

# 论中国大陆复杂和混杂的碰撞带构造

万天丰

(中国地质大学,北京 100083)

**摘要:**中国大陆碰撞带是以结构复杂、形成过程复杂和物质成分趋于混杂为主要特征的。在构造特征上,表现为由构造岩片和混杂岩带所组成,形成扇状褶皱和对冲型逆掩断层。在剖面上常形成楔状(鳄鱼式)构造,在平面上可构成嵌入构造,它们其实是两个板块在碰撞过程中互相挤压、缩短与穿插的、一个统一的三维共轭剪切断裂系统中的不同表现形式。绝大多数中国大陆碰撞带都不是一次形成的,而是经历了多期次、活动性质各不相同的、复杂的形成过程。为了进一步提高碰撞带的研究水平,应该把碰撞带及其两侧的板块当作一个整体来进行综合研究,应该大力加强碰撞带周邻板块的沉积古地理、生物古地理、古地磁学、地球化学和构造变形、变位资料的系统研究。碰撞作用时期是元素、岩石和构造单元趋于混杂的时期,而不是有利于元素、物质的分异和富集。碰撞带的主碰撞期形成的矿床是十分有限的。笔者推测有 4 种类型的矿床可能将成为西部古碰撞带地区找矿的主要目标。

**关键词:**碰撞带; 板块构造; 楔状和嵌入构造; 多期次构造事件; 成矿作用

**中图分类号:**P54 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2004)03-0207-14

## 0 引言

陆陆碰撞构造带,通常是地球大陆表层构造变形最复杂的地带。碰撞构造带的研究,历来都是以难度大、争议多为特点,从而十分引人注目。早年对它们的重视是与地槽地台假说的兴起有关。自从 Dana(1873)提出地槽以来,一直很受学者们的关注。因为当时认为地槽是地壳上两个稳定地块之间的强烈凹陷带,形成了巨厚的沉积物,以后发生强烈的褶皱、回返,从而构成造山带<sup>[1]</sup>。板块构造学说引入地球科学以来,知道了原来相当于地槽所在的部位其实可能存在着大洋、大陆斜坡、浅海大陆架以及陆地,而绝不是过去以为的深凹陷、槽形带<sup>[2~4]</sup>。尽管地槽假说已经被多数地球科学工作者所否定,但是造山带这一术语,还是被许多学者所继续使用,有些学者更把造山带的概念扩大为俯冲造山带、碰撞造山带和板内造山带 3 类<sup>[5,6]</sup>。另一些学者<sup>[7,8]</sup>则

建议不再使用此术语,因为造山带已不能恰当地反映两个稳定地块之间发生俯冲、挤压和碰撞的强构造变形的特征,早已经是名不副实了。许多过去在大陆所确定的地槽,其实是两个稳定地块之间的碰撞带。用陆陆碰撞构造带或碰撞带来表述,可能还是比较妥当的意见。

中国大陆内部发育着相当多的陆-陆碰撞构造带,以它们的主碰撞期(即洋壳消失,构造变形作用最强烈)为准,古生代以来主要发育有:早古生代早期阿尔泰—准噶尔—额尔古纳碰撞带,早古生代晚期昆仑—阿尔金—祁连碰撞带,晚古生代晚期天山—兴安岭碰撞带,三叠纪的龙木错—澜沧江(昌宁—孟连)—达府、金沙江、秦岭—大别—胶南(苏鲁)、和绍兴—十万大山等碰撞带,侏罗纪的完达山碰撞带,白垩纪晚期班公湖—怒江碰撞带,以及古近纪的雅鲁藏布江碰撞带等<sup>[8]</sup>。太古宙与元古宙肯定也存在着许多碰撞带,但是由于露头不够连续,构造研究程度相对较差,分歧意见还比较多,本文暂不讨论。

根据近 30 年来许多学者在地表进行地质构造研究的结果,中国大陆碰撞构造带普遍具有以下一些共同的特点:(1)碰撞构造带主要都是由构造岩片

收稿日期:2004-07-15

作者简介:万天丰(1938—),男,教授,博士生导师,长期从事构造地质学与大地构造学的教学与研究工作。E-mail: wantf@cugb.edu.cn

和混杂岩带所组成。从碰撞带内岩石组成来看,既包含了两侧板块的陆壳、地幔成分,也可以含有两个大陆地块之间的大洋壳幔残片(包括大洋沉积物、蛇绿岩套与铁镁质岩石等)。两盘岩石在碰撞过程中混杂作用的产物,小尺度的就是糜棱岩、碎裂岩,大尺度的就是混杂岩带或构造岩片带。总的来说,碰撞作用时期是有利于元素、岩石和构造单元的混杂,而不是有利于元素、物质的分异和富集的。由于碰撞作用很强,常发生很强的动力变质作用,构成高压或超高压变质带。当然,在强构造变形过程中,也可以在局部地段形成同碰撞期的中酸性侵入体与火山喷发,在此过程中自然也可能存在某些元素的富集。

(2)碰撞构造带内,经常形成很强的构造变形,以形成扇状褶皱和对冲型逆掩断层为特征<sup>[9~14]</sup>。与洋陆之间的俯冲作用相比,在陆-陆碰撞的最后阶段,中国大陆的两盘地块岩石组成比较接近,总体上强度也比较相近,因而容易在平面上或剖面上发育共轭剪切断裂<sup>[15]</sup>,易形成对冲型逆掩断层系。当然,这种陆陆碰撞的对冲型逆掩断层系不可能在每一个地段都表现为对冲的特征,在某些地段常常以某一种倾向的逆掩断层为主的,而另外一部分则以相反倾向的逆掩断层为主。这可能与两盘地块的岩石强度、密度和所处部位存在一定的差异有关。与对冲型的逆掩断层系相伴随,层状地层就容易构成扇状褶皱系(当然可以包括正的或倒的扇状褶皱)。

(3)我国的许多碰撞构造带与洋陆之间的俯冲带不同,俯冲带通常都是以单向俯冲为主。我国的碰撞构造带也与国外有些地区的碰撞构造带不相同。例如阿巴拉契亚—苏格兰—挪威碰撞带,也称加里东碰撞带,形成薄皮构造,即构成一系列以单方向为主的低角度逆掩断层系<sup>[16~18]</sup>。在中国大陆只有喜马拉雅碰撞带在岩石圈上部表现为单向俯冲,印度板块在青藏高原之下斜向俯冲了 200 km 左右,垂直深度达 15 km<sup>[19]</sup>。近年来,西喜马拉雅地区深 1 000 km 的地震层析资料表明,来自印度板块的、冷的高速的异常板片在青藏高原岩石圈之下可垂直下插到 600 km 左右的深处,而在 600~800 km 深处则向南翻转<sup>[20,21]</sup>。该地区碰撞带的构造样式比较特殊,可能与印度板块与欧亚大陆的青藏地区岩石特征与结构差异有关。

下面就依据近 25 年来,利用地质、地球物理和地球化学的研究成果,就中国大陆上碰撞带构造的一些比较重要的特征和研究中的问题,进行概括、综

述,与读者进行讨论。

## 1 剖面上的楔状(鳄鱼式)构造

从剖面上来看,中国大陆上的碰撞带普遍存在楔状构造(Wedging tectonics<sup>[22]</sup>;或称为鳄鱼式构造,Crocodile tectonics<sup>[23]</sup>)。

在运用地震层析资料的基础上,钟大赉等<sup>[12,24]</sup>首先对于金沙江—澜沧江碰撞带的深部构造进行了卓有成效的研究。在地表附近,金沙江碰撞带(图 1,元江西侧)的断层面显然以中等角度向东倾斜,但是在下地壳,断层带则可能向西倾斜,从而就形成了一种剖面上的对冲构造。扬子板块的上地壳向西仰冲,而扬子板块的下地壳和岩石圈的上地幔则可能都向西俯冲,可下插到 250 km 左右的深处<sup>[12,24]</sup>(图 1),也可以说是扬子板块以西的兰坪—思茅—印支板块(图 1 的景谷附近)部分地楔入扬子板块的上、下地壳之间,而保山—中缅马苏(Sibumasu)(图 1 的沧源以西地区)地块只沿澜沧江断裂带(图 1,沧源西侧)微弱地向东俯冲。从地表地质特征来看,澜沧江碰撞带是比较重要的,它是冈瓦纳大陆离散地块群与欧亚大陆地块群之间的分界线。然而,从现有的岩石圈内部构造来看,金沙江碰撞带应该是一条比澜沧江碰撞带更加重要的构造带,它可以在整个岩石圈内部都有表现。澜沧江碰撞带则仅发育在岩石圈表层,该断裂带在莫霍面附近就已经不大明显,在深部显然被金沙江碰撞带所切断,也许此种现象是后期构造作用改造的结果。

在此以后,国内许多学者在天山<sup>[25]</sup>、喜马拉雅山<sup>[26]</sup>、昆仑山<sup>[27]</sup>、龙门山<sup>[28,29]</sup>、祁连山<sup>[30]</sup>、阿尔金山<sup>[31,32]</sup>和秦岭<sup>[33]</sup>(图 2)等碰撞带都发现了类似的楔状构造。

