

祝贺任纪舜院士九十华诞暨从事地质工作七十周年 序

王瑜¹⁾, 赵磊²⁾

1) 中国地质大学(北京), 北京, 100083; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

大地构造学是地球科学的基础,也是纲领性的学科领域。大地构造、地球动力学演化的理论与假设是地质、地球物理、地球化学学家们研究地球演化的基础。20世纪中叶,中国大地构造学家们在借鉴槽台学说的基础上,提出了多旋回、地洼、波浪-镶嵌、断块构造等学说。20世纪末,中国大地构造学家们全面接受了板块构造思想,对中国三大构造域、多个造山带、克拉通板块的演化取得了诸多进展并提出了新的观点与认识。

中国大陆的构造演化极为复杂,不同块体、不同构造单元长期、多期次聚合与裂开。任纪舜先生是中国大地构造学的带头人之一,坚持以基本的野外地质事实为依据,以大地构造在矿产与能源勘探等方面的指导作用为前提,站在全球构造和地球系统高度思考和研究中国大陆复杂的构造演化过程,对中国大地构造发展作出了杰出贡献。

任先生师承黄汲清院士,从20世纪50年代开始,一直致力于大地构造与地球系统的研究,范围涵盖了中国大地构造中关键格架的特提斯构造域、古亚洲洋构造域、滨太平洋构造域等核心领域,继承和发展了多旋回构造思想。他通过长期的野外考察、读图与理论推演,揭示了中国大陆内部复杂的构造历史。从20世纪70年代开始,任先生领导的大地构造群体,系统地编制了不同比例尺的中国及邻区大地构造图,对陆块、海-陆关联的演化过程不断完善。将黄汲清先生的多旋回构造思想与板块构造结合,首次在中国大地构造图上详细标绘了中国各时代的板块缝合带,全面论述了中国的构造旋回、构造单元、断裂系统、深部构造和演化历史;将原属中朝地台的淮阳地盾(桐柏-大别山)归入秦岭造山带,对中国东部构造单元划分做了重要修正;建立兴凯旋回,强调印支运动的划时代意义。并揭示了中国东部地壳—上地幔的立交桥式结构及其动力学背景,指出东亚显生宙构造演化主要体现为冈瓦纳大陆裂解,亚洲大陆增生,古亚洲洋、特提斯和滨太平洋三大构造域的形成。对三大构造域的关键部位进行了深入的研究,确认了它们的转换时间、运动学和动力学过程。提出不论古亚洲洋,还是特提斯,都不是结构简单的大洋盆地,而是由一系列海底裂谷带(小洋盆带)和众多微陆块组合而成的结构复杂的洋盆体系。同时,强调要把地球的各个圈层,包括大气圈、水圈、生物圈、岩石圈以及地球内部各圈层作为一个整体,用时空四维的、流动的观点进行研究。进而正式提出“地球系统多圈层构造观”,将大地构造学从研究地球表层的地壳构造、岩石圈构造,推进到研究地球整体多圈层构造的新阶段。

秦岭造山带的研究是任先生的标志性成果之一。这一地区,地壳经历了多期复杂的构造演化过程,包括从早期的板块俯冲与碰撞到后期的构造挤压与伸展垮塌。任先生系统地揭示了秦岭造山带的构造分区及其演化特征,尤其是在古生代和中生代的变形与演化方面。通过此研究将中国的构造演化与全球板块运动的框架连接在一起,深化了我们对地壳构造复杂性的理解。

在中国华南大地构造的研究中,任先生特别关注板块构造理论的应用,并对华南地区复杂的构造历史进行了深入解读。由于经历了多个地质时期的构造转化,华夏陆块区域展现出独特的构造层序与历史。任先生通过多年的研究,提出了华南地区的多期叠加变形过程,确认中国东南部为加里东褶皱带,南海原为前寒武纪地块。此发现不仅挑战了传统的单一构造期观点,还为后续研究提供了新的方向。这些研究为理解中国大陆的整体构造格局奠定了重要的理论基础。

