

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.063>



大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义

潘桂棠¹, 肖庆辉², 张克信³, 尹福光¹, 任 飞¹, 彭智敏¹, 王嘉轩³

1.中国地质调查局成都地质调查中心,四川成都 610081

2.中国地质调查局,北京 100037

3.中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

摘要:大洋或弧后洋盆俯冲增生是大陆地壳增长的主导地质作用。重建大陆中消亡的洋地层岩石组合序列是当代大陆动力学和地学研究的重大前沿。洋壳消减杂岩带的厘定是洋板块地质构造重建乃至全球大地构造研究之纲,是理解区域大地构造形成演化及动力学的核心。俯冲增生杂岩带的基本特征:(1)俯冲增生杂岩带物质组成的共性是:以强烈构造变形洋底沉积的硅质岩—硅泥质岩—粉砂岩、凝灰岩;弧—沟浊积岩等为基质;以洋岛—海山灰岩—玄武岩及塌积砾岩,洋内弧残留岩块,超镁铁质蛇绿岩、绿片岩、蓝片岩等为岩块。(2)变形样式:同斜倒转冲断叠瓦构造、增生柱前缘重力滑动构造以及泥质岩的底辟构造;增生楔前缘变形和增生形式受控于大洋或弧后洋盆的规模和洋壳的俯冲速度,也取决于陆缘碎屑供给量及洋底沉积厚度和岩性。(3)宽度和厚度:厚常达几千米,宽达几十公里至数百公里,延长上千公里,是洋壳俯冲消亡过程洋盆地层系统及陆缘沉积物加积的结果。(4)形成机制:是大陆碰撞前大洋(或弧后洋盆)岩石圈俯冲消减的产物。结合带中的早期俯冲增生杂岩带往往卷入晚期的构造混杂作用。

关键词:俯冲增生杂岩;混杂岩;大陆地壳增长;洋板块地质;区域大地构造;构造地质。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2019)05-1544-18

收稿日期: 2019-02-21

Recognition of the Oceanic Subduction-Accretion Zones from the Orogenic Belt in Continents and Its Important Scientific Significance

Pan Guitang¹, Xiao Qinghui², Zhang Kexin³, Yin Fuguang¹, Ren Fei¹, Peng Zhimin¹, Wang Jiaxuan³

1.Chengdu Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610081, China

2.China Geological Survey, Beijing 100037, China

3.School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Oceanic subduction-accretion or back-arc oceanic subduction-accretion is the dominant geological process of continental crustal growth. Reconstructing the gradual extinction oceanic rock assemblage sequence of continent is a frontier of contemporary continental dynamics and geosciences. The determination of the oceanic crust subduction complex belt is the core of the reconstruction for the oceanic geological structure and the research of the global geotectonics, which is the core of the understanding for the evolution and dynamics of the regional geotectonics. Basic characteristics of the subduction accretion belt include: (1) the commonality of the material composition of the subduction accretionary complex: the pelagic siliceous rock, siliceous mudstone, siltstone, arc-trench turbidite as matrix, in highly tectonic deformation. Stratigraphic sequences of oceanic islands and seamounts are comprised of limestone and basalt, slided conglomerate, residual rock of intra-arc; ultramafic serpentine rocks, greenschists, and blueschists as mass. (2) Deformation style: synclinal overturned thrust imbricated structure, the gravity sliding structure of the accretionary prism front and the diapir structure of the argillaceous rock. The deformation and

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(Nos. DD2016-0345, DD20179386, DD20190375, DD20190053);国家自然科学基金项目(No.41772107)。

作者简介:潘桂棠(1941—),男,研究员,博士生导师,从事区域地质和大地构造研究.E-mail: 13808091563@163.com

引用格式:潘桂棠,肖庆辉,张克信,等,2019.大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义.地球科学,44(5): 1544—1561.

accretion form of the accretionary wedge front are controlled by the scale of oceanic crust or back-arc oceanic basina, and the subduction speed also depends on the amount of continent margin debris and the sediment thickness and lithology of ocean floor. (3) Width and thickness: the thickness is often several kilometers, the width is from several tens of kilometers to hundreds of kilometers, and the extension is thousands of kilometers. It is the result of the accumulation of oceanic basin system and continental margin sediments during the subduction of oceanic crust. (4) Formation mechanism: it is the product of the subduction of the lithosphere before the collision of the continent or back-arc oceanic basin. The early subduction accretionary belts in the jointing belt are often involved in late tectonic mélange.

Key words: subduction-accretion complexes; mélange; continental crustal growth; oceanic plate geology; regional geotectonics; tectonics.

0 引言

20世纪60年代人们研究大洋诞生了板块构造。近60年以来识别与重建大陆中已消亡的大洋(弧后洋盆)以及对边缘海地质等广泛研究实践已证明,板块构造是高度成功的大地构造和地球动力学理论。展望地球科学领域,诸如构造作用、沉积作用、岩浆作用、变质作用、造山作用、成矿作用、古生物地理区系、古气候古环境变迁、海平面升降变化、层圈相互作用、超大陆的形成和裂解,以及大陆边缘多岛弧盆系的形成,几乎都是由于板块构造根本性的观念转换,带来了一系列创新的见解。

自板块构造学说创立以来,俯冲增生杂岩带(Subduction-Accretion Complexes Zone)被视为板块俯冲—碰撞的直接产物而受到广泛的重视(Hsü, 1968; Hamilton, 1978; Karig, 1983; Hsü *et al.*, 1995).对它的鉴别厘定一直是确认板块构造汇聚边缘大洋岩石圈俯冲作用和大陆边缘弧盆系形成演化作用的关键问题,是地学界重点研究的领域(Kusky *et al.*, 2013; Kroner, 2015; 潘桂棠等, 2015; Li *et al.*, 2016; 张克信等, 2016, 2017).

造山带俯冲增生杂岩的形成反映了造山带形成过程中洋壳消亡、物质归宿、陆壳侧向增生机制和造山带内矿产资源的形成、分布与板块消减作用的关系(Wakabayashi and Dilek, 2011; Kusky *et al.*, 2013; Kroner, 2015; Li *et al.*, 2016; 潘桂棠等, 2016),俯冲增生杂岩带成矿环境已成为全球研究的热点(von Huene and Scholl, 1991; 金振民等, 1993; Hou *et al.*, 2005; 侯增谦和王二七, 2008; 潘桂棠等, 2015; 李三忠等, 2016).

中国地质学家对中国及亚洲大陆及邻区的板块构造研究起步不晚,尤其是青藏高原及邻区的板块构造研究与国际同步发展,而且在板块边界的构造过程研究中,对缝合带和对接带(结合带)时空结构、

组成和演化的研究,对蛇绿岩、蛇绿混杂岩及俯冲增生杂岩的调查研究一直有一系列的重大发现(李春昱等, 1982; 刘增乾等, 1983; 黄汲清等, 1984; 黄汲清和陈炳蔚, 1987; 王鸿祯, 1985; 王鸿祯等, 1990; 李继亮, 1992; 金振民等, 1993; 刘本培等, 1993; Wu *et al.*, 1993; 潘桂棠等, 1997, 2013; 许靖华等, 1998; 殷鸿福等, 1998; 张国伟等, 2001; 张克信等, 2001, 2015; 莫宣学等, 2003; 任纪舜和肖黎薇, 2004; Zhang *et al.*, 2004; 李才等, 2006; 莫宣学和潘桂棠, 2006; 高俊等, 2009; 莫宣学, 2011; Pan *et al.*, 2012; 汪洋等, 2013; Wu *et al.*, 2013; 翟明国, 2013).在中国乃至亚洲地质构造和大地构造演化的认知和理解中,相关成果对全球构造概念的发展和研究地球的构造演化、构建地球动力学演化模型具有重大科学意义。

1 研究俯冲增生杂岩带的科学意义

1.1 俯冲增生杂岩带是全球板块构造理论发展研究的热点

我国雅鲁藏布蛇绿岩、蛇绿混杂岩带是20世纪60年代板块构造刚提出时被认定的大陆中保留的一条板块缝合带,而近几年的1:5万区域地质调查实践表明,蛇绿混杂岩带只是中生代沿雅鲁藏布新特提斯洋的一部分洋壳残迹,而其南侧已识别厘定出一套晚三叠世—早白垩世含蛇绿岩残块和洋岛海山岩块的增生杂岩、深海远洋硅泥质岩增生杂岩以及弧缘斜坡浊积岩增生杂岩。换言之,用俯冲增生杂岩带表达该缝合带更为合理和准确。

20世纪60年代美国科学院院士许靖华命名的美国西部佛朗西斯科蛇绿混杂岩带(Hsü, 1968),而今通过洋板块地层(Ocean Plate Stratigraphy, 简称OPS)的研究,更多的人称它为美国西部加利福尼亚佛朗西斯科俯冲增生杂岩系(Wakabayashi and

Dilek, 2011; Kusky *et al.*, 2013).

“俯冲增生杂岩带”术语比“蛇绿岩带”或“蛇绿混杂岩带”表达板块缝合带更为合理和准确。俯冲增生杂岩带是造山作用过程及其成矿环境的知识库, 是研究板块构造启动年代、超大陆汇聚解体、洋陆转换过程的纽带, 也是研究板块构造单元相互关系、造山带形成过程中的物质归宿、造山带形成的动力学机制以及洋壳消亡、陆壳增生机制和造山带内矿产资源的形成、分布与板块消减作用的关系的纽带, 正因为如此, 一直成为全球地学研究的热点, 倍受地质学家们的关注 (Wakabayashi and Dilek, 2011; Kusky *et al.*, 2013; Kroner, 2015)。

1.2 洋壳消减增生杂岩带的厘定是构建区域、全国乃至全球大地构造之纲

青藏高原大地构造图(潘桂棠等, 2013)的编制主要依据 1:25 万区域地质调查填图确认 21 条增生杂岩带、蛇绿混杂岩带的时空展布。中国大地构造图(潘桂棠等, 2015)主要是在全国各省、大区成矿地质背景综合研究编制的区域大地构造图基础上, 综合集成全国 60 多条蛇绿混杂岩带、增生杂岩带, 并按其不同时代、规模及展布而编制。从我们十几年的青藏高原和全国大地构造图的编图实践中, 认为洋壳消减增生及蛇绿混杂岩带的厘定是构建区域、全国乃至全球大地构造之纲。

1.3 洋板块地质构造重建是认识理解区域地质构造、大地构造形成演化及动力学的核心理念

通过对中国沉积大地构造(张克信等, 2015, 2017)、中国火山岩大地构造(邢光福等, 2015, 2017)、中国侵入岩大地构造(邓晋福等, 2015, 2017)、中国变质岩大地构造(陆松年等, 2015, 2017)、中国大型变形构造(李锦铁等, 2015)和中国大地构造(潘桂棠等, 2015, 2016)系统编图与研究, 我们认为洋板块地质构造重建是认识理解区域地质构造、大地构造形成演化及动力学的核心理念。我们对中国新元古代—古生代期间的各构造演化阶段的地质构造、大地构造格局与演化认识如下(潘桂棠等, 2016):

南华纪—震旦纪大地构造格局主要表现为: Rodinia 超大陆解体, 形成古亚洲洋、原特提斯洋, 华北、扬子及塔里木陆块三足鼎立; 震旦大洋(宽坪—佛子岭洋)及华南洋持续扩张; 各陆块边缘形成陆缘裂谷或裂陷盆地。

