

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.071>



马杏垣先生开合构造思想的提出、形成及最新进展

李舜贤¹,曾佐勋¹,饶扬誉²,刘德民¹,王杰²,肖智勇¹

1.中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

2.中国地震局地震研究所地震大地测量重点实验室,湖北武汉 430071

摘要:概述了马杏垣院士的学术生平与创建开合构造史实,开合构造提出是中国地球科学“百花齐放,百家争鸣”发展的结果;是黄汲清院士、张文佑院士、马杏垣院士领导的青年团队,在国际板块构造革命的新潮中,根据板块构造登陆存在的巨大问题,结合中国地质构造的特色,依据坚实的实际资料进行深入的全新探索。3位院士领导的团队又联合起来,进行开合构造的长期研究。2002年在构造地质专业委员会支持下,成立了开合构造研究组,召开了开合构造第一次学术研讨会,总结20多年研究成果,出了专刊书集。2015年研究组聚首北京,总结开合构造研究的新成果,并吸取地球物理研究新成果,准确地阐明开合构造的定义,提升了研究方法,总结了开合构造运动和开合构造体系特征,将构造动力来源初始点建立在古登堡面的开合构造转换带上,全新解析了转换带的重要作用,站在星球角度认识开合构造。最后,强调青年研究力量的培养,是开合构造走向世界的重要途径。

关键词:开合构造;板块构造;全球构造;开合构造转换带;构造动力源;构造地质。

中图分类号:P541

文章编号:1000-2383(2019)05-1562-08

收稿日期:2019-02-15

Proposal, Establishment and Latest Progress of the Opening-Closing Tectonic Theory

Li Shunxian¹, Zeng Zuoxun¹, Rao Yangyu², Liu Demin¹, Wang Jie², Xiao Zhiyong¹

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

2. Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Wuhan 430071, China

Abstract: We outlined the academic life of Academician Ma Xingyuan and some historical facts of the establishment of the Opening-Closing Tectonics theory. This theory was established during a special development stage of modern geosciences in China, when all schools of thoughts were proposed. Academicians Huang Jiqing, Zhang Wenyou, and Ma Xingyuan independently led their research teams working on frontier problems in the theory of plate tectonics. After the establishment of this uniform tectonic theory, the three academicians work together to better decipher this theory. Under the support of the Professional Committee of Geotectonics, the first academic seminar for the Opening-Closing Tectonic Theory was held in 2002. A research group on this theory was set up and results accumulated in the previous 20 plus years were summarized, and a special book collection was published after this seminar. The research group met again at Beijing in 2015, and new achievements using this theory and improved research methods were summarized. Advances in geophysics were combined to better define the Opening-Closing Tectonic Theory and its characteristics. This meeting proposed that the energy source of tectonism is from the Gutenberg discontinuity, and stressed the importance of transitional belt. More importantly, the research group all agree that the Opening-Closing Tectonic Theory should be extended to planetology and also passed on to young generations, so that this theory can be advocated to the world.

Key words: opening-closing tectonics; plate tectonics; global tectonics; opening-closing tectonic transition zone; tectonic dynamic source; tectonics.

作者简介:李舜贤(1936—),男,E-mail: dqkx67885075@163.com

引用格式:李舜贤,曾佐勋,饶扬誉,等,2019.马杏垣先生开合构造思想的提出、形成及最新进展.地球科学,44(5): 1562—1569.

1 形成初始

马杏垣先生(1919年5月25日—2001年1月22日),吉林长春人,著名构造地质学家、地震地质学家。中学时代参加学生运动,成为光荣的共产党员,后毕业考入西南联大,赴英在爱丁堡大学获博士学位,回国后曾任北京大学副教授、教授,北京地质学院教授、博导,北京地质学院区域地质教研室主任,曾任中国地质学会副理事长,构造专业委员会主任,国际地震危险咨询委员会委员,国际岩石圈委员会执行局委员。研究领域广阔,在诸多领域均有建树,发表了《解析构造》等10部专著,开创了开合构造研究新领域(朱松年和吴海,2009)。

马杏垣先生大地构造理论的思想脉络为:前寒武大地构造→区域大地构造→构造解析和重力构造→开合构造(全球构造)。马先生虽然未直接提全球构造,但他讨论开合构造动力机制性时,强调重力和热力的重要性,而重力和热力都是全球的,开合构造一直沿着全球构造方向进行研究。

