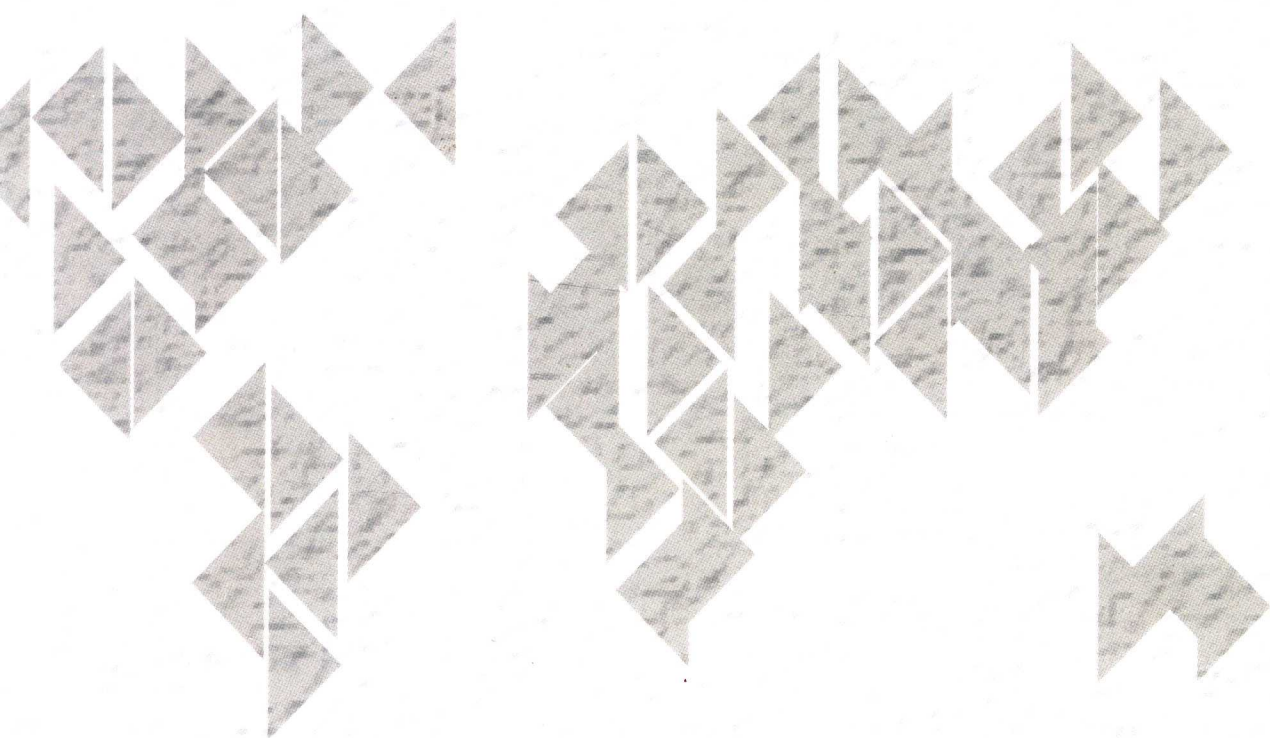


板块构造、地质事件 与资源效应

——地质科学若干新进展

翟明国 肖文交 主编



科学出版社

谨以此书献给著名地质学家孙枢先生

板块构造、地质事件与资源效应 ——地质科学若干新进展

翟明国 肖文交 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书所述的科学问题都是当前地质科学的前沿问题。最近 20 年来,我国地质界以及身居海外的华裔学者对地质科学重大和前沿问题的研究已大大提升了地质科学的水平和中国在这个领域的国际地位,本书的许多作者都是为此做出卓越成绩的贡献者和群体的重要成员,他们以广阔的视野展现了当代地质科学相关领域的新面貌和新进展:从火星的板块构造到地球板块构造的俯冲带、造山带、克拉通……从前寒武纪重大地质事件、白垩纪大洋红层到第四纪冰期,既涉及地质科学的重大基础理论,也涉及资源、能源、环境面临的挑战和未来发展战略。

本书可供构造地质、地球化学、沉积学等地质科学相关专业的专家和学生参考,也可供跨学科、跨专业的专家和学生阅读和了解。

图书在版编目(CIP)数据

板块构造、地质事件与资源效应:地质科学若干新进展/崔明国,肖文交主编. —北京:科学出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-03-043422-7

I. ①板… II. ①崔…②肖… III. ①地质学—文集 IV. ①P5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 033481 号

责任编辑:韦 沁 韩 鹏/责任校对:李 影

责任印制:肖 兴/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张:28 1/2

字数:680 000

定价:258.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

从地学大国走向地学强国

(序)

刘嘉麒

中国科学院地质与地球物理研究所

当前，地球科学正在突飞猛进地向前发展，人类面临的资源、能源、环境、灾害等一系列重大问题无不与地球科学密切相关，无不依赖地球科学去解决。面对这些挑战，地质科学的基础研究承担着科技创新源泉的关键作用。这部由翟明国和肖文交主编的《板块构造、地质事件与资源效应——地质科学若干新进展》文集，汇集了 17 篇论文，共 61 位作者，他们以广阔的视野展现了当代地质科学有关领域的新面貌和新进展：从火星的板块构造到地球板块构造的俯冲带、造山带、克拉通……从前寒武纪重大地质事件、白垩纪大洋红层到第四纪冰期，既涉及地质科学的重大基础理论，又涉及资源、能源、环境面临的挑战和未来发展战略。

本书的写作和编撰有其自己的特色。在约稿时就建议作者可从自己已发表的著作中选择一个或几个问题进行阐述和讨论，并便于非本专业的专家和学生阅读及了解。我读完这些文章后感到，这个目的基本上达到了。例如，尹安在文章引言中说：“鉴于读者可能有很不相同的背景，文章力求简明易懂，主要介绍火星的基本大地构造历史。……如对此十分关注，则请阅读我的两篇长文，其中含有本文讨论的每个问题的参考文献目录。”我想这对火星板块构造专业以外的读者来说是十分有益的。其他作者的文章也都同样有着已发表论文的背景，这反映在其参考文献中。