寒武纪—中奥陶世大地构造格局主要为: 古亚洲洋、原特提斯洋持续扩张; 中国西部各裂离地块从

扬子、塔里木大陆裂离出来, 形成秦—祁—昆多岛弧盆系, 相应各陆块均在伸展背景下形成被动大陆边缘; 宽坪—北淮阳俯冲增生杂岩带形成(O₂); 印度陆块北部边缘寒武纪裂陷—裂谷盆地形成, 发育奥陶纪初始碳酸盐台地。

晚奥陶世—志留纪大地构造格局主要表现为: 古亚洲洋的北支额尔齐斯—索伦—温都尔庙—西拉木伦—延吉大洋双向俯冲, 向北形成阿尔泰—兴蒙多岛弧盆系; 向南形成天山—准噶尔—北山多岛弧盆系及温都尔庙增生弧盆系, 古亚洲洋的南支南天山洋向北俯冲形成那拉提—中天山岛弧; 扬子西/北缘、塔里木北缘、印度北缘发育被动大陆边缘。志留纪末震旦洋、华南洋消亡, 塔里木、扬子与华北构成了统一的泛华夏大陆; 其西南缘形成秦—祁—昆造山系, 东南缘形成华夏造山系。

泥盆纪—中二叠世大地构造格局主要为: 古亚洲洋开始消亡; 天山—准噶尔—北山和阿尔泰—兴蒙造山系(C₁-P₂)形成; 华北陆块 O₃-C₁ 整体隆升后, C₃-P 为陆表海; 扬子陆块发育陆缘裂陷盆地和陆内表海沉积建造; 古特提斯洋开始双向俯冲, 向北俯冲制约北美塘—三江多岛弧系发育, 向南俯冲形成冈底斯陆缘弧(C-P)。

1.4 俯冲增生杂岩带、蛇绿混杂岩带是研究成矿地质背景的关键

蛇绿混杂岩与成矿关系研究以往主要瞄准在蛇绿岩中寻找铬铁矿。近十年前人在与基性、超基性岩浆活动有关的岩浆与气成热液矿床(洋底火山、黑烟囱), 铜、铁、锰、金、稀有金属, 洋底沉积锰结核的研究中取得显著进展(Yakubchuk *et al.*, 2012; Sillitoe, 2013; Revan *et al.*, 2014; 张伟波和叶锦华, 2017)。如洋内弧是洋内俯冲作用的产物, 形成一套以岛弧拉斑玄武岩为主、少量钙碱性系列的火山弧, 并产生高镁安山岩、富铌玄武岩、玄武安山岩及海相碳酸盐岩、深海相硅泥质复理石的一套火山沉积岩组合, 具良好的成矿环境。近年发现与洋内弧及增生杂岩带成矿作用相关的矿床如金沙江结合带内竹巴龙—羊拉—贡卡一带的弧火山岩超大型铜矿床(王立全等, 1999); 云南澜沧老厂与洋岛海山有关的海相火山岩型含铜铅锌矿床, 产于石炭系中上统白云岩、灰岩, 下统玄武岩、玄武质凝灰岩接触带上(朱勤文等, 1998); 哀牢山结合带俯冲增生杂岩产出造山型金矿、增生楔次生金矿, 如老王寨、大平等 4 个超大型金矿(孙晓明等, 2007)。

2 俯冲增生杂岩带、混杂岩、板块缝合带等相关术语定义

从洋陆转换论的大陆边缘多岛弧盆系构造观思考大陆地壳演化过程, 其核心理念是在大陆中探寻消亡的大洋及其大陆边缘已叠接消减的弧后洋盆(王鸿祯, 1985; 潘桂棠等, 2008). 大洋壳消亡和弧后洋盆的消减, 都在全球地质演化过程中留下能被识别的显著标志(Robertson, 1994; 潘桂棠等, 2008; Kusky *et al.*, 2013; 张克信等, 2014). 从中国已认识的不同时代的六十多条蛇绿岩、蛇绿混杂岩带和俯冲增生杂岩带的岩石构造组合(潘桂棠等, 2015), 以及对蛇绿岩、蛇绿混杂岩带和俯冲增生杂岩带时空结构和展布、超大陆裂解和聚合的时空关系研究可知(张进等, 2012; Kusky *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2018), 大洋壳消亡的残迹或弧后洋壳消减的遗迹在不同大地构造部位、不同时空尺度、不同地质构造环境, 被大地构造学家命名为板块缝合带(李春昱等, 1984; Windley, 1984)、俯冲带(郭令智等, 1983; Windley, 1984)、对接消减带(王鸿祯, 1985)、结合带(潘桂棠等, 2008)或弧陆碰撞带和弧弧碰撞带(Brown and Ryan, 2011)等多种术语。

2.1 板块缝合带、俯冲带

板块缝合带、俯冲带是 20 世纪 60 年代板块构造学说创生后提出的板块划分的三大边界之一(Windley, 1984), 李春昱在 1981 年组织的“板块构造学习班”上指出, 两板块相遇时, 其间的接触带叫做缝合带(Suture Zone). 一个板块的边缘部分向着大陆部分俯冲称为俯冲带, 俯冲带也称为贝尼奥夫或毕乌夫带, 现代深海沟的所在, 代表大陆边缘的俯冲带(李三忠等, 2017). 板块缝合带包括了很宽的俯冲增生杂岩, 代表已消减的大洋壳残留物以及一部分弧前增生楔、陆缘浊积岩组成, 是在大洋消亡过程形成的(潘桂棠等, 2008).

2.2 对接带

王鸿祯先生等在 20 世纪 80 年代和 90 年代研究归纳和总结中国及邻区大地构造形成演化时, 将缝合带分为 2 类: 对接消减带和叠接消减带(王鸿祯, 1985).

依据中国大地构造基本特征及其洋陆构造体制演化规律, 我们提出对接带是与陆块区和造山系并置的一级大地构造单元, 是由洲际大洋扩张—俯冲消亡演化、周期达 6 亿年左右、由大洋壳俯冲、碰撞

形成宽阔的消减增生杂岩带、蛇绿混杂岩带、洋岛—海山以及侵位于俯冲增生楔之中的增生岩浆弧等组成的复杂构造域, 具有揭示古大洋岩石圈构造体制的功能(潘桂棠等, 2008, 2015; 张克信等, 2018).

对接带与邻接的向洋跃迁的复合岩浆弧(前峰弧)具俯冲碰撞过程同步构造岩浆热事件的构造演化过程, 表现为 3 种大地构造背景和赋存状态(潘桂棠等, 2015):

(1) 位于 2 个先存大陆及其大陆边缘多岛弧盆系构造转化的造山系之间, 如印度陆块及喜马拉雅—冈底斯造山系与扬子陆块及羌塘—三江造山系之间的班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连(特提斯大洋消减)对接带(潘桂棠等, 2015; 张克信等, 2017).

(2) 位于一个大陆区被动边缘与另一个大陆及其大陆边缘多岛弧盆系构造转化为造山系之间, 如塔里木陆块北部边缘与天山—准噶尔—北山造山系之间的南天山—牛圈子—洗肠井—恩格尔乌苏(古亚洲洋南支)对接带(潘桂棠等, 2015; Wang *et al.*, 2018).

(3) 位于一个大陆区活动陆缘与另一大陆及其大陆边缘多岛弧盆系构造转化为造山系之间, 如华北陆缘与西伯利亚大陆及南缘兴蒙造山系之间的索伦山—西拉木伦(古亚洲洋消减)对接带(Jian *et al.*, 2010; 潘桂棠等, 2015).

2.3 俯冲增生杂岩带

俯冲增生杂岩带也称增生楔、增生棱柱体或消减杂岩, 是指保存在俯冲消减带中的洋盆消亡的残迹, 是在海洋板块俯冲过程中被刮削下来的海沟浊积岩、远洋沉积物和大洋板块残片, 经构造搬运并堆叠在岛弧前的上覆板块前端形成的以逆冲断层为边界的楔形地质体, 是消减带的重要组成部分(Isozaki *et al.*, 1990; 潘桂棠等, 2008). 它是由不同时代、不同构造环境、不同变质程度和不同变形样式的洋盆地层系统和陆(弧)缘斜坡地层系混杂在一起经强烈构造剪切的构造地层及岩石的组合体(张克信等, 2001; Kroner, 2015). 洋盆地层系统通常可见洋壳残片、洋岛—海山、远洋沉积物、深水浊积扇等组成(图 1, 图 2). 增生杂岩带地层结构局部有序、总体无序(Kusky *et al.*, 2013). 增生杂岩带内普遍有被肢解的蛇绿岩和巨大的韧性剪切带以及高压超高压变质带(陆松年等, 2015, 2017).

2.4 混杂岩

混杂岩术语是 1919 年 Greenly 在英国威尔士 Anglesey 岛填图时首先引入的(Greenly, 1919), 其

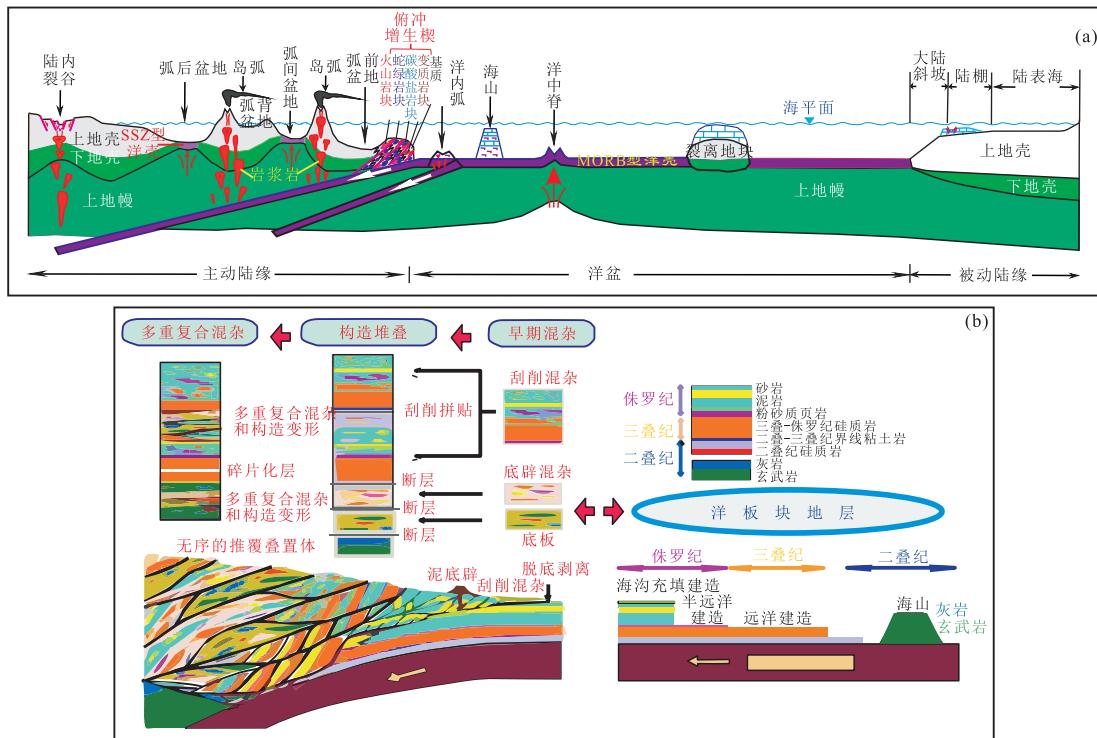


图 1 俯冲增生杂岩带(楔)形成的构造环境与形成过程示意

Fig.1 A model showing the tectonic settings and the formation process of subduction-accretion complex belts

a.俯冲增生杂岩带的形成部位与构造环境(张克信等, 2016);b.俯冲增生杂岩带的形成过程(Wakita, 2012)

