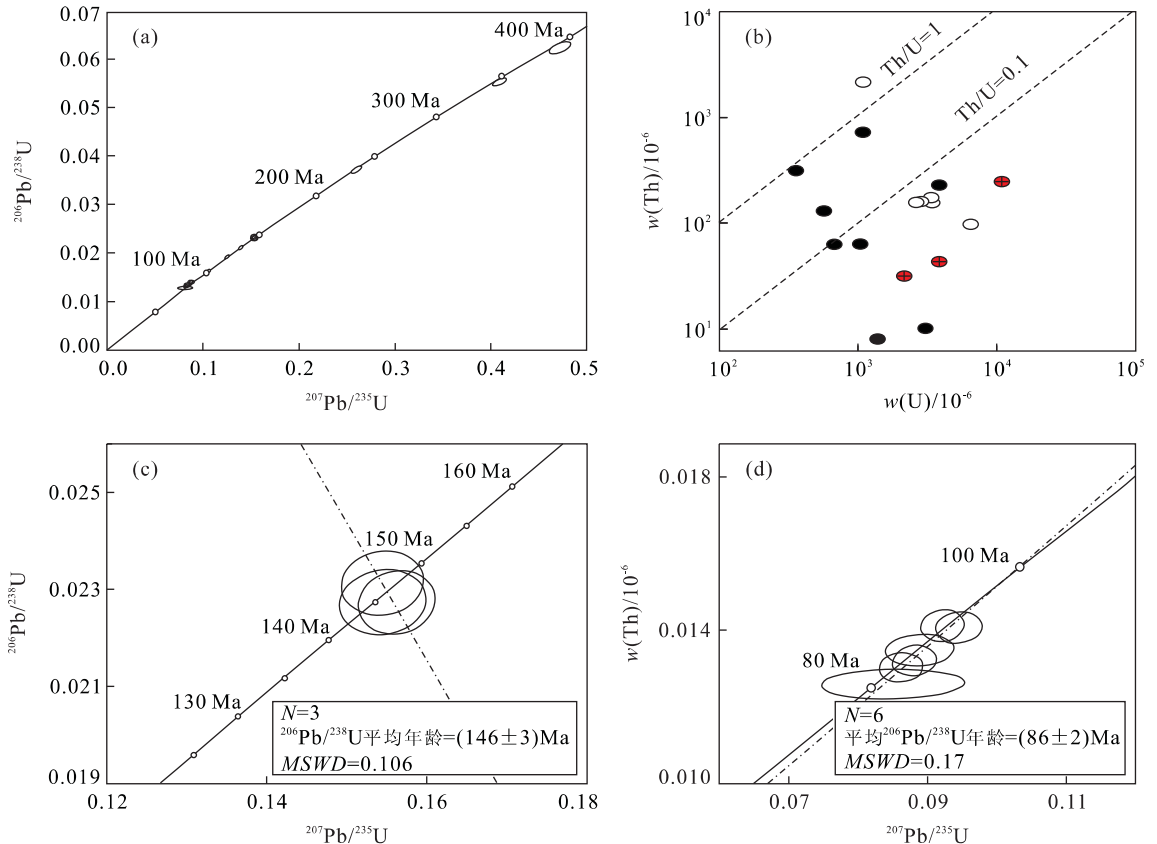


图 4 DL-2 锆石 SHRIMP II 离子探针分析结果

Fig. 4 SHRIMP II U-Pb zircon dating results from sample DL-2

a. 15 个分析点的不一致曲线; b. 17 个点的 Th/U 比值; c. 3 个点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 平均年龄; d. 6 个点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 平均年龄

岗质岩石中锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 平均年龄值为(86±2)Ma,代表了岩浆的结晶年龄;D₂期变质作用新生的黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄值为(84±1)Ma,指示了构造热事件年龄.上述年龄与 Song Chay 变

质穹隆体获得的 78 Ma 锆石 U-Pb 年龄相似(Roger *et al.*, 2000),均代表了中生代末期的 NNW-SSE 向伸展构造.由于锆石 U-Pb、黑云母和白云母代表的封闭温度依次降低,如将在都龙-