文集涉及的科学问题都是当前地质科学的前沿问题。最近 20 年来，我国地质界以及身居海外的华裔学者对地质科学重大和前沿问题的研究已大大提升了地质科学的水平和中国在相关领域的国际地位，本书的许多作者都是为此做出卓越成绩的贡献者及群体的重要成员，他们已发表的论文在国际上有着引人注目的高引用率，我因能为此文集作序感到高兴和骄傲。文集内容很丰富，但限于自己的知识水平，要把每篇文章的精髓都提炼出来是很难的，只能就自己能理解和感兴趣的问题略谈一二。

尹安指出，火星和地球虽然都有板块构造，却存在很大差异。现时地球上的板块构造具有全球性，而火星的板块构造仅在局部地区出现，约占火星面积的 25%。火星和地球在太阳系形成的早期可能有共同的演化阶段，因而，火星的构造演化可以作为理解板块构造如何贯穿于地球形成和发展历史的一个导向。

牛耀龄强调 40 多年前板块构造理论的问世是地球科学的一场革命，是地球科学的纲

领性理论。他从一些基本概念出发,讨论了俯冲带的成因、俯冲带后撤的原因及由此导致的一系列全球构造问题,如大陆漂移、弧后盆地的形成与演化及我国东部岩石圈减薄的可能原因。

周新华和张宏福重点讨论了显生宙华北大陆岩石圈转型各阶段的时空特征及物质组成变异,提出并论证发生在地幔深度的熔/流体交代作用是导致岩石圈转型的关键机制,而周边板块的俯冲和碰撞作用造成的熔/流体活动是克拉通深部物质和能量交换的一级外部控制因素。

李正祥系统简要地论述了包括扬子克拉通和华夏地块的华南大地构造演化史,论及古老结晶基底的物质组成,四堡造山和 Rodinia 聚合,新元古代板内岩浆作用,大陆裂谷作用,地幔柱和 Rodinia 裂解,奥陶纪—志留纪武夷—云开造山带和前陆盆地,二叠纪—侏罗纪造山事件及侏罗纪—白垩纪大岩浆岩省,从安第斯型活动边缘向现代西太平洋型边缘的转换,以及新生代印度—欧亚陆陆碰撞在华南地块西缘的效应。

蔡克大、孙敏等根据大量新资料指出,早古生代哈巴河群形成于活动陆缘环境而非被动陆缘,阿尔泰造山带约 84% 的物质系古生代地幔来源的年轻物质,主要由古生代时期的消减增生体组成而非前寒武纪微大陆;提出用增生造山过程中的洋脊俯冲模型来解释构造岩浆事件。

高俊、龙灵利等通过西天山造山带研究,提出了“同俯冲期弧杂岩侧向增生”和“后碰撞幔源物质底垫垂向增生”的两阶段模型,阐述了中亚造山带显生宙地壳生长机制;并指出西天山具前寒武纪基底,同东西准噶尔和阿尔泰造山带相比,西天山有更多古老地壳物质的再循环。

肖文交、韩春明等阐述了早古生代至二叠纪—早三叠世中亚造山带的演化与形成,指出北疆古生代时类似现今西南太平洋的多岛海格局,动态地发育弧前增生、弧后扩张与增生弧—增生楔等复杂造山作用,并具多重构造极性,这一过程成为中亚大陆侧向增生的主要机制之一。

翟明国在华北克拉通早期演化研究的基础上,总结出地球早前寒武纪历史上最重大的三个地质事件,即陆壳的巨量增生、前板块机制/板块机制的构造转折和由缺氧到富氧的地球环境剧变。他着重指出 25 亿年作为太古宙与元古宙的界限具有深刻的内涵,其实质是超级克拉通的形成以及拥有稳定的固—气—水圈层的地球系统。

王成善和胡修棉根据我国西藏的地层剖面提出“白垩纪大洋红层”(CORB)概念,通过“国际地学合作计划”(IGCP)研究证实了其全球性分布,阐明其形成条件为高度氧化、贫营养和低沉积速率,建立了白垩纪大洋富氧事件模式,成为探讨白垩纪大洋沉积特征和海洋—大气系统相互关系和变化的一个重要突破口。

程海在第四纪冰期—间冰期旋回、地质记录的绝对年代、同一时间尺标的气候事件序列以及地质记录之间的相关关系与对比的研究基础上,讨论了从冰期—间冰期相对快速转变过程的内、外条件,提出了在外界动力条件下地球气候系统的相互作用与反馈的循环过程导致冰期终止的新假说。

王清晨剖析了大别山和天山两条造山带的剥蚀与其相邻盆地的充填过程。重建的来自大别山的碎屑物在中侏罗纪初、中期注入合肥盆地的顺序为非超高压变质岩—高压变质岩—超

高压变质岩,而天山被断裂带切割成的不同块体因剥蚀隆起的时间差异,碎屑物注入周边盆地绝不是简单的镜像对应关系。

罗晓容、张立宽等论述了油气成藏动力学的基本原理和研究方法,主张油气成藏动力学是含油气系统概念面对生、运、聚、散复杂过程的必然延伸,并以近十多年来对多个盆地的剖析,阐明碎屑岩系常规油气运聚成藏机制及过程研究以及勘探目标评价和资源预测工作方法等方面取得的进展。

车长波、杨虎林等从我国经济快速发展的战略需求出发,阐明了国家新一轮油气资源评价工作的背景、评价的资源类别及以能源地质原理为基础的评价方法。129个含油气盆地共获得石油的地质资源量为765亿t、天然气资源量为35万亿 m^3 。勘查工作持续发展,“十一五”动态评价得出油气最新地质资源量分别为881亿t和52万亿 m^3 。评价成果表明我国油气能源地质科学大有可为。

秦克章、唐冬梅等指出世界主要铜镍矿多产于克拉通,而近年来中亚造山带北疆和邻区的造山带铜镍资源已具有相当的重要性。根据20多处早二叠世岩体和矿床的系统研究,揭示其产出环境为地幔柱对造山带的叠置,分析了小岩体镍、铜、钴成矿理论问题,展望了中亚和类似造山带研究和勘查前景。