自马杏垣先生主持区域地质教研室工作以来,

每年春节都开新春畅想会,于1979年末的深冬迎春会上发表了引人探索的地壳运动类型思想,创新性提出“开、合、升、降、剪、斜、滑、旋”8字概述开合构造,并形象地用肢体语言表示。

1983年在讨论中国岩石圈动力学图集中的大地构造图指导思想时,马先生明确指出:以前总结的地壳运动8字概括中,开与合是最本质的,它简洁、准确地表达了构造运动的基本属性,也反映了中文文字的最美特色。我们就以开合构造作为地质基础图件编图的指导思想。会后,马先生很高兴地与他的3位弟子合影留念(图1)。

尔后,马先生在出版图集的地质基础图组的说明中对以开合构造作为编图指导思想作了进一步说明:许多地质学家按板块观点编制构造图,我们在前寒武纪大地构造图和中国大地构造图中,尝试以大洋“开”与“合”作为主线,分析构造环境、鉴定构造要素,并按解析构造学的原则和方法,综合起来得出各阶段的构造格架。



图1 合影

Fig.1 The group photo

照片左起郭铁鹰、杨巍然、马杏垣先生、郑剑东

2 初有建树

2.1 全国开合构造首次学术研讨会

2002 年在全国构造地质专业委员会的支持下,决定在全国构造地质专业委员会下成立开合构造研究组,并召开了全国开合构造首次学术研讨会。全国构造地质专业委员会秘书长吴正文教授参加了会议并作了指导性发言,杨巍然教授全面介绍了全国开合构造研究情况及存在的问题。

经与会者广泛讨论、交流、协商确定开合构造研究组领导:由张抗担任组长,姜春发、杨巍然担任副组长,会议针对与国外接轨不够的缺点,委托杨巍然和郑剑东将我国开合构造情况,用英语向国外介绍(Zhang and Yang, 1988)。会议还决定 2004 年组织出版编辑开合构造专辑:《地质通报》2004 年第 23 卷第 3 期(姜春发, 2004; 马宗晋, 2004; 邱家骥, 2004; 任纪舜, 2004; 王鸿祯, 2004; 杨巍然, 2004; 张抗, 2004)。

2.2 开合构造专辑

开合构造专辑汇集了当时有关开合构造的主要论文,其主要特点是:(1)时任中国构造地质专业委员会主任任纪舜作序指出:与会学者怀疑板块构造的均变论,坚持构造均变与突变并存,突变往往起更重要的作用(任纪舜, 2004)。(2)王鸿祯院士题字:空也无涯,开合永继。时乎不息,韵律长新(王鸿祯, 2004)。(3)马宗晋院士赋诗:开合旋剪板作舟,热冷相构多态流。流壳幔核长差转,胀缩内外阴阳球(马宗晋, 2004)。(4)杨巍然强调:开合构造是新大地构造观点,是地质运动的高级形式,探索了 7 步研究特点,对开合旋进行理论探索(杨巍然, 2004)。(5)姜春发总结了开合构造理论:指出开合构造的由来与发展,开合构造六大判别标志,五大重要特征,开合类型与开合方式,开合旋回与开合序列及演化标志(姜春发, 2004)。(6)张抗撰写断块开合 10 个方面的重要特征,指出板块登陆的缺陷,提出核心思想是扩张造洋、挤压造陆的本质,探索大地构造演化的新认识(张抗, 2004)。(7)陈哲夫等(1997)全面结合新疆地质矿产特征,探索了开合构造对新疆矿产的控制规律,以及找矿预测的应用意义,并对地层、构造、岩石进行了有创新意义的探索。总之,这是开合构造创新研究的里程碑,对开合构造新求索指明方向。

3 新的升华

3.1 偶然的相聚

张抗教授与杨巍然教授多年后相聚北京,挥泪畅谈张文佑院士和马杏垣院士生前最后的嘱托,激情挥泪牢记老师们的要求:莫忘推进构造基础理论的求索、总结与推广。

3.2 2015 再聚首

全国开合构造研究组 3 位组长于 2015 年夏相聚,决定新一轮开合构造的科学总结,推选杨巍然教授执笔,共同讨论确定;在北京聚会时听取了於文辉教授关于他近 20 年来对地球物理研究的新认识,让大家充满信心。