特提斯构造域的研究是任先生多年倾注时间和精力的另一研究区。作为全球板块构造体系的重要组成部分,特提斯构造域从欧洲延伸至东亚,涵盖了多个复杂的构造域。任先生对特提斯构造域的研究中发现滇西为印支褶皱带,划定了中国南部的基本构造单元,确立了从青藏高原北部经滇西到马来西亚的世界上规模最大的印支造山带。不仅揭示了其在中生代和新生代的演化历程,还首次提出了特提斯带构造演化的全球模式。他的工作连接了东亚、西亚和欧洲的构造演化历史,深化了我们对该地区地质结构的理解,奠定了全球特提斯构造研究的基础。

在近年来古亚洲洋构造体系的研究中,任先生对该地区从元古宙末期到中生代的“长期、多次俯冲碰撞”提出了质疑,并在新的研究过程中,主张加里东运动是古亚洲洋构造域重要的一次整体闭合过程。晚古生代的构造演

化并不是先期俯冲-碰撞作用的继续,而是在早期的大陆块体拼贴基础上的局部“红海型”的拉张以及块体的聚合。这在有关的内蒙古、东西准噶尔盆地、天山、阿尔泰山等地区蛇绿岩的研究、沉积过程等得到证实。

对于古太平洋—现代太平洋的演化,早期运用地球物理资料,从深部构造特征阐述了活动带、稳定区及其转化,指出大西洋式边缘和太平洋式边缘,大陆和大洋可以相互转化,单纯的大陆增长论是不正确的;提出了滨大陆边缘活动带(活化带)的概念;指出中国东部大陆边缘曾经经历了大西洋式(古生代)→安底斯式(中生代)→岛弧-边缘海式(新生代)的演化过程。新近提出了中国东部大陆变形和改造并非陆内造山,而是太平洋构造域叠加在中国东部构造之上的论述,并且对中国东部的大地构造从北美-北冰洋板块与欧亚板块的相互作用提出了独到的认识。

此外,任先生在继承和发展“构造旋回与再旋回”这一开创性理论的同时,强调了地质历史中板块构造活动的周期性和重复性。他认为,地球的构造演化不仅是板块的生成与消亡,更是一个不断循环的动态过程。在这一理论框架下,任先生从地球深部动力学的角度重新审视全球构造的形成机制。用发展、全球构造的眼光,坚持和完善地质过程的多旋回性,这与Wilson旋回、超大陆的形成—裂解—聚合有着一致性,并且在区域大地构造演化方面具有更为精细的分析和解剖。他的研究揭示了地壳构造活动的长期演变规律,为我们理解地球系统演化提供了新的视角。

中央电视台曾报道了任先生的“吾家吾国”的爱国精神,“开拓、探索、创新”的科学思想。《地质学报》为弘扬任先生的“坚持客观、不盲从、以超前的思想意识创新—探索大地构造学”的科学精神,以“全球视角、地球系统科学观的分析和研究中国的大地构造”的思维方式,特编辑出版以从事地质、地球物理研究的年轻一代学者为主撰写的论文,反映新的大地构造思想以及新的研究成果,体现了对古大陆的演化、板块的俯冲和碰撞过程、陆块边缘的构造过程对陆内变形、成矿、灾害响应等前沿科学问题的分析和认识。

本专辑所收录的19篇论文,集中展示了近年来在任先生指导或启发下所取得的大地构造研究领域创新性进展。这些研究不仅继承了任先生的学术思想,还通过引入现代技术手段,提出了许多新的构造模型和理论。集中反映了从太古宙到现今、从全球典型地区到中国具体的构造单元、从稳定克拉通基底到活动造山带等大地构造的多个方面,具体反映了三大构造域的演化、以及它们各自的特征、板块俯冲与大陆响应的特征和过程、板块构造演化、大地构造格局转换中的岩石圈变化和结构等。可进一步细化为五个方面的研究内容。

