

https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.970



# 关于发展洋板块地质学的思考

李廷栋<sup>1,5</sup>, 肖庆辉<sup>2</sup>, 潘桂棠<sup>3</sup>, 陆松年<sup>4</sup>, 丁孝忠<sup>1\*</sup>, 刘勇<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037
2. 自然资源部信息中心, 北京 100830
3. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081
4. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170
5. 河北地质大学, 河北石家庄 050031

**摘要:** 为揭示造山带物质组成和结构构造, 发展洋板块地质学, 阐明大陆形成演化过程和动力来源, 应用板块构造理论和地质学方法, 对造山带俯冲增生杂岩带、蛇绿岩带等大洋岩石圈板块地质建造、结构构造进行系统研究, 寻找俯冲带岛弧前弧火成岩组合; 研究洋板块初始俯冲过程中, 从前弧玄武岩到玻安岩、高镁安山岩, 再到弧拉斑玄武岩和钙碱性熔岩的岩浆作用阶段递进演变历史, 以揭示洋盆向大陆转化的原始弧性质和前弧火成岩组合及洋陆转换过程, 为建立和发展洋板块地质学奠定科学基础。

**关键词:** 洋板块地质学; 俯冲增生杂岩带; 洋内弧; 洋陆转换; 构造地质。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2019)05-1441-11

收稿日期: 2019-01-06

## A Consideration about the Development of Ocean Plate Geology

Li Tingdong<sup>1,5</sup>, Xiao Qinghui<sup>2</sup>, Pan Guitang<sup>3</sup>, Lu Songnian<sup>4</sup>, Ding Xiaozhong<sup>1\*</sup>, Liu Yong<sup>1</sup>

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
2. Information Center of Ministry of Natural Resources of People's Republic of China, Beijing 100830, China
3. Chengdu Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China
4. Tianjin Geological Survey Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China
5. Hebei University of Geosciences, Shijiazhuang 050031, China

**Abstract:** In order to reveal the material composition and the structure of the orogenic belt, we propose the ocean plate geology, which is used to explain the process of continental formation and evolution and the source of dynamics. Based on the theory of plate tectonics and geological research methods, the subduction-accretionary complex, the ophiolite belt, and other oceanic lithospheric plate geological formations and structure construction in the orogenic belt are systematically studied in order to find the igneous rock association of the front arc in the subduction zone. In the initial subduction process of the ocean plate, the magmatism from the forearc basalts (FAB) to the boninite, high-Mg andesite (HMA), to the arc tholeiite and calc-alkaline lava and its different stage evolution, are studied in order to identify the characteristics of the original arc and front arc igneous rock association, which reveals the ocean-continent transition in the evolution process from ocean basin to the continent, laying a scientific foundation for the establishment and development of ocean plate geology.

**Key words:** ocean plate geology; subduction-accretionary complex; intra-oceanic arc; ocean-continent transition; tectonics.

基金项目: 中国地质调查局项目(No. DD2016-0345).

作者简介: 李廷栋(1930-), 男, 研究员, 中国科学院院士, 从事区域地质研究及地质编图. E-mail: litdong@163.com

\* 通讯作者: 丁孝忠, E-mail: xiaozhongding@sina.com

引用格式: 李廷栋, 肖庆辉, 潘桂棠, 等, 2019. 关于发展洋板块地质学的思考. 地球科学, 44(5): 1441-1451.

近年来,在编纂中国区域地质志过程中,为解决一些疑难地质问题,提高志书质量,我们对新疆、青海、甘肃、内蒙古、黑龙江、湖北、浙江等省(区)蛇绿混杂岩和俯冲增生杂岩进行了专题研究和科学考察,识别出一些典型的蛇绿混杂岩(图 1)和洋板块地层系统,并从区域地质的视角对蛇绿岩类型和洋陆转换过程进行了综合研究,获得一些有益的启示:洋板块形成、发展和消亡的遗迹存留于造山系之中.为了揭示和阐明造山系的结构构造及其演化过程,必须开展造山系洋板块地层系统及有关问题的研究.

20 世纪 60 年代,在大量海底地质调查研究成果基础上,诞生了板块构造学说,推动了地质科学向全球化方向发展.我国老一辈地质学家也开始重视海洋地质的调查研究.李四光(2016)在《天文·地质·古生物》一书中,论述了太平洋、大西洋与印度洋洋底构造的主要特点和阿拉斯加海湾海底火山锥和平顶火山.黄汲清和陈炳蔚(1987)在《中国及邻区特提斯海的演化》一书中,讨论了特提斯洋的演化,并引用哈奇森(Hutchison and Goldman, 1975)在东南亚划分的 9 条蛇绿岩带,论证了冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞的时代和部位.张文佑(1986)总结了西北太平洋和东北印度洋的大洋地壳和二者边缘海过渡型地壳特点及其演化,提出“拉张成海、挤压造陆”的洋陆转换模式.

近年来,中外地质学家都十分关注蛇绿岩和洋板块地层(OPS)的研究,发表了一系列论著(王希斌等,1987;肖序常和李廷栋,2000; Wakita and Metcalfe, 2005; Maruyama *et al.*, 2010; Dilek and Furnes, 2011; 张进等,2012; Safonova and Santosh, 2014; 鲍佩声等,2015; Safonova *et al.*, 2016; 张克信等,2016; 闫臻等,2018),总结论述了各个地区蛇绿岩和洋板块地层类型、岩石组合、地球化学特征及其形成的构造背景,对深化造山系的认识和发展板块构造理论作出了贡献.但同大陆板块一样,大洋板块同样发育有沉积岩、岩浆岩、变质岩等建造组合和各种构造形迹,不仅仅是地层系统.因此,在地质志编纂过程中,我们提出:通过相关资料的综合集成,把洋板块地层系统发展成为洋板块地质学的研究,以期达到地质科学理论创新的宏愿.

## 1 为什么要研究洋板块地质

大洋是一个复杂的地质地理系统,现代的太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋等大洋洋底地形、地貌、

地质条件都异常复杂,有高山(海山),也有深谷(深海沟、裂谷);有洋中脊海岭,也有裂离地块;有平原(深海平原),也有盆地(弧前盆地、弧间盆地、弧后盆地);有火山岛弧,也有洋内弧(图 2).古大洋具有同样的地质地理系统.

地质事业的发展呼唤着地质科学的创新.在编纂中国区域地质志过程中,我们要求运用板块构造理论的新思维和大陆动力学的新理念,总结中国地质发展演化规律,概括出新认识、新概念和新理论,为创立和发展洋板块地质学奠定科学基础.研究和开展洋板块地质学具有重要的理论和实际意义.