3.3 升华

杨巍然等 2016 年在《地学前缘》第 23 卷第 6 期发表《开合构造:新全球构造探索》(杨巍然等, 2016)。2018 年元月在《地质科技情报》发表《新全球构造观中几个问题讨论》(杨巍然等, 2018)。2019 年在《地学前缘》第 1 期发表《开合旋构造体系及其形式机制探讨兼论板块构造的动力机制》(杨巍然等, 2019)。

杨巍然、姜春发、张抗、郭铁鹰 4 位教授都是开合构造探索的排头兵,以几十年的不断科学探求为基础,取得继承老一辈中国构造地质专家在大地构造学和构造地质学不断创新探索的成果,继承和发展了全球构造观的历史成就(McKenzie and Parker, 1967; Morgan, 1968; Patriat and Achache, 1984; 杨巍然等, 1984, 2012, 2016, 2018, 2019; 姜春发, 1994; Patzelt *et al.*, 1996; 张文佑和张抗, 1987; 郑剑东等, 1989; 黄汲清等, 1990; 郭铁鹰等, 1991; 张抗, 1994; 徐志刚, 1995; 邓清禄和杨巍然, 1996; 徐新, 1998; 袁哲平, 1999; 任纪舜等, 2002; 杨巍然和郑剑东, 2002; 万天丰, 2007; 李舜贤等, 2019),其论文的主要闪光点是:

开合构造总体上可以表述为地球膨胀为开,收缩为合,其中垂直向上地球物质背离地心运动为开,向下地球物质向地心运动为合;水平运动相背运动为开,相向运动为合;从驱动机制把以热力(热能)为主体驱动上升物质运动定义为开,将重力(势能)为主体驱动下沉物质运动定义为合;因此开与合是一个高度的综合概念,具有广阔的内涵,开合运动是联系一切物质运动的纽带;开合运动具有同步统一性,即垂向的开,在水平方向上也表现为开;垂向开得强烈,水平也开得强烈,反之亦然;并把垂直运动和水

平运动、浅部构造和深部构造、固定论与活动论之间的争论有机地、科学地统一起来。

准确阐明开合构造的基本属性是一切地质体运动的基本形式,揭示其内在联系、本质特征,是一对主要矛盾,是互相依存、互相对立、互相转换的,转换点(区)时空定位有重要的理论与实践意义。总结地学开合律为开合运动在规模上的级次性和层次性、时间上的旋回性、空间上的互补性、演化上的方向性;并总结由简至繁,从点开始到线再至面、体的开合迁移演化模式。准确解析开与合研究中的若干重要概念,如开合标志、开合建造与序列,根据开与合的组合规律总结 8 种开合类型;指出开合构造单位是开合构造综合特征和开合构造类型时空分布规律的总结;提出大陆一级构造为开合构造集群的新概念;在开合运动与旋转运动的长期共同作用下形成地球的圈层结构及各种地质体构造,其中开合运动起主导作用,旋转运动统领和调剂各种物质和构造从无序到有序状态,形成地球圈层构造。

关于开合旋构造体系:在开合旋运动长期作用下形成并具有一定时空稳定的所有地球物质和地质构造及地质体,统称为开合旋构造体系。在分析地球重力值时,其计算结果表明:最大值在地球深处 3 000 km 附近,是著名的古登堡带,正好是开合构造确认的地球构造中最重要的构造转换带,是构造运动的策源带,有着极重要的意义。笔者提出的地球重力均衡假设认为:地球重力均衡首先是地球物质按重力均衡分布在地球圈层之中,地球中存在的重力均衡面(该均衡面上下重量相等)调剂到最理想的位置,故古登堡面与开合旋构造中最重要的开合转换带重合。20世纪 60 年代流行板块构造,是大地构造研究史上一个阶段,主要功绩是创建了全球板块构造思想体系,编制了全球板块构造图,建立了海洋板块构造模式,推动了地学各分支研究,发展了大陆漂移观点。由于模式过于简单,在空间上仅从地壳至上地幔、时间上仅在 4 亿年以内,故尚无法说其是全球构造,更无法完美解析大陆复杂的时空构造特征,轻物质向重物质大规模俯冲,缺乏依据,其动力解析难以自圆其说。但作为一种新的学说,其推动了地学思潮的革命性变化,有其历史功勋。