孙卫东、丁兴等发现侏罗纪、白垩纪我国东部的岩浆事件、成矿和构造演化多与太平洋板块俯冲轨迹的变化有着密切的耦合关系,其中最显著的是中国东部石英脉型金矿的形成时代与太平洋板块俯冲方向转变的时代基本一致,均发生在距今 $122\pm 3\text{Ma}$ 左右。他们同时指出本区至少受到三次洋脊俯冲影响,其中145Ma左右的一次俯冲形成长江中下游成矿带,而120Ma左右者可能是华北克拉通破坏的主要因素。

孙卫东、李贺等概述了“俯冲工场”的相关研究进展,特别是俯冲带高氧逸度的控制因素、大火成岩省的形成、斑岩铜金矿的成矿及Nb、Ta、Ti的热迁移等问题。他们指出板块俯冲是全球尺度上物质循环、元素分异的最重要过程之一,对大陆地壳生长、地幔柱的产生和成矿等起着重要作用。

董树文、姜建军等在回顾百年来特别是近三十年来国际国内地质工作和地质科技发展历史的基础上,分析当前面临的重要挑战和机遇,提出了构建“大地质”地球系统科学体系和“大资源”能源资源材料替代体系两大科学技术体系,开拓“深陆”、“深海”、“深空”、“深时”和“深蓝”(即高科技)的“五深”探索优先重点研究领域,提出稳步迈向“地质强国”的战略目标。

写到这里我不禁想起,1998年孙枢先生同中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组首先提出“从地学大国走向地学强国”的战略目标,随后又针对地质科学提出“从地质大国走向地质强国”的战略目标,已逐渐成为学术界的共识。2002年他在纪念中国地质学会成立80周年的大会主题演讲中指出:“使中国地质学成为既是解决本国国计民生问题和保护地球的地质学,又是有力促进全球地球科学进步的地质学,就能使‘地学强国’的理想变为现实”。今年二月,他在中国地质调查局委托中国地质图书馆举办的“地球科学与文化研讨会”的报告中谈到,要成为地质强国就要在科学理论创新、技术创新、研究思路创新等方面对世界有所贡献。他特别强调近些年来的可喜变化,我国地球科学SCI论文在数量上较十年前有了数量级的变化,而且有了相当数量的高引用率的中

国和华裔地质学家，只要继续努力提高我国的研究水平和质量就能实现成为地质强国的愿望。他的这些论述充分说明他对发展我国地质科学的广阔视野和深刻的战略思考。

孙枢院士是著名地质学家、沉积学家，也是出色的科学技术管理专家。他丰富的工作经验、卓越的组织才能和德高望重的人格魅力，受到同事、同行的广泛称颂和尊重。他对沉积地质学的研究，对推动我国地质科学事业以及其他科技事业的发展，对我国经济社会发展等诸多方面都做出了重要贡献。今年是孙枢先生八十大寿，我们谨借本文集的出版向他表示诚挚的祝福。文集作者除几位是他过去的学生和博士后外，绝大多数是孙枢先生作为忘年交的学者和专家，我同他们一起衷心祝愿孙先生健康长寿，继续带领大家以天地为己任，山川做课堂，为人类谋福祉，为科学做贡献，把豪迈的地质事业推向新的高度。

目 录

从地学大国走向地学强国 (序)	刘嘉麒	(i)
火星板块构造及其对早期地球板块构造启动的启示	尹 安	(1)
俯冲带形成、后撤和板块构造动力学的一些基本概念和全新解释	牛耀龄	(10)
中国华北大陆岩石圈转型与熔/流体交代作用	周新华 张宏福	(30)
华南大地构造演化综述	李正祥	(54)
中国阿尔泰造山带地质格架与古生代构造演化		
..... 蔡克大 孙 敏 袁 超 肖文交 龙晓平		(89)
中亚造山带古生代大陆地壳生长的两阶段模型——以西天山为例		
..... 高 俊 龙灵利 钱 青 王信水		(113)
新疆北部古生代复合增生造山作用与中亚大陆侧向增生	肖文交 韩春明	
袁 超 孙 敏 Shoufa Lin 陈汉林 厉子龙 李继亮 孙 枢		(137)
前寒武纪重大地质事件与华北克拉通早期构造演化	翟明国	(160)
白垩纪大洋红层与富氧事件	王成善 胡修棉	(181)
冰期之终止	程 海	(220)
造山带隆起剥蚀过程与沉积记录	王清晨	(242)
油气成藏动力学研究方法与应用	罗晓容 张立宽 雷裕红	(272)
我国油气资源潜力与发展前景	车长波 杨虎林 朱 杰 张道勇 刘成林	(295)
造山带岩浆铜镍硫化物矿床：研究进展与展望	秦克章 唐冬梅 苏本勋	(328)
西太平洋板块俯冲与中国东部晚中生代成岩成矿		
..... 孙卫东 丁 兴 凌明星 李 贺 李聪颖 周继彬 杨晓勇 王光杰		(362)
“俯冲工场”研究进展	孙卫东 李 贺 丁 兴 凌明星 李聪颖	(392)
我国地质工作与地质科学发展战略思考		
董树文 姜建军 谭永杰 陈宣华 熊嘉育 叶锦华 李三忠 王成善 余际从		(421)

