

陆松年 李怀坤 陈志宏 等著

秦岭 中—新元古代地质演化及对 RODINIA超级大陆事件的响应

QINLING ZHONG XIN YUANGUDAI DIZHIYANHUA JI DUI
RODINIA CHAOJI DALU SHIJIAN DE XIANGYING



地质出版社

国家自然科学基金委员会
国土资源部“十五”项目

秦岭中一新元古代地质演化及 对 Rodinia 超级大陆事件的响应

陆松年 李怀坤 陈志宏 郝国杰 著
周红英 郭进京 牛广华 相振群

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书反映了“十五”期间国土资源部“秦岭中-新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造”及国家自然科学基金委员会重点项目“中国古陆块对 Rodinia 超级大陆事件的响应”的部分研究成果。书中详细介绍了秦岭造山带从中元古代晚期武关裂谷的打开、末期松树沟小洋盆的形成及封闭过程中保留的地质记录;论证了新元古代南华纪裂解事件群的性质、特征及年代格架;同时以丰富的资料进一步确认了秦岭早古生代造山作用的重要性。本书还扼要介绍了有关 Rodinia 和冈瓦纳超大陆研究的最新进展,探索了中国三大克拉通相互之间及与 Rodinia 和冈瓦纳超大陆的关系。

本书可供地质院校高年级学生、研究生及从事前寒武纪地质和超大陆研究及区域地质调查工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

秦岭中—新元古代地质演化及对 Rodinia 超级大陆事件的响应/陆松
年等著. -北京:地质出版社,2003.12
ISBN 7-116-04010-2

I. 秦… II. 陆… III. ①秦岭—元古代—褶皱带—研究②秦岭古陆:
劳亚古陆—研究 IV. ①P548.2②P531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124106 号

责任编辑:白 铁 李凯明
责任校对:李 玫
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083
电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324579(编辑部)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zbs@gph.com.cn
传 真:(010)82310759
印 刷:北京京科印刷有限公司
开 本:787 mm×1092 mm $1/16$
印 张:12.75 彩插:2 页
字 数:300 千字
印 数:1—800 册
版 次:2003 年 12 月北京第一版·第一次印刷
定 价:50.00 元

ISBN 7-116-04010-2/P·2454

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

为提高秦岭造山带前寒武纪地质工作研究水平,参与和推进全球超大陆研究工作,国土资源部国际合作与科技司于2000年第三季度末批准执行“秦岭中-新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造”研究项目,项目执行期为2001~2002年,后延续至2003年6月底结束,项目编号:2000305,执行单位为天津地质矿产研究所,由陆松年研究员任项目负责人,参加人员包括李怀坤、陈志宏、郝国杰、周红英、郭进京、牛广华、相振群等。同期,国家自然科学基金委员会批准执行由陆松年负责的重点研究项目“中国古大陆对 Rodinia 超级大陆事件的响应”(编号:40032010),项目执行期2001~2004年。因此本书反映了“秦岭中-新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造”主要成果和“中国古大陆对 Rodinia 超级大陆事件的响应”部分研究成果。

前人对秦岭造山带做过大量的地质调查和研究工作,积累了丰富的资料,取得了许多新认识和新成果,其中公开出版的文献就超过千份以上。近年来,张国伟院士等积多年的研究心得,出版了《秦岭造山带与大陆动力学》专著,对秦岭造山带地质做了全面和系统的论述,因此本书在诸如秦岭造山带研究历史和地层名称的演变等内容上不再重复笔墨,而着重论述与前人认识上的不同之处,介绍取得的新资料,阐述作者所持的主要观点。

我们的研究工作是在学习和消化前人工作的基础上进行的,由于研究期限短,根据任务要求,本次研究工作的内容集中在与 Rodinia 超大陆汇聚及裂解有关的新元古代热-构造事件群的研究上,研究区锁定在秦岭造山带的东部。两年多来通过数次野外考察,对整个秦岭造山带进行了大范围的地质调查,东起南阳盆地的西边界,西至兰州附近的马衔山,北临华北克拉通南缘,南达扬子克拉通北缘的碧口、汉南一线。其中对秦岭造山带中的高级变质岩层(秦岭岩群、陡岭岩群和长角坝岩群)及中至低级变质的武关岩群、宽坪岩群、二郎坪岩群、丹凤岩群和松树沟—富水一带的岩浆岩带做了重点和比较系统的调查。同时,结合野外地质调查开展了相应的室内研究工作,获得一批 SHRIMP、TIMS 法 U-Pb 同位素年龄和 ICP-MS 地球化学分析数据,在此基础上分工执笔完成了本书的编写。

本书除前言、结语(陆松年执笔)外,共分七章。第一章,秦岭造山带基本构造格架与组成,执笔人:陆松年;第二章,秦岭造山带前寒武纪地层系统,执笔人:陆松年、郭进京;第三章,秦岭造山带新元古代汇聚事件群,执笔人:陈志宏;