秦岭—大别碰撞带的深部构造是近年来国内研究得比较详细的。通过深部地震反射剖面研究,袁学诚等<sup>[33~35]</sup>在东秦岭的河南方城—湖北襄樊剖面上,发现亲扬子的秦岭地块的地壳是向北仰冲到中朝板块之上的,即主断层面是向南倾斜;而扬子板块的地壳则向北楔入秦岭的上、下地壳之间(图 2)。而在大别碰撞带<sup>[36]</sup>,大别地块(包括南大别带,超高压带,北大别带)和北淮阳带(即中朝板块南缘地带)之间,是以大别地块楔入中朝板块的上、下地壳之间为特征的,只不过断层面较陡,向北楔入得较少。在地表附近断层面为向北倾斜,深部则向南倾斜。中朝板块的深部结晶基底是向南俯冲到扬子板块之下

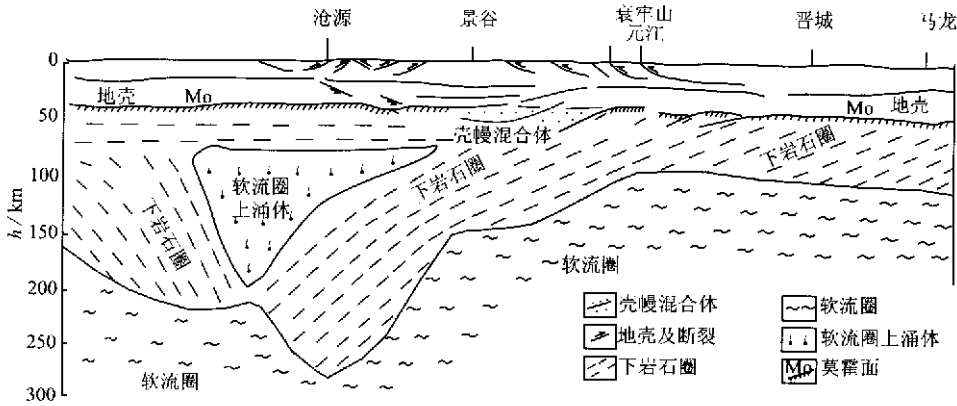


图1 滇西岩石圈结构<sup>[12,24]</sup> (此图右侧为东)

Fig. 1 Lithosphere structure of west Yunnan (right side is east trending)

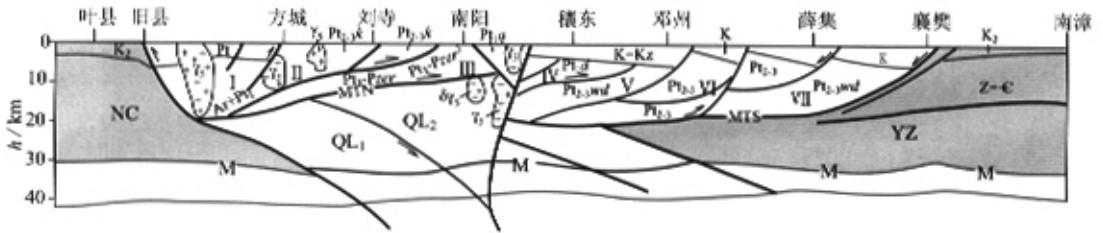


图2 秦岭河南旧县至邓州地壳与上地幔构造<sup>[35]</sup>

Fig. 2 Crust and upper mantle structure from Jiuxian to Dengzhou, Qinling, in Henan Province

NC—华北地壳;YZ—扬子地壳;QL<sub>1</sub>—秦岭地壳(源区为华北克拉通);QL<sub>2</sub>—秦岭地壳(源区为扬子克拉通);北秦岭推覆系:I—栾川推覆体,II—瓦穴子推覆体,III—二郎坪推覆体;南秦岭推覆系:IV—陡岭推覆体,V—新野推覆体,VI—枣阳推覆体,VII—襄樊推覆体;K<sub>2</sub>—新生界;K—白垩系;D<sub>1</sub>—泥盆系刘岭群;Z+Є—震旦系和寒武系;Pt<sub>2-3</sub>er—二郎坪群;Pt<sub>3</sub>t—陶湾群;Pt<sub>2-3</sub>k—宽坪群;Pt<sub>2-3</sub>s—随县群;Pt<sub>3</sub>yl—跃岭河群;Pt<sub>2-3</sub>m—毛堂群;Pt<sub>1</sub>d—陡岭群;Pt<sub>2-3</sub>w—武当群;Pt<sub>1</sub>q—秦岭群;Ar<sub>3</sub>+Pt<sub>1</sub>—太华群与登封群;γ<sub>3</sub>—加里东期花岗岩;γ<sub>5</sub>—印支期与燕山期花岗岩;δγ<sub>5</sub>—印支期与燕山期闪长花岗岩;M—莫霍面(此图右侧为南)

的。

徐佩芬等<sup>[37]</sup>采用地震层析成像技术,在大别带东延的胶南碰撞带的深部,也发现了鳄鱼(楔状)构造。他们指出中朝板块的地壳,在16~25 km的深处,可以呈楔状(图3a,b)向南插入扬子板块地壳和岩石圈地幔之间达80 km以上。这也就是说,在地表附近碰撞带的主断面是向南倾斜的,而深部则是向北倾斜的。扬子板块在地表附近是呈向北仰冲的状态。而大别东段的剖面(图3d)则表明,扬子板块和大别地块是楔入中朝板块的莫霍面附近。郝天珹(2003,个人通讯)在胶南碰撞带的东延地段,济州岛附近,也采用地震层析成像技术,则发现主断面是向北倾斜的。

总之,秦岭—大别—胶南碰撞带主断裂面的产状,在各个地段都不相同,变化很大。在地表附近,主断裂面时而向南倾斜(在东秦岭和胶南),时而向北倾斜(在大别和济州岛),地表的倾向又经常和深部的相反。这一切都表明,在陆块与陆块碰撞时,由

于两盘物性比较接近,在剖面上两组倾向相反的共轭断裂面出现的机会比较接近,从而才会在碰撞带内出现上述形状复杂的楔形断裂面。根据上述的资料,显然,碰撞带主断裂面产状变化,与哪一盘是主动挤压的,哪一盘是被动受压的状态是没有关系的。

形成仰冲盘的板块可能表明该盘表层岩石强度较大,完整性较好;形成俯冲盘的板块或楔入其他板块的一盘,可能与其表层的沉积盖层较薄、岩石强度较弱、完整性较差有关,而结晶基底的强度相对较大,完整性相对较好。被楔入的一盘,可能与该板块在中地壳存在低速高导层,或者在莫霍面附近存在软弱带有关。

应该说,以上所述的对冲型逆掩构造或者说楔入构造是中国大陆许多碰撞带构造的一大特色,与俯冲带或其他某些碰撞带具有稳定的单向俯冲方向相比,显然是很不相同的,很值得重视。

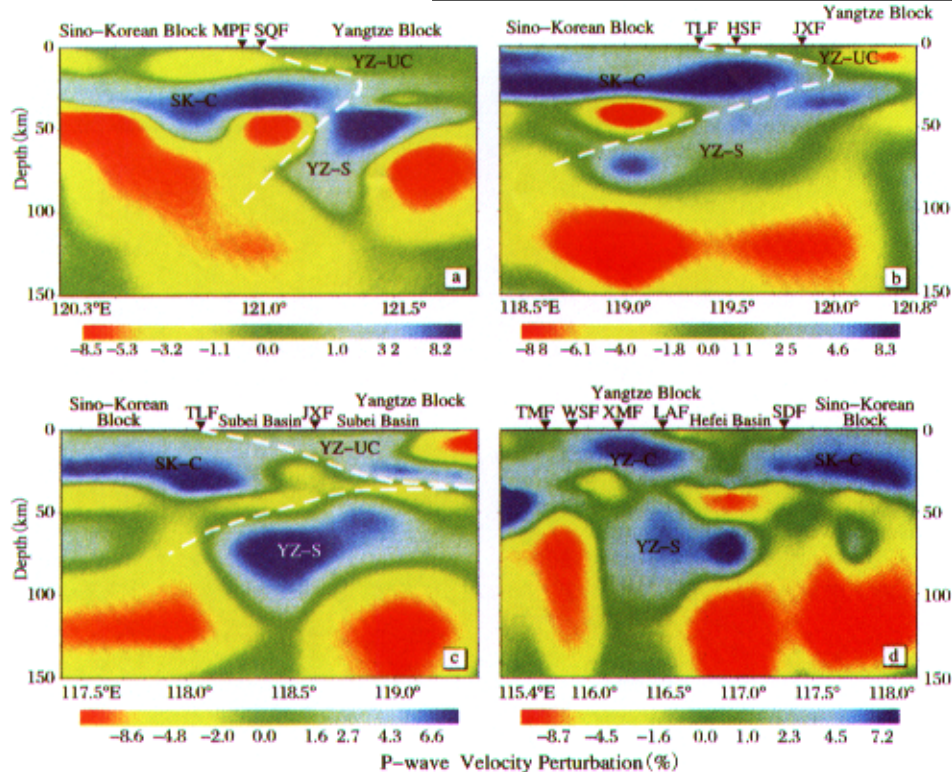
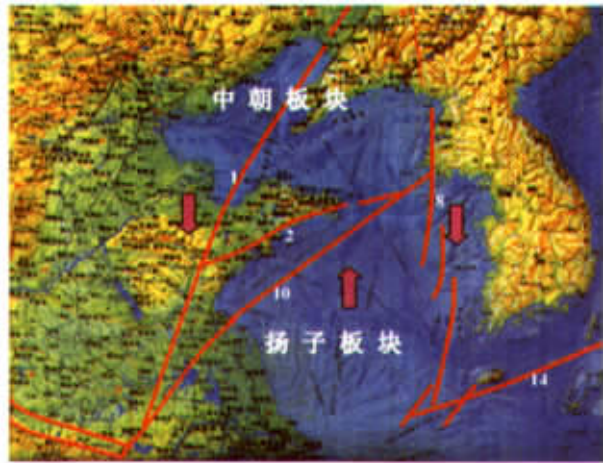