### 1.1 研究洋板块地质有助于深化造山系的认识

中国大陆广泛分布有不同地质时代、不同类型、不同规模的造山系,构成中国地质的一大特色(潘桂棠和肖庆辉,2016).除板内型造山带以外,各种类型的造山系都记录了洋板块形成、发展和消亡的历史,它们不仅发育了复杂的洋板块地层系统,而且蕴藏着洋板块特殊的沉积建造、岩浆岩组合、变质作用、构造形迹、成矿作用和地球物理场、地球化学场特征等丰富的地质信息,记录了洋板块从洋中脊形成到海沟俯冲消亡洋陆转换的全过程和大陆增生的轨迹.

造山系物质组成和结构构造异常复杂,特别是经历多次构造运动影响,使得许多岩石建造组合和构造形迹遭受了不同程度的变质、变形、变位,更增加了研究的难度.因此,只有加强洋板块地层系统在内的洋板块地质的精细研究,才能正确识别造山系岩石建造组合及其构造背景,才能破解造山系若干地质难题,提出一些创新性成果.

### 1.2 研究洋板块地质有助于阐明大陆形成演化的动力来源

大洋岩石圈如何演化形成大陆岩石圈? 大洋板块如何演化形成大陆板块? 是当代板块构造和大陆动力学重大前沿性科学问题之一.研究表明,洋内俯冲带是洋盆演化形成大陆的起源地,洋内俯冲作用形成的洋内弧是洋盆演化形成大陆的雏形,洋陆转换作用是大洋板块演变形成大陆的主要过程.

中国大陆是由多个陆块和造山系拼贴而形成的大陆.驱动中国大陆形成演化的动力,主要来源于大洋洋底扩张,当然也来自大陆深部壳幔相互作用和软流圈物质的上涌.也就是说,中国大陆的形成与古亚洲洋、古太平洋、特提斯洋的形成、演化、消亡和洋陆转换密切相关.现代中国大陆地质构造格架是由于西伯利亚板块、太平洋板块与印度—澳大利亚板块向中国大陆相向挤压汇聚而形成的,驱动三大板

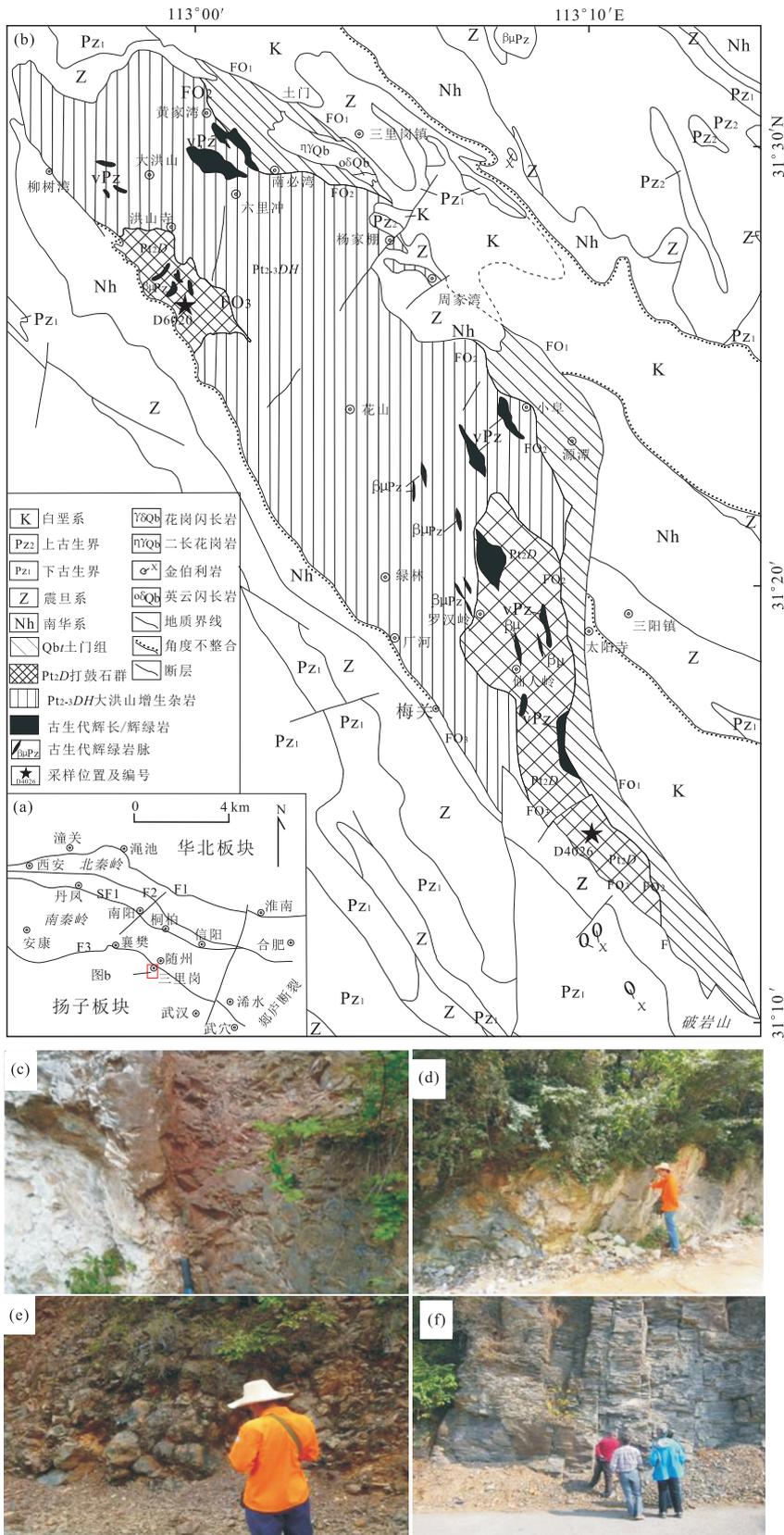


图 1 湖北大洪山地质图及其洋板块岩石组合

Fig.1 Geological map and oceanic plate rock assemblage of Dahongshan in Hubei Province

图 a, b 据孔令耀等(2017);图 c~f 据胡正祥等(2015); a, b. 湖北省大洪山晋宁期造山带地质图; c. 海山:大理岩-玄武岩组合; d. 洋岛辉长岩组合; e. 枕状玄武岩; f. 深海硅质岩. 图 a 中: F1. 武山-宝鸡断裂; F2. 洛南-栾川-方城断裂; F3. 勉略-青峰-襄广断裂; SF1. 商丹断裂; 图 b 中: FO<sub>1</sub>. 三里岗-三阳断裂; FO<sub>2</sub>. 黄家湾-小阜-太阳寺断裂; FO<sub>3</sub>. 柳树湾-梅关-破岩山断裂