火星板块构造及其对早期地球 板块构造启动的启示*

摘要

最新研究表明了地球和火星板块构造过程之间存在重大差异。地球板块构造是在全球范围内运行的，所有主要的板块运动在动力上都与地球固定的热点格局有关。而火星与地球不同，它的板块仅仅表现出原始的形态，其运动不是全球性的，而是局部性的。具体地说，火星的板块构造过程表现在一个 3500km 宽，6000km 长条带地区。在这里，板块运动的形式是板片回转，并且这个过程已经持续了 35 亿年。这个回转过程所影响的总面积仅占火星面积的 25%，而其余地区则是稳定的。据推测，大约在 40 亿年前整个内太阳系经历了一次巨大的碰撞（bombardment）时期，其中一次大撞击事件产生了巨厚火山沉积（>10km），沉积物向下的压力造成火星原始岩石圈的破裂以及局部板块俯冲，通过撞击坑的统计及其火星岩石单元年龄的指示，火星主要走滑断层移动速度大约平均为 50mm/Ma。相反，地球上主要的转换断层，如美国西北部圣安德里亚断层则以平均 50mm/a 的速度运动，这几乎比火星上的要高出三个数量级。这表明，在火星上通过多个局部板块的对流造成统一（coalesced）的板块体系速度是极其缓慢的。既然在太阳系形成的早期阶段地球和火星具有相同的演化历程，观察到的火星板块过程应可以作为了解在整个地球历史中板块构造如何引发和发展的指南。

关键词

火星 板块构造的起源 太阳系早期演化

尹 安^{1,2}

[1. 加利福尼亚大学地球和空间科学系、行星和外板块研究所，美国洛杉矶，CA 90095-1567 (ayin54@gmail.com; phone: 310-497-7365);

2. 中国地质大学（北京）构造地质学研究组，北京 100083]

* 此文原稿是用英文写成，承蒙缪秉魁教授翻译。

1 引言

本文主要目的是对作者最近撰写的有关火星板块的两篇长论文进行简要的概括（Yin, 2012a, 2012b）。为了适合不同背景的读者，综述是简单而初步的，目的是介绍火星基本的板块历史。因为大多数读者可能不熟悉该领域，为了方便阅读，作者删除了参考文献。对那些关注这个主题的读者，可以阅读作者的两篇原文，其中包含了与下文讨论有关的较为完整的文献目录。

根据地形，火星可以简单地分为南北两半球的地貌单元，前者以相对平滑的低地平原地形为特征，而后者则是以具有广泛分布的冲击坑为特征的高原。这两个地貌单元的边界被称作为“半球边界线”（图1）。以上的地表形态是在43亿年前就形成的，因为“半球边界线”被40亿年前形成的巨大撞击坑所切割。这种一级火星地貌特征的成因是存在争议的。一些人提出这是一大型撞击事件造成的，即北半球是一个大撞击坑。而另外一些人则认为它是一个球谐函数形式的火星地幔对流形成的。

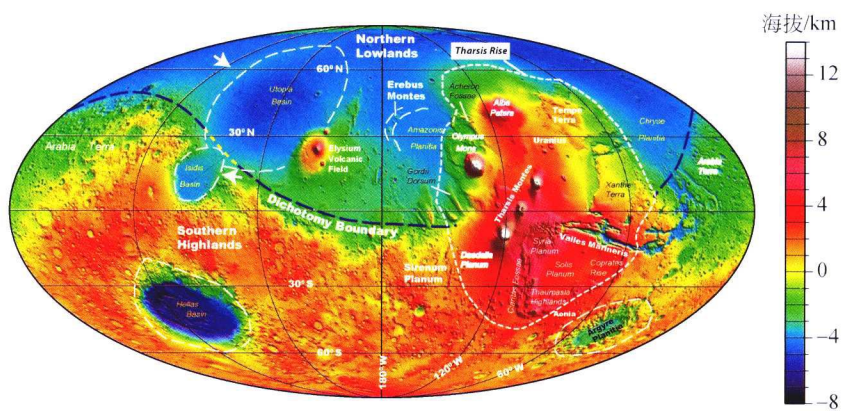


图1 塔希思隆起的位置及其邻近的主要地形特征（据 Yin, 2012b）
图中也显示了四个最大的火星冲击盆地：贺拉斯（Hellas）、乌托皮亚（Utopia）、
艾斯迪亚（Isidia）和阿盖尔（Argyre）

火星上明显的二级地貌特征是塔希思隆起（Tharsis rise），它切穿北部低地和南部高地之间的“半球边界线”。塔希思隆起平均高度为11km，是火星上最高的高地地区，同时它拥有太阳系中最高的山峰奥林巴斯山（Olympus Mons）和最长的峡谷水手谷（Valles Marineris）（图1）。塔希思隆起的宽度约为3500km，比夏威夷热点径迹（track）要宽3~10倍以上，它的长度约为6000km，相当于北美洲南北之间的距离（图2）。尽管自19世纪70年代早期开始，探索这种占火星面积25%的地貌特征一直是研究焦点，但是它的板块成因仍然存在争议。现有的成因有从上方来的或者下方来的火成地壳加厚（accretion）模式。另外，也提出了静止的或活动的热点活动、大的撞击事件及板片回转俯冲等成因模式。本文简要地讨论了板片回转模式。