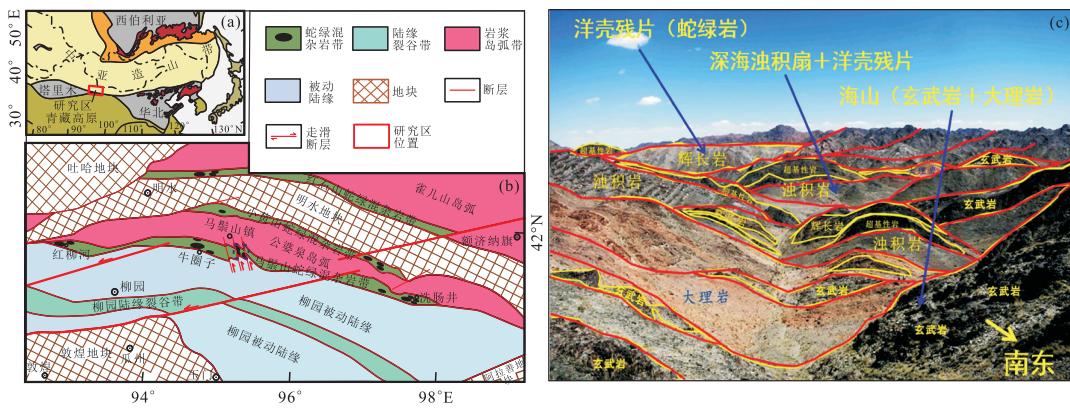


图 2 甘肃北山马鬃山俯冲增生杂岩野外露景观

Fig.2 Outcrop of the Mazongshan subduction-accretion complexes in Beishan, Gansu Province, China

a. 马鬃山增生混杂岩带在中亚造山带的位置; b. 马鬃山增生混杂岩带分布区的大地构造单元划分; c. 马鬃山俯冲增生杂岩野外露景观察

特征是原始层序完全被破坏,坚硬的块体包裹于破碎的基质之中。大量研究表明混杂岩广泛分布于世界各地的造山带。许清华从板块构造理论出发,指出混杂岩主要产于板块的俯冲增生带,认为混杂岩仅指构造混杂岩(Tectonic Mélange),并对混杂岩定义为:混杂岩是变形岩石的集合体,其特征是在被普遍剪切的基质中的含有构造混入的碎块或岩块,它们最长可达数英里(Hsü, 1968)。Reymond(1975)所下的定义是:混杂岩是一种能以 $1:24\,000$ 或更小

比例尺填图的岩石,其特征是缺乏接触关系或地层的内部连续性,且在细粒的破碎基质中含有各种尺度的外来和原地碎块及岩块的包体。1978年在美国加利福尼亚举行了混杂岩专题讨论会,1980年Silver and Beutner(1980)的会议报道:混杂岩是描述一个可填图(1:25 000或更小比例尺)的内部破碎混杂岩体的术语,它包含通常处在透入性变形基质中的各种块体。

近年研究表明湿疣具有如下特征：(1)广泛出

露于造山带的增生楔中,具有“基质中包含岩块”的典型结构,能以1:25 000或更小比例尺填图的地层单元;(2)基质普遍劈理化(脆韧性剪切),基质与各种类型的岩块间为脆一韧性断层接触,致使洋板块地层体内部不连续;(3)基质常遭受浅变质,原岩以浊积岩为主,包含远洋硅泥质建造;(4)基质中包含各种粒径的岩块(如超基性岩、基性岩、灰岩块等;Myhill, 2011;Saleeby, 2011; Wakabayashi and Dilek, 2011).

洋壳俯冲消减增生是大陆地壳增长的主要地质作用,其中主要包括侧向生长和垂向生长2种增生方式。大洋壳俯冲消减及其弧盆系转化为造山系的前缘增生和刮削作用导致增生大陆壳的侧向增长,而大洋俯冲消减、岩石圈拆沉制约壳幔岩浆底侵作用,表现为大陆壳垂向生长。

3 俯冲增生杂岩带典型实例及基本特征

识别洋壳俯冲增生杂岩的方法、研究增生杂岩带的基本特征及其时空构造演化是板块汇聚边缘地质学、洋板块地质学、造山带地质学以及前寒武纪地

质学中最突出的科学问题。

现代板块汇聚边缘的增生沉积楔反映了俯冲构造作用与沉积作用间复杂的相互作用(Robertson, 1994; 李三忠等, 2017).增生楔主要在海沟外侧(向洋一侧)、海沟轴部和海沟内坡,并与向陆一侧的岛弧及其弧前盆地相邻接(Isozaki *et al.*, 1990; 潘桂棠等, 2008; Wakita, 2012).要理解洋壳俯冲增生杂岩,最好先了解全球典型的俯冲增生杂岩实例及基本特征。

3.1 美国加利福尼亚佛朗西斯科俯冲增生杂岩带

加利福尼亚地区俯冲增生杂岩主要由3个部分组成:晚中生代佛朗西斯科俯冲增生杂岩、大谷地与弧盆系(内华达岩浆弧).三者从晚侏罗世—白垩纪一直到中新世呈同步演化过程,在向东俯冲的过程中,增生杂岩形成于板片俯冲刮削拼贴和底辟作用(Wakabayashi and Dilek, 2011).根据岩石构造组合和构造特征,分为3个带(图3):

(1)西部海岸带:绝大部分地层都是砂页岩,有少量砾岩、洋岛火山岩、灰岩和硅质岩.带内出现剪切构造、香肠构造和层位连续的冲断构造以及变形较多的褶皱构造等变形形式,较窄的、剪切较强的岩

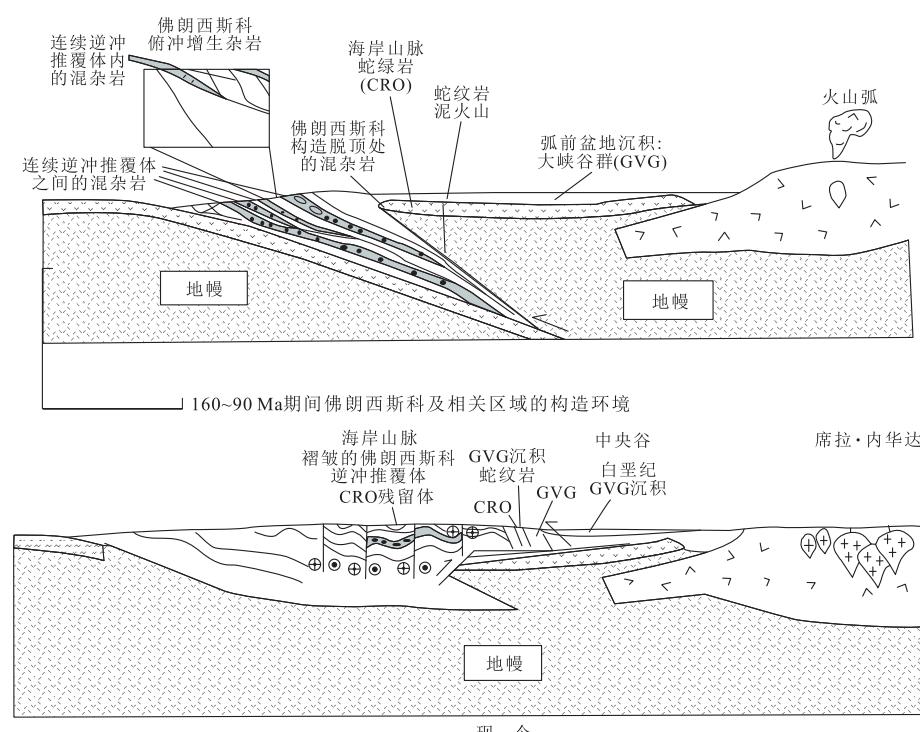


图3 佛朗西斯科俯冲增生杂岩形成的构造环境(160~90 Ma)和现今地质剖面简图

Fig.3 The tectonic settings of the Franciscan subduction-accretion complex (160—90 Ma) and the simplified geological profile (present) of the Francisco area

据 Wakabayashi and Dilek(2011)

石变形带代表各个北东向的冲断带。

(2) 中部蛇绿混杂岩带: 各类火山岩包括枕状熔岩、枕状角砾熔岩、火山砾岩和灰岩, 呈大小不等的岩块混杂于砂页岩中, 混杂岩宽度超过 20 km, 从东向西, 时代从晚白垩世到中新世。

(3) 东部杂砂岩和片岩带: 为发育良好的陆坡盆地和水道海底扇相, 厚层半深海陆坡砂泥岩沉积相组合。

通过对 OPS 重建研究, 揭示大洋板块从侏罗纪到中新世持续俯冲和幕式增生的复杂演化过程。

3.2 印度尼西亚岛弧前缘的巽他海沟—俯冲增生杂岩带

印度尼西亚岛弧前缘的巽他海沟—俯冲增生杂岩系从西北的缅甸至苏门答腊弧、爪哇弧、松巴岛弧至东部的斑达岛弧(与澳洲大陆的弧陆碰撞带)绵延长达 5 000 km。自二叠纪以来, 沿此岛弧链一直发生着(或间歇性)大洋板块的俯冲作用, 导致汇聚边缘外侧形成一个宽达 150 km 的巽他海沟增生柱—俯冲增生岩系, 包括白垩纪—古近纪增生杂岩。俯冲系统还包括印度洋俯冲洋壳残余组成的增生杂岩, 以及发育于弧前盆地第三纪—现代的沉积物(Simandjuntak and Barber, 1996)。源于喜马拉雅碰撞带剥蚀的碎屑物搬运到孟加拉海底扇, 最大厚度在缅甸西侧达 16 km, 一条大型海底水道又将沉积物向南搬运了 300 km 到巽他海沟。Hamilton (1978)指出, 在 6°S 处海沟轴部所发现的石英质、云

母质和粉砂质浊积岩来源于喜马拉雅, 海沟增生楔体基本上由碎屑流浊流沉积物构成, 海沟内坡常为深海沉积, 也会发育峡谷水道海底扇沉积。后期的浊流沉积进入较深的楔顶盆地, 不整合覆盖于早期的同斜倒转褶皱作用浊积岩之上。

3.3 伊朗东南至巴基斯坦南部的锡斯坦—俾路支地区的莫克兰俯冲增生杂岩带

伊朗东南至巴基斯坦南部的锡斯坦—俾路支地区的莫克兰俯冲增生杂岩带是亚洲大陆规模最大的俯冲增生杂岩带, 分布在伊朗东南至巴基斯坦南部的锡斯坦—俾路支地区, 称为莫克兰俯冲增生岩系。增生岩系西端在赫尔姆兹海峡, 东至卡拉奇附近, 在陆上延伸达千余公里, 出露宽达 300 多千米。其北的弧盆系为贾盖山岛弧(陆缘弧)及南侧的达尔邦丁弧前盆地(图 4; McCall *et al.*, 1982)。

贾盖山岛弧以白垩纪到新生代安山质火山活动为主, 安山质熔岩、凝灰岩及火山角砾岩厚 4 000~6 000 m, 晚白垩世海相灰岩的夹层表明其海相环境; 但有陆相红层的沉积夹层, 喷发活动又有陆上环境。也见广泛的花岗岩基侵入, 主要有晚白垩世和古近纪的闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩, 该岛弧离海岸 400~500 km。达尔邦丁—萨因达克—阿拉姆勒吉弧前盆地: 由古近纪泥岩、浊积砂岩、火山碎屑砂岩及藻层纹层状灰岩组成, 夹有滑塌灰岩碎屑的砾岩透镜体。莫克兰增生杂岩带由北向南可分为下列几个构造单元(McCall *et al.*, 1982):