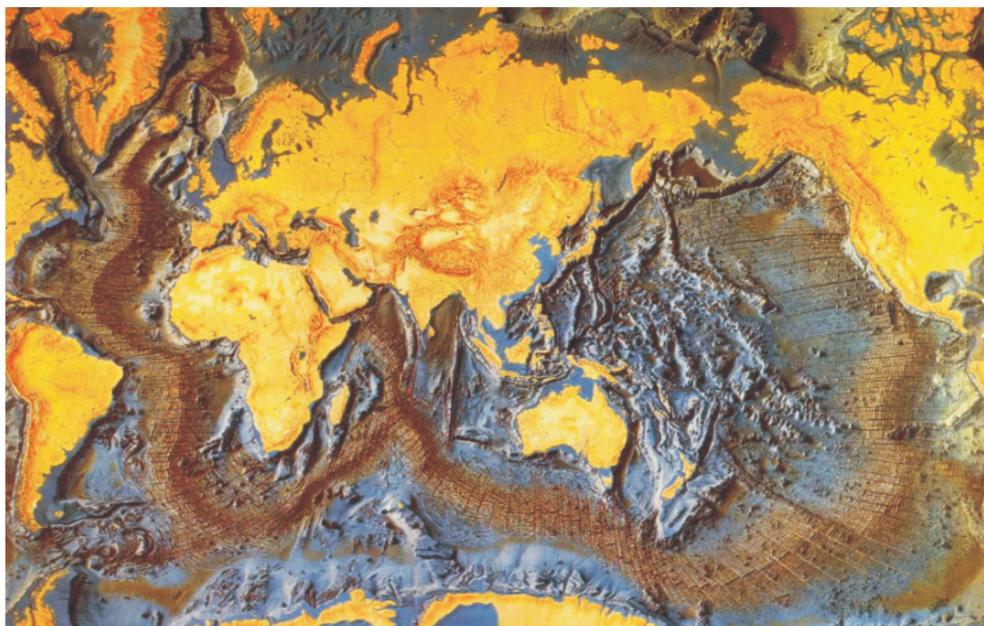


图 2 全球海底地貌

Fig.2 Global seabed geomorphology

据莫杰(2004)

块相向汇聚的动力来源于北冰洋、太平洋和印度洋的洋底扩张.因此,加强洋板块地质的研究有助于查明洋陆转换的过程和大陆形成的动力来源.

### 1.3 研究洋板块地质有助于查明矿床形成分布的时空规律

海洋是一个巨大的资源库,不仅蕴藏着丰富的石油、天然气和盐类资源,而且储藏着十分丰富的金属矿产资源.美国科学家梅罗(Mero L.)1965年估算,世界大洋多金属结核资源总量达 $3 \times 10^{12}$  t,仅太平洋就有 $1.7 \times 10^{12}$  t,其中具工业价值的储量约为 $700 \times 10^8$  t,折合金属量:锰 $175 \times 10^8$  t、镍 $9.1 \times 10^8$  t、钴 $1.5 \times 10^8$  t、铜 $7 \times 10^8$  t(李廷栋,1998),而且这种多金属结核每年仍在以 $600 \times 10^4 \sim 1\ 000 \times 10^4$  t速度生长(李廷栋,2010).此外,还有丰富的富钴锰结核、海底硫化物矿床和多金属软泥等.它们之中尚伴生有钛、钼、铅、锌、金、银、铂等多种金属元素.从洋底金属矿产元素聚集、分布状况和特点来看,现今大洋如是,古大洋亦然.

现在的问题是,随着古大洋板块的俯冲、消亡,这些金属元素都到哪里去了?是不是一部分俯冲到地壳深部或地幔,另一部分滞留在俯冲增生杂岩带,总之都汇聚到俯冲增生杂岩带及其深部,构成金属矿床形成的物质来源.所以近年来的研究发现,增生型造山带储存着大量流体,蕴藏着众多大型、超大型铜、金、多金属矿床.全球 $2/3$ 的铜矿和 $1/3$ 的金矿

都与俯冲型和碰撞型造山作用有关,大多分布于俯冲增生型杂岩体内.亚洲大陆东缘滨太平洋成矿带和美洲安第斯巨型斑岩型铜矿成矿带是俯冲增生造山作用成矿的典型代表;我国西藏冈底斯乃至整个特提斯构造域南缘则是典型碰撞造山作用成矿的实例.因此,通过洋板块地质和壳幔相互作用的研究有助于查明这些矿床形成和分布的时空规律和特点.

### 1.4 中国具备发展洋板块地质学的良好地质条件

新元古代以来,由于古亚洲洋、特提斯洋、古太平洋、古泛大洋等古大洋的洋陆转换和侧向增生铸造了中国大陆.这个大陆的特点是,围绕华北、塔里木、扬子3个克拉通陆块区发育有一系列不同时代、不同类型的造山系和板块对接带(缝合带).在这些造山系和对接带中保存了大量与洋板块及其形成演化有关的地质记录(张克信等,2016).

近40年来,我国开展了大规模的中、大比例尺区域地质调查、矿产资源勘查和地质科学研究,还在东昆仑造山带进行了非史密斯地层的专题研究(张克信等,2001).通过地质调查研究,在新疆、青海、内蒙古、黑龙江、吉林、西藏、云南、湖北、福建、浙江、河南等省(区)发现近百条蛇绿混杂岩带,在青海拉脊山、内蒙古西拉木伦、黑龙江黑龙江群、吉林辽河群、湖北大洪山花山群等,都发现比较典型的洋板块地层系统和蛇绿混杂岩带,有的地区还发现了作为洋陆转换标志的洋内弧火成岩组合.