(1) 中国大地构造演化中的基底或克拉通基底的形成与演化

万渝生等(2025)系统总结了全球冥古宙—太古宙陆壳的形成与演化,把冥古宙—太古宙陆壳形成演化历史划分为四个阶段,分析了太古宙—元古宙关键转折期在地球的演化历史上的里程碑意义。刘建辉等(2025)对胶-辽古元古代地壳演化进行了深入的解剖,构建了胶-辽-吉古元古代构造带的起源及动力学演化模式,对胶-辽-吉古元古代构造带的构造属性及动力学演化长期争议提供了重要约束。张健等(2025)对徐淮地区940~890 Ma的岩浆事件进行了分析,认为华北地区中元古代晚期—新元古代早期的基性岩床与板块俯冲后撤或大地幔楔作用有关。这些研究工作对中国东部古大陆的演化、板块的起源、大陆的活动等具有重要的指导和借鉴意义。

(2) 中国大地构造单元诸多争议问题

陈奋宁等(2025)通过沉积序列、古流向、沉积物源和原型盆地类型分析研究了阿尼玛卿山一带的地质演化,认为共和盆地三叠纪时为弧后盆地,巴颜喀拉盆地三叠纪为残留洋盆地,其中间的阿尼玛卿山地区在三叠系沉积之前已经隆升并成为剥蚀区。张素梅等(2025)通过岩相学、锆石U-Pb年代学、全岩地球化学及Lu-Hf同位素等手段,在华南长期争议的地质过程中发现了泛非期岩浆活动的证据,厘清了泛非造山运动作用于华南造山带乃至华南地区的时限和作用范围、岩浆成因。赵磊等(2025)对古亚洲洋构造域西段的蛇绿岩特征进行了细致剖析,认为蛇绿岩时代整体上可以分为新元古代晚期、埃迪卡拉纪—早寒武世、寒武纪—奥陶纪和泥盆纪—早石炭世四个时段,由西伯利亚克拉通边缘向南西逐渐变新,以寒武纪—奥陶纪蛇绿岩分布最为广泛,并且认为不存在统一的原始古亚洲洋,而是发育前后相继的若干个次生的古亚洲洋。孟勇等(2025)研究了古亚洲洋构造域中西段从新元古代到泥盆纪的构造过程,认为发生在志留纪末的加里东造山运动使阿中地块、中祁连地块、南祁连地块、柴达木地块、西秦岭联合地块、秦岭地块和上扬子陆块拼贴在中轴大陆块区南缘,造成中轴大陆块区南缘大陆增生,发生在中泥盆世末—晚泥盆世的天山造山运动使中轴大陆块区中西段与扩大了西伯利亚陆块拼接在一起。这些研究成果对古亚洲洋的演化以及中央造山带的演化提供了重要的地质证据。

(3) 西太平洋边缘板块活动及与东亚大陆的相互作用

洪文涛等(2025)对西南日本晚中生代地质演化与华南构造-岩浆过程进行了对比研究,认为西南日本晚中生代由古太平洋板块俯冲所引起的区域构造运动可大致分为三期:早燕山运动(~190 Ma, 165~160 Ma)、中燕山运

动(~ 135 Ma)以及晚燕山运动($110\sim 100$ Ma),与华南或整个中国东部燕山期构造演化具有一致的表现形式。这些构造事件与大洋上微陆块的拼贴以及洋脊俯冲过程密切相关。侯方辉等(2025)通过海底钻孔岩芯同位素年代学和地球化学数据分析认为西菲律宾海底与冈瓦纳大陆的年龄谱具有相似性,表明西菲律宾海(原菲律宾海陆块)可能起源于东冈瓦纳大陆澳大利亚陆块东北边缘。该研究为进一步约束东南亚—西太平洋的古板块构造格局及演化提供了证据。徐子英等(2025)通过南海东部次海盆下地壳倾斜反射体结构特征,研究了海盆洋壳增生过程及南海海盆扩张过程,认为东部次海盆的洋壳增生过程是非对称性和非均一的,这对于南海为快速还是缓慢扩张的解释具有重要意义。张进等(2025)通过统计分析基于断层滑动矢量反演得到的古构造应力场数据,细化了前人关于中国东部古构造应力场的划分方案,将中国中东部的中生代演化划分为 4 个阶段,即中、晚三叠世、中侏罗世—早白垩世、早白垩世、早白垩世末—晚白垩世初,并进一步约束了主要构造阶段的环境与背景,认为中国中东部中生代的陆内演化或者变形与不同时代来自不同方向的板缘作用有重要关系。石玉若等(2025)在分析和梳理郯庐断裂中生代构造演化基础上,结合岩浆活动的年代学与地球化学数据,提出郯庐断裂的大型走滑启动与早白垩世(~ 143 Ma)洋底高原与欧亚大陆的碰撞有关;并且认为郯庐断裂是导致华北克拉通发生破坏的关键因素,为深部幔源物质的上涌提供了通道;而且郯庐断裂带两侧有规律地成群成带分布的金矿等多金属矿产,形成于郯庐断裂大型挤压走滑后(~ 123 Ma)的伸展背景。