图 3 胶南—南黄海岩石圈结构<sup>[37]</sup>

Fig. 3 Lithosphere structure in Jiaonan—South Huanghai

a—胶东半岛 NNW 向剖面; b—连云港 NW 向剖面; c—苏北横穿郯庐断裂 NW 向剖面; d—横穿大别山 NNE 向剖面。纵坐标为深度; 横坐标为经度。图件下部的彩色图标为纵波速度扰动率(%)。Hefei Basin—合肥盆地; HSF—海州—泗阳断裂; JXF—嘉山—响水断裂; LAF—六安断裂; MPF—牟平断裂; SDF—寿县—定远断裂; Sino-Korean Block—中朝地块; SK-C—中朝地块的地壳; SQF—石岛—青岛断裂; Subei Basin—苏北盆地; TLF—郯庐断裂带; TMF—太湖—马庙中间拆离断裂; WSF—五河—水吼岭下部拆离断裂; XMF—晓天—摩子潭断裂; Yangtze Block—扬子地块; YZ-S—扬子古板块的俯冲残留体; YZ-UC—扬子地块的上地壳



4 南黄海地区的构造区划<sup>[45]</sup>——扬子板块嵌入中朝板块

c division of South Huanghai area—Yangtze plate indented into Sino-Korean plate  
断层编号: 1—郯庐断裂带(其南段为扬子板块嵌入区之西界);  
2—五莲—青岛—荣成断裂带(扬子板块嵌入区之北界,即胶南碰撞带的主断裂带); 8—黄海东缘右行雁列断裂带(扬子板块嵌入区之东界); 10—南黄湖北部断裂带; 14—济州岛南缘断裂带(中朝与扬子板块的分界,为大别—胶南碰撞带的东延段落)

## 2 平面上的嵌入构造

中国大陆碰撞带构造的特殊性,不仅表现在剖面上发育对冲型逆掩断层,还表现在平面上发育锯齿状的嵌入构造(indentation tectonics 或 intrusion tectonics)。中国大陆碰撞带发育嵌入构造的事实,最早是由 Tapponneir 等<sup>[38,39]</sup>指出的,他们认为印度板块嵌入到欧亚大陆板块,从而形成了喜马拉雅碰撞带。

1983 年在张文佑<sup>[40]</sup>所主编的大地构造图上,早就把南黄海的扬子板块表现为嵌入到中朝板块里去。他们认为郯庐断裂带与大别—胶南碰撞带是同时形成的,郯庐断裂带切断了大别—胶南碰撞带,成为嵌入地块的西界。中朝与扬子板块之间的胶南碰撞带只延伸到黄海,就被黄海东部的一条断层所切断,只不过当时推测的黄海断层,还没有拿到足够的证据。根据地质构造演化特征的分析,他们认为朝鲜半岛全部都属于中朝板块。十年后,尹安和聂上游<sup>[41]</sup>用英文发表了《中朝与扬子板块之间存在嵌入构造》的论文,认为扬子板块在南黄海地区嵌入到中朝板块。他们假设中朝与扬子板块之间的胶南碰撞带可以延伸到韩国的临津江一带,嵌入部分的西侧断层以郯庐断裂带为界,东侧以 NNE 向的湖南断层(朝鲜半岛南部)为界。按照他们的推测临津江一带应该发现高压变质带,朝鲜半岛西南部应该属于扬子板块。然而,1994 年参与国际地质对比计划 321 项的多数中韩两国地质工作者<sup>[42~44]</sup>,通过野外考察和基于对于朝鲜半岛南部地质构造演化的系统认识,认为朝鲜半岛南部全都属于中朝板块。所谓的湖南断层是由许多条小断层连接起来的,两盘岩石、地层构造特征均无重大的差异。另外,至今临津江一带也没有发现高压变质带。近年来,特别是中韩两国地球物理工作者<sup>[45]</sup>运用重力场资料发现了黄海东侧近南北向的右行雁列断层系,它切断了胶南碰撞带的东延部分,从而认定这就是扬子板块向北嵌入部分的东界断层(图 4)。

以上所述,就是中国大陆上规模最大的两条具有嵌入构造的碰撞带,其他碰撞带出现嵌入构造的规模都相对比较小。

至于碰撞带形成嵌入构造的原因,还有很多有待讨论的问题。喜马拉雅碰撞带的形成显然与印度板块自白垩纪以来快速朝北东—北北东向的运移、

挤压和碰撞有关<sup>[38,39]</sup>。不过,至今还没有一种动力学机制能比较令人满意地解释为什么印度板块会快速地向北运动。扬子板块向北嵌入中朝板块的原因,可能有两个:一是中朝板块的辽东—胶东地区在太古宙和古元古宙处在陆核之间的拼接带,结晶基底的总体强度较弱,因而在碰撞过程中容易被缩短、变形,相对隆升,从而使上部的沉积盖层遭到强烈的剥蚀;另一个原因可能是在三叠纪碰撞时期,扬子板块东部沉积盖层厚度较大(接近 20 km),中朝板块辽东—胶东地区残留的沉积盖层很薄,在互相挤压、缩短的过程中,就造成在地表附近扬子板块大幅度地仰冲到中朝板块之上,并表现出嵌入到中朝板块的特征(图 4);而在其下部,以变质结晶岩系为主的中朝板块则楔入到扬子板块软弱的中地壳低速高导层(图 3)。

由此可见,剖面上的楔入构造和平面上的嵌入构造,其实是两个板块在碰撞过程中互相挤压、缩短、穿插的、一个统一的三维共轭剪切断裂系统的不同表现形式。

## 3 多期次性质不同的活动

绝大多数中国大陆碰撞带都不是一次形成的,而是经历了多期次、活动性质各不相同的、复杂的形成过程。黄汲清<sup>[46,47]</sup>最早阐明了这一特征,他当时认为这就是地槽多旋回演化的表现,改变了过去人们以为地槽只有一次褶皱回返的认识。

根据近年来的成果,研究得最详细的碰撞带是秦岭—大别—胶南带,本文在此重点讨论一下该碰撞带的形成过程。现在认为秦岭—大别碰撞带的形成可能是多期活动的观点,得到很多学者的支持<sup>[13,14,48~51]</sup>,尽管还存在一些分歧意见。一般认为青白口纪(也称晋宁期,1 000~800 Ma)在秦岭—大别构造带发生了第一次重要的构造作用,可能开始出现了洋—陆板块俯冲的机制;早古生代末期(400 Ma 前后)曾发生过弧—陆俯冲,或者局部碰撞作用;三叠纪(250~205 Ma)才是中朝与扬子板块陆—陆碰撞的主要作用时期。

青白口纪是秦岭—大别构造带开始出现板块俯冲作用的重要时期<sup>[13,14]</sup>。在青白口纪,秦岭—大别地块的构造活动一直受到许多研究者的重视,普遍认为产在秦岭商丹—商南—信阳—舒城碰撞带上的松树沟蛇绿岩套(983 Ma<sup>[52]</sup>, 914 Ma<sup>[51]</sup>)是青白口

纪古地幔和古洋壳的残余。在青白口纪,秦岭—大别地块形成了大量的岩浆岩和变质岩。近些年来,采用 Rb-Sr 全岩法, U-Pb 锆石法和 Sm-Nd 等时线法等,从中获得了大量(数以百计)的同位素年龄,均在 987~796 Ma 之间<sup>[14,48,53~55]</sup>。