我国蛇绿岩、俯冲增生杂岩的主要特点是:分布面积广、跨越的地质时代长、类型多,有的地区发育和保存比较完整。

上述诸点说明,中国具备建立和发展洋板块地质学的良好条件和潜力,经过广大地质工作者的精心调查研究,会使我国成为诞生和研究洋板块地质学的基地。

## 2 洋板块地质学研究的主要内容

洋板块地质学的基本概念是:应用地质学的理论和方法对造山系俯冲增生杂岩带、蛇绿岩带等大洋岩石圈板块地质建造、结构构造进行系统研究,再造大洋岩石圈板块从洋中脊形成到海沟俯冲消亡、转换成陆的地质作用全过程,称为洋板块地质学。洋板块地质学研究内容涉及诸多方面。

### 2.1 研究俯冲增生杂岩的物质组成

作为洋板块地层、岩石堆积体的俯冲增生杂岩主要由外来岩块和基质两部分物质组成。外来岩块包括变质基性、超基性岩(辉长岩、辉绿岩、蛇纹石化超镁铁质岩)、变质枕状熔岩、大洋中脊玄武岩、变硅质岩、放射虫硅质岩、深海相铁锰硅质岩、海山玄武岩一大理岩组合等。基质多为泥质岩、浊积岩等(图 3)。

由于海底扩张和深部热液或岩浆活动,往往使

大洋中脊一带基性、超基性岩发生重结晶作用,形成变质岩石,产生一些变质矿物:蓝闪石、硬柱石、硬玉、硬绿泥石等。

同时,要对外来岩块、基质岩石进行精确同位素测年和岩石地球化学研究。

### 2.2 研究洋板块地层系统

洋板块地层构成造山系中洋板块从其在洋中脊形成到海沟俯冲过程中形成的一套增生杂岩地层(张克信等,2016;图 4),它不是真实的地层层序,而是构造成因的层状构造堆叠体,仅仅代表了在俯冲之前堆积在大洋板块上的沉积岩、火山岩地层组合。它们经板块运动运移、俯冲、汇聚形成俯冲增生杂岩,是大洋板块地层与活动陆缘搬运到海沟中的陆源碎屑岩的混杂堆积,代表了洋板块地层汇聚、俯冲、消亡的遗迹。

因此,从俯冲增生杂岩的解析入手,识别增生杂岩地层组合的构造堆叠序列,划分大洋板块与陆源碎屑岩地层类型,重建洋板块地层系统,再造造山系中洋板块岩石圈从洋中脊形成到海沟俯冲、消亡全过程,这对于探讨洋陆转换和解决洋板块地质一系列地质问题,都具有重要意义。

### 2.3 研究蛇绿岩类型及其形成的构造环境

蛇绿岩和洋板块地层系统是再造洋板块地质及其地质演化的两大支柱。自从 1972 年第一次彭罗斯

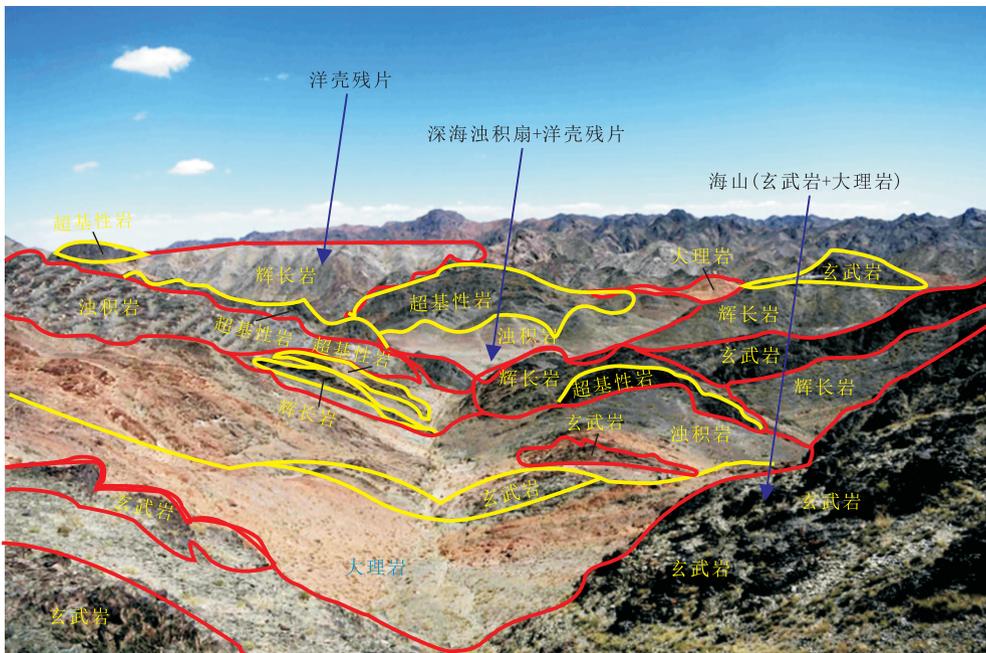


图 3 甘肃北山马鬃山俯冲增生杂岩

Fig.3 Subduction-accretionary complex of Mazongshan, Beishan, Gansu Province

据张克信等(2018)

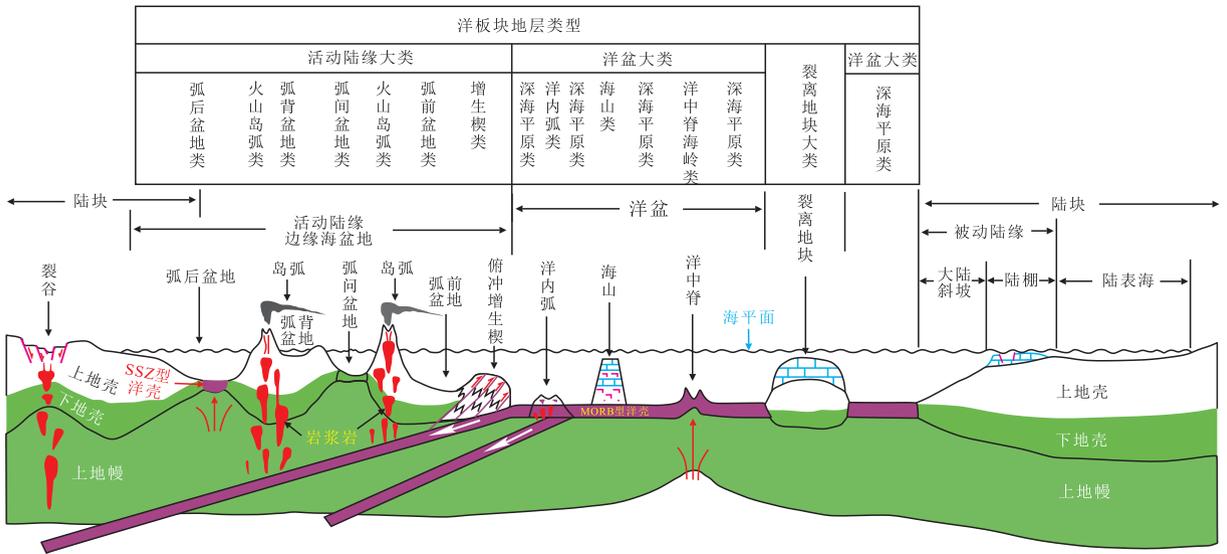


图 4 洋板块地层类型及形成构造环境划分示意图

Fig.4 The classification and construction environment of OPS

据张克信等(2016)