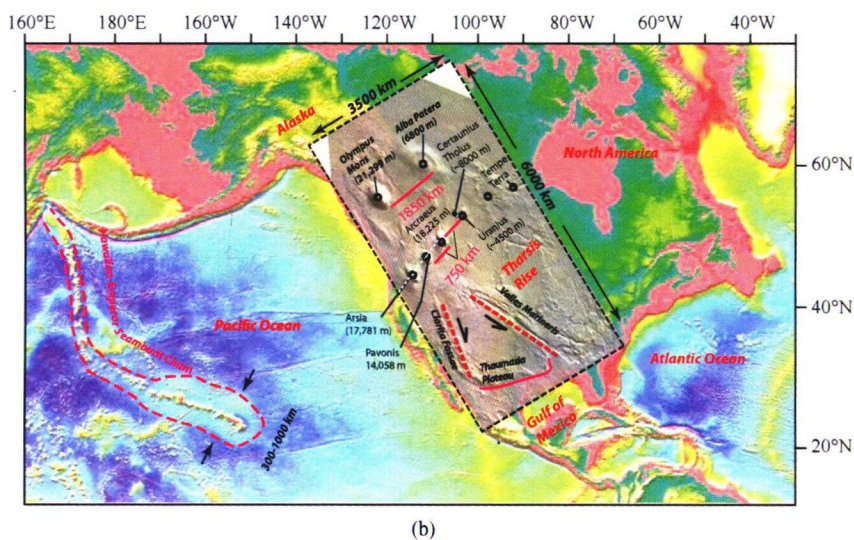
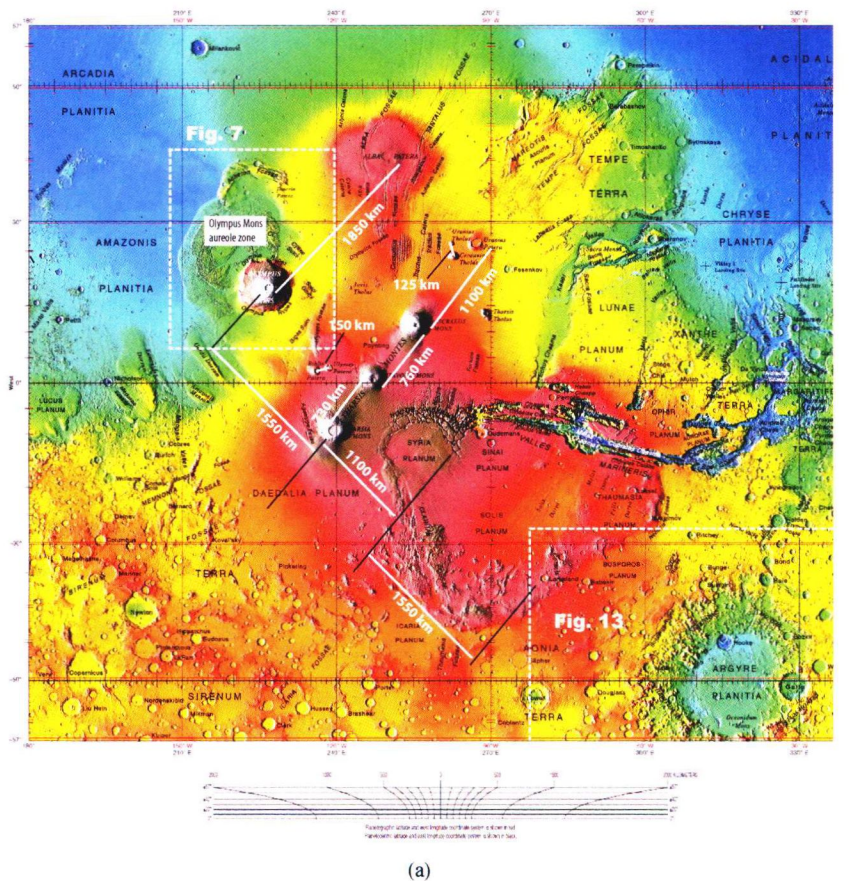


图2 塔希思隆起地图及叠加位置图

(a) 塔希思隆起地图 (其中标明了文中提到的地名)

(b) 塔希思隆起的在北美洲同样比例尺的叠加位置图 (据 Yin, 2012b)

2 塔希思火山作用

根据卫星图像中火山流的形貌和它们之间的切割关系,地质学家很早就知道塔希思隆起过去的 35 亿年的火山作用从南东向北西迁移。随着时间的推移,火山作用的形式发生改变。在南东部火山作用最早发生,它沿着裂隙产生喷发,以溢流玄武岩形式堆积,这就像地球上大火成岩省的形成过程(如最大规模的西伯利亚和德干暗色岩系以及规模明显小的峨眉山玄武岩)。当火山作用穿过塔希思隆起中部向北西方向发展的时候,火山作用方式由裂隙式喷发向中心式喷发转变。随着时间的推移,中心式火山的大小和间隔逐渐加大,从塔希思中心隆起的几十公里到沿著名塔希思蒙特斯山的 750km,那里三个中心式火山成直线状排列。最后,形成了两个中心式火山:21km 高的奥林巴斯山和 6.5km 高的阿尔巴环形山(patera)。沿着同一火山带,从细高的奥林巴斯山到矮宽的阿尔巴环形山的地貌形态变化可以在 Yin (2012b) 的论文找到很好的解释。

3 阿盖尔撞击——塔希思火山作用的触发器(trigger)

坐落在塔希思隆起南东 400km、半径为 1500km 的多环状、早诺尔钦时代(40 亿~41 亿年前)的阿盖尔冲击盆地最大地形落差约 10km,壳厚 25km,明显比四周盆地的 55~65km 火星壳要薄(图 1)。以上的观测说明有近 30km 厚的地壳一定是在阿盖尔撞击时突然被挖掘并被冲击波在空中给运移走了。这样,解压熔融一定伴随了火星幔的底侵。在 Yin (2012b) 的文章已经注意到,阿盖尔撞击盆地地貌的非对称性(即南东面的陡坡和北西面的缓坡)指示了这个撞击物是由东南方向向北西方向运动的。

4 板片回转(slab rollback)和塔希思隆起的形成

为了解释塔希思隆起的形成,Yin (2012b) 的论文提出了如下模式(图 3):① 阿盖尔撞击造成了火山喷发,这导致了在“半球边界线”产生了火成岩的厚层堆积。② 火成

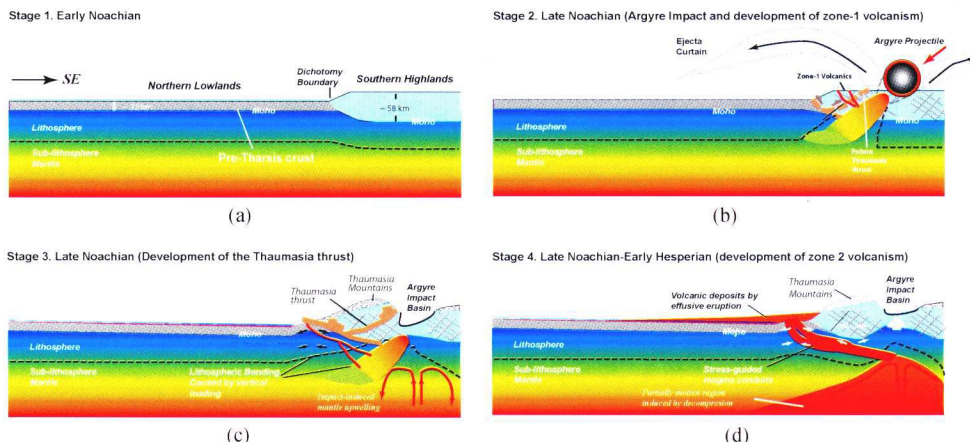


图 3 塔希思隆起的形成模式(据 Yin, 2012b)