(4)新的视角探讨关键的地质演化过程

周丽云等(2025)在野外构造-岩浆作用和室内年代学分析的基础上,对古亚洲洋-古太平洋构造格局的转换过程进行了分析,认为中国东部构造格局转换的开始发生在中晚侏罗世,发生了从陆缘到华北内陆大量同构造岩浆活动,同时中上地壳变形作用为由南东向北西方向的挤压变形形成了不同地带的断层、褶皱和韧性剪切带,但克拉通基底构造保持原有的变质片麻理等的,亦即基底和盖层间发育有拆离带,同时下地壳发生同构造岩浆流动,表明地壳的层间滑脱与解耦,同时间的地幔物质上涌所导致下地壳的部分熔融,以及可能的地幔物质的从东向西的水平流动,从而导致壳-幔物质解耦。刘松楠等(2025)从晚古生代晚期—中晚三叠世的沉积过程、晚三叠世强烈褶皱变形与中—酸性岩浆侵入分析,认为松潘-甘孜造山带的地质演化过程中未出现新生洋壳和俯冲带,裂谷的衰亡和应力场反转的动力学机制可能受控于印支期造山的远程响应,揭示了松潘-甘孜造山带为大陆裂谷基础上的陆内造山,或裂谷反转,而不是板块俯冲作用造山。王瑜等(2025)综合国际、国内近 20 年来的大地构造研究和存在的问题,分析和探讨了中国大地构造未来发展应加强地幔动力学、大陆内构造的研究,从而解决和探讨国际地球科学所关注的重大科学命题。

(5)应用新的地球物理、碎屑锆石技术和方法等探索地质演化过程的差异性

刘嘉栋等(2025)利用接收函数研究河套裂谷系西段及周边区域地壳结构,并结合鄂尔多斯盆地西北缘狼山隆起相对较低的波速比,推断狼山隆起受南北向挤压导致上地壳增厚是隆起造山的主要原因,并发现临河拗陷莫霍面轻微上隆,推断临河拗陷地壳在拉伸环境下受地幔物质上涌影响发生减薄。该探测结果对探索河套裂谷系和阴山造山带的形成机制提供了一定的约束。胡培远等(2025)通过碎屑锆石年龄及稀土元素变化来约束造山带的演化,认为碎屑锆石 Eu/Eu^* 和 $\text{LREEN}/\text{HREEN}$ 的计算结果与冈底斯山脉的地壳增厚过程总体一致,指示岩浆结晶压力是锆石稀土元素的主导控制因素,而碎屑锆石的 Eu/Eu^* 和 $\text{LREEN}/\text{HREEN}$ 变化趋势在新特提斯洋俯冲消减阶段(约 $150\sim 60$ Ma)具有较好的耦合关系。徐芹芹等(2025)应用裂变径迹和 $(\text{U}-\text{Th})/\text{He}$ 等方法分析了古生代以来,东准噶尔构造带的多阶段构造演化和隆升与剥露过程,认为东准噶尔构造带经历了晚石炭世—早二叠世($330\sim 290$ Ma)、早二叠世晚期—中二叠世($285\sim 260$ Ma)、三叠纪($250\sim 230$ Ma)、早白垩世($135\sim 115$ Ma)4 期快速的冷却剥露作用,并分别对应额尔齐斯-斋桑洋在晚石炭世的闭合,晚古生代卡拉麦里构造带的右行走滑变形,羌塘地块和昆仑-柴达木地块碰撞的远程效应,北侧蒙古-鄂霍茨克洋的关闭和南侧羌塘地块与拉萨地块碰撞的联合作用。刘仁燕等(2025)通过华北克拉通南缘、欧龙布鲁克微陆块以及祁连山等地埃迪卡拉纪冰碛岩地层的综合对比分析,并结合扬子及塔里木克拉通的冰期资料和区域上蛇绿岩的发育,认为华北、扬子、塔里木克拉通及其间的陆块/微陆块在埃迪卡拉纪可能连为一体,共同沉积了古中国地台最初的盖层,原特提斯洋可能并不是从元古宙延续到早古生代的大洋,而是古中国地台解体后产生的早古生代小洋盆-微陆块体系。