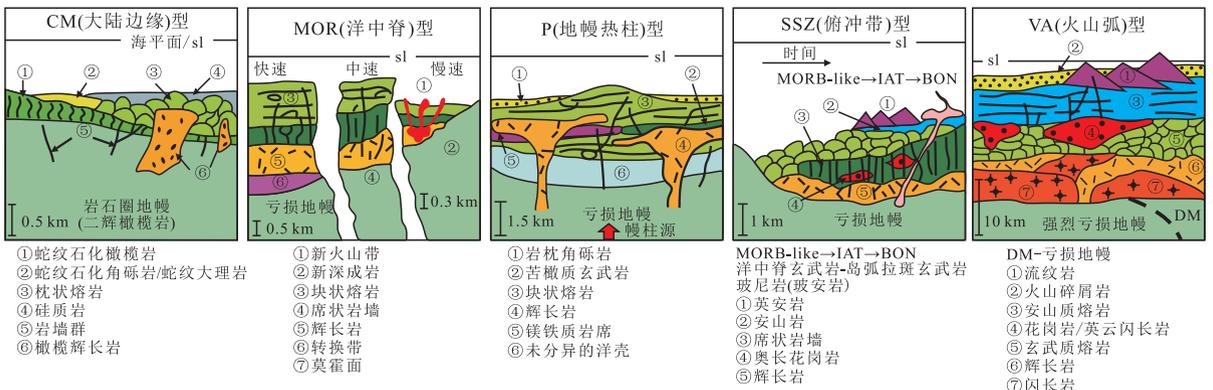


图 5 蛇绿岩类型

Fig.5 Types of ophiolites

据 Dilek and Furnes(2011);冯益民和张越(2018)

会议给出蛇绿岩的定义以来,经过 40 多年的研究、探索和争论,人们逐渐认识到,蛇绿岩可以形成于威尔逊旋回的各个演化阶段,类型很多.不同类型蛇绿岩起源于不同的构造环境,具有不同的岩石组合、结构样式、地球化学特点和演化路径,需要对以往的认识进行修正.

Dilek and Robinson(2003)和 Dilek and Furnes(2011)经过多年研究探索,提出了新的蛇绿岩定义和分类方案.新的分类方案把蛇绿岩分两大类:一类为与俯冲作用无关的蛇绿岩,包括陆缘型蛇绿岩(CM)、洋中脊型蛇绿岩(MOR)和地幔柱型蛇绿岩(P);另一类为与俯冲作用有关的蛇绿岩,包括俯冲带上盘型蛇绿岩(SSZ)和火山弧型蛇绿岩(VA)(图 5).

基于 Dilek and Furnes(2011)蛇绿岩的新定义、新分类,在利用蛇绿岩研究成果重建古大洋时,应重点研究以下 3 个问题.首先,要研究查明蛇绿岩类型、岩石组合序列、地球化学特征、时代及其形成的构造环境;第二,从分析造山系地质演化入手,再造威尔逊旋回各阶段蛇绿岩所代表的洋板块性质及其演化历史,探索大陆形成演化的历史及其动力学背景;第三,从洋陆转换的角度出发,首先寻找初始洋内弧,研究俯冲带上盘 SSZ 型蛇绿岩演变过程,进而分析洋内弧演变为成熟弧—岛弧—岛弧链而最后岛弧拼合形成大陆的全过程.

### 2.4 研究洋板块沉积组合

洋板块中的开阔大洋(洋盆地)与弧—沟系统,

具有 2 种构造环境,存在不同的沉积组合.大洋盆地是大陆坡以外水深 4 000~6 000 m 深海区,包括有中央海岭、深海平原、深海丘陵等,以远洋和半远洋沉积物(红粘土、生物软泥、深海砂、宇宙尘)为特征.深海沟是位于大陆边缘或岛弧与深海丘陵之间深度超过 6 000 m 呈 V 字形的构造单元,它与岛弧一起构成弧—沟系统,其沉积岩以岩浆弧火成岩为主要物源的碎屑沉积岩为主,厚度可达几百米到千余米(程裕淇和王鸿祯,2006).

应该仔细研究和区分上述 2 种不同的沉积岩组合,作为鉴别开阔大洋环境与弧—沟系统环境的重要依据.

### 2.5 研究俯冲带岛弧前弧火成岩组合

近年来,在俯冲带岛弧前弧地区发现前弧玄武岩(FAB)(又称似洋中脊玄武岩,MORB-Like 玄武岩)、埃达克岩(adakite)、富镍玄武岩(NEB)、玻安岩(boninite)及高镁安山岩(HMA)等多种火成岩组合.它们是洋陆转化形成大陆的初生弧火成岩组合,代表了洋陆转化中的大陆胚胎,被称为洋内弧前弧玄武岩家族(图 6).要研究这些岩石的识别标志、地球化学特征、成岩构造环境及成因等.

要研究洋板块初始俯冲过程中,从前弧玄武岩到玻安岩、高镁安山岩,再到弧拉斑玄武岩和钙碱性熔岩的岩浆作用分阶段递进演变历史,以揭示洋盆向大陆转化的原始弧性质和洋陆转换的过程.

### 2.6 研究洋陆转换的过程和机制

洋陆转换是当代地质科学研究重大前沿问题之一,是洋板块地质研究的出发点和落脚点.大陆地壳的形成,是通过洋板块的俯冲和底侵的幔壳转化形成特征的岛弧火成岩组合序列的岩浆增生作用而实现的.因此,在洋陆转化研究中,除前述诸点外,要重点开展以下几方面研究:第一,要努力寻找和发现俯冲带岛弧前弧那套所谓“洋内弧前弧玄武岩家族”的特征火成岩组合,并进行精细岩石学、岩石地球化学研究和年代测定,为洋陆转换提供岩石学证据.第二,从洋内弧入手,研究初始俯冲中岩浆作用分阶段递进演变的过程,研究洋盆向大陆(造山系)转换的标志岩石组合.第三,研究洋内弧发育为成熟弧的关键地质作用和洋陆转换过程和机制.