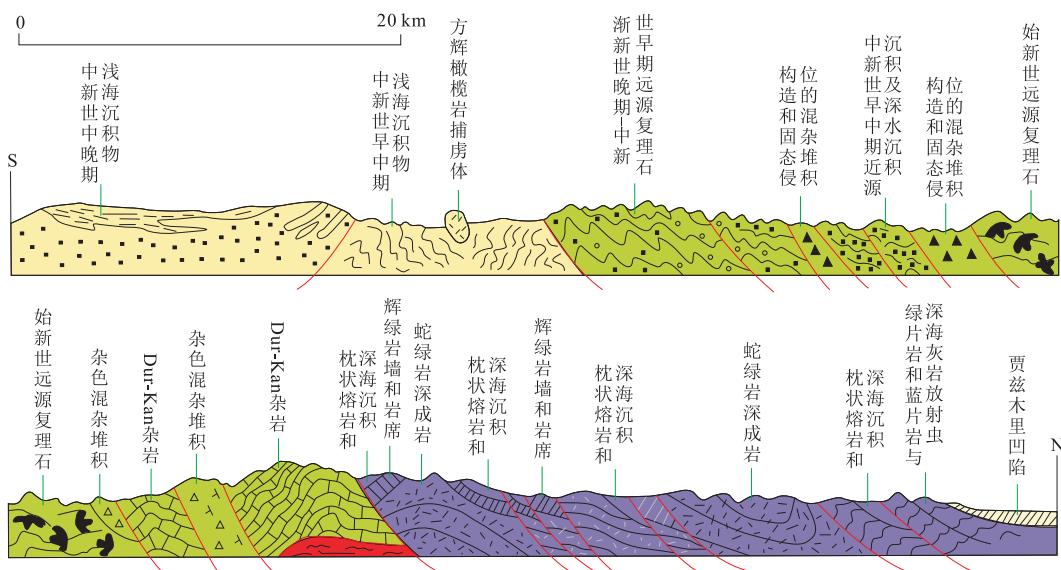


图 4 伊朗东南至巴基斯坦南部的锡斯坦—俾路支地区的莫克兰俯冲增生杂岩带地质剖面

Fig.4 Sketch section across the Mokland subduction-accretion complex from southeastern Iran to southern Pakistan
据 McCall *et al.*(1982)

(1) 内莫克兰(扩张带)蛇绿岩带:有3种蛇绿岩:一是塞浦路斯型蛇绿岩组合(K_1-E_1),二是辉长岩—枕状玄武岩及奥长花岗岩组合(K),三是橄榄岩—橄长岩—堆晶辉长岩—辉长岩和奥长花岗岩组合(K_1-E_1),其上为辉绿岩墙、枕状熔岩及深海沉积物,局部可见蓝片岩。

(2) Bajgan-Dur-Kan 早期弧前增生楔带:主要为 Bajgan 绿片岩相、角闪岩相古生代变质杂岩及陆缘灰岩(K_1-E_1)的冲断层岩片。

(3) 杂色蛇绿混杂岩带:较齐全的蛇绿岩组合、放射虫硅质岩(侏罗纪和科尼亞克期)和深海球截虫灰岩块混杂于远源浊积岩中,但也可见放射虫硅质岩和深海灰岩呈互层出现,也见枕状熔岩和硅泥质沉积岩呈互层出现,最新岩石是古新世早期微晶灰岩,还可能存在洋岛火山岩。

(4) 始新世—渐新世复理石带:主要是一套巨厚的远源钙质浊流沉积岩。大多数浊积岩层都已发生强应变褶皱变形(尖顶、同斜等形态)和一系列北倾逆冲断层。

(5) 渐新世—中新世复理石带:其是由渐新世到中新世早期的远源浊积岩,中新世中期为近源相沉积,其变形样式类似于始新世—渐新世复理石带,也发育外来岩块,渐新世后退式洋壳俯冲(向南迁移)、始新世复理石带隆起,也提供了该带的物源区。

(6) 中新世浅海沉积带:浅水陆棚蒸发岩和礁灰岩发育,向上局部发育河流扇积砾岩。这个层序形成极大的向斜山链。其基底是俯冲洋壳或已增生混杂的破碎洋壳岩石组成。

McCall *et al.*(1982)认为,莫克兰增生杂岩系的增生作用从侏罗纪开始一直持续至今,海沟向南迁移的后退式俯冲,阿曼湾俯冲板块的倾角只有1°左右,越向内陆俯冲倾角越陡,一直持续至将来阿曼与莫克兰的碰撞。

3.4 日本岛弧及其东南侧的俯冲增生杂岩带

环太平洋构造域规模最壮观的日本岛弧及其东南和南侧的俯冲增生杂岩带(Ogawa, 1985; Ogawa and Taniguchi, 1987; Wakita, 2012; Safonova *et al.*, 2014)。日本岛弧主要由二叠纪和三叠纪黑瀬川和午鹤构造带的岩浆岩组成,包含奥长花岗岩、石英闪长岩、石英二长岩、花岗岩以及变质岩(闪片岩和蛇纹岩)。中新世日本海弧后扩张,日本弧从欧亚大陆分离。

在岛弧东南侧,以中央构造线为界,中生代以来形成了数条俯冲增生带。在长野经鱼川—静冈近南

北向断裂带以东富士山脉一带,自北往南为侏罗纪佐川增生杂岩带、三宝山增生杂岩带(J_3-K_1)、四万十增生杂岩带($K-E$)及瀬户川—丹泽增生杂岩带(E)。俯冲增生楔主要由海沟内浊积岩、洋壳蛇绿岩和海山等洋岩石组合的构造侵位形成:包含洋底海山在海沟向洋侧斜坡上的破裂与瓦解和向陆侧的滑塌增生(图 5a 和 5b)、刮削拼贴—底辟与逆冲推覆增生(图 5c; Ogawa, 1985)。

突出表现为四万十带,称四万十超群俯冲增生杂岩带,位于三波川高压低温变质带(J)和秩父带(白垩纪弧前陆架盆地)及其下伏侏罗纪三宝山俯冲杂岩带之南东侧。从南西诸岛(冲绳、奄美等)、九州南部、四国南部、纪伊半岛、赤石山和关东山及东京南东侧的房总半岛,走向延伸达1 800 km,在纪伊半岛宽达70 km。

四万十带杂岩是第一个被报道的古增生楔,其沿着日本东南海岸一直延伸到富士山—伊豆地区,目前被划分为白垩纪和古近纪2个部分。该杂岩主要由厚层的粗粒浊积岩组成,其中可见相对较薄的混杂岩夹层。浊积岩单元在北倾逆冲断层的作用下呈叠瓦状产出,而混杂岩则由于多期构造的影响,厚度较小,剪切变形程度较高,主要分布在2个复理石建造的构造带中。通过对北四万十带中的混杂岩所进行的 OPS 还原,得到的地层序列如下:大洋玄武岩早于瓦兰今阶,硅质岩从欧特里沃阶到森诺曼阶,半深海硅质页岩从土伦阶到坎潘阶。

四万十带分为北带下四万十群(J_3-K)和南带上四万十群($E-N_1$)。南北两带的下部均常见蛇绿混杂岩,其上复理石是陆源浊积岩和泥岩交替出现,厚度可达数公里,岩层强烈变形,褶皱冲断作用常呈叠瓦构造样式。从横剖面上,沉积物年代向洋方向愈趋年轻,而且常见变形轻微的增生沉积与下伏变形强的岩石组合呈不整合接触。侏罗纪晚期,库拉(Kula)板块向北俯冲后,在早期的双变质带之南东侧增生秩父带和三宝山带。其上发育白垩纪弧前盆地,沉积了巨厚的4个向上变细的浊积岩系沉积旋回层。弧前盆地外缘增生楔成为向洋活动的海沟陆坡坡折带,使较老的混杂岩(伴有洋壳玄武岩块和红色硅质岩)以及滑塌沉积块体和浊流,通向海底扇峡谷进入海沟内壁和底部,形成楔顶盆地。

白垩纪持续的俯冲作用,又使向东南增生的弧前盆地沉积物变形变质,并在东南方向形成新的增生楔状体,这种演化一直持续到古近纪直至中新世中期,形成新的弧前盆地及弧前构造高地,新的海沟

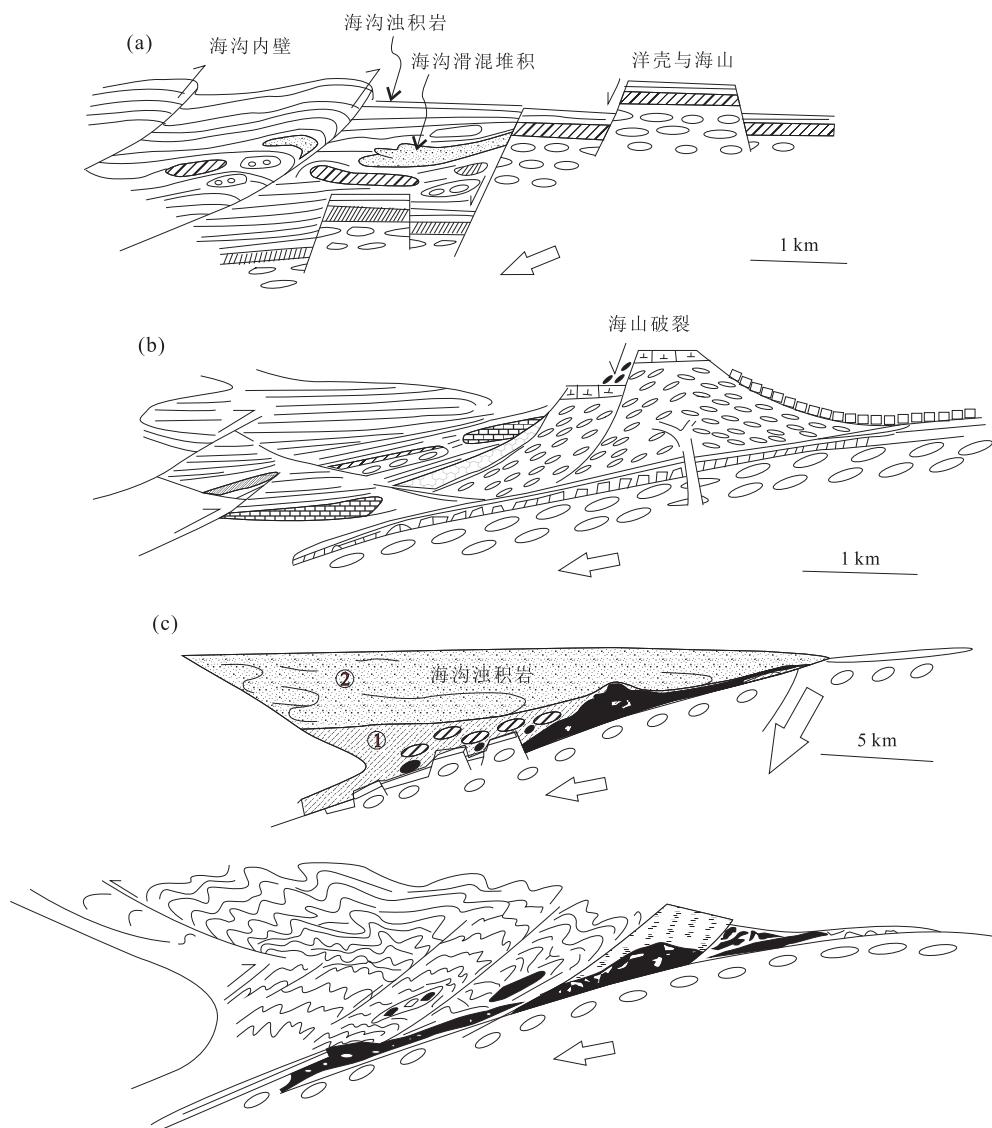


图 5 洋壳蛇绿岩和海山等洋岩石组合在海沟斜坡上的瓦解与滑塌(a,b)、以及与海沟内浊积岩一起刮削拼贴—底辟增生与逆冲推覆(c)