任先生是中国大地构造学的奠基者和发展者之一。他的研究涉及面广泛,特别是在中国大地构造、特提斯构造带以及全球构造系统的研究中作出了卓越的贡献。任先生的指导风格充满激情,他能将复杂深奥的地质理论转化为生动的学术体验,深深感染着每一位学生以及向他请教、讨论问题的不同年龄段的学者、勘探-能源开发的实践者。他不仅是我们的学术导师,也是人生道路上的引领者。“不唯上、不唯书、只唯实”,“瞄准不等于射中,跟踪难企及超越”是任先生的人生信条,“要做事,而且要做前人没有做过的事”的科学精神,以及“吾家吾国”的科学

情怀,是我们永远追随和学习的榜样。

在与任先生共同探讨地球系统演化的过程中,我们深切感受到他对这一研究领域的执着和热爱。任先生“能用锐利而敏捷的眼光分析地质成果,达到去粗存精、去伪存真的目的,对重大科学问题能深入探讨,穷追不放,必须达到水落石出(黄汲清先生的评价)”。他的研究不仅揭示了中国大陆及周边地区的构造演化过程,还为我们提供了全球视野,帮助我们更深入地理解地球系统的整体过程与规律。

作为任先生的学生和晚辈,我们深切体会到他对学术传承的重视。他不仅教导我们如何进行科研,还教会我们用批判性的眼光审视已有的学术成果。任先生鼓励我们提出新的假设,超越现有的理论框架,探索未曾发现的地质现象。他对学术的热情和不懈追求,深深影响了我们这一代年轻学者。

进入新世纪,随着国家经济的发展,资源和能源瓶颈的凸现,任先生将大部分精力投入到中国及邻区成矿地质背景的研究。这种超凡的视野不仅改变了我们对地质学的认知,也为我们未来的研究开辟了崭新的道路。在任先生的引导下,我们逐渐意识到,地质学的未来不仅仅是对过去的回顾,更在于对未来的展望。他坚信,地质学研究不仅是对历史地质事件的解读,更是对未来地质活动的预测。随着大数据分析和人工智能的迅速发展,地质学界正在进入一个前所未有的变革时代。未来的构造地质学研究将越来越依赖于新技术与传统理论相结合。新兴技术的引入,使我们能够以前所未有的精度和速度观察地球内部的运动。这为未来的构造活动预测、地震预测和资源勘探提供了重要的科学依据。通过对全球构造运动的动态监测,未来的研究将有助于揭示板块运动与气候变化、地质灾害之间的关系。任先生鼓励我们大胆尝试新技术,打破学科的界线,将地质学与物理学、化学、环境科学等多领域相结合,探索地球系统演化的复杂机制。

诚如任先生所展望的未来,大地构造学的研究将继续深化对全球构造的理解。我们将更加关注大陆构造的演变,从全球视角分析其对气候变化、环境变迁及人类生存的深远影响。研究将着重探讨地质构造活动如何与气候和环境相互作用,进而影响人类社会的可持续发展。我们坚信,未来的构造研究不仅将揭示更多地球内部的奥秘,更将为应对全球环境变化和促进人类生存的和谐发展提供科学支持。

作为他的学生,我们深知科研的道路充满挑战与困难。但正是任先生的指引与鼓励,使我们能够在这条路上坚持不懈。他不仅传授知识,更以身作则,教会我们如何面对学术中的挫折和困惑。通过本专辑,我们希望能够将任先生的学术精神传递给更多年轻学者,激励他们在未来的地质学研究中勇敢探索、不断创新,为大地构造学的发展作出更大的贡献。