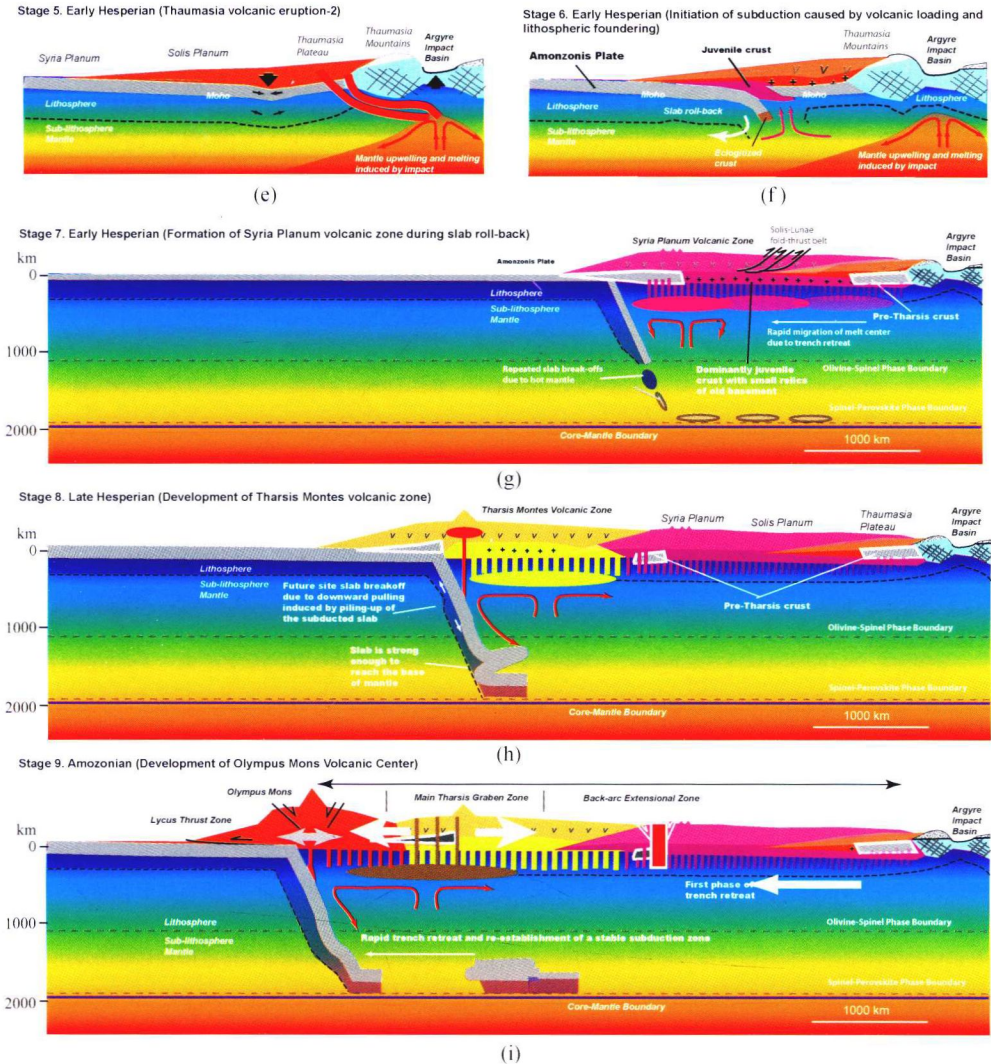


图3 塔希思隆起的形成模式 (据 Yin, 2012b) (续)

(a) 阿盖尔撞击在撞击盆地的北西边缘时产生溅射堆积并造成火星壳的加厚；(b) 倾斜的撞击在溅射区域产生熔体的富集；(c) 加厚火星壳的载荷造成岩石圈的弯曲和在隆起外缘的张应力的集中；(d) 火山沉积物的积累造成了向下弯曲和在火山堆积物下面的张应力；(e) 在火山堆积物的加载和熔体的迁移之间的正补偿 (feedback) 进一步增加了岩石圈的弯曲；(f) 火山堆积物的载荷最后压断了下方的岩石圈，并使其陷进火星幔，随着板块向下运移，它的空间被年轻的火星壳所替代，这种壳是由于地幔上涌充填裂缝所形成的；(g) 在俯冲板块中水的出现使镁铁质壳向榴辉岩的快速转变得到了保证，厚的榴辉岩化镁铁质壳为俯冲提供了额外的驱动力，此时，应该发生了快速的板块回转 (rollback)，这在火星幔的上升过程中再次产生了大量的熔体，从而导致了表面的火山喷发和地下年轻的火星壳的形成；(h) 较冷的火星幔容许俯冲的板块到达核幔边缘，冷而强硬的板块可能停顿形成一个静止的俯冲体系；(i) 暂时停止的俯冲板块由于连续热力减薄 (weakening) 最后折断了岩石圈，新的榴辉岩化镁铁质壳将再次驱动俯冲作用

岩的载荷导致了岩石圈的弯曲，这样，拉张应力的集中使火成岩载荷和熔体迁移之间产生正补偿；这个过程最后使北部低地薄岩石圈发生破裂，结果岩石圈也沉陷入火星幔。俯冲

板块中水的出现使镁铁质壳快速向榴辉岩转变得到了保证。③ 当尖晶石-钙钛矿的相边界和核幔边界位于火星 2000km 深度附近时,俯冲板块顶端会碰到火星幔的底部,并将在相转变或核幔边界处结束。冷而结实的板块可能停止形成静止的俯冲系统,这时,大的火山就形成了。④ 暂时静止的俯冲板块的连续热力减薄最终使它发生断裂,新的榴辉岩化镁铁质壳将再次驱动俯冲。火山沿走向由高薄向宽平发生变化可能是由于俯冲形式的空间变化:在西南面是整个岩石圈俯冲,而在东北面只有火星幔部岩石圈在俯冲(图4)。