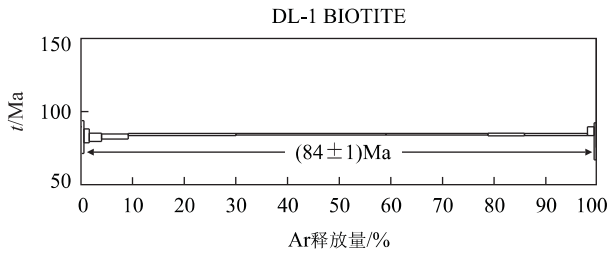


图 5 DL-1 黑云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 坪年龄

Fig. 5 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age of the biotites separated from DL-1

Song Chay 变质穹隆体获得的地质年代进行整理, 可以分为 3 个构造热事件旋回, 即 176~164 Ma、86~84 Ma 和 78~0 Ma, 这说明, 中侏罗世以来, 都龙-Song Chay 变质穹隆体至少经历了 3 个旋回的构造热事件. 这 3 个构造热事件可能均发生于燕山期以来的板内伸展构造背景下, 这个伸展构造从中生代末期延至新生代早期(Roger *et al.*, 2000).

都龙-Song Chay 穹隆体在中生代晚期的伸展作用是华南地块的一个代表. 区域上的研究表明, 华南地块在晚白垩世至早第三纪早期表现为区域性伸展构造特征, 其伸展方向为 NW-SE 向(梁新权和郭定良, 2003)、江西(舒良树等, 1998; Yan *et al.*, 2003b), 这次构造变形在华南地块内部还形成了一系列的北东东向断陷盆地和变质穹隆体(陈跃辉等, 1996; Yan *et al.*, 2003a, 2003b).

在南海盆地进行的地质、地球物理综合调查表明(龚再升等, 1997), 南海北部陆缘莫霍等深线呈北东向展布, 深度从内陆架的 30 km 向东南变浅, 至陆坡为 22 km, 到陆坡坡脚处约 14 km, 中央海盆莫霍面深度为 10~12 km, 曾母盆地莫霍面深度较浅, 最浅处为 16 km. 表明南海盆北部边缘基底是华南陆壳自然延伸的(邹和平, 2001).

南海盆地北部中生代晚期及早第三纪形成了大规模陆缘张裂带(龚再升等, 1997; 邹和平, 1997; 李思田等, 1998; 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室, 1998), 其断陷盆地走向为 NEE 向(图 1), 指示其伸展方向为北北西-南南东向. 显然, 从张裂的时间、伸展方向及构造热事件的表现看, 与华南地块内部广泛发育的伸展构造是一致的. 因此, 南海盆地的早期张裂是华南地块内部裂陷构造的构造组成部分, 其动力学机制是华南地块板内构造调整.

5 结论

(1) 都龙-Song Chay 变质穹隆体中生代至新生代早期至少经历了 2 期伸展构造: D_1 期形成于 237~228 Ma, 造成了穹隆体的隆升和表露, 可能代表了印支期造山作用前的地壳调整; D_2 期形成于 86~78 Ma, 代表了中生代末期 NNW-SSE 向伸展构造. (2) D_2 期伸展构造在形成时间、伸展方向及区域构造体制等上与南海盆地北缘基底的早期张裂及华南地块中生代末期大规模的区域伸展作用是一致的, 3 者间应指示相同的伸展动力学机制. (3) 中生代末期-新生代早期华南块的伸展构造体制主要是板内构造变形和调整的结果.

致谢: 锆石测年是澳大利亚 Curtin 技术大学 SHRIMP II 实验室 Allen K. Kennedy 博士帮助完成的, Ar-Ar 测年是加拿大 Dellhouse 大学 Peter 博士帮助完成, 审稿人的建设性意见提高了论文质量, 在此一并致谢.