求索地球的演化是探索地球的起源、重视开合运动的本质的宏观更宏的解析。2015 年科学家发现距地球十几亿光年以外,2 个相当于 36 个和 29 个太阳的黑洞并合为 62 个太阳质量的黑洞事件,是合的大事件;1987 年 2 月 23 日人类用望远镜发现

XN1987A 超新星爆炸事件,称三环奇观,是开的大事件。以上实例是极端条件下的大开与大合。2 个黑洞合并诱发的引力波运动,超新星爆炸形成的光环都显示低次级开合运动特征。

据欧阳自远等将行星地球划分为 3 个旋回的启示,我们据开合构造特征,将地球划分出:核地球(4 567~4 460 Ma)、原地球(4 567~4 404 Ma)、核幔地球(4 567~4 030 Ma)、现代地球(4 567 Ma~现代)4 个阶段,其划分简况见表 1。

开合构造的简要结论:开合构造是在板块构造的启发和基础上发展起来的,开合构造也包括了板块构造的精华。就开合构造而言,板块构造是地球演化过程一个新阶段和一定区域中出现的一种有意义的大地构造类型,是一个巨大而完美的开合构造旋回,其动力学过程也和其他开合旋回一样(图 2)。

图 2 高度概括了开合旋构造体系的本质性特征,形象地展现了开合构造作为全球新构造观的基本内涵,对大地构造基本问题作了完美的高度概括。

综合以上特点,采用开合构造理论分析了中国区域构造,指出如下结论:开与合是地壳岩石圈构造演化的基本构造,由于开合构造的程度不同,形成合并可出现各种环境和构造要素,它们是分析中国区域大地构造和全球构造的基础与关键。

开合在时间上的规律组合成构造阶段,不同构造阶段有共性又有特殊性,反映了地质历史的阶段性和不可逆性。构造集群的划分是开合构造的特点和规律在空间上的高度概括。区域性断裂不仅对地壳和岩石圈构造发展中有着重要作用,而且它集中反映了开合特征,即构造环境的性质,因此划分了 A、B 型俯冲带,开合断裂带等 7 种类型。

总之,将开合旋构造体系的动力学机制和动力系统归纳为:在旋转运动统领下,开与合相互对立、相互依存、相互转换是地球持续演化的基本运动形式和动力机制;地球流体是开合旋构造体系中最活跃的因素,是地球的“血液”。地核是地球的“心脏”,它不仅储蓄有大量热能,而且是生产新热能的基地(地球中盈余的下坠能,可以传递至地核转换成热能;外核含有相当数量的放射性元素,它们衰变时产生大量热能);重力均衡是地球稳定发展的中流砥柱,在形成和恢复构造体系稳定态中发挥了主导作用;重大地质事件(构造运动)是破坏平衡体系的元凶,同时它又向体系内输入新能量而成为地球持续发展的功臣。自原地球以来核幔边界一直是最重大的开合构造转换带,它也是地球重大地质事件的策

表 1 开合构造(旋回)划分及其与星子学说阶段划分对比

Table 1 The contrast between opening closing tectonic stages (cycles) with those of planetesimal hypothesis

地质年代(Ma)		星子堆积阶段		地球增生阶段		开合构造阶段		开合构造旋回及简要特征								
显生宙	250							显生宙旋回：现代板块构造和内陆演化；几经开合至 250 Ma 潘基亚超大陆形成。								
	540															
	850															
	1 780															
	2 420															
	4 030															
	4 404															
	4 460															
	4 567															
冥古宙		杰克山代		晚混沌代		原地幔分异阶段		原地核阶段		幔核球阶段						
太古宙		太古宙		早混沌代		巨星子系统		原地幔分异阶段		原地核阶段						
元古宙		元古宙		上地幔分异阶段		地壳分异系统		第二阶段		层段						
显生宙		显生宙		地壳分异系统		第三阶段		现代		地核直接吸积阶段						