### 2.7 研究构造作用重建古造山系 OPS 层序

由于受后期构造作用以及缝合带的再活动尤其是走滑断裂的影响,俯冲增生杂岩中部分 OPS 地层

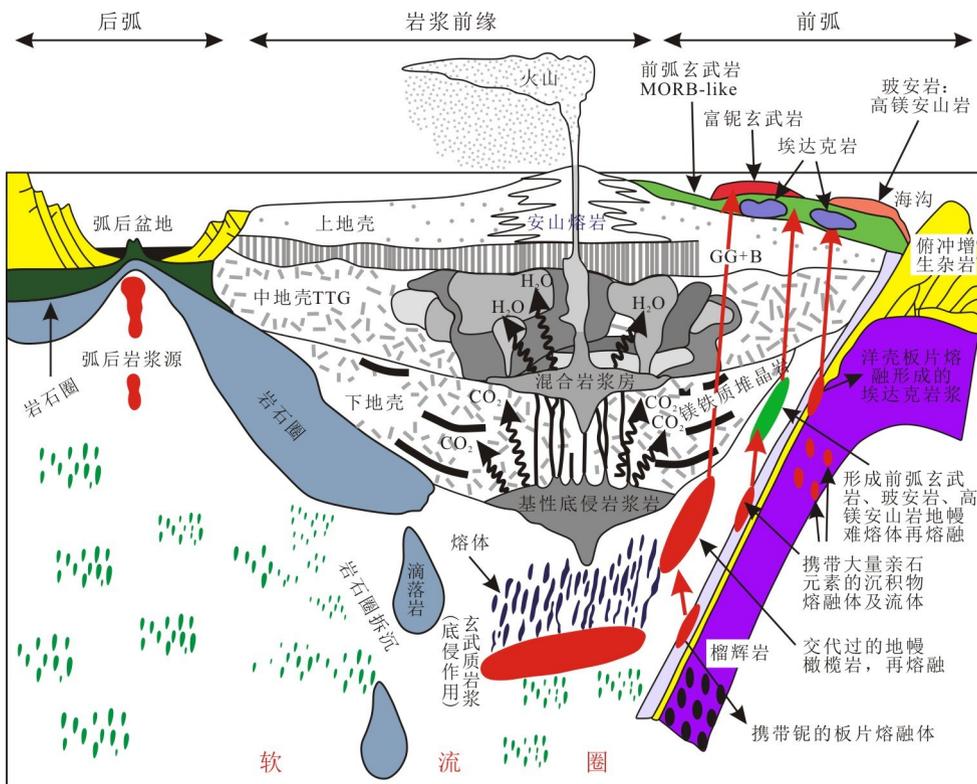


图 6 前弧玄武岩家族

Fig.6 The forearc basalts in the ocean-continent transition

据肖庆辉等(2016)

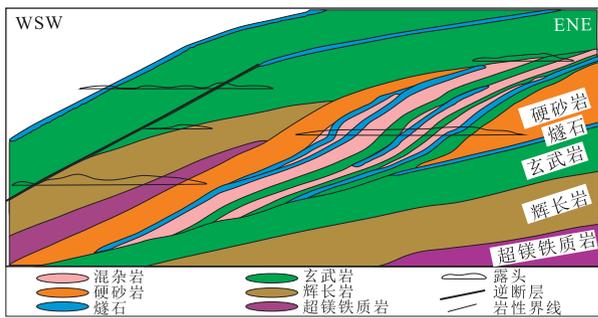


图 7 南阿拉斯加格雷维克 OPS 叠瓦和双重构造剖面

Fig.7 Imbricate and duplex structural profiles of Gravik OPS in South Alaska

据潘桂棠和肖庆辉(2016)

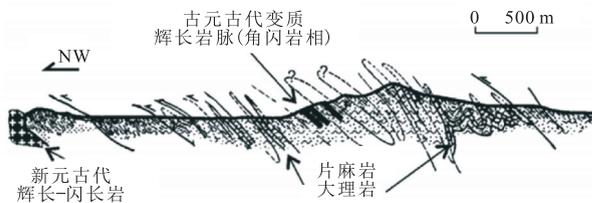


图 8 陈蔡群俯冲增生杂岩中呈叠瓦状的构造变形

Fig.8 The imbricate structural deformation in the subduction accretion complex of Chencai Group

据李正祥(2015)

层序会发生强烈的变形.因此,研究构造作用,重建古造山系地层原岩层序是洋板块地质研究的重要内容(潘桂棠和肖庆辉,2016).

在古造山系俯冲增生杂岩中,要理清 OPS 层序,最重要的是要查明导致地层呈叠瓦状展布的逆冲断层,这是在野外使用传统技术难以识别的构造.这些断层大多数是只有几毫米厚的鳞片状泥岩带,并被分成不同的构造单元.如果它们高度变质则用传统技术难以识别为逆冲带,那就要沿走向追踪.当发现它们被分隔成不同的单元,且局部地区出现较老层序位于较新层序之上时,则应把这个地区划定为关键地段进行大比例尺岩石或者岩石组合地质填图(Maruyama *et al.*, 2010).地质填图中要采用综合构造解析方法分析研究使地层呈叠瓦状展布的构造作用(图 7),再造洋盆 OPS 连续地层剖面中岩石或者岩石组合构造变形样式(图 8).

除上述应用构造解析方法研究叠瓦状展布的地层以外,采用平衡剖面方法对所有区段连续逆冲地层进行构造-地层再造,建立不同区段连续地层骨架.混杂岩岩块保存了部分 OPS 连续地层剖面甚至保存了 OPS 全部的碎屑岩块物质.通过岩块中的放

射虫、牙形石蠕类微体化石的研究,可以重建混杂岩的地层岩石层序.依据俯冲增生杂岩基质中碎屑锆石年龄及岩块地层岩石层序年代对比研究,确定洋壳俯冲增生的起始时间及持续时间.最后通过同位素地质及古地磁测年、生物地层学、沉积学及构造地质学的综合研究,确定俯冲增生杂岩的原岩层序时代、俯冲增生时代、变质时代和后期构造作用及缝合带再活动的时代,从而还原古造山系大洋板块产生和俯冲增生的全过程.