References

- Arhndt, H., Chonglakmani, C., Hansen, B. T., et al., 1993. Geochronological cross section through northern Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8: 207-217.
- Briaux, A., Patriat, P., Tapponnier, P., 1993. Updated interpretation of magmatic anomalies and sea-floor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of SE Asia. *Journal of Geophysical Research—Solid Earth*, 98: 6299-6328.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province, 1990. Regional geology of Yunnan Province: Geological memoirs, series 1, No. 21. Geological Publishing House, Beijing, 1-728 (in Chinese).
- Chen, Y. H., Chen, Z. Y., Cai, Y. Q., et al., 1996a. Mesozoic extensional tectonic types and their main characteristics in southeastern China. *Uranium Geology*, 12: 257-264 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. H., Chen, Z. Y., Cai, Y. Q., et al., 1996b. Space-time evolution of Mesozoic extensional tectonics and distributions of uranium mineralization in southeastern China. *Uranium Geology*, 12: 129-146 (in Chinese with English abstract).
- Chung, S. L., Lee, T. Y., Lo, C. H., et al., 1997. Intraplate extension prior to continental extrusion along the Ailao Shan-Red River shear zone. *Geology*, 25(4): 311-314.

- Compston, W. , Williams, I. S. , Meyer, C. , 1984. U-Pb geochronology of zircons from Lunar Breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *Journal of Geophysical Research*, 89: 525—534.
- Fan, P. F. , 2000. Accreted terranes and mineral deposits of Indochina. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 343—350.
- Gong, Z. S. , Li, S. T. , Xie, T. J. , et al. , 1997. Continental margin basin analysis and hydrocarbon accumulation of the northern South China Sea. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Harrison, M. T. , Leloup, P. H. , Ryerson, F. J. , et al. , 1996. Diachronous initiation of transtension along the Ailao-Shan-Red River shear zone, Yunnan and Vietnam. In: Yin, A. , Harrison, M. T. , eds. , Tectonic evolution of Asia. Cambridge University Press, New York, 208—226.
- 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.
- Karig, D. E. , 1971. Origin and development of marginal basins in western Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 76: 2542—2561.
- Lacassin, R. , Maluski, H. , Leloup, P. H. , et al. , 1997. Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina; Structural and Ar/Ar evidence from NW Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 102: 10013—10037.
- 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: 3—84.
- Li, D. X. , Deng, J. , 1996. Metamorphic core complex and vortex structure in Laojunshan, southeastern Yunnan Province. *Scientia Geologica Sinica*, 5: 1—9.
- Li, S. T. , Lin, C. S. , Zhang, Q. M. , et al. , 1998. Episodic rifting of continental marginal basins and tectonic events since 10 Ma in the South China Sea. *Chinese Science Bulletin*, 44: 10—23 (in Chinese).
- Liang, X. Q. , Guo, D. L. , 2003. Mesozoic orogenic process in Hunan Province; Effects of the orogenic belts at the margin of the South China block. *Hunan Geology*, 22: 15—18 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R. , 2001. Squid 1. 02 in a user's manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication 2, Berkeley, 1—19.
- Maluski, H. , Lepvrier, C. , Jolivet, L. , et al. , 2001. Ar-Ar and fission-track ages in the Song Chay massif: Early Triassic and Cenozoic tectonics in northern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19: 233—248.
- Muecke, G. K. , Eliaş, P. , Reynolds, P. H. , 1988. Hercynian Alleghanian overprinting of an Acadian terrane-Ar-40/Ar-39 studies in the Meguma zone, Nova-Scotia, Canada. *Chemical Geology*, 73: 153—167.
- Rangin, C. , Klein, M. , Rogues, D. , et al. , 1995a. The Red-River fault in the Tonkin Gulf, Vietnam. *Tectonophysics*, 243: 209—222.
- Rangin, C. , Huchon, P. , LePichon, X. , et al. , 1995b. Cenozoic tectonics of central and south Vietnam. *Tectonophysics*, 251: 179—196.
- Ren, J. S. , 1996. The continental tectonic of China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 13: 197—204.
- 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: 449—466.
- Ru, K. , Pigott, D. , 1986. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea. *AAPG Bulletin*, 70: 1136—1155.
- Samson, S. D. , Alexander, E. C. , 1987. Calibration of the interlaboratory ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating standard, MMHB-1. *Chemical Geology*, 66: 27—34.
- Schärer, U. , Zhang, L. S. , Tapponnier, P. , 1994. Duration of strike-slip movements in large shear zones: The Red-River belt, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 126: 379—397.
- Shu, L. S. , Sun, Y. , Wang, D. Z. , et al. , 1998. Mesozoic doming extensional tectonics of Wugongshan, South China. *Science in China (Series D)*, 41: 601—608 (in Chinese).
- Tapponnier, P. , Lacassin, R. , Leloup, P. H. , et al. , 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: Tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343: 431—437.
- Tapponnier, P. , Peltzer, G. , Dain, A. Y. L. , et al. , 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia; New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10: 611—616.
- Taylor, B. , Hayes, D. E. , 1980. The tectonic evolution of the South China Sea. *Geophysical Monograph*, 23: 89—104.
- Taylor, B. , Hayes, D. E. , 1983. Origin and history of the South China basin. In: Hayes, D. , ed. , The tectonics and geological evolution of Southeast Asian Seas and Island; Part 2. Geophys. Monogr. Ser. AGU, Washington D. C. 27, 23—56.