注:据杨巍然等(2019)。

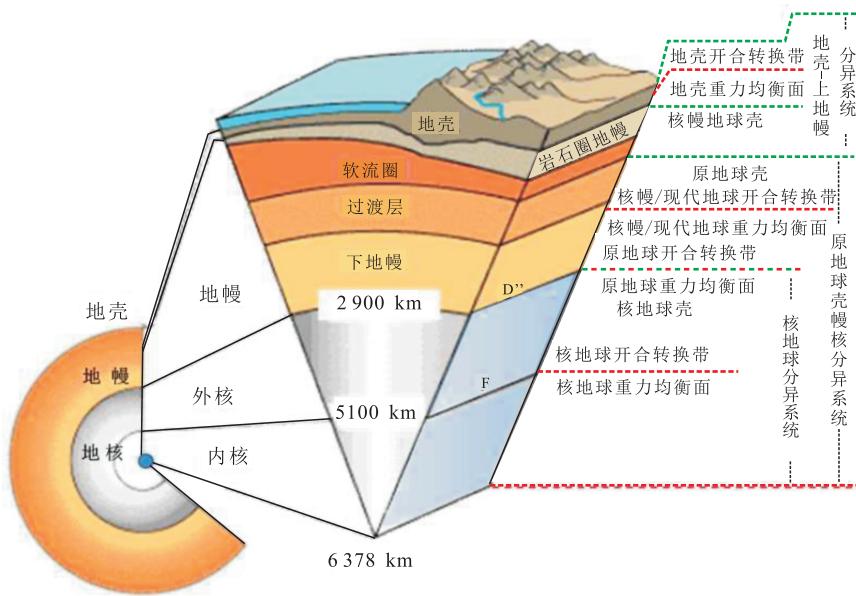


图2 开合旋复杂构造系物质组成、结构、构造及演化简要模型

Fig.2 The composition, texture, structure and simplified evolution model of opening-closing-rotating composite tectonic system

源地。核幔边界是密度不连续界面,在强大的温度和压力作用下,外核中的低密度物质上涌至核幔边界与上覆物质进行物质交换和各种物理和化学作用,形成巨大的高密、高温、高压、超低速流体。当超过临界温压后以底辟形式向上涌发、形成热地幔柱群,它和周围一些地幔流体沟通,组成了地球的“血液系统”。因此,核幔边界是地球构造运动的策源地,也是推动地球运动的原动区。

这样,地球总体的构造格局就是层块柱结构,即垂向分层、横向分块,地幔柱则是联系层块和深部与浅层的纽带。愈下(老)层块柱愈简单、均一,愈上(新)层块愈复杂、细致、相变大。这种构造格局可能长期存在,但地幔柱的位置是会变化的,即过一段时间要换一次“血”。目前(中生代以来)有2个地幔柱的位置分别在太平洋南部(Jason地幔柱)和南大西洋(Tuzo地幔柱)。

4 希望与期待

开合旋构造是新的全球构造观,是在板块构造之后建立在板块构造及前人大地构造认识的基础上的新全球构造观,使得板块构造难以解析的大陆地质构造特征得以圆满解析,回答了一系列重要的大地构造观点、理论。真诚期待有志青年朋友加入到开合构造研究中来,并大力向国际推广以形成共识,为新全球构造的发展作出更大的贡献;并以此纪念马

杏垣先生等众多先驱者在此领域作出的贡献。

致谢:本文经各参与者多次笔谈修改而成,特向杨巍然教授、於文辉教授和姚戈编辑致谢!

References

- Chen, Z.F., Cheng, S.D., Liang, Y.H., et al., 1997. Open-and-Close Tectonics and Metallogenesis in the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang Science and Technology Press, Urumqi (in Chinese).
- Deng, Q.L., Yang, W.R., 1996. Geochemical Characterization of the Open and Close Evolution in the Intracontinental Orogenic Belt: An Analysis of Erlangping Group on Northern Slope of Tongbai Mountain. *Geological Geochimistry*, 24(6):53–59 (in Chinese).
- Guo, T.Y., Liang, D.Y., Zhang, Y.Z., et al., 1991. Geology in Ngari Prefecture, Tibet. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Huang, J.Q., Jiang, C.F., Wang, Z.X., 1990. Plate Opening-Closing Tectonics and Accordion Movement in Xinjiang and Its Adjacent Area. *Xinjiang Geological Science*, (1):3–14 (in Chinese).
- Jiang, C.F., 1994. From the Polycyclic Theory to Open-and-Close Tectonics. *Acta Geoscientia Sinica*, 15(3–4):103–112 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, C.F., 2004. An Introduction to Opening-Closing Tectonics. *Geological Bulletin of China*, 23(3):200–207 (in Chinese with English abstract).
- Li, S.X., Zhang, Z.X., Zeng, Z.X., et al., 2019. Mountain. China