Fig.5 Disintegration of oceanic crust ophiolite and seamount assemblages on trench slopes (a,b), proliferation and thrust over-thrusting of the turbidite in oceanic trench (c)

据 Ogawa(1985)

陆坡坡折带—海沟内坡—海沟环境。古近纪的海沟坡折带可见较宽的蛇绿混杂岩带和其上的复理石浊积岩和海底扇峡谷砂砾岩。

3.5 班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连俯冲增生杂岩带

班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连增生杂岩带,是通过原—古特提斯大洋板块俯冲物质聚集而成的对接带,并且保存下来成为中国大陆上规模最大的俯冲增生杂岩带(图 6)。从西部班公湖—双湖到昌宁—孟连走向上延伸达 2 000 km,最大出露宽度在 87°E 左右处,北起玛依岗日,到南段尼玛北西近

200 km,主要由著名的龙木错—双湖蛇绿混杂增生杂岩带、班公湖—怒江增生杂岩带及昌宁—孟连增生杂岩带 3 个主要单元组成(潘桂棠等,2013,2015;冯益民和张越,2018),其北侧望果山、日湾茶卡地区发现早石炭世岛弧型花岗岩,其锆石 U-Pb 年龄为 350~358 Ma,确认火山弧安山岩年龄为 346~358 Ma(江庆源等,2014;Jiang *et al.*, 2015),在南段昌宁—孟连增生杂岩带东侧到临沧岩浆弧内,近年发现奥陶纪岛弧型岩浆岩,表现出原古特提斯大洋向北—北东俯冲制约北美塘—三江弧盆系形成的地质记录。

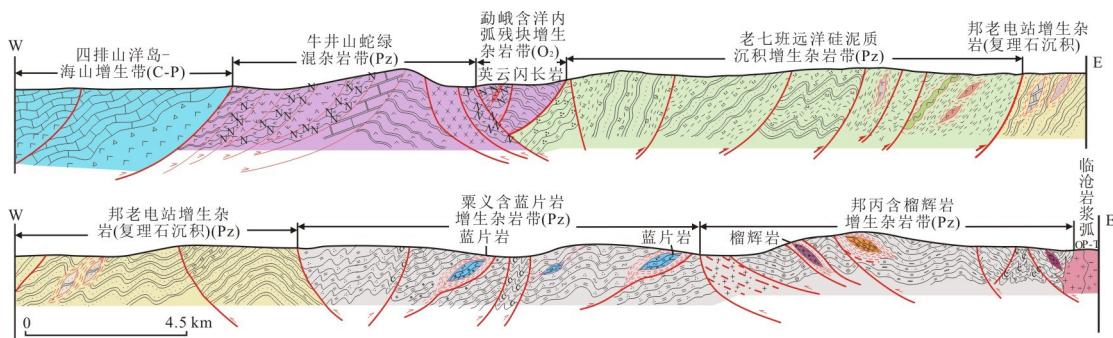


图 6 双江—耿马地区昌宁—孟连俯冲增生杂岩带地质构造剖面

Fig.6 Tectonic section of the Changning-Menglian subduction-accretion complex zone, Shuangjiang-Gengma area, Yunnan Province

最具代表性的增生杂岩带的实例来自李才等多年的调查研究,推翻了羌塘中央长期被认为是基底隆起带,并在该带桃形湖、岗玛错、果干加年山、龙木错、玛依岗日、角木日、西雅尔岗、双湖等发现了大量蛇绿岩、蛇绿混杂岩单元,各单元的蛇绿岩主要由超基性岩、辉长岩、堆晶辉长岩、斜长花岗岩、块状玄武岩、枕状玄武岩、辉绿岩岩墙群组成,其时代从寒武纪到二叠纪(李才, 1987; 李才等, 2004, 2006, 2008, 2009; 翟庆国等, 2004, 2010; 翟庆国和李才, 2007; 王立全等, 2008; 胡培远等, 2014). 其基质为绿片岩、云母石英片岩. 增生杂岩带在时空结构上非常复杂. 每隔几百米或几公里不同时代的蛇绿岩中堆晶辉长岩、MORB型玄武岩或硅质岩等呈断块重复出现, 总体而言, 寒武—奥陶纪的蛇绿岩在北侧, 石炭—二叠纪的蛇绿岩在南侧, 例如在果干加年山(李才面告), 蛇绿混杂岩带的南部边缘从岗玛日—果干加年山南坡、龙木错地区向东到兰岭、双湖等发现的榴辉岩、蓝片岩透镜体(李才, 1987; 邓希光等, 2000, 2002; Kapp *et al.*, 2000, 2003; 翟庆国等, 2009)断续出露也达 500 km, 榴辉岩原岩有典型 N-MORB型, 也有 E-MORB型和 OIB型地球化学特征. 变质带之南, 在绒玛—兰岭地区可见基性玄武岩高压变质蓝片岩和大规模蓝闪石大理岩相伴生产出, 具有典型的洋岛—海山二元结构特征, 玄武岩显示 OIB特征(翟庆国等, 2009; Zhai *et al.*, 2011), 构成了典型的含洋岛海山岩块的增生杂岩带.

南羌塘的晚三叠世到侏罗纪盆地, 因基底为多硅白云母片岩、绿片岩、云母石英片岩的增生杂岩, 被认为是残余盆地, 也有认为是上叠的楔顶盆地. 其南侧则是班公湖—怒江蛇绿混杂岩带及增生杂岩带(潘桂棠等, 1983, 1997, 2004, 2013; 彭兴阶和胡长寿, 1993; 莫宣学和潘桂棠, 2006; 耿全如等, 2011). 该带蛇绿岩在西段班公湖南岸及改则洞错等地均可

见完整蛇绿岩三位一体组合. 其中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 221~190 Ma, 但近几年在洞错舍玛拉沟发现榴闪岩, 经历了高压麻粒岩相和角闪岩相二次变质作用. 榴闪岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 254±2 Ma(王保弟等, 2015), 表明该带洋盆发育时限可追索到二叠纪. 其显示与龙木错—双湖带是同属原古特提斯大洋俯冲消亡的例证. 班公湖—怒江带中段尼玛—东巧—安多至索县一带均可见 SSZ 型蛇绿岩, 呈断块状散布在木嘎岗日浊积岩及洋底沉积硅质岩—硅泥质岩构成的增生杂岩中. 在东巧地区还见有志留纪、泥盆纪、石炭—二叠纪的大小不等的大理岩岩块和灰岩岩块, 以及侏罗纪玄武岩、枕状玄武岩、堆晶辉长岩、橄榄岩等岩块混杂在宽达 60 km 的增生杂岩带中.

东段丁青—八宿—察瓦龙蛇绿混杂增生杂岩带, 丁青蛇绿岩组合齐全, 在丁青哇热拉山一带有厚达 1 200 m 由纯橄榄岩—二辉橄榄岩厘米级互层的堆晶杂岩组成(潘桂棠等, 1983). 左贡扎玉—碧土玉曲河两岸, 还发现石炭—二叠纪亚速尔型洋岛、夏威夷型洋岛海山的玄武岩及灰岩的岩块, 以及硅质岩中含晚石炭世放射虫 *Albaillella* sp. 及牙形石(吴根耀, 2006).

昌宁—孟连增生杂岩带是原—古特提斯大洋俯冲消亡地质记录保存最好的区带. 早期在曼信和铜厂街发现具有 N-MORB型洋脊玄武岩, 时代为中泥盆世(张旗等, 1985), 铜厂街蛇绿岩组合齐全, 含放射虫硅质岩等组成的蛇绿混杂岩, 基质为强剪切变形的绢云片岩、绢云石英片岩及绿帘阳起片岩, 原岩为浊积岩—硅质泥岩, 近年来在南汀河蛇绿岩中获得堆晶辉长岩和块状辉长岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 473 Ma 和 443 Ma(王保弟等, 2013); 云南地质调查院孙载波等在长期被认为的中元古代澜沧江岩群中发现湾河蛇绿混杂岩, 变质堆晶辉长

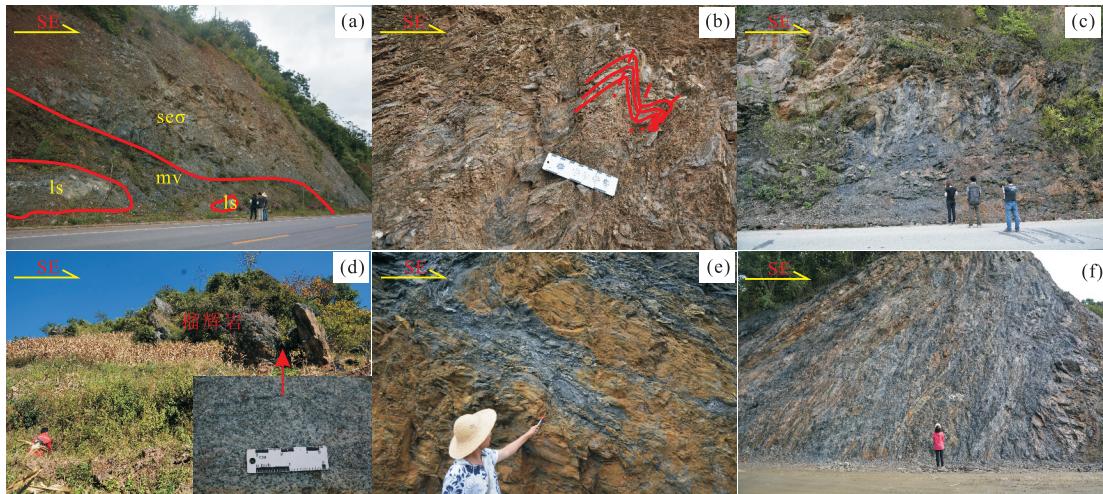


图 7 双江—耿马地区昌宁—孟连俯冲增生杂岩带野外特征

Fig.7 Field characteristics of the Changning-Menglian subduction-accretion complex zone, Shuangjiang-Gengma area, Yunnan Province
ls.灰岩;mv.变辉长岩;seσ.蛇纹石化橄榄岩

岩锆石 U-Pb 年代为 470.8 Ma，并首次确认勐库榴辉岩；成都地质调查中心彭志敏等将澜沧岩群划分出 5 个岩组，并发现一系列高压超高压变质岩、蓝片岩、榴闪岩、榴辉岩呈南北向带状展布，从东向西表现为高压低温→高压中温→高压低温变质相分布。从双江—耿马东西向横穿增生杂岩带（图 6, 图 7），由东向西可见高压超高压俯冲折返带，弧一沟间浊积岩增生楔、牛井山蛇绿混杂岩带，远洋硅质泥质沉积增生楔，再向西可见耿马回爱、帕秋泥盆—石炭纪洋岛海山增生带，以及石炭一二叠纪（平掌—鱼塘寨组）等不同时代的洋岛海山广泛分布在昌宁—孟连增生杂岩带的西部（刘本培等，1993；朱勤文等，1998；沈上越等，2002）。

4 结论

(1) 俯冲增生杂岩带的物质组成：从环太平洋的日本岛弧东南侧的四万十带→俄罗斯远东的科里亚克山→阿拉斯加湾丘岗芝→加利福尼亚弗朗西斯科岩系，从特提斯构造域的伊朗莫克兰到雅鲁藏布江、班公湖—双湖—怒江带以及南昆仑俯冲增生杂岩带等，共同的岩石构造组合类型：硅质岩（红、灰及绿色）—硅泥质页岩，粉砂岩—浊积砂岩、凝灰岩—泥质板岩，并有灰岩、扇砾岩及枕状玄武岩、绿片岩等各类片岩，浊积岩：弧前陆坡相/海沟内壁浊积扇相（内扇、中扇及外扇）/深海盆地相。