- Tectonic Group, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 1998. The structural geology of South China Sea and continental marginal extension. Science Press, Beijing (in Chinese).
- The 2th Regional Geological Team of Yunnan Province, 1976. Geological map and report (Maguan Section), scale 1 : 200 000. Unpublished report (in Chinese).
- Xu, Y., Liu, J. H., Liu, F. T., et al., 2003. The structure of crust and upper mantle of the Ailaoshan-Red River fault and its periphery. *Science in China (Series D)*, 33: 1201—1209 (in Chinese).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2003a. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer overthrust system within the Yangtze block (South China). *Tectonophysics*, 361: 239—254.
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2003b. Structural style and tectonic significance of the Jianglang tectonic dome, eastern margin of the Tibetan plateau, China. *Journal of Structural Geology*, 25: 765—779.
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Wang, Y. C., 2005. Structural and geochronological constraints on the Dulong-Song Chay tectonic dome in SE Yunnan (SW China) and northern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences* (in Press).
- Zhang, J. J., Zhong, D. L., Zhou, Y., 1999. A discussion for the tectonic evolution of Southeast Asia and Ailaoshan-Red River belt. *Geological Review*, 45: 337—344 (in Chinese with English abstract).
- Zou, H. P., 1997. Post-platform orogeny and basin-making model in the Hainan island of China: Geochemical constraints from igneous rocks. *Geotectonica et Metallogenia*, 21: 117—123 (in Chinese with English abstract).
- Zou, H. P., 2001. Continental marginal rifting along the northern South China Sea: The crustal response to the lower lithospheric delamination. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 21: 39—44 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 云南省地质矿产局, 1990. 云南省区域地质志. 第 1 辑, No. 21. 北京: 地质出版社, 1—728.
- 陈跃辉, 陈祖伊, 蔡煜琦, 等, 1996a. 华东南中生代伸展构造类型及其主要特征. 铀矿地质, 12: 257—264.
- 陈跃辉, 陈祖伊, 蔡煜琦, 等, 1996b. 华东南中生代伸展构造时空演化与铀矿化时空分布. 铀矿地质, 12: 129—146.
- 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等, 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社.
- 李思田, 林畅松, 张启明, 等, 1998. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂隙的动力过程及 10 Ma 以来的构造事迹. 科学通报, 43: 797—810.
- 梁新权, 郭定良, 2003. 湖南中生代造山过程——华南陆块周缘造山带之影响. 湖南地质, 22: 15—18.
- 舒良树, 孙岩, 王德滋, 等, 1998. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学(D 辑), 28: 431—438.
- 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室, 1998. 南海地质构造与陆缘扩张. 北京: 科学出版社.
- 云南省第二区调队, 1976. 马关幅区域地质调查报告(1 : 200 000).
- 胥颐, 刘建华, 刘福田, 等, 2003. 哀牢山—红河断裂带及其邻区的地壳上地幔结构. 中国科学(D 辑), 33: 1201—1209.
- 张进江, 钟大赉, 周勇, 1999. 东南亚及哀牢山红河构造带构造演化的讨论. 地质论评, 45: 337—344.
- 邹和平, 1997. 海南岛后地台造山—造盆模型: 火成岩地球化学制约. 大地构造与成矿学, 21: 117—123.
- 邹和平, 2001. 南海北部陆缘张裂—岩石圈拆沉的地壳响应. 海洋地质与第四纪地质, 21: 39—44.