参 考 文 献

- 陈奋宁,计文化,辜平阳,李荣社,陈守建,张海军,孟勇,张晨博,查显锋. 2025. 布青山-阿尼玛卿山两侧三叠纪盆地沉积特征及其对布青山-阿尼玛卿洋关闭时限的约束. 地质学报, 99(1): 192~208.
- 洪文涛,邢光福,余明刚,褚平利,曹现志. 2025. 西南日本晚中生代地质演化及其对中国华南构造-岩浆过程的启示. 地质学报, 99(1): 120~138.
- 侯方辉,黄威,朱晓青,陆凯,秦轲,李攀峰,孙军,韩同刚. 2025. 西菲律宾海起源——来自海底钻孔岩芯同位素年代学和地球化学的证据. 地质学报, 99(1): 252~264.
- 胡培远,翟庆国,唐跃,刘一鸣,杨宁,李金勇,巫凌放,常晟. 2025. 碎屑锆石稀土元素约束造山带演化:以西藏冈底斯山脉为例. 地质学报, 99(1): 306~319.
- 刘嘉栋,吴庆举,朱敏. 2025. 利用接收函数研究河套裂谷系西段及周边区域地壳结构. 地质学报, 99(1): 293~305.
- 刘建辉,李国硕,徐玮男,丁正江. 2025. 华北克拉通胶-辽-吉古元古代构造带的形成及动力学演化. 地质学报, 99(1): 23~43.
- 刘仁燕,徐芹芹. 2025. 中国埃迪卡拉纪冰碛岩综合对比研究:对原特提斯洋起源的限制. 地质学报, 99(1): 150~165.
- 刘松楠,陈鑫,王瑜. 2025. 大陆裂谷的构造反转与陆内造山:以松潘-甘孜构造带为例. 地质学报, 99(1): 277~292.
- 孟勇,张欣,陈奋宁,李佐臣,冯益民,祁尧刚,郑若蕾. 2025. 古亚洲洋构造域中西段新元古代晚期至晚泥盆世的构造运动. 地质学报, 99(1): 58~77.
- 石玉若,康月蓝,彭文骁. 2025. 深大断裂之郯庐断裂. 地质学报, 99(1): 104~119.
- 万渝生,颜强强,谢士稳,刘守偈,马铭株,董春艳,李鹏川,李源. 2025. 全球冥古宙-太古宙陆壳形成演化. 地质学报, 99(1): 1~22.
- 王瑜,孙立新,孙君一,周丽云,王树志. 2025. 中国大地构造研究的关键问题与未来发展. 地质学报, 99(1): 139~149.
- 徐芹芹,赵磊,王艳楠. 2025. 新疆东准噶尔晚古生代-中生代的剥露历史:来自裂变径迹和(U-Th)/He 热年代学的约束. 地质学报, 99(1): 320~336.
- 徐子英,姚永坚,汪俊,唐江浪,高红方,李学杰,曾程辉. 2025. 南海东部次海盆下地壳倾斜反射体结构特征及成因. 地质学报, 99(1): 265~276.
- 张健,李怀坤,张传林,田辉,周红英,钟焱,于建中. 2025. 华北克拉通东南缘徐淮地区 940~890 Ma 基性岩:岩石成因和地球动力学. 地质学报, 99(1): 166~191.
- 张进,张北航,赵衡,刘玉刚,江海,曲军峰,王振义,张义平,赵硕. 2025. 中国中东部中生代古构造应力场特征与背景. 地质学报, 99(1): 78~103.
- 张素梅,汪洋,任纪舜,朱俊宾,张敏杰,苏天瑞,王霄汉,于延秋,王诗琪. 2025. 华南造山带上泛非期岩浆活动证据的发现及地质意义. 地质学报, 99(1): 209~223.
- 赵磊,张维,徐芹芹. 2025. 古亚洲洋构造域西段蛇绿岩特征及意义. 地质学报, 99(1): 44~57.
- 周丽云,陈鑫,王瑜,高洪雷. 2025. 从古亚洲到古太平洋构造格局转换过程中的壳-幔解耦. 地质学报, 99(1): 224~251.