(2) 俯冲消减增生杂岩带内的（构造）单元划分：蛇绿岩、蛇绿混杂岩带只是其中代表原洋壳俯冲消

减的地质单元，还可划分出含洋岛—海山岩块增生杂岩带、含洋内弧残块增生杂岩带、含陆壳变质杂岩块增生带、含蓝片岩、榴辉岩高压超高压变质带，以及洋底沉积增生杂岩带、近海沟内壁陆源浊积岩增生楔、弧前斜坡增生楔等。

(3) 俯冲消减增生杂岩带的变形样式：由于增生杂岩体常以其下方增生楔持续堆叠加宽，且表现为上老下新的“层序”倒置的特色，构造样式为同斜倒转冲断作用的叠瓦构造、增生柱前缘的重力滑动构造以及泥质岩的底辟构造发育，经历俯冲、折返、碰撞和后期构造改造，其构造样式更趋复杂化。增生楔前缘的变形还受控于大洋或弧后洋盆的规模，取决于洋壳的俯冲速度，也取决于陆缘碎屑供给量及洋底沉积厚度和岩性。

(4) 俯冲消减增生杂岩带的宽度和厚度：是洋壳俯冲消亡演化过程，弧缘沉积物和洋底沉积加积的结果，厚度通常达几百至几千米，宽度达几十公里至数百公里，延长上千公里。

(5) 俯冲增生杂岩带增生的主控因素：俯冲增生杂岩带的形成主体与大陆碰撞前大洋（或弧后洋盆）岩石圈俯冲消减密切相关，而蛇绿岩、蛇绿混杂岩带通常是大洋壳或弧后洋壳的俯冲消减的地质记录，受控于弧—弧、弧—陆拼贴及陆—陆碰撞过程。在对接带或结合带中，俯冲增生杂岩带的时空结构组成更宽厚，它包含有蛇绿混杂岩带及洋岛—海山。早期俯冲增生杂岩带或 SSZ 型蛇绿岩和蛇绿混杂岩往往卷入晚期碰撞过程的构造混杂作用。

(6) 俯冲增生杂岩带的成矿条件：增生杂岩带内

发育大量的流体,含有大型、超大型铜、金和多金属矿床,全球有1/3的金矿分布于俯冲—增生杂岩带内,环太平洋成矿带就是俯冲—增生造山型成矿的具体实例。全球最大增生楔之一的阿拉斯加增生杂岩带中赋存有不同规模的金矿床。

致谢:谨以此文纪念敬爱的马杏垣先生诞辰一百周年。衷心感谢马杏垣先生对本文第一、第二作者长期的教导和培养,引领我们进入地球科学殿堂;感谢他教导我们在地球科学研究中要有批判性思维、创造性思维,并以不可逆演化史观去研究大陆地质及全球构造。本文撰写得到了李廷栋、金振民、陆松年、邓晋福、冯益民等专家的指导,在此深表感谢!

References

- Brown, D., Ryan, P. D., 2011. Arc-Continent Collision. Springer, New York.
- Deng, J. F., Feng, Y. F., Di, Y. J., et al., 2015. The Instructions of Intrusion Tectonic Map in China (1 : 2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Deng, J. F., Feng, Y. F., Di, Y. J., et al., 2017. Intrusive Tectonic of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Deng, X. G., Ding, L., Liu, X. H., et al., 2000. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Chronology for Gongnarco Glaucomphane Schist from Central Qiangtang, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 45 (21): 2322—2326 (in Chinese).
- Deng, X. G., Ding, L., Liu, X. H., et al., 2002. Geochemical Characteristics of the Blueschists and Its Tectonic Significance in the Central Qiangtang Area, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 517—525 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Y. M., Zhang, Y., 2018. Introduction and Commentary on Ocean Plate Stratigraphy. *Geological Bulletin of China*, 37 (4): 523—531 (in Chinese with English abstract).
- Gao, J., Qian, Q., Long, L. L., et al., 2009. Accretionary Orogenic Process of Western Tianshan, China. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1804—1816 (in Chinese with English abstract).
- Geng, Q. R., Pan, G. T., Wang, L. Q., et al., 2011. Tethyan Evolution and Metallogenesis Geological Background of the Bangong Co-Nujiang Belt and the Qiangtang Massif in Tibet. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1261—1274 (in Chinese with English abstract).
- Greenly, E., 1919. The Geology of Anglesey. *Memoir of the Geological Survey of the U.K.*, 2: 980.
- Guo, L. Z., Shi, Y. S., Ma, R. S., 1983. On the Formation and Evolution of the Mesozoic-Cenozoic Active Continental Margin and Island Arc Tectonics of the Western Pacific Ocean. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 11—21 (in Chinese with English abstract).
- Hamilton, W. B., 1978. Tectonic Map of the Indonesian Region (1 : 5 000 000). USGS Map I-875-D.
- Hou, Z. Q., Wang, E. Q., 2008. Metallogenesis of the Indo-Asian Collisional Orogen: New Advances. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(3): 275—292 (in Chinese with English abstract).
- Hou, Z. Q., Zhong, D. L., Deng, W. M., et al., 2005. A Tectonic Model for Porphyry Copper-Molybdenum-Gold Deposits in the Eastern Indo-Asian Collision Zone. In: Porter, T. M., ed., Super Porphyry Copper & Gold Deposits—A Global Perspective. PGC Publishing, Adelaide, 423—440.
- Hsü, K. J., 1968. Principles of Mélanges and Their Bearing on the Franciscan-Knoxville Paradox. *Geological Society of America Bulletin*, 79(8): 1063—1074. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1968\)79\[1063:pomab\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1968)79[1063:pomab]2.0.co;2)
- Hsü, K. J., Pan, G. T., Şengör, A. M. C., et al., 1995. Tectonic Evolution of the Tibetan Plateau: A Working Hypothesis Based on the Archipelago Model of Orogenesis. *International Geology Review*, 37: 473—508.
- Hu, P. Y., Li, C., Wu, Y. W., et al., 2014. Opening of the Longmu Co-Shuanghu-Lancangjiang Ocean: Constraints from Plagiogranites. *Chinese Science Bulletin*, 59(20): 1992—2003 (in Chinese).
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. Evolution of the Tethys Sea from China and Its Adjacent Areas. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Huang, J. Q., Chen, G. M., Chen, B. W., 1984. Preliminary Analysis of the Tethy-Himalayan Tectonic Domain. *Acta Geologica Sinica*, 58(1): 1—17 (in Chinese with English abstract).
- Isozaki, Y., Maruyama, S., Furuoka, F., 1990. Accreted Oceanic Materials in Japan. *Tectonophysics*, 181(1—4): 179—205. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90016-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90016-2)
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2010. Evolution of a Permian Intraoceanic Arc-Trench System in the Solonker Suture Zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia. *Lithos*, 118(1—2): 169—190. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.04.014>
- Jiang, Q. Y., Li, C., Su, L., et al., 2015. Carboniferous Arc Magmatism in the Qiangtang Area, Northern Tibet: Zircon U-Pb Ages, Geochemical and Lu-Hf Isotopic Characteristics, and Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 100: 132—144. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2015.01.012>
- Jiang, Q. Y., Li, C., Xie, C. M., et al., 2014. Geochemistry and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of Volcanic Rocks of

- Wangguoshan Formation in the Gangmar Co Area of Qiangtang, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 33(11):1702–1714 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. M., Green II, H. W., Borch, R. S., et al., 1993. Mantle Xenolith and Mark of Geothermal from Back-Arc in Eastern China. *Science in China (Series B: Chemistry)*, 23(4):410–416 (in Chinese).
- Kapp, P., Yin, A., Manning, C. E., et al., 2000. Blueschist-Bearing Metamorphic Core Complexes in the Qiangtang Block Reveal Deep Crustal Structure of Northern Tibet. *Geology*, 28(1):19–22. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)028<0019:bbmcci>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)028<0019:bbmcci>2.3.co;2)
- Kapp, P., Yin, A., Manning, C. E., et al., 2003. Tectonic Evolution of the Early Mesozoic Blueschist-Bearing Qiangtang Metamorphic Belt, Central Tibet. *Tectonics*, 22(4):1043. <https://doi.org/10.1029/2002tc001383>
- Karig, D. E., 1983. Temporal Relationships between Back-Arc Basin Formation and Arc Volcanism with Special Reference to the Philippines Sea. *Geophysical Monograph Series*, 27:318–325.
- Kroner, A., 2015. The Central Asian Orogenic Belt. Bornttaeger Science Publishers, Stuttgart.
- Kusky, T. M., Windley, B. F., Safonova, I., et al., 2013. Recognition of Ocean Plate Stratigraphy in Accretionary Orogenes through Earth History: A Record of 3.8 Billion Years of Sea Floor Spreading, Subduction, and Accretion. *Gondwana Research*, 24(2):501–547. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.01.004>
- Li, C., 1987. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang Plate Suture and the North Boundary of Distribution of Gondwana Facies Permo-Carboniferous System in Northern Xizang, China. *Journal of Changchun College of Geology*, 17(2):155–166 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Cheng, L. R., Zhang, Y. C., et al., 2004. Discovery of Ordovician-Devonian Strata in the South of the Qiangtang Area, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 23(5–6):602–604 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Dong, Y. S., Zhai, Q. G., et al., 2008. Discovery of Eoproterozoic Ophiolite in the Qiangtang of Tibet Plateau: Evidence from SHRIMP U-Pb Dating and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 24(1):31–36 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Huang, X. P., Zhai, Q. G., et al., 2006. The Longmu Co-Shuanghu-Jitang Plate Suture and the Northern Boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet Plateau. *Earth Science Frontiers*, 13(4):136–147 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Xie, Y. W., Dong, Y. S., et al., 2009. Discussion on the Age of Jitang Group around Leiwuqi Area, Eastern Tibet, China and Primary Understanding. *Geological Bulletin of China*, 28(9):1178–1180 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. Y., Wang, Q., Liu, X. Y., et al., 1982. The Instructions of Asian Tectonic Map in China (1:800 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, C. Y., Wang, Q., Liu, X. Y., et al., 1984. Tectonic Evolution of Asia. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 10(3):11 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. L., 1992. Collision Orogenic Belt Geotectonic Facies. Modern Geology (Part I). Nanjing University Press, Nanjing (in Chinese).
- Li, J. Y., Zhang, J., Wang, F. G., et al., 2015. The Instructions of Deformation Tectonic Map in China (1:2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, J. Y., Zhang, J., Zhao, X. X., et al., 2016. Mantle Subduction and Uplift of Intracontinental Mountains: A Case Study from the Chinese Tianshan Mountains within Eurasia. *Scientific Reports*, 6:28831.
- Li, S. Z., Suo, Y. H., Guo, L. L., et al., 2017. Principles of Submarine Tectonics. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Li, S. Z., Yang, Z., Zhao, S. J., et al., 2016. Global Early Paleozoic Orogenes (I): Collision-Type Orogeny. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(4):945–967 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. P., Feng, Q. L., Fang, N. Q., et al., 1993. Tectonic Evolution of Palaeo-Tethys Poly-Island-Ocean in Changning-Menglian and Langcangjiang Belts, Southwestern Yunnan, China. *Earth Science*, 18(5):529–539, 671 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. Q., Pan, G. T., Zheng, H. X., 1983. A Preliminary Study on the North Boundary and the Evolution of Gondwana and Tethys in Light of the New Data on Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. In: Geological Anthology of Qinghai-Tibet Plateau (12): “Three Rivers” Tectonic Geology. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Lu, S. N., Hao, G. J., Wang, H. C., et al., 2015. The Instructions of Metamorphite Tectonic Map in China (1:2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Lu, S. N., Hao, G. J., Wang, H. C., et al., 2017. Metamorphite Tectonic of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- McCall, G. J. H., Kidd, R. G. W., 1982. The Makran, Southeastern Iran: The Anatomy of a Convergent Plate Margin Active from Cretaceous to Present. *Geological Society, London, Special Publications*, 10 (1): 387–397. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1982.010.01.26>