## 2.8 研究洋-陆转换带成矿作用形成与演化

古老造山系中绝大多数矿床都形成于洋内俯冲背景的岛弧构造岩浆环境,并在岛弧增生带中保存下来.所以,洋内俯冲背景的弧-陆碰撞带是当今全球多数矿产资源的产地,尤其是斑岩型 Cu-Mo-Au 矿床、浅成热液型 Au-Ag 矿床和火山型块状硫化物(VMS)矿床产地,它们是全球勘探公司寻找贱金属和贵金属的首要探测目标(Bierlein *et al.*, 2006, 2009).形成于不同洋内俯冲背景的岛弧构造岩浆环境和不同构造演化历程的矿产类型和规模都不同(图 9).现在斑岩型 Cu 矿的勘探重点是寻找深部隐伏矿体,这需要对该区域地质演化历史和岛弧构造岩浆环境下斑岩型 Cu 矿的成因及成矿过程等有一个

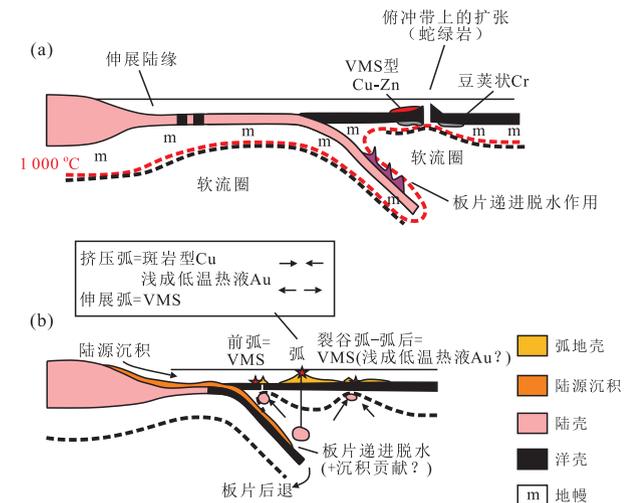


图 9 洋内弧不同构造单元、不同构造演化历程控制不同类型成矿作用示意

Fig.9 Schematic maps of different types of metallogenesis controlled by different tectonic units and evolutionary processes in intra-oceanic arcs

据 Herrington and Brown(2011).a.洋内弧早期阶段以基性岩和超基性岩为容矿母岩的 VMS 型 Cu-zn 矿床和 SSZ 型蛇绿岩中基性岩和超基性岩为容矿母岩的铬矿床;b.洋内弧晚期阶段形成的以伸展构造控矿为主的 VMS 型 Cu-Au 矿床

比较综合的认识。

在洋内弧构造演化和改造过程中成矿作用方面要重点研究:(1)增生作用和俯冲极性反转作用;(2)增生作用和俯冲后退作用;(3)增生作用和裂谷作用。

最近的研究显示,洋内弧形成的矿床与俯冲洋壳及其沉积物重熔作用有关联,研究显示,经过俯冲洋壳及其沉积物重熔形成的熔体和流体改造过的地幔楔重熔作用对大型及超大型矿的形成起关键性的控制作用。

### 3 结语

(1)洋板块地质学是应用板块构造理论和地质学方法对造山系俯冲增生杂岩带、蛇绿岩带等大洋岩石圈板块的物质组成、结构构造等进行系统研究,再造大洋岩石圈板块从洋中脊形成到海沟俯冲消亡、转换成陆过程中形成的各种构造单元和地质事件,除研究洋板块地层系统之外,还要系统研究洋板块特殊的深海沉积建造、岩浆岩组合、变质作用、构造形迹、成矿作用和地球物理场、地球化学场、地壳应力场特征等的地质信息,以及其发展演化的历史过程和动力学机制。

(2)俯冲增生杂岩是一个老的概念,20世纪80年代洋板块地层概念的提出,赋予了俯冲增生杂岩新的涵义。地质学家(Isozaki *et al.*, 1990; Kusky *et al.*, 2013)通过对日本造山系俯冲增生杂岩的研究命名了洋板块地层(OPS),泛指造山系中洋板块从洋中脊形成到海沟俯冲消亡在洋盆中形成的一套地层组合的构造堆叠,主要由洋盆和活动陆缘两大类地层构造堆叠组成(Isozaki *et al.*, 1990; 张克信等, 2016)。

(3)我国地域辽阔,地质构造复杂,存在多个时代、多种类型的造山系,发育了多种类型的俯冲增生杂岩带和蛇绿岩套,经历了复杂的洋陆转换过程,为洋盆地层系统和洋板块地质学研究提供了良好条件和机遇,但研究的基础薄弱,难度大,也带来大的挑战。

(4)当前,我国进入新时代,对地质工作提出了新要求。地质找矿、地质环境评价和地质灾害防治等,都需要先进地质理论和技术方法的支撑。我们期望充分利用我国具有多时代、多类型造山系的优越地质条件,在洋盆地层系统和洋板块地质研究上有大的建树,取得一些创新性地质成果,为地质事业、国家经济社会发展和创新地质科学理论做出

更大贡献!

致谢:湖北省地质调查院、浙江省地质调查院等全国30个省(市、自治区)地质调查院专家学者们为本文的撰写提供了大量基础资料,并进行过多次有益的研讨,审稿专家提出的建设性修改意见对提高本文质量发挥了重要作用,在此一并深致谢忱!

马杏垣院士生前十分关注构造地质学和海洋地质学的发展,特以此文纪念恩师马杏垣教授诞辰一百周年。

### References

- Bao, P. S., Su, L., Wang, J., et al., 2015. The Yarlung Zangbo Ophiolite. Geological Publishing House, Beijing, 227—233 (in Chinese).
- Bierlein, F. P., Groves, D. I., Cawood, P. A., 2009. Metallogeny of Accretionary Orogens—The Connection between Lithospheric Processes and Metal Endowment. *Ore Geology Reviews*, 36: 282—292.
- Bierlein, F. P., Groves, D. I., Goldfarb, R. J., et al., 2006. Lithospheric Controls on the Formation of Provinces Hosting Giant Orogenic Gold Deposits. *Mineralium Deposita*, 40: 874—887.
- Chen, C., Mao, X. W., Hu, Z. X., et al., 2017. Discovery of ~817 Ma Oceanic Island Basalts in the Dahongshan Region, Northern Hubei Province and Its Significance. *Geological Science and Technology Information*, 36 (6): 22—31 (in Chinese with English abstract).
- Cheng, Y. Q., Wang, H. Z., 2006. A Dictionary of Earth Science: Basic Sciences. Geological Publishing House, Beijing, 794 (in Chinese).
- Dilek, Y., Furnes, H., 2011. Ophiolite Genesis and Global Tectonics: Geochemical and Tectonic Fingerprinting of Ancient Oceanic Lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 123 (3—4): 387—411. <https://doi.org/10.1130/b30446.1>
- Dilek, Y., Robinson, P. T., 2003. Ophiolites in Earth History. *Geological Society, London, Special Publications*, 218: 9—19.
- 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).
- Herrington, R. J., Brown, D., 2011. The Generation and Preservation of Mineral Deposits in Arc-Continent Collision Environments. *Frontiers in Earth Sciences*, (Chapter 6): 145—159. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88558-0>
- Hu, Z. X., Mao, X. W., Tian, W. X., et al., 2015. Discovery of the Jinningian Orogenic Belt on the Northern Margin of Yan-