另外,许多基性岩浆岩,在超高压的变质作用下,还可形成独特的榴辉岩。关于榴辉岩的形成年代,以李曙光等<sup>[52~54]</sup>的研究为代表,他们采用 Sm-Nd 法年代学资料,认为榴辉岩形成于 221~244 Ma 的三叠纪,否定了在前寒武纪形成榴辉岩的任何可能性。另外一种见解,是以张树业等<sup>[56,57]</sup>为代表的,他们认为榴辉岩形成的地质证据是主要的,大别山区的高压变质带内,高压变质作用从未在震旦纪灯影组及其以上地层中出现,说明它们应该形成于前震旦纪,结合他们所获得的同位素年龄(如鄂北蓝片岩的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 744 Ma,榴辉岩 K-Ar 稀释法年龄为 845 Ma),认为该区的岩石是青白口纪形成的,不可能是到三叠纪才形成,认为较新的年龄只是后期构造-热事件影响的结果。随着同位素测年方法的改进与研究的深入,各种测年方法的适用条件与局限性,已经逐渐为大家所了解。很可能青白口纪和三叠纪时期,榴辉岩都经历过较强烈的构造-热事件。另外,近些年来也用 Sm-Nd 法测出了榴辉岩的许多不同新年龄,除了比较集中的三叠纪(250~205 Ma)以外,还有 329.68、265、176.5、57.1 和 55.5 Ma 等。看来,榴辉岩在后期构造热事件的作用下,是易于改变其 Sm-Nd 同位素比值的。榴辉岩及其周围的岩石,就可以看作为多期次构造作用的“构造混杂岩”<sup>[48,49]</sup>。

认识到青白口纪是秦岭—大别构造带开始出现了板块俯冲作用的重要时期,一般自然就很容易认为,秦岭—大别构造带当时就是中朝与扬子板块之间的俯冲带。但是,必须指出,秦岭—大别构造带与扬子板块一样,都发育了相当近似的青白口纪构造变形与岩浆、变质作用,并且它们的构造线方向也大体上能协调一致,因而认为秦岭—大别构造带与扬子板块当时曾发生碰撞、连成一体,是比较合理的。但是,中朝板块就不同了,几乎没有青白口纪构造变形与岩浆、变质作用。中朝板块与扬子板块有许多鉴别特征,是否发生过明显的青白口纪构造事件,是一个重要的鉴别特征<sup>[44]</sup>。一般认为,能在俯冲过程中形成超高压的榴辉岩,这意味着板块俯冲作用是很强烈的,应该是一次规模巨大、影响深度达 200 余

km 的俯冲过程。如果秦岭—大别的古洋壳确实是直接向中朝板块俯冲,应该对中朝板块产生重大的影响,而不应该是几乎未变形、未变质。由于至今元古宙古地磁和古构造复原研究还不够成熟,中朝板块当时是否就处在秦岭—大别的北侧或附近,这个问题还无法确定。因而,以现有的资料为准,还不能有把握地说在青白口纪形成了一个统一的“古中国大陆群”(即包括中朝、扬子和塔里木等地块)<sup>[58]</sup>或“超华夏大陆群”<sup>[14]</sup>,也还不敢说此时开始出现了秦岭—大别洋壳向中朝板块俯冲的主造山期构造体制,也许青白口纪的秦岭—大别俯冲作用,并非指向中朝板块,而是指向我们现在还不大清楚的某一地块,关于这个问题至今还没有人能拿出可靠的证据。根据张理刚<sup>[59]</sup>对于中国东部各板块铅同位素的研究,他发现扬子板块中央部分的铅同位素,具有与中朝板块相近的大陆特征,但是扬子板块四周(包括秦岭—大别)则都具有混合了洋壳物质的特征。他的资料支持了秦岭—大别带发生了洋壳俯冲作用的观点,而不支持存在一个统一的古中国大陆的观点。

关于秦岭—大别带内早古生代洋壳的存在与碰撞作用的研究,经过近年来的努力也已经得到确认,张国伟等<sup>[14]</sup>认为商丹(陕西商县—丹凤)带是由洋内岛弧岩系与洋壳蛇绿岩残块的复合体所组成的,它是秦岭地块与中朝板块之间的一条主要缝合带。大致在商丹带的东延地段,存在二郎坪(河南西峡)蛇绿岩带,它是由块状玄武岩、枕状玄武岩、席状岩墙或岩床构成,夹含奥陶—志留纪放射虫的硅质岩,它们相当于古洋壳上部系列的残片,应该也是早古生代秦岭地块与中朝板块之间洋壳残片的证据。近年来,杨巍然、简平等<sup>[51,60]</sup>运用 Sm-Nb、锆石 U-Pb、Pb-Pb 法、Ar-Ar、SHRIMP 等多种测试方法获得了许多数据,还综合了其他人的成果<sup>[61,62]</sup>,提出大别碰撞带内高压、超高压榴辉岩变质带主要形成于早古生代(519~403 Ma,)的观点。车自成等<sup>[63]</sup>认为秦岭的碰撞、造山作用也主要应该发生在早古生代末期,理由是以蛇绿岩套为标志的洋壳,其消失的最后时期正是早古生代末期。最近,索书田等<sup>[49]</sup>详细研究了北秦岭和北大别带的超高压变质带,认为它们的确是形成于早古生代末期的,但这不是整个秦岭—大别带完成拼接、碰撞的时期。看来,秦岭—大别构造带(主要发生在北秦岭拼接带)在早古生代是发生过强烈的会聚型的构造-热事件,这恐怕是必须承认的事实。但是目前还缺乏证据来说明秦岭—大



别带的主要碰撞时期是早古生代的<sup>[14]</sup>。当时中朝与扬子板块的边缘地带只发育很微弱的局部变形,也不能支持早古生代是两板块碰撞的主要活动时期<sup>[8]</sup>。如果早古生代末期秦岭—大别带已经完成碰撞,其应力作用应该传递到中朝与扬子板块的内部,并使其产生较强烈的构造变形才合理。另外,晚古生代古地磁学、沉积古地理和生物古地理等资料也不支持秦岭—大别带在早古生代末期已经完成碰撞的说法<sup>[8]</sup>。笔者推测早古生代末期在北秦岭—桐柏带肯定发生了一次板块会聚、俯冲作用,不过这种俯冲作用还没有达到使中朝与扬子板块发生陆陆碰撞和拼合的地步,当时它们都处在赤道附近。

秦岭—大别碰撞带在三叠纪晚期最后完成碰撞、拼合。碰撞带内及其两侧的边缘残余海完全消失,大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据,均为 240~210 Ma<sup>[14,53,54,64~70]</sup>,显示了三叠纪晚期完成拼合。代表晚古生代—早三叠世残余洋壳的、勉略—湖北随州花山一带存在蛇绿岩套。在中三叠世末期受到挤压、碰撞,这是秦岭—大别带洋壳和残留海消失、最后完成碰撞拼合的主要表现<sup>[14,71]</sup>。上述认识与地质方面的证据完全吻合,已经被多数地球科学工作者所接受。在秦岭—大别碰撞带内,三叠纪以后的构造作用,显然属于板内变形的范围。根据古地磁的成果,有的学者以为碰撞作用可延续到侏罗—白垩纪的认识<sup>[72,73]</sup>与基本的地质事实不大吻合,因为侏罗—白垩纪时期在秦岭—大别碰撞带及其两侧都已经形成陆相沉积盆地,而且南北差异不大。秦岭—大别碰撞带及其两侧的中朝与扬子板块内部,广泛发育在同一构造应力场作用下形成的、类似构造样式的三叠纪板内变形,这都证明三叠纪末期已经完成南北板块的拼合。侏罗纪和白垩纪时期的应力场,则已经与三叠纪的完全不同<sup>[8]</sup>。

综上所述,可以看出,以秦岭—大别碰撞带为例,青白口纪、早古生代末期和三叠纪三次强烈的构造事件的特点、发育的部位都完全不同,而真正的陆陆碰撞作用只发生在三叠纪末期。三叠纪以后的构造活动则都属于板内变形的范围。

碰撞带的多期次、性质不同的活动,在其他碰撞带也有明显的类似表现。祁连—阿尔金—昆仑碰撞带的形成,根据现在的研究<sup>[32,74,75]</sup>,一般认为至少有两次重要的构造热事件,第一次发生在新元古代—早寒武世,第二次为早古生代晚期,以后当然还有相当强烈的板内变形,包括走滑断裂活动。天山碰撞

带的形成也是一个复杂的形成过程<sup>[10]</sup>,新元古代(720 Ma)时期,塔里木北部、南天山和中天山曾经与哈萨克斯坦—准噶尔板块聚合过;早古生代末期的南天山洋又曾经向北消减、聚合;天山残留海盆的全部关闭,真正形成碰撞带的时候是发生在晚石炭世末期。类似的实例还很多,本文不一一列举。

总之,中国大陆多数碰撞带的形成过程是多期次的、各次构造活动的性质又很不相同。显然不能用一次运动或者用同一种运动模式的多次重复活动来解释中国大陆各碰撞带的形成过程。

## 4 碰撞带与板块构造的整体研究

碰撞带构造研究,备受重视是可以理解的。但是如果忽略了碰撞带及其两侧板块构造的研究,恐怕就不容易得到比较合理的认识。对碰撞带与其两侧的板块进行综合研究显然是十分必要的。近 20 余年来,对此进行的综合研究似乎比较薄弱。

正如上一节已经提到的,两个相距较远的板块在缩短和会聚过程中,可以找到洋陆俯冲的证据,但是此种洋陆俯冲作用,到底是哪两个板块在发生俯冲,还必须拿出古俯冲带附近两个板块的古地磁、古构造变形,以及沉积古地理与生物古地理等足够证据。不能认为现在碰撞带两侧的板块当时就一定古俯冲带两侧的板块。如果那样来推论,显然依据不足。