第四章,秦岭造山带新元古代南华纪裂解事件群,执笔人:李怀坤;第五章,古生代早期热-构造事件,执笔人:陈志宏;第六章,新元古代时期中国古大陆与 Rodinia 及冈瓦纳超大陆的关系,执笔人:陆松年;第七章,进展及问题,执笔人:陆松年。周红英主要承担项目内 TIMS 法 U-Pb 测年工作,相振群参与了野外工作和室内整理,郝国杰、牛广华负责区域地质图件的编制,全书的统编工作由陆松年、李怀坤完成。

本专著突出了应用事件群的概念研究造山带地质演化的学术思想。地质事件是地史演化过程中,不同于正常地质历史发展的突发性,或灾变性,或具有特殊意义的地质记录,而“事件群”则是“成因上有联系、空间上相匹配、时间上有先后的一组地质事件,它比一个单独事件更能深刻地反映地质历史演化过程 and 特点”(陆松年,2001)。当我们研究秦岭造山带中-新元古代重大地质事件时,不仅仅着眼于单个地质事件的地质表现形式、特征和时代,而且更重视这些事件之间的联系和它们所反映出的构造背景及演化过程。第三章、第四章和第五章分别叙述了新元古时期至古生代早期与汇聚过程及裂解过程有关的各种地质事件的岩相学、地球化学和年代学的重要特征,而这些地质事件分别反映了俯冲、碰撞和裂开,以至漂移过程中的地质演化特点。在这三章中着重介绍了我们在研究工作期间所获得的实际资料,对这些资料的精度和可靠性文中均做了交待和分析。其中相当一部分数据与前人获得的数据是相近的,如寨根岩体、吐雾山岩体的同位素年龄等,但也有一部分数据不一致,如龙王碛正长花岗岩的时代、宽坪岩群的地层年龄、汉南杂岩和长角坝岩群的地质年龄等。为了便于后来的研究者对这些数据进行检验和判别,对每一个同位素年龄采样点都列出了由 GPS 确定的经、纬度。我们希望有更多的研究人员获得更多的数据对本书中的实际资料进行验证和修正。我们还在强调事件序列时间维的基础上,应用“事件群”的概念进一步突出了空间配置的思想,其中关于秦岭造山带 4 阶段发展模式、多岛-弧-盆系统、显生宙 7 个构造单元的划分以及中/北秦岭之间中-新元古代造山带的界定就是应用“事件群”的思想所进行的一次实践和尝试,这些认识也反映在专著的其他章节中。但这一部分是属于在实际资料基础上的“升华”,它可能会随着研究程度的深入、资料的丰富和认识上的提高,将得到不断补充并修正其中的部分观点。

必须指出的是本书集中研究的新元古代,是整个地球历史发展过程中一段十分重要和非常特殊的地史阶段,全球构造在经过中元古代一段相对平静的地质发展阶段以后,从中元古代晚期开始,一些分散的古陆块逐步汇聚,形成名为“Rodinia”的超大陆,而该超大陆在新元古代晚期发生裂解,在许多陆块上形成大规模的包含火山喷发及侵入岩在内的岩浆活动,随之而来的是全球广泛分布的冰川活动。由于其时地球被冰川覆盖,因而被形象地称为“雪球地球(Snow-

ball Earth)”。而当广泛的冰川消融后不久,出现了艾迪卡拉软躯动物群,这是极端寒冷的灾变事件之后,生物圈在仍然相对低温条件下大辐射的一次尝试,虽然最终以失败告终,但这是生物界向寒武纪“生命大辐射”迈出的最重要的步伐。几乎与生物圈发生突变的同时,从 Rodinia 裂解出去的印度、澳大利亚、东南极和西非、刚果、南非及亚马孙等陆块在 600~550Ma 之间又汇聚形成一个规模较小的超大陆——冈瓦纳大陆。而在冈瓦纳大陆北缘由于原特提斯洋的形成和演化,发育了包括中国主要陆块在内的“加里东期造山带”。因此新元古代时期, Rodinia 超大陆最终形成和破裂、冰雪地球、艾迪卡拉动物群和冈瓦纳超大陆形成是最重要的超级大陆事件,它们反映了新元古代包括地圈、生物圈、水圈和气圈在内的地球系统的极为重要的变化。

本书重点虽然是对秦岭造山带前寒武纪,特别是中元古代晚期至古生代早期地质演化特点、热—构造事件序列、年代格架,以及大地构造分区进行探索,但从整体上说,除了突出事件地质学的思路外,还隐含着地球科学系统论的思想。我们希望本书不仅仅是大量的实际资料,同时研究工作中的思路、方法和某些结论对后继者能够有所帮助和启迪。

地质学是一门探索性极强的科学,许多人为此奉献了一生,也有更多的后继者正在探索的征途中艰难前进。作者等只是千万探索者行列中之一员,我们的认识可能存在偏颇和疏漏,今后我们会