- gtze Craton in Mountain Dahong, *Geological Survey of China*, 2(2): 33—39 (in Chinese with English abstract).
- Huang, J. Q., Chen, B. W., 1987. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions. Geological Publishing House, Beijing, 71—74 (in Chinese).
- Hutchison, J. S., Goldman, B. D., 1975. The Relationship between the Rat of Testosterone Infusion and Gonadotropin Secretion. *Endocrinology*, 97(3): 725—730.
- 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)
- Kong, L. Y., Mao, X. W., Chen, C., et al., 2017. Chronological Study on Detrital Zircons and Its Geological Significance from Mesoproterozoic Dagushi Group in the Dahongshan Area, North Margin of the Yangtze Block. *Earth Science*, 42(4): 485—501 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.039>
- Kusky, T. M., Windley, B. F., Safonova, I., et al., 2013. Recognition of Ocean Plate Stratigraphy in Accretionary Orogens 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, S. G., 2016. Astronomy, Geology, Palaeontology. Geological Publishing House, Beijing, 127—134 (in Chinese).
- Li, T. D., 1998. Polymetallic Nodules. In: Chen, S. P., ed., Earth System Science. China Science and Technology Press, Beijing, 420 (in Chinese).
- Li, T. D., 2010. The Works of Li Tingdong. Geological Publishing House, Beijing, 1246 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. X., 2015. Summary of Tectonic Evolution in South China: Plate Tectonics, Geological Events and Resource Effects. Science Publishing House, Beijing, 54—88 (in Chinese).
- Maruyama, S., Kawai, T., Windley, B. F., 2010. Ocean Plate Stratigraphy and Its Imbrication in an Accretionary Orogen: The Mona Complex, Anglesey-Lleyn, Wales, UK. *Geological Society, London, Special Publications*, 338(1): 55—75. <https://doi.org/10.1144/sp338.4>
- Mo, J., 2004. Frontiers on Marine Geoscience. China Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Pan, G. T., Xiao, Q. H., 2016. Explanatory Note to the Tectonic Map of China (1 : 2 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Safonova, I., Biske, G., Romer, R. L., et al., 2016. Middle Paleozoic Mafic Magmatism and Ocean Plate Stratigraphy of the South Tianshan, Kyrgyzstan. *Gondwana Research*, 30: 236—256. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.03.006>
- Safonova, I. Y., Santosh, M., 2014. Accretionary Complexes in the Asia-Pacific Region: Tracing Archives of Ocean Plate Stratigraphy and Tracking Mantle Plumes. *Gondwana Research*, 25(1): 126—158. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.008>
- Wakita, K., Metcalfe, I., 2005. Ocean Plate Stratigraphy in East and Southeast Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(6): 679—702. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.04.004>
- Wang, X. B., Bao, P. S., Deng, W. M., et al., 1987. The Ophiolite in Tibet. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xiao, Q. H., Li, T. D., Pan, G. T., et al., 2016. Petrologic Ideas for Identification of Ocean-Continent Transition: Recognition of Intra-Oceanic Arc and Initial Subduction. *Geology in China*, 43(3): 721—737 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, X. C., Li, T. D., 2000. Mechanism of Tectonic Evolution and Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou (in Chinese).
- Yan, Z., Wang, Z. Q., Fu, C. L., et al., 2018. Characteristics and Thematic Geological Mapping of Mélanges. *Geological Bulletin of China*, 37(2): 167—191 (in Chinese with English abstract).
- 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., 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., He, W. H., Xu, Y. D., et al., 2018. Tectonic-Stratigraphic Division and Sedimentary Tectonic Evolution in China (in Chinese).
- Zhang, K. X., Yin, H. F., Zhu, Y. H., et al., 2001. Theory, Methodology and Practice of Geological Mapping in Mélange Terrains of Orogenic Belts: A Case Study of the East Kunlun Orogenic Belt. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhang, W. Y., 1986. Tectonics of Land and Sea in China and Adjacent Areas. Science Press, Beijing, 444—479 (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 鲍佩声, 苏犁, 王军, 等, 2015. 雅鲁藏布江蛇绿岩. 北京: 地质出版社, 227—233.
- 陈超, 毛新武, 胡正祥, 等, 2017. 鄂北大洪山地区 ~ 817 Ma

- 洋岛玄武岩的发现及意义.地质科技情报,36(6): 22-31.
- 程裕淇,王鸿祯,2006.地质科学大辞典(基础学科卷).北京:地质出版社,794.
- 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.
- 胡正祥,毛新武,田望学,等,2015.扬子陆块北缘大洪山地区发现晋宁期造山带.中国地质调查,2(2): 33-39.
- 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.
- 孔令耀,毛新武,陈超,等,2017.扬子北缘大洪山地区中元古代打鼓石群碎屑锆石年代学及其地质意义.地球科学,42(4): 485-501.
- 李四光,2016.天文·地质·古生物.北京:地质出版社,127-134.
- 李廷栋,1998.多金属结核.见:陈述彭,编,地球系统科学.北京:中国科学技术出版社,420.
- 李廷栋,2010.李廷栋文集(中卷).北京:地质出版社,1246.
- 李正祥,2015.华南大地构造演化综述:板块构造、地质事件与资源效应.北京:科学出版社,54-88.
- 莫杰,2004.海洋地学前缘.北京:海洋出版社.
- 潘桂棠,肖庆辉,2016.中国大地构造图(1:2500 000)说明书.北京:地质出版社.
- 王希斌,鲍佩声,邓万明,等,1987.西藏蛇绿岩.北京:地质出版社.
- 肖庆辉,李廷栋,潘桂棠,等,2016.识别洋陆转换的岩石学思路——洋内弧与初始俯冲的识别.中国地质,43(3): 721-737.
- 肖序常,李廷栋,2000.青藏高原的构造演化与隆升机制.广州:广东科技出版社.
- 闫臻,王宗起,付长垒,等,2018.混杂岩基本特征与专题地质填图.地质通报,37(2): 167-191.
- 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,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,何卫红,徐亚东,等,2018.中国构造—地层区划与沉积大地构造演化报告.
- 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.
- 张文佑,1986.中国及邻区海陆大地构造.北京:科学出版社,444-479.