两个板块在发生陆陆碰撞过程中,不仅在碰撞带内可以形成强烈的、线形构造变形,在靠近碰撞带附近的板块内部也应该形成稍弱的构造变形。由于它们是在一个统一的板块会聚过程中形成的,它们也处在一个统一的构造应力场作用之下,应该表现出相近似的、比较协调一致的构造线(如上节所述)。判断陆陆碰撞带的最终形成,不仅要研究强烈构造变形的形成时期,更要重视洋壳和附近边缘海消失的时期。碰撞带两侧板块构造变形的样式、组合型式和年代学的研究,古地磁学研究,沉积古地理与生物古地理等的分析,都可以帮助我们来确定碰撞带的形成时期和过程。

绍兴—十万大山碰撞带和扬子、华夏板块板内变形的综合研究,是这方面的好实例。水涛<sup>[76,77]</sup>最早提出扬子与华夏板块在青白口纪(即晋宁期)于绍兴—江山带发生碰撞作用。早古生代末期扬子与华夏板块之间可能发生过洋陆俯冲作用,

有过地块之间的缩短,但是看来还没有发生碰撞作用<sup>[8,78]</sup>,绍兴—十万大山碰撞带的形成时期是中三叠世的晚期<sup>[78,79]</sup>。近十余年来,对于绍兴—十万大山碰撞带其附近的岩石和年代记录,许多学者已经进行了不少研究<sup>[80~84]</sup>,他们采用 Sm-Nd 等时线或锆石 U-Pb 法对于该带附近的岩浆岩进行测年,已经证明绍兴—十万大山碰撞带在青白口纪(1 034~806 Ma)曾经发生过碰撞、并实现了初步的拼合。Gilder 与陈江峰等<sup>[85,86]</sup>最早发现绍兴—十万大山带及其附近存在一条高  $\epsilon(\text{Nd})$  值的花岗岩带。洪大卫等<sup>[87]</sup>认为这条高  $\epsilon(\text{Nd})$  值、低  $T_{\text{DM}}$  值的(即存在较多幔源物质)花岗岩带就是新元古代扬子与华夏板块之间绍兴—十万大山碰撞带的物质表现。根据扬子与华夏板块的板内构造变形相似的特征,可以判断它们在青白口纪经受了相同的构造应力作用,这两个板块应该处在相邻近的位置或者已经碰撞、拼合而成为一体<sup>[8]</sup>,不过,沿着扬子与华夏板块的分界线,绍兴—十万大山一带的大部分地段至今还缺少此时期可靠的蛇绿岩套等洋壳证据。

早古生代末期扬子与华夏板块之间可能发生过洋陆俯冲作用,有过地块之间的缩短,但是看来还没有发生碰撞作用<sup>[8,78]</sup>。系统研究了华南地区早古生代末期的构造,发现扬子板块南部早古生代末期的板内构造变形,形成了一系列轴向近东西的褶皱,并且不存在区域变质作用;而华夏板块早古生代末期则形成一系列轴向近南北的褶皱,普遍发育了绿片岩相的区域变质作用<sup>[8]</sup>。如果综合了绍兴—十万大山碰撞带两侧板块在早古生代末期的地质构造特征是得不到此时两板块发生碰撞的结论的,两个板块还应该保持着相当远的距离。

总之,综合碰撞带及其两侧板块的地质构造研究,是更好地弄清复杂碰撞带构造的一个途径。仅就碰撞带来研究碰撞带,有时候效果并不理想。

## 5 主碰撞期的有限成矿作用

碰撞作用与成矿作用的关系历来很受重视。通过区域成矿期、成矿带与矿床主要控制性构造的系统研究,再根据中国地质科学院区划室叶锦华(1998,个人通讯)在第二轮全国矿产资源成矿远景汇总研究中系统地统计了我国国土资源部(原地质矿产部)所掌握的 1 573 个大、中型金属和非金属矿床资料,笔者整理和分析了它们的主要构造成矿特

征,认识到在区域伸展作用控制下形成的为 1 255 个,占 79.8%;在局部伸展构造影响下形成的为 39 个,占 2.5%;在挤压作用(在碰撞带的主碰撞期)控制下形成的矿床为 123 个,占 7.8%;构造控制作用不显著或情况不明的为 156 个,占 9.9%。至于能源类的石油、天然气和煤炭矿床,则全部都在区域伸展作用或局部伸展构造的控制下形成的。

根据以上资料的研究,笔者认为中国大陆最主要的内、外生成矿作用是板内伸展成矿作用,真正与俯冲、碰撞作用相关的矿床在中国大陆是十分有限的。区域伸展作用控制下形成的矿床是指绝大多数充填到张性或张剪性断裂的岩浆、热液(地下热水)和其他流体矿床,在区域伸展构造背景下大陆架沉积以及在断陷盆地内形成的各类矿床。局部伸展构造影响下形成的矿床,主要是指在总体上为挤压作用背景下、碰撞带内受局部伸展断裂(横张断裂)控制的矿床,它们可以是岩浆、伟晶岩以及部分热液矿床。在构造挤压作用控制下形成的矿床,包括主碰撞期形成的、与超铁镁质岩体冷侵位作用相关的铬、铂矿床以及区域变质作用下形成的铁矿、石墨矿床等。

上述认识与国内相当流行的、认为碰撞造山作用是主要成矿作用的观点<sup>[88,89]</sup>,以为成矿规模与碰撞强度呈正相关关系的设想是不一致的。在这里,应该强调,陆陆碰撞与俯冲作用存在很大的区别,不能混为一谈。众所周知,板块在俯冲过程中,当洋壳下插到大陆之下 100 km 左右的深处时,经常产生局部熔融,从而形成一系列与中性岩浆活动相关的斑岩型矿床,构成许多世界著名的大型或超大型矿床。然而,陆陆碰撞带,如前面所述,经常出现的是双向俯冲和楔入碰撞作用,两个陆块通常是在三度空间上互相楔入、穿插,深部即使存在局部熔融,也很难直接向上侵位到地表附近。

总的来说,碰撞作用是使岩石和元素趋于混杂,而不是有利于元素富集的条件。碰撞带主碰撞期形成的矿床是相当有限的。在古碰撞带地区所发现的许多矿床,其中不少是在碰撞作用发生之前,洋底张裂或裂隙槽张裂、海底热液、喷气作用所富集而成的矿床;更多的是碰撞造山作用之后形成的矿床,很多学者称之为“后造山成矿作用”。此时其实已经不能再叫做造山带,它与其他板内变形并无本质的差别。值得注意的是碰撞作用常造成区域岩石普遍形成叶理面,断裂十分发育,一旦后期构造应力场的最



大主压应力方向与先存的叶理面和断裂几乎平行或夹角较小时,它们就很容易张开,成为矿液运移和储集的良好部位。秦岭—大别地带在主碰撞期之后,侏罗纪和白垩纪所形成的许多矿床就是很好的实例。应该说强烈构造变形的碰撞带在一定条件下可以为后期成矿作用,提供一个极为良好的围岩环境。真正在陆陆碰撞作用发生时,形成的矿床其实是很少的,很多岩浆和热液内的成矿物质易于流动、迁移,但是难以聚集。过去在成岩和成矿的同位素年代学研究还没有及时跟上的时候,很容易产生误解,以为矿床与碰撞带好像都是同时形成的。

中国大陆西部的许多古碰撞带,在喜马拉雅期以来逐渐隆升、成为山脉,使许多内生矿床被抬升到地表附近,变得易于发现、勘探和开采。而碰撞带之间的稳定地块,目前主要呈现为沉积盆地,即使形成了内生矿床,现在大多深埋在中、新生代沉积岩系之下,只不过是呆矿。由于矿床保存条件的不同,我们在西部的很多地区只能在古碰撞带及其附近地区找寻内生矿床。但是,不能因此而得到结论:碰撞作用是最有利于成矿的。中国东部的资料早已说明了这一点。

本文在强调碰撞作用不是最有利于成矿作用的时候,并不是说应该放弃在西部碰撞带地区的找矿工作,而是要指出在西部碰撞带地区的找矿还存在很多困难,不可盲目乐观,尽管在西部发现露头矿床的机会远比东部大得多。根据区域构造演化史的研究<sup>[8]</sup>,我们知道,西部地区从古生代以来一直基本上都受到近南北向(NNW, S-N, NNE 以及 NE 向)的板块会聚、缩短作用的控制,这又是一个与中国大陆东部很不相同的特点。塔里木和柴达木以北地区主要是以元古宙和古生成矿作用为主;其以南地区则以中、新生代成矿作用为主。

根据有限的知识,本着抛砖引玉的态度,笔者在此对于在我国西部碰撞带地区,内外生矿床的找矿前景提出一些很不成熟的意见,供读者参考。笔者推测下列 4 种类型的矿床可能是在西部碰撞带地区找寻的主要目标:

(1)沿着区域近东西向构造线分布的岩浆、海底热液、变质或沉积矿床,元素富集作用主要发生在碰撞作用之前。在其后所发生的多次碰撞或缩短作用,使其产状复杂化,并逐渐抬升到地表附近。已有的典型的矿床,例如阿尔泰的铜、铅、锌矿床,北天山的莫托沙拉块状氧化物铁锰矿床,梧桐沟菱铁矿床,

西昆仑契列克大型铁矿,甘肃白银厂的铅、锌、银矿床和甘肃镜铁山铁矿床等。

(2)在碰撞带形成的主碰撞期,可构成受压剪性构造控制的矿床,其展布的方向与区域构造线一致。其典型代表就是由构造挤压、冷侵位而定位在碰撞带浅部的、与超镁铁质岩体有关的许多铬铁矿床,如西藏罗布莎铬铁矿床。

(3)沿 NE 或 NW 向张剪性断裂带,或者受近南北向的横张断裂和追踪张剪性断裂控制而形成的碰撞期后的岩浆和热液矿床。它们是发育在区域挤压环境中的局部伸展部位,这些矿床可能是在西部碰撞带内找矿前景最好的类型。已有的代表性矿床如新疆哈图金矿床,阿希金矿床,喀拉通克和黄山的铜镍矿床,南天山碰撞期后的岩浆型普昌钒钛磁铁矿床,西昆仑的卡拉玛铜矿床、塔木铅锌矿床,青海锡铁山大型铅锌矿床,冈底斯一带近南北向展布的、新近纪形成的铜矿带等。藏东玉龙古近纪形成的大型斑岩铜矿田是在近南北构造带中、近东西向横张断裂与主干断裂交叉部位发育而成的。青海茫崖大型石棉矿床则是早古生代蛇绿岩残块在阿尔金断裂走滑过程中所派生的张裂隙系控制下发生广泛的蛇纹石化而形成的。

(4)在碰撞带附近的地区或现代河谷、沉积盆地中形成的沉积矿床和各类砂矿,如钾盐、天青石、硼砂和砂金等。

应该说正确地、客观地认识碰撞带主碰撞时期元素、岩石和构造单元的混杂,而不是有利于元素、物质的分异和富集的这一特征,对于指导固体矿产资源的找寻具有重大的意义。我国在这一方面早已积累了很多的经验和教训,遗憾的是讨论得还不够深入,碰撞带形成过程中有限的成矿作用常常被夸大。

本文在成稿过程中,承蒙钟大赉院士,马文璞教授和李锦轶研究员审阅初稿。他们提出了很多宝贵的批评意见与建议,对于作者思路的启发很大,极有利于本文的修改、定稿,特此衷心地向他们表示感谢。

## References[参考文献]:

- [1] HUANG T K. On the major tectonic forms of China[J]. *Geological Memoirs, Ser A*, 1945(20): 165.
- [2] le PICHON S, FRANCHETEAU J, BONIN J. *Plate Tectonics*[M]. New York: Elsevier Publishing Company, 1973.
- [3] WILSON J T. *Continents Adrift: Readings From Scientific*

- American[M]. San Francisco: W H Freeman and Company, 1970.
- [4] COWARD M P, RIES A C. *Collision Tectonics*[M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1986. 476.
- [5] SONG Honglin. Characteristics of Yanshan type interplate orogenic belts and a discussion on its dynamics[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 309-316 (in Chinese). [宋鸿林. 燕山式板内造山带基本特征与动力学探讨[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 309-316.]
- [6] ZHANG Changhou. A primary discussion on the intraplate orogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 295-308 (in Chinese). [张长厚. 初论板内造山带[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 295-308.]
- [7] MARSHAK S, Van der PLUIJM B A, HAMBURGER M. Tectonics of continental interiors[J]. *Tectonophysics*, 1999, 305(1-3): 1-408.
- [8] WAN Tianfeng. *An Outline in Tectonics of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. 387 (in Chinese). [万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 387.]
- [9] XIAO Xuchang, TANG Yaoqing. *Tectonic Evolution of South Margin for Paleo-Central Asia Complex Giant Suture*[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House, 1990. 150(in Chinese). [肖序常, 汤耀庆. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[M]. 北京: 北京科技出版社, 1991. 150.]
- [10] XIAO Xuchang, TANG Yaoqing, FENG Yimin, et al. *Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 169 (in Chinese). [肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 169.]
- [11] XIAO Xuchang, WANG Jun. Tectonic evolution of Qinhai-Xizang(Tibet) Plateau and brief discussion of uplift[J]. *Geological Review*, 1998, 44(4): 372-381(in Chinese). [肖序常, 王军. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 372-381.]
- [12] ZHONG Dalai. *Paleo-Tethys Orogenic Zone in Western Yunnan and Western Sichuan*[M]. Beijing: Science Press, 1998. 231(in Chinese). [钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 231.]
- [13] ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng. *Atlas of Evolution of Qinling Orogenic Belt and Three Dimension Structure of Lithosphere*[M]. Beijing: Science Press, 1996 (in Chinese). [张国伟, 张本仁, 袁学诚. 秦岭造山带造山过程和岩石圈三维结构图丛[M]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [14] ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics*[M]. Beijing: Science Press, 2001. 855(in Chinese). [张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 855.]
- [15] ZHANG W Y. Adaptation as a mode of development of fractures and its relation to geological phenomena[J]. *Contr From the Institute of Geology*, 1948(8): 53-58.
- [16] COWARD M P. The Caledonian thrust and shear zones of NW Scotland[J]. *J Structural Geology*, 1980, 2(1): 11-18.
- [17] COWARD M P. Thrust tectonics, thin-skinned or thick-skinned, and continuation of thrust to deep in the crust[J]. *J Structural Geology*, 1983, 5(2): 113-124.
- [18] PERRY W J. Sequential deformation in the Central Appalachians[J]. *Amer Journal of Science*, 1978, 278: 1527-1536.
- [19] ZHAO Wenjin, NELSON K D, Project INDEPTH Team. Deep seismic reflection evidence for continental underthrusting beneath southern Tibet[J]. *Nature*, 1993, 366: 557-559.
- [20] BIGWAARD H, SPAKMAN W, ENGDAHL E. Closing the Gap between regional and global travel tomography[J]. *J Geophys Res* (B), 1998, 103: 30055-30078.
- [21] van der VOO R, SPAKMAN W, BIGWAARD H. Tethyan subducted slabs under India[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1999, 171(1): 7-20.
- [22] QUINLAN G, BEAUMONT C, HALL T. Tectonic model for crustal seismic reflectivity patterns in compressional orogens[J]. *Geology (Boulder)*, 1993, 21(7): 663-666.
- [23] MEISSNER R, RESTON T. The three-dimensional structure of the Oberpfalz: An alternative interpretation of DEKORP-KTB data[J]. *Tectonophysics*, 1989, 157(1-3): 1-11.
- [24] ZHAO Yonggui, ZHONG Dalai, LIU Jianhua, et al. Geological explanation principle of Tomography and application for deep tectonics research in Western Yunnan[J]. *Geologica Scientica Sinica*, 1992 (2): 105-113 (in Chinese). [赵永贵, 钟大赉, 刘建华, 等. 地震层析地质解释原理及其在滇西深部构造研究中的应用[J]. 地质科学, 1992(2): 105-113.]
- [25] SHAO Xuezhong. Structure and tectonics of Tianshan orogenic zone[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1996, 39(3): 336-346(in Chinese). [邵学忠. 天山造山带的结构与构造[J]. 地球物理学报, 1996, 39(3): 336-346.]
- [26] TENG Jiwen, ZHANG Zhongjie, HU Jiafu, et al. Physical and mechanism research on the uplift of Qingzang Plateau and crust shortening (Part 1 and 2)[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1996, 2(2): 121-133; 2(3): 307-323 (in Chinese). [滕吉文, 张中杰, 胡家富, 等. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理-力学机制研究(上,下)[J]. 高校地质学报, 1996, 2(2): 121-133; 2(3): 307-323.]
- [27] GAO Rui, XIAO Xuchang, GAO Hong, et al. Summary of deep seismic probing of the lithospheric structure across the Western Kunlun-Tarim-Tianshan[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(1): 11-18 (in Chinese). [高锐, 肖序常, 高弘, 等. 西昆仑—塔里木—天山岩石圈深地震探测综述[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 11-18.]
- [28] CAI Xulin. On the wedging in orogenesis[A]. *Progress in Geology of China* (1993—1996)—*Papers to 30th IGC*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1997. 315-320.

- [29] CAI Xuelin, SHI Shaoqing, WU Dechao, et al. *Formation and Evolution of Wudangshan Overthrust* [M]. Chengdu: Science and Technology University of Chengdu Press, 1995. 220(in Chinese). [蔡学林, 石绍清, 吴德超, 等. 武当山推覆构造的形成与演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995. 220.]
- [30] WANG Zhejiu, WU Gongjian, XIAO Xuchang, et al. *Explanatory Notes for Global Geoscience Transect, Golmud-Ejin Transect, China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 21-54.
- [31] CAI Xuelin, WEI Xiangui, LIU Yuanchao, et al. Geodynamics of intracontinent orogenic zone in China[J]. *Mineralogy and Petrology*, 1998, 18(Suppl.): 1-7(in Chinese). [蔡学林, 魏显贵, 刘援朝, 等. 中国陆内造山带造山过程地球动力学分析[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 1-7.]
- [32] XU Zhiqin, YANG Jinsui, ZHANG Jianxin. Tectonic units contrasting and shear mechanism of lithosphere besides of Altum fault[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(3): 193-205 (in Chinese). [许志琴, 杨经绥, 张建新. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 193-205.]
- [33] YUAN Xuecheng. Crust structure and wedging to form mountain in Qinling orogenic zone[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997, 71(3): 227-235 (in Chinese). [袁学诚. 秦岭造山带地壳构造与楔入成山[J]. 地质学报, 1997, 71(3): 227-235.]
- [34] YUAN Xuecheng, XU Mingcai, TANG Wenbang, et al. Reflecting seismic profile of crust on Eastern Qinling[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1994, 37(6): 749-758 (in Chinese). [袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭地壳反射地震剖面[J]. 地球物理学报, 1994, 37(6): 749-758.]
- [35] YUAN Xuecheng, ZUO Yu. *Geophysical Profile of Lithosphere on Qinling Orogenic Zone* [M]. Beijing: Science Press, 1996 (in Chinese). [袁学诚, 左愚. 秦岭造山带地球物理岩石圈剖面[M]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [36] WANG Xiaofeng, LI Zhongjian, CHEN Bolin, et al. *Tancheng-Lujiang Fault Zone* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 374 (in Chinese). [王小凤, 李中坚, 陈柏林, 等. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 374.]
- [37] XU Peifen, LIU Futian, YE K, et al. Flake tectonics in the Sulu orogen in eastern China as revealed by seismic tomography[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(10): 23.
- [38] TAPPONNIER P, MOLNAR P. Active faulting and tectonics in China[J]. *J Geophys Res*, 1977, 82(20): 2905-2930.
- [39] TAPPONNIER P, PELTZER G, le DAIN A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 1982, 10: 611-616.
- [40] ZHANG Wenyu. *Tectonic Map of China and Adjacent Sea and Continent* (1:5 000 000) [Z]. Beijing: Science Press, 1983 (in Chinese). [张文佑. 中国及邻区海陆大地构造图(1:5 000 000) [Z]. 北京: 科学出版社, 1983.]
- [41] YIN An, NIE Shangyou. An indentation model for North and South China collision and the development of the Tanlu and Honam fault system, eastern Asia [J]. *Tectonics*, 1993, 12(4): 801-813.
- [42] CHANG K H. Aspects of geologic history of Korea[J]. *Jour Geol Soc Korea*, 1995, 31(1): 72-90.
- [43] CHANG K H. Encyclopedia of european and asian regional geology [A]. MOORES, FAIRBRIDGE. *Korean Peninsula* [M]. [s. l.]: Chapman and Hall, 1997. 465-473.
- [44] WAN Tianfeng, ZENG Hualin. The distinctive characteristics of the Sino-Korean and the Yangtze plates[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20(8): 881-888.
- [45] HAO Tianyao, MANCHEOL S, WANG Qianshen, et al. A study on the extension of fault zones in Yellow Sea and its adjacent areas based on gravity data[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2002, 45(3): 385-397(in Chinese). [郝天珧, MANCHEOL S, 王谦身, 等. 根据重力数据研究黄海周边断裂带在海区的延伸[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 385-397.]
- [46] HUANG T K. Preliminary summary of major characteristics of tectonics in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1960, 40(1): 1-37 (in Chinese). [黄汲清. 中国地质构造基本特征的初步总结[J]. 地质学报, 1960, 40(1): 1-37.]
- [47] HUANG T K, CHANG Chengkun, CHANG Zhimeng, et al. On Eugeosynclines and Miogeosynclines of China and their Polycyclic Development [C]. *Professional Papers of Academy of Geological Sciences, Section C, Regional Geology and Structural Geology*. Beijing: China Industry Press, 1965. 71(in Chinese). [黄汲清, 张正坤, 张之孟, 等. 中国的优地槽和冒地槽以及它们的多旋回发展 [C]. 地质科学研究院论文集, 丙种, 区域地质、构造地质第一号. 北京: 中国工业出版社, 1965. 71.]
- [48] SUO Shutian, SANG Longkang, Han Yuqing, et al. *The Petrology and Tectonics in Dabie Precambrian Metamorphic Terranes, Central China* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993. 259(in Chinese). [索书田, 桑隆康, 韩郁菁, 等. 大别山前寒武纪变质地体岩石学与构造学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 259.]
- [49] SUO Shutian, ZHONG Z Q, ZHOU H W, et al. Kanfenggou UHP metamorphic fragment in eastern Qinling orogen and its relationship to Dabie-Sulu UHP and HP metamorphic belts, Central China[J]. *J China University of Geosciences*, 2003, 14(2): 95-102.
- [50] BAI Jin, HUANG Xueguang, WANG Huichu, et al. *The Precambrian Crustal Evolution of China* [M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House. 1996. 223 (in Chinese). [白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 中国前寒武纪地壳演化 (第二版) [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 223.]
- [51] YANG Weiran, WANG Guocan, JIAN Ping. *Study on the*

- Tectonochronology of the Dabie Orogenic Belt*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000. 141 (in Chinese). [杨巍然, 王国灿, 简平. 大别造山带构造年代学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000. 141.]
- [52] LI Shuguang, CHEN Yizhi, ZHANG Guowei, et al. A peridotite body with Alps type displaced at 1 Ga ago: Evidence for the plate tectonic regime of North Qinling in Neoproterozoic[J]. *Geological Review*, 1991, 37(3): 234-242(in Chinese). [李曙光, 陈移之, 张国伟, 等. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体: 北秦岭晚元古代板块构造体制的证据[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 234-242.]
- [53] LI Shuguang, JAGOUTZ E, XIAO Yilin, et al. Ultra-high pressure metamorphic chronology in Dabie-Bulu terrane—I. Sm-Nd isotopic system[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(3): 249-257 (in Chinese). [李曙光, JAGOUTZ E, 肖益林, 等. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学—I. Sm-Nd 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 249-257.]
- [54] LI Shuguang, LI Huiming, CHEN Yizhi, et al. Ultra-high pressure metamorphic chronology in Dabie-Bulu terrane—Zircon U-Pb isotopic system[J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 27(3): 200-206 (in Chinese). [李曙光, 李惠民, 陈移之, 等. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学—II. 锆石 U-Pb 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(3): 200-206.]
- [55] LIU Guohui, ZHANG Shouguang, YOU Zhengdong, et al. *Major Metamorphic Rocks and Their Evolution in Qinling Orogen*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 190(in Chinese). [刘国惠, 张寿广, 游振东, 等. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 190.]
- [56] ZHANG Shuye, KANG Weiguo. Glaucofane belt in the central section of Northern margin of Yangtze platform[J]. *Journal of Geological College of Changchun, Monograph of Glaucofane Belt in Hubei and Anhui*, 1989, 1-9 (in Chinese). [张树业, 康维国. 扬子陆台北缘中段兰片岩带[J]. 长春地质学院学报, 鄂皖兰片岩带地质专辑, 1989, 1-9.]
- [57] ZHANG Shuye, HU Ke, QIAO Layong, et al. Petrology associations and their origin of high pressure metamorphic belt in Central China[A]. *Geological Collections in Qinling-Dabashan No. 1, Metamorphism*[C]. Beijing: Science and Technology Publishing House of Beijing, 1990. 221-229(in Chinese). [张树业, 胡克, 乔兰勇, 等. 华中高压变质带的岩石组合特征及成因[A]. 秦岭—大巴山地质论文集(一), 变质地质[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1990. 221-229.]
- [58] REN Jishun, WANG Zuoxun, CHEN Tingyu, et al. *China Tectonics, Outlook by the Globe—Brief Direction of Tectonic Map for China and Its Adjacent Areas*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 50(in Chinese). [任纪舜, 王作勋, 陈廷愚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 50.]
- [59] ZHANG Ligang. *Lithosphere Block Geology of East Asia—Isotopic Geochemistry and Its Dynamics of Upper Mantle, Basement and Granites*[M]. Beijing: Science Press, 1995. 252(in Chinese). [张理刚. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 252.]
- [60] YANG Weiran, JIAN Ping, HAN Yujing. Determination and significance of Caledonian high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphism in Dabie orogen[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 273-283 (in Chinese). [杨巍然, 简平, 韩郁菁. 大别造山带加里东期高压、超高压变质作用的确定及其意义[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 273-283.]
- [61] ZHAI Xiaoming, DAY H W, HACKER B R, et al. Paleozoic metamorphism in the Qinling Orogen, Tongbai Mountains, central China[J]. *Geology*, 1998, 26(4): 371-374.
- [62] XU Bei, GUO Lingzhi, SHI Yangsheng. *Proterozoic Terrane and Polycyclic Collision Orogenic Zone in Anhui-Zhengjiang-Jiangxi Area*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 112 (in Chinese). [徐备, 郭令智, 施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 112.]
- [63] CHE Zicheng, LIU Liang, LUO Jinhai. *Regional Tectonics of China and Its Adjacent* [M]. Beijing: Science Press, 2002. 519 (in Chinese). [车自成, 刘良, 罗金海. 中国及其邻区区域大地构造学[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 519.]
- [64] SUO Shutian, ZHONG Zengqiu, YOU Zhengdong, et al. Reduced ultra-high-pressure structures and its dynamic implication in Dabie-Sulu area[J]. *Earth Science*, 2000, 25(6): 557-563 (in Chinese). [索书田, 钟增球, 游振东, 等. 大别—苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义[J]. 地球科学, 2000, 25(6): 557-563.]
- [65] AMES L, TILTON G R, ZHOU G. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. *Geology*, 1993, 21: 339-342.
- [66] CONG Bolin, WANG Qingchen. Review of researches on ultrahigh-pressure metamorphic rocks in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(24): 2068-2075.
- [67] CONG Bolin, WANG Qingchen. Ultra-high-pressure metamorphic rocks in China[J]. *Episodes*, 1995, 18(1-2): 91-94.
- [68] MARUYAMA S, LIOU J G, ZHANG R. Tectonic evolution of the ultrahigh-pressure (UHP) and high-pressure (HP) metamorphic belts from central China[J]. *The Island Arc*, 1992, 3(2): 112-121.
- [69] WEBB L E, HACKER B R, RATSCHBACHER L, et al. Thermo-chronologic constraints on deformation and cooling history of high- and ultrahigh-pressure rocks in the Qinling-Dabie orogen, eastern China[J]. *Tectonics*, 1999, 18(4): 621-638.
- [70] LIU Yichan, XU Shutong, LI Shuguang, et al. Tectonic

- characteristics of eclogites and cooling history in northern Dabieshan[J]. *Earth Science*, 2003, 28(1): 11-16 (in Chinese). [刘贻灿,徐树桐,李曙光,等. 大别山北部榴辉岩的大地构造属性及冷却史[J]. 地球科学, 2003, 28(1): 11-16.]
- [71] DONG Yunpeng, ZHANG Guowei, LAI Shaocong, et al. An ophiolitic tectonic mélange first discovered in Huashan area, south margin of Qinling orogenic belt, and its tectonic implications[J]. *Science in China (Series D)*, 1999, 42(3): 292-302.
- [72] YANG Zhengyu, MA Xinghua, HUANG Baochun, et al. Phanerozoic paleomagnetic apparent polar wander paths and North China block motion[J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(Suppl): 44-56 (in Chinese). [杨振宇,马醒华,黄宝春,等. 华北地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 44-56.]
- [73] WANG Qingchen, CONG Bolin, ZHU Rixiang. Geodynamics of UHP-rock-bearing continental collision zone in central China[J]. FLOWER M F J, et al. *Mantle Dynamics and Plate interactions in East Asia, Geodynamics Series* [M]. Washington, D C: AGU, 1998, 27: 259-267.
- [74] XIA Linxi, XIA Zhuchun, XU Xueyi. Evolution and dynamics of tectono-volcanism in North Qilianshan[J]. *Geological Science in Northwest China*, 1995, 16(1): 1-28 (in Chinese). [夏林圻,夏祖春,许学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 1-28.]
- [75] XIAO Xuchang, WANG Jun, SU Li, et al. A further discussion of the Kudi ophiolite, West Kunlun and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(10): 745-750 (in Chinese). [肖序常,王军,苏犁,等. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 745-750.]
- [76] SHUI Tao, XU Butai, LIANG Ruhua, et al. Shaoxing-Jiangshan Paleosuture zone[J]. *Science Bulletin*, 1986, 31(6): 444-448 (in Chinese). [水涛,徐步台,梁如华,等. 绍兴-江山古陆对接带[J]. 科学通报, 1986, 31(6): 444-448.]
- [77] SHUI Tao. Continental basement tectonic framework of Southeast China[J]. *Science in China (B)*, 1987(4): 414-422 (in Chinese). [水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(B辑), 1987(4): 414-422.]
- [78] HSU Jinghua, SUN Shu, LI Jiliang. Are the South China orogenic belt, but not the South China Platform[J]. *Science in China (B)*, 1987, 10: 1107-1115 (in Chinese). [许靖华,孙枢,李继亮. 是华南造山带而不是华南地台[J]. 中国科学(B辑), 1987, 10: 1107-1115.]
- [79] QIU Yuanxi, CHEN Huanjiang. *Tectonic Collections of Yunkaidashan and Its Adjacent* [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese). [丘元禧,陈焕疆. 云开大山及其邻区地质构造论文集[C]. 北京:地质出版社, 1993.]
- [80] ZHOU Xinming, ZHOU Haipo, YANG Jiedong, et al. Sm-Nd isochron age of ophiolite suite and geological significance in Fuchuan, Xixian, Anhui Province[J]. *Science Bulletin*, 1989, 34(16): 1243-1245 (in Chinese). [周新民,邹海波,杨杰东,等. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 1989, 34(16): 1243-1245.]
- [81] CHENG Hai. Preliminary research of collision zone of early stage of Neoproterozoic in northwestern Zhejiang[J]. *Geological Review*, 1991, 37(3): 203-213 (in Chinese). [程海. 浙西北晚元古代早期碰撞造山带的初步研究[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 203-213.]
- [82] YANG Minggui, WANG Yangen, LI Lian, et al. Regional geological characteristics of South China[A]. CHENG Yuqi. *Introduction to Regional Geology of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 313-384 (in Chinese). [杨明桂,王砚耕,李镰,等. 华南地区区域地质特征[A]. 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 1994. 313-384.]
- [83] LIU Bogen, ZHENG Guangcai, CHEN Shuimiao, et al. Zircon U-Pb isotopic age in Pre-Cambrian volcanic rock and its significance in Western Zhejiang[J]. *Science Bulletin*, 1995, 40(21): 2015-2016 (in Chinese). [刘伯根,郑光财,陈时森,等. 浙西前寒武纪火山岩中锆石 U-Pb 同位素定年及其含义[J]. 科学通报, 1995, 40(21): 2015-2016.]
- [84] TANG Hongfeng, ZHOU Xinming. Geochemistry constraints of origin of two kind basalts in eastern section of Jiangnan paleo-continent[J]. *Science in China (D)*, 1997, 27(4): 306-311 (in Chinese). [唐红峰,周新民. 江南古陆东段两类玄武岩成因的地球化学制约[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(4): 306-311.]
- [85] GILDER S A, GILL J B, COER S, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(B7): 16137-16155.
- [86] CHEN J F, JAHN B M. Crust evolution of southeastern China: Evidence from Nd and Sr isotopic compositions of rocks[J]. *Tectonophysics*, 1998, 284: 101-133.
- [87] HONG Dawei, XIE Xilin, ZHANG Jisheng. Geological significance of the Hangzhou-Zhuguangshan-Huashan high- $\epsilon$  (Nd) granite belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(6): 348-354 (in Chinese). [洪大卫,谢锡林,张季生. 试析杭州—诸广山—花山高  $\epsilon$ (Nd) 值花岗岩带的地质意义[J]. 地质通报, 2002, 21(6): 348-354.]
- [88] QIU Xiaoping. Collision orogenic belt and metallogenetic divisions[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(10): 675-681 (in Chinese). [丘小平. 碰撞造山带与成矿区划[J]. 地质通报, 2002, 21(10): 675-681.]
- [89] CHEN Yanjing, CHEN Huayong, LIU Yulin, et al. Research history and progress of endogenic metallization in collision orogen[J]. *Science Bulletin*, 1999, 44(16): 1681-1689 (in Chinese). [陈衍景,陈华勇,刘玉琳,等. 碰撞造山过程内生矿床成矿作用的研究历史和进展[J]. 科学通报, 1999, 44(16): 1681-1689.]

# On the complex and mixed collision zones in China Continent

Wan Tian-feng

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

**Abstract:** The collision zones in China Continent are mainly characterized by complex structures, complex forming processes and mixed materials. They are composed of tectonic sheets and mélanges, forming a series of fan folds and ramp thrusts. Usually they take the form of wedging tectonics (crocodile tectonics) in the section and show as indentation tectonics on the plane, which are the different manifestations of a conjugated shear fracture system in three dimensions, formed by mutual compression, shortening and alternating in the collision between the plates. Most of collision zones in China continent were not formed on one occasion, but formed through complex processes with multi-tectonic events and different geological actions. In order to improve the research on collision zone, we should make comprehensive study of collision zone and its adjacent plates, and devote major efforts to the research on the sedimentary paleo-geography, paleo-biogeography, paleo-magnetism, geochemistry, rock deformation and block displacement for the plates surrounding the collision zone. The collision tends to mixed up the elements, rocks and tectonic units, but is not favorable to the differentiation and concentration of elements and materials. The formation of ore deposits in main collision stage is limited. The author infers that four types of ore deposits may be the major targets for exploration in paleo-collision zones of western China.

**Key words:** collision zone; plate tectonics; wedging and indentation tectonics; multi-tectonic event; mineralization