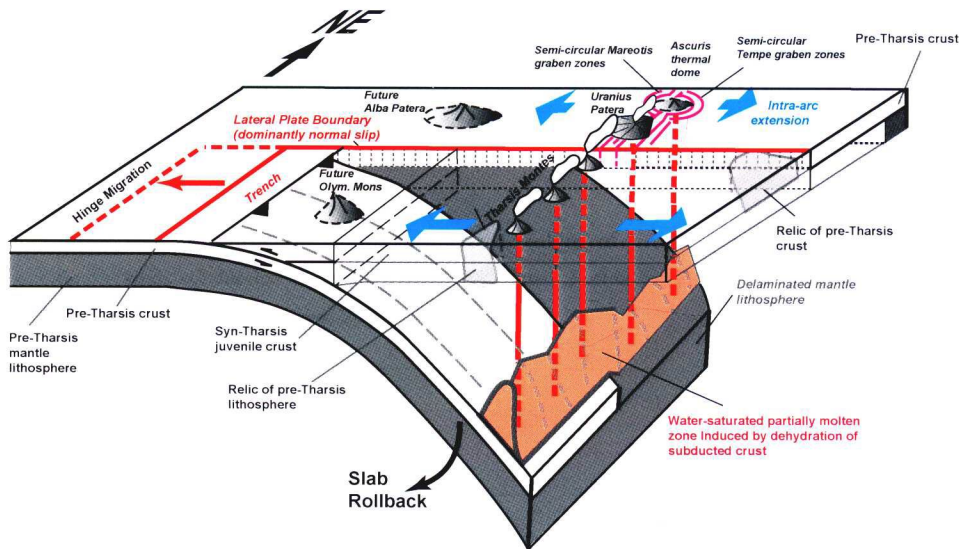


图4 三维断块示意图(据 Yin, 2012b)

示意图说明了跨过塔希思隆起的俯冲系统的可能构成。此图关键特征是俯冲型式在塔希思的蒙蒂斯-乌拉诺伊斯(Montes-Uranus)和奥林帕斯-阿尔巴(Olympus-Alba)环形火山链之间的沿走向的变化。北部低地在塔希思的蒙蒂斯和奥林帕斯的蒙斯下面的岩石圈发生大规模(whole-scale)的俯冲,那里是阿尔巴和乌拉诺伊斯环形山中心下初始北部低地岩石圈中脱层的火星幔岩石圈发生俯冲的地方。这种结构要求奥林帕斯的蒙斯和塔希思的蒙蒂斯是由火星幔明显增加水的熔融造成的,当时在阿尔巴和乌拉诺伊斯环形山下因在(板块)快速迁移和火山链的重建过程中压力释放发生熔融。在正文中可查看详细信息。注意,尽管塔希思隆起是在海沟快速后撤中岛弧岩浆作用和弧后岩浆作用产生的年轻火星壳控制的,但是在构造省中存在塔希思之前的基底碎块,这些构造省已经极大地扩张,侵入了年轻同塔希思时代的侵入岩

5 对冥古宙时期地球的启示

很长时间关于地球上板块构造最初是如何启动的问题一直争论不休。在过去十年,关于早在 40 亿年前的冥古宙时期板块构造就启动了的有力证据就出现了。这就是当内太阳系经历了最强烈的巨大撞击的时候,可以想象该过程导致了火星板块俯冲启动的过程也触发了地球上可能是多个板块反转体系的运行。

对火星和地球之间的板块构造进行对比的基础背景基于如下观察事实。在塔希思隆起内的水手谷沟槽系统是由线性断裂所控制的,这些断裂则是沟槽带的边界。Yin (2012a) 最近的研究表明,这种断层在过去的 30 亿年中只移动了 150km,这就产生了 50mm/Ma 的

速率。作为对比,在加利福尼亚州南面的圣安蒂斯断层在过去的 3Ma 移动了 150km,这产生的平均滑移速度是 50mm/a。这两个行星主要平移断层的板块运动的速率的对比暗示了火星 40 亿年的板块演化相当于地球大约 4/Ma 的板块演化。假设这两个行星发生了同样的演化过程,那么正如 Yin (2012b) 所推测的,火星缓慢板块构造演化为地球早期历史提供了线索。

根据上述讨论, Yin (2012b) 对地球上全球板块构造系统可能的情形进行了设想。首先,在 42 亿~39 亿年前的晚巨大碰撞期,几次大的撞击产生了不相连的板片回转系统(图 5)。由于不均匀的板块拖拽,单个俯冲系统的不断延伸和俯冲板块的旋转可能也启动了板块内的撕裂,因此导致了局部扩张、平移和挤压。新的构造边界可能可以通过板块拖拽驱使