- Mo, X. X., 2011. Magmatism and Evolution of the Tibetan Plateau. *Geological Journal of China Universities*, 17(3):351—367 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X.X., Pan, G.T., 2006. From the Tethys to the Formation of the Qinghai-Tibet Plateau: Constrained by Tectono-Magmatic Events. *Earth Science Frontiers*, 13(6):43—51 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X.X., Zhao, Z.D., Deng, J.F., et al., 2003. Response of Volcanism to the India-Asia Collision. *Earth Science Frontiers*, 10(3):135—148 (in Chinese with English abstract).
- Myhill, R., 2011. Constraints on the Evolution of the Mesohellenic Ophiolite from Subophiolitic Metamorphic Rocks. *The Geological Society of America, Special Paper*, 480:75—94.
- Ogawa, Y., 1985. Variety of Subduction and Accretion Processes in Cretaceous to Recent Plate Boundaries around Southwest and Central Japan. *Tectonophysics*, 112(1—4):493—518. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(85\)90192-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(85)90192-1)
- Ogawa, Y., Taniguchi, H., 1987. Ophiolitic Mélange in Forearc Area and Formation of the Mineoka Belt: Kyushu University, Japan. *Science Reports, Geology*, 15:1—23.
- Pan, G.T., Chen, Z.L., Li, X.L., et al., 1997. Tectonic Formation Evolution of East Tethys Geology. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G.T., Lu, S.N., Xiao, Q.H., et al., 2016. Division of Tectonic Stages and Tectonic Evolution in China. *Earth Science Frontiers*, 23(6):1—23 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Li, R.S., et al., 2012. Tectonic Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53:3—14. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2011.12.018>
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Zhang, W.P., et al., 2013. The Instructions of Tectonic Map in Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas (1:1 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Zhu, D.C., 2004. Thoughts on Some Important Scientific Problems in Regional Geological Survey of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 23(1):12—19 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Xian, Q.H., Yin, F.G., et al., 2015. The Instructions of Tectonic Map in China (1:2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G.T., Xiao, Q.H., Lu, S.N., et al., 2008. Definition, Classification, Characteristics and Diagnostic Indications of Tectonic Facies. *Geological Bulletin of China*, 27(10):1613—1637 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Zheng, H.X., Xu, Y.R., et al., 1983. A Preliminary Study of Bangongco-Nujiang Suture. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Peng, X.J., Hu, C.C., 1993. Tectonic Evolution of the Sanjiang Belt in Eastern Tibet. *Regional Geology of China*, (2):140—148 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J.S., Xiao, L.W., 2004. Lifting the Mysterious Veil of the Tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250 000 Geological Mapping. *Geological Bulletin of China*, 23(1):1—11 (in Chinese with English abstract).
- Revan, M.K., Genç, Y., Maslennikov, V.V., et al., 2014. Mineralogy and Trace-Element Geochemistry of Sulfide Minerals in Hydrothermal Chimneys from the Upper-Cretaceous VMS Deposits of the Eastern Pontide Orogenic Belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 63:129—149. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.006>
- Reymond, M.C., 1975. Mechanism of Brittle Fracture of Rock during Uniaxial Compression in Laboratory and in a Quarry by an Acoustic Emission Technique. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 12(7):89. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(75\)90377-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(75)90377-0)
- Robertson, A.H.F., 1994. Role of the Tectonic Facies Concept in Orogenic Analysis and Its Application to Tethys in the Eastern Mediterranean Region. *Earth-Science Reviews*, 37(3—4):139—213. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90028-0)
- Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., et al., 2014. Oceanic Island Basalts in Accretionary Complexes of SW Japan: Tectonic and Petrogenetic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113(SI):508—523. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jseae.2014.09.015>
- Saleeby, J. B., 2011. Geochemical Mapping of the Kings-Kaweah Ophiolite Belt, California—Evidence for Progressive Mélange Formation in a Large Offset Transform-Subduction Initiation Environment. *The Geological Society of America*, 480:31—73.
- Shen, S.Y., Feng, Q.L., Liu, B.P., et al., 2002. Study on Ocean Ridge, Ocean Island Volcanic Rocks of Changning-Menglian Belt. *Geological Science and Technology Information*, 21(3):13—17 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe, R.H., 2013. Metallogenesis and Regulatory Inequalities around the Northern Pacific Rim: Implications for Discovery. *Society of Economic Geologists, Inc., Special Publication*, 17:1—16.
- Silver, E.A., Beutner, E.C., 1980. Mélanges. *Geology*, 8:32—34.
- Simandjuntak, T. O., Barber, A. J., 1996. Contrasting Tectonic Styles in the Neogene Orogenic Belts of Indonesia. *Geolog-*

- ical Society, London, Special Publications*, 106(1):185—201. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1996.106.01.12>
- Sun, X. M., Shi, G. Y., Xiong, D. X., et al., 2007. Platinum Group Elements Geochemistry and Re-Os Isotopic Compositions of Daping Gold Deposit in Ailaoshan Gold Belt, Yunnan Province, China and Their Metallogenetic Implications. *Acta Geologica Sinica*, 81(3):394—404 (in Chinese with English abstract).
- von Huene, R., Scholl, D. W., 1991. Observations at Convergent Margins Concerning Sediment Subduction, Subduction Erosion, and the Growth of Continental Crust. *Reviews of Geophysics*, 29(3):279. <https://doi.org/10.1029/91rg00969>
- Wakabayashi, J., Dilek, Y., 2011. Mélanges: Processes of Formation and Societal Significance. *The Geological Society of America, Special Paper*, 480(4):279.
- Wakita, K., 2012. Mappable Features of Mélanges Derived from Ocean Plate Stratigraphy in the Jurassic Accretionary Complexes of Mino and Chichibu Terranes in Southwest Japan. *Tectonophysics*, 568—569:74—85.
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Pan, G. T., et al., 2013. U-Pb Zircon Dating of Early Paleozoic Gabbro from the Nantinghe Ophiolite in the Changning-Menglian Suture Zone and Its Geological Implication. *Chinese Science Bulletin*, 58(4):344—354 (in Chinese).
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Xu, J. F., et al., 2015. The Discovery of High-Pressure Granulite at Shelama in Dongco Area along the Bangongco-Nuijiang River Suture Zone and Its Tectonic Significance. *Geological Bulletin of China*, 34(9):1605—1616 (in Chinese with English abstract).
- Wang, H. Z., 1985. *Atlas of the Palaeogeography of China*. SinoMaps Press, Beijing (in Chinese).
- Wang, H. Z., Yang, S. N., Liu, B. P., et al., 1990. *Tectono-Palaeogeography and Palaeobiogeography of China and Adjacent Regions*. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Li, C., et al., 2008. SHRIMP U-Pb Zircon Dating of Eopaleozoic Cumulate in Guoganjianian Mt. from Central Qiangtang Area of Northern Tibet—Considering the Evolvement of Proto- and Paleo-Tethys. *Geological Bulletin of China*, 27(12):2045—2056 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Li, D. M., et al., 1999. The Spatio-Temporal Framework and Geological Evolution of the Jinshajiang Arc-Basin Systems. *Acta Geologica Sinica*, 73(3):206—218 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. D., Zhang, K. X., Song, B. W., et al., 2018. Geochronology and Geochemistry of the Niujuanzhi Ophiolitic Mélange, Gansu Province, NW China: Implications for Tectonic Evolution of the Beishan Orogenic College. *International Journal of Earth Sciences*, 107(1):269—289.
- Wang, Y., Jin, Z. M., Shi, F., 2013. Characteristics of Hydroxyl in Lherzolite from Different Geological Setting. *Earth Science*, 38(3):489—500 (in Chinese with English abstract).
- Windley, B. F., 1984. *The Evolution Continents*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester.
- Wu, G. Y., 2006. Bitu Ophiolite in the Zogang Area, Eastern Tibet: Geological Records of Paleo-Tethyan Major Oceanic Basin. *Geological Bulletin of China*, 25(6):685—693 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. Q., Feng, Y. M., Song, S. G., 1993. Metamorphic and Deformation of Blueschist Belts and Their Tectonic Implications, North Qilian Mountains, China. *Journal of Metamorphic Geology*, 11(4):523—536.
- Wu, Y. W., Li, C., Xie, C. M., et al., 2013. Petrology, Geochemistry and Tectonic Significance of the Metamorphic Peridotites from Longmuco-Shuanghu Ophiolitic Mélange Belt, Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 87(2):426—439.
- Xing, G. F., Feng, Y. M., Jin, G. D., et al., 2015. *The Instructions of Volcanic Tectonic Map in China (1:2 500 000)*. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xing, G. F., Feng, Y. M., Yu, M. G., et al., 2017. *The Volcanic Tectonic of China*. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, J. H., Sun, S., Wang, Q. C., et al., 1998. *Tectonic Facies of China (1:4 000 000)*. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Yakubchuk, A., Degtyarev, K., Maslennikov, V., et al., 2012. Tectonomagmatic Settings, Architecture, and Metallogeny of the Central Asian Copper Province. In: Hedenquist, J. W., ed., *Geology and Genesis of the Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe*. *Society of Economic Geologists*, 16:403—432.
- Yin, H. F., Zhang, K. X., Wang, G. C., et al., 1998. Method of Non-Wilson and Non-Smith Strata—Theory and Method of Orogenic Belt. *Regional Geology of China*, (Suppl.):1—9 (in Chinese).
- Zhai, M. G., 2013. The Main Old Lands in China and Assembly of Chinese Unified Continent. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 43(10):1583—1606 (in Chinese).
- Zhai, Q. G., Jahn, B. M., Zhang, R. Y., et al., 2011. Triassic Subduction of the Paleo-Tethys in Northern Tibet, China: Evidence from the Geochemical and Isotopic Characteristics of Eclogites and Blueschists of the Qiangtang Block. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6):1356—1370.
- Zhai, Q. G., Li, C., 2007. Zircon SHRIMP Dating of Volcanic Rock from the Nadigangri Formation in Juhuashan,