- University of Geosciences Press, Wuhan, in Press (in Chinese).
- Ma, Z.J., 2004. Postscript. *Geological Bulletin of China*, 23(3): II (in Chinese).
- McKenzie, D. P., Parker, R. L., 1967. The North Pacific: An Example of Tectonics on a Sphere. *Nature*, 216(5122): 1276–1280. <https://doi.org/10.1038/2161276a0>
- Morgan, W.J., 1968. Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks. *Journal of Geophysical Research*, 73(6): 1959–1982. <https://doi.org/10.1029/jb073i006p01959>
- Patriat, P., Achache, J., 1984. India-Eurasia Collision Chronology has Implications for Crustal Shortening and Driving Mechanism of Plates. *Nature*, 311(5987): 615–621. <https://doi.org/10.1038/311615a0>
- Patzelt, A., Li, H. M., Wang, J. D., et al., 1996. Palaeomagnetism of Cretaceous to Tertiary Sediments from Southern Tibet: Evidence for the Extent of the Northern Margin of India Prior to the Collision with Eurasia. *Tectonophysics*, 259(4): 259–284. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00181-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00181-6)
- Qiu, J. X., 2004. Opening-Closing Tectonics and Magmatic Activity. *Geological Bulletin of China*, 23(3): 222–231 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. S., 2004. Preface: Several Problems about “Opening” and “Closing”. *Geological Bulletin of China*, 23(3): III–V (in Chinese).
- Ren, J. S., Hao, J., Xiao, L. W., 2002. Tectonic Research of China: Review and Prospect. *Geological Review*, 48(2): 113–124 (in Chinese with English abstract).
- Wan, T. F., 2007. Geotectonic Outlines of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, H. Z., 2004. Postscript. *Geological Bulletin of China*, 23(3): I (in Chinese).
- Xu, X., 1998. On Opening-Closing Tectonics of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(1): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. G., 1995. Late Precambrian Scissors-Type Opening-Closing Tectonics and Its Dynamics in South China. *Acta Geologica Sinica*, 69(4): 285–295 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., 2004. Some Problems of Opening-Closing Tectonic. *Geological Bulletin of China*, 23(3): 195–199 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Guo, T. Y., Lu, Y. L., et al., 1984. Chinese Geotectonic Evolution in the “Opening” and “Closing”. *Earth Science*, 9(3): 39–53 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Jiang, C. F., Zhang, K., et al., 2016. Opening-Closing Tectonics: Exploration of a New Idea on Global Tectonics. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 42–60 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Jiang, C. F., Zhang, K., et al., 2018. Several Problems of Novel Global Tectonic View. *Geological Science and Technology Information*, 37(1): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Jiang, C. F., Zhang, K., et al., 2019. Discussions on Opening-Closing-Rotating Tectonic System and Its Forming Mechanism and on the Dynamic Mechanism of Plate Tectonics. *Earth Science Frontiers*, 26(1): 337–355 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Wang, J., Liang, X., 2012. The Major Characteristics of Geotectonics of Asia and Regularities of Evolution. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 1–17 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Zheng, J. D., 2002. Panorama on Theory Opening-Closing Tectonics of China. *Geological Science and Technology Information*, 21(4): 31–34 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, Z. P., 1999. Intercontinental Opening-Closing Tectonics Pairing. In: Ma, Z. J., Yang, Z. E., Wu, Z. W., eds., *Tectonics: Progress of Lithospheric Dynamics*. Seismological Press, Beijing, 138–148 (in Chinese).
- Zhang, K., 1994. Tarim: A Complex Basin Structure Experienced of Multiple Opening Closing Cycles. In: *Basin Oil and Gas Exploration Colloquium: Memory of 10th Anniversary of Shacan No. 2 Well in the Oil and Gas Breakthrough*. Xinjiang People's Publishing House, Urumqi; Cultural Education Press, Hongkong, 51–57 (in Chinese).
- Zhang, K., 2004. Theory of Fault-Block and Opening-Closing Tectonics—A New Theory in China’s Tectonic Study. *Geological Bulletin of China*, 23(3): 208–213 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. H., Yang, W. R., 1988. Application of Fluid Inclusions in Tectonic Geology. *Chinese Journal of Geochemistry*, 7(2): 183–188. <https://doi.org/10.1007/bf02894971>
- Zhang, W. Y., Zhang, K., 1987. The Variant and Oil-Bearing Basin of Mesozoic and Cenozoic Gas Prospect. Chinese and Adjacent Sea Area. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zheng, J. D., Yang, W. R., Guo, T. Y., 1989. Geotectonic Map of China (1: 14 Million). In: Ma, X. Y., ed., *Lithospheric Dynamics of China*. SinoMaps Press, Beijing (in Chinese).
- Zhu, S. N., Wu, H., 2009. The Opening-Closing Tectonics of the Northern Qinling Orogenic Belt. SinoMaps Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈哲夫,成守德,梁云海,等,1997.新疆开合构造与成矿.乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社.
- 邓清禄,杨巍然,1996.陆内造山带“开”、“合”时序演化的地球化学表征——桐柏北坡二郎坪群例析.地质地球化学,24(6): 53—59.
- 郭铁鹰,梁定益,张宜智,等,1991.西藏阿里地质.武汉:中国地质大学出版社.
- 黄汲清,姜春发,王作勋,1990.新疆及邻区板块开合构造及手风琴式运动.新疆地质科学,(1): 3—14.
- 姜春发,1994.从多旋回说到开合构造.地球学报,15(3—4): 103—112.
- 姜春发,2004.开合构造概述.地质通报,23(3): 200—207.
- 李舜贤,张志新,曾佐勋,等,2019.山.武汉:中国地质大学出版社,待出版.
- 马宗晋,2004.题词.地质通报,23(3): II.
- 邱家骥,2004.开合构造与岩浆活动.地质通报,23(3): 222—231.
- 任纪舜,2004.序——“开”与“合”的几个问题.地质通报,23(3): III—V.
- 任纪舜,郝杰,肖藜薇,2002.回顾与展望:中国大地构造学.地质论评,48(2): 113—124.
- 万天丰,2007.中国大地构造学纲要.北京:地质出版社.
- 王鸿祯,2004.题词.地质通报,23(3): I.
- 徐新,1998.概论新疆开合构造.新疆地质,16(1): 1—12.
- 徐志刚,1995.华南晚前寒武纪剪刀式开合构造及其动力学.地质学报,69(4): 285—295.
- 杨巍然,2004.开合构造研究中的几个问题.地质通报,23(3): 195—199.
- 杨巍然,郭铁鹰,路元良,等,1984.中国构造演化中的“开”与“合”.地球科学,9(3): 39—53.
- 杨巍然,姜春发,张抗,等,2016.开合构造:新全球构造观探索.地学前缘,23(6): 42—60.
- 杨巍然,姜春发,张抗,等,2018.新全球构造观中几个问题的探讨.地质科技情报,37(1): 1—6.
- 杨巍然,姜春发,张抗,2019.开合旋构造体系及其形成机制探讨:兼论板块构造的动力学机制.地学前缘,26(1): 337—355.
- 杨巍然,王杰,梁晓,等,2012.亚洲大地构造基本特征和演化规律.地学前缘,19(5): 1—17.
- 杨巍然,郑剑东,2002.中国开合构造研究的回顾与展望.地质科技情报,21(4): 31—34.
- 袁哲平,1999.洲际开合配对构造.见:马宗晋,杨主恩,吴正文,编,构造地质学:岩石圈动力学研究进展.北京:地震出版社,138—148.
- 张抗,1994.塔里木:一个经历了多次开合旋回的复杂结构盆地.见:塔里木盆地油气勘查文集:纪念沙参二井油气重大突破十周年.乌鲁木齐:新疆人民出版社;香港:文化教育出版社,51—57.
- 张抗,2004.断块开合说——中国大地构造研究的新思维.地质通报,23(3): 208—213.
- 张文佑,张抗,1987.中国及邻区海域中、新生代盆地变型及含油气远景.见:翟光明,编,北京石油地质会议报告论文集.北京:石油工业出版社.
- 郑剑东,杨巍然,郭铁鹰,1989.大地构造(1:1 400万).见:马杏垣,编,中国岩石圈动力学图集.北京:中国地图出版社.
- 朱松年,吴海,2009.北秦岭造山带的构造开合.北京:大地出版社.