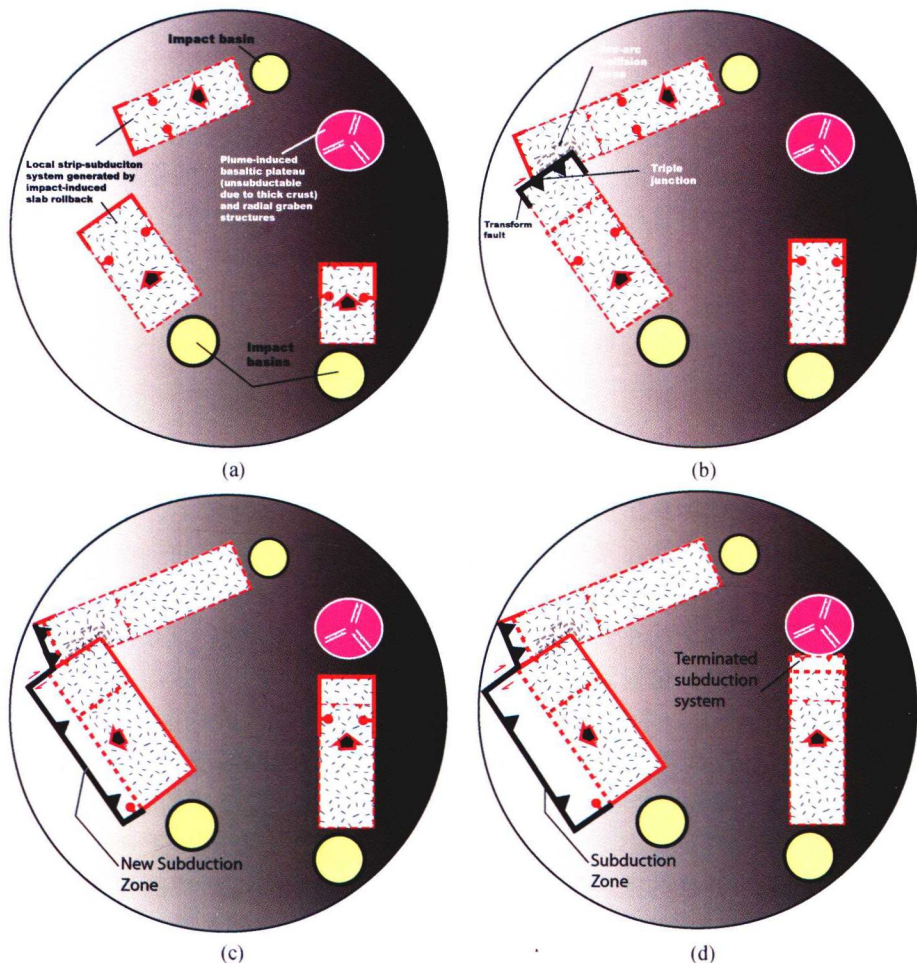


图 5 板块俯冲的启动和早期地球全球板块体系的示意图(据 Yin, 2012b)

(a) 在后巨大撞击期中的撞击事件可能产生由于板反卷诱发的孤立俯冲体系的条板(strip),在条板俯冲体系之外的地区可能受火星幔柱(plume)及其产生的玄武岩高地的影响,相关地堑(graben)结构在粉红色区域标示出来;(b) 俯冲带的伸长最后弧-弧碰撞和更大板块的形成,注意,转换断层和三联点可能在这个过程中形成;(c) 弧-弧碰撞可能导致新的俯冲带的产生,这在悬挂壁中圈定了(bind)了一个更大的板块;(d) 在反转板块导致的弧和玄武岩台地之间的碰撞终止了图中右边撞击诱发的俯冲带,同时,图中左边长的俯冲带则继续发展

过程来进一步发展，它们也就变成了新的板块边缘。有学者提出，局部板块俯冲发生在冥古宙（Hadean）和太古宙（Archean），这可能与不受局部板块构造影响的区域地幔柱驱动的垂直板块是同时发生的。直到早元古宙（Proterozoic），相连的全球板块构造体系才建立起来。大多数科学家认为在元古宙，与显生宙（Phanerozoic）相似的板块过程已变得活跃。在冥古宙和太古宙，与非板块构造过程同时发生的局部板块俯冲可以解决矛盾：低温冥古宙锆石要求存在板块俯冲，而在很多元古宙地块的变形模式却很少或者完全没有与现代板块构造过程相似的地质特征。

6 为什么有些岩石质行星存在板块构造，而另外一些则不存在？

假如在火星和地球上板块构造已经运转，那么是什么使这两个行星如此特别呢？以下两种因素可能解释它们的特殊性：①地壳的俯冲性能；②启动板块俯冲的机制。假如大的撞击作用折断岩石圈造成最初的板块俯冲的话，那启动板块构造的问题就变成在遭受巨大撞击下的岩石质行星壳是否具有可俯冲性的问题。例如，Yin（2012b）的解释是在巨大撞击晚期控制板块构造是否被启动的关键因素包括：①在这个时间壳的厚度；②决定行星地幔岩石圈厚度的冷却速度。换句话说对于一个行星，在遭受撞击时，它的地壳越薄、冷却速度越快，对通过撞击作用启动板块构造的可能性就越高。

7 总结

最新研究表明了地球和火星板块构造过程的重大差异。在地球上，目前板块构造在全球范围内运行，所有主要板块在动力上是相互联系的，并且按固定的热点框架运移。与地球相比，火星仅仅表现了在局部而不是全球范围的原始板块构造形态。特别地，火星原始板块构造形态只在约占其全球总面积的 25% 范围内发生板片回转；其余则保持不动和缺乏板块构造活动。据推测，火星板块构造的启动是由厚层火山堆积物载荷造成的。接着，在大约 40 亿年前整个内部太阳系经历一个强烈撞击时期，一次巨大的撞击造成了火山作用。通过火星撞击坑的统计及其岩石单元的暗示年龄，火星主要走滑断层以平均 50mm/a 的速度移动。相反，地球上主要的转换断层，如美国西北部圣安德里亚断层的滑动是以 50mm/a 的速度移动，这比火星上的要高出三个数量级。这种现象表明，在火星上通过多个局部板块的对流形成统一的板块体系的速度是极其缓慢的。因为在太阳系形成的早期阶段地球和火星具有相同的演化历程，观察到的火星板块过程应可以作为我们了解在整个地球历史中板块构造如何启动和发展的指南。

致谢 非常感谢孙枢研究员邀请我编写这篇短评，同时也感谢肖文交研究员的鼓励。

参 考 文 献

- Yin A. 2012a. Structural analysis of the southern Valles Marineris trough zones and implications for large-scale strike-slip faulting on Mars. *Lithosphere*, 4: 286 ~ 330. doi: 10.1130/L192.1.
- Yin A. 2012b. An episodic slab-rollback model for the origin of the Tharsis rise on Mars: Implications for initiation of local plate subduction and final unification of a kinematically linked global plate-tectonic network on Earth. *Lithosphere*, 4: 553 ~ 593. doi: 10.1130/L195.1.