- Qiangtang, Northern Tibet and Its Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 81(6): 795—800 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Q.G., Li, C., Cheng, L.R., et al., 2004. Geological Features of Permian Ophiolite in the Jiaomuri Area, Qiangtang, Tibet, and Its Tectonic Significance. *Geological Bulletin of China*, 23(12): 1228—1230 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Q.G., Li, C., Wang, J., et al., 2009. Petrology, Mineralogy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Chronology for Rongma Blueschist from Central Qiangtang, Northern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2281—2288 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Q.G., Wang, J., Li, C., et al., 2010. SHRIMP U-Pb Dating and Hf Isotopic Analyses of Middle Ordovician Meta-Cumulate Gabbro in Central Qiangtang, Northern Tibetan Plateau. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 40(5): 565—573 (in Chinese).
- Zhang, G.W., Zhang, B.R., Yuan, X.C., et al., 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, J., Deng, J.F., Xiao, Q.H., et al., 2012. New Advances in the Study of Ophiolites. *Geological Bulletin of China*, 31(1): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K.X., He, W.H., Luo, M.S., et al., 2017. Evolution of Sedimentary Formation and Tectonics in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, K.X., He, W.H., Xu, Y.D., et al., 2014. Subdivision and Identification of Sedimentary Tectonic Facies. *Earth Science*, 39(8): 915—928 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.086>
- Zhang, K.X., He, W.H., Xu, Y.D., et al., 2015. The Instructions of Sedimentary Tectonic Map in China (1: 2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, K.X., He, W.H., Xu, Y.D., et al., 2016. Palaeogeographic Distribution and Tectonic Evolution of OPS in China. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 24—30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K.X., Lin, Q.X., Zhu, Y.H., et al., 2004. New Paleotectonic Evidence on Time Determination of the East Part of the Eastern Kunlun Melange and Its Tectonic Significance. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 47(10): 865—873.
- Zhang, K.X., Xu, Y.D., He, W.H., et al., 2018. Oceanic and Continental Blocks Distribution during Neoproterozoic Early Qingbaikouan Period (1 000—820 Ma) in China. *Earth Science*, 43(11): 3837—3852 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K.X., Yin, H.F., Zhu, Y.H., et al., 2001. Geological Survey Theory, Method and Practice of Mélange Zone in Orogenic Belt. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhang, Q., Li, D.Z., Zhang, K.W., 1985. Preliminary Study on Tongchangjie Ophiolite Melange from Yun County, Yunnan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 1(3): 1—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W.B., Ye, J.H., 2017. Geological Characteristics, Ore-Forming Processes and Prospecting Potential of Cu-Au Deposits in the Circum-Pacific Metallogenic Domain. *Geological Bulletin of China*, 36(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W.P., Wang, L.Q., Qiangba, Z.X., et al., 2010. Discovery and P-T Path of High-Pressure Granulite in Tongka Area of Tibet and Its Tectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6): 1915—1924 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G.C., Wang, Y.J., Huang, B.C., et al., 2018. Geological Reconstructions of the East Asian Blocks: From the Breakup of Rodinia to the Assembly of Pangea. *Earth-Science Reviews*, 186: 262—286. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.003>
- Zhu, Q.W., Zhang, S.Q., Tan, J., 1998. Geochemical Evidence of Volcanic Rocks for Determining the South Lancangjiang Suture Zone. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(4): 296—307 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 等, 2015. 中国侵入岩大地构造图说明书(1:2 500 000). 北京: 地质出版社.
- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 等, 2017. 中国侵入岩大地构造. 北京: 地质出版社.
- 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等, 2000. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学. *科学通报*, 45(21): 2322—2326.
- 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等, 2002. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义. *岩石学报*, 18(4): 517—525.
- 冯益民, 张越, 2018. 大洋板块地层(OPS)简介及评述. *地质通报*, 37(4): 523—531.
- 高俊, 钱青, 龙灵利, 2009. 西天山的增生造山过程. *地质通报*, 28(12): 1804—1816.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等, 2011. 班公湖—怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景. *地质通报*, 30(8): 1261—1274.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士, 1983. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化. *地质学报*, 57(1):

- 11—21.
- 侯增谦,王二七,2008.印度—亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展.地球学报,29(3): 275—292.
- 胡培远,李才,吴彦旺,等,2014.龙木错—双湖—澜沧江洋的打开时限:来自斜长花岗岩的制约.科学通报,59(20): 1992—2003.
- 黄汲清,陈炳蔚,1987.中国及邻区特提斯海的演化.北京:地质出版社,71—74.
- 黄汲清,陈国铭,陈炳蔚,1984.特提斯—喜马拉雅构造域初步分析.地质学报,58(1): 1—17.
- 江庆源,李才,解超明,等,2014.藏北羌塘冈玛错地区望果山组火山岩地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄.地质通报,33(11): 1702—1714.
- 金振民,Green, H.W.,Borch, R.S.,等,1993.幔源包体和中国东部现代弧后地热标志.中国科学(B辑:化学),23(4): 410—416.
- 李才,1987.龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界.长春地质学院学报,17(2): 155—166.
- 李才,程立人,张以春,等,2004.西藏羌塘南部发现奥陶纪—泥盆纪地层.地质通报,23(5—6): 602—604.
- 李才,董永胜,翟庆国,等,2008.青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩—堆晶辉长岩 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义.岩石学报,24(1): 31—36.
- 李才,黄小鹏,翟庆国,等,2006.龙木错—双湖—吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界.地学前缘,13(4): 136—147.
- 李才,谢尧武,董永胜,等,2009.藏东类乌齐一带吉塘岩群时代讨论及初步认识.地质通报,28(9): 1178—1180.
- 李春昱,王荃,刘雪亚,等,1982.亚洲大地构造图(1:800 万)及说明书.北京:地质出版社.
- 李春昱,王荃,刘雪亚,等,1984.亚洲大地构造的演化.中国地质科学院院报,10: 3—11.
- 李继亮,1992.碰撞造山带大地构造相.现代地质学文集(上).南京:南京大学出版社.
- 李锦轶,张进,王方国,等,2015.中国大型变形构造图说明书(1:2 500 000).北京:地质出版社.
- 李三忠,索艳慧,郭玲莉,2017.海底构造原理.北京:科学出版社.
- 李三忠,杨朝,赵淑娟,等,2016.全球早古生代造山带(I):碰撞型造山.吉林大学学报(地球科学版),46(4): 945—967.
- 刘本培,冯庆来,方念乔,等,1993.滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化.地球科学,18(5): 529—539, 671.
- 刘增乾,潘桂棠,郑海翔,1983.从地质新资料试论冈瓦纳边界及青藏高原地区特提斯的演变.见:青藏高原地质文集(12):“三江”构造地质.北京:地质出版社.
- 陆松年,郝国杰,王惠初,等,2015.中国变质岩大地构造图说
明书(1:2 500 000).北京:地质出版社.
- 陆松年,郝国杰,王惠初,等,2017.中国变质岩大地构造.北京:地质出版社.
- 莫宣学,2011.岩浆作用与青藏高原演化.高校地质学报,17(3): 351—367.
- 莫宣学,潘桂棠,2006.从特提斯到青藏高原形成:构造—岩浆事件的约束.地学前缘,13(6): 43—51.
- 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等,2003.印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应.地学前缘,10(3): 135—148.
- 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等,1997.东特提斯地质构造形成演化.北京:地质出版社.
- 潘桂棠,陆松年,肖庆辉,等,2016.中国大地构造阶段划分和演化.地学前缘,23(6): 1—23.
- 潘桂棠,王立全,张万平,等,2013.青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:1 500 000).北京:地质出版社.
- 潘桂棠,王立全,朱弟成,2004.青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考.地质通报,23(1): 12—19.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等,2008.大地构造相的定义、划分、特征及其鉴别标志.地质通报,27(10): 1613—1637.
- 潘桂棠,肖庆辉,尹福光,等,2015.中国大地构造图说明书(1:2 500 000).北京:地质出版社.
- 潘桂棠,郑海祥,徐耀荣,等,1983.初论班公湖—怒江结合带.北京:地质出版社.
- 彭兴阶,胡长寿,1993.藏东三江带的古构造演化.中国区域地质,(2): 140—147.
- 任纪舜,肖黎薇,2004.1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱.地质通报,23(1): 1—11.
- 沈上越,冯庆来,刘本培,等,2002.昌宁—孟连带洋脊、洋岛型火山岩研究.地质科技情报,21(3): 13—17.
- 孙晓明,石贵勇,熊德信,等,2007.云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE)和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义.地质学报,81(3): 394—404.
- 王保弟,王立全,潘桂棠,等,2013.昌宁—孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义.科学通报,58(4): 344—354.
- 王保弟,王立全,许继峰,等,2015.班公湖—怒江结合带洞错地区舍拉玛高压麻粒岩的发现及其地质意义.地质通报,34(9): 1605—1616.
- 王鸿祯,1985.中国古地理图集.北京:地图出版社.
- 王鸿祯,杨森楠,刘本培,等,1990.中国及邻区构造古地理与生物古地理.武汉:中国地质大学出版社.
- 王立全,潘桂棠,李才,等,2008.藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原—古特提斯洋的演化.地质通报,27(12): 2045—2056.
- 王立全,潘桂棠,李定谋,等,1999.金沙江弧—盆系时空结构及地史演化.地质学报,73(3): 206—218.
- 汪洋,金振民,史峰,2013.不同大地构造背景橄榄岩结构水

- 特征.地球科学,38(3):489—500.
- 吴根耀,2006.藏东左贡地区碧土蛇绿岩:古特提斯主洋盆的地质记录.地质通报,25(6):685—693.
- 邢光福,冯益民,靳国栋,等,2015.中国火山岩大地构造图说明书(1:2 500 000).北京:地质出版社.
- 邢光福,冯益民,余明刚,等,2017.中国火山岩大地构造.北京:地质出版社.
- 许靖华,孙枢,王清晨,等,1998.中国大地构造相图(1:4 000 000).北京:科学出版社.
- 殷鸿福,张克信,王国灿,等,1998.非威尔逊旋回与非史密斯方法——中国造山带研究理论与方法.中国区域地质,(增刊):1—9.
- 翟明国,2013.中国主要古陆与联合大陆的形成——综述与展望.中国科学(D辑:地球科学),43(10):1583—1606.
- 翟庆国,李才,2007.藏北羌塘菊花山那底岗日组火山岩锆石SHRIMP定年及其意义.地质学报,81(6):795—800.
- 翟庆国,李才,程立人,等,2004.西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩的地质特征及意义.地质通报,23(12):1228—1230.
- 翟庆国,李才,王军,等,2009.藏北羌塘中部绒玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学.岩石学报,25(9):2281—2288.
- 翟庆国,王军,李才,等,2010.青藏高原羌塘中部中奥陶世变质堆晶辉长岩锆石SHRIMP年代学及Hf同位素特征.中国科学(D辑:地球科学),40(5):565—573.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,等,2001.秦岭造山带与大陆动力学.北京:科学出版社.
- 张进,邓晋福,肖庆辉,等,2012.蛇绿岩研究的最新进展.地质通报,31(1):1—12.
- 张克信,何卫红,骆满生,等,2017.中国沉积岩建造与沉积大地构造演化.北京:地质出版社.
- 张克信,何卫红,徐亚东,等,2014.沉积大地构造相划分与鉴别.地球科学,39(8):915—928.
- 张克信,何卫红,徐亚东,等,2015.中国沉积大地构造图说明书(1:2 500 000).北京:地质出版社.
- 张克信,何卫红,徐亚东,等,2016.中国洋板块地层分布及构造演化.地学前缘,23(6):24—30.
- 张克信,徐亚东,何卫红,等,2018.中国新元古代青白口纪早期(1 000~820 Ma)洋陆分布.地球科学,43(11):3837—3852.
- 张克信,殷鸿福,朱云海,等,2001.造山带混杂岩区地质填图理论、方法与实践——以东昆仑造山带为例.武汉:中国地质大学出版社.
- 张旗,李达周,张魁武,1985.云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究.岩石学报,1(3):1—14.
- 张伟波,叶锦华,2017.环太平洋成矿域主要铜—金矿床地质特征、成矿作用及找矿潜力.地质通报,36(1):1—15.
- 张万平,王立全,强巴扎西,等,2010.西藏同卡地区高压麻粒岩的发现、PT轨迹及其大地构造意义.岩石学报,26(6):1915—1924.
- 朱勤文,张双全,谭劲,1998.确定南澜沧江缝合带的火山岩地球化学证据.岩石矿物学杂志,17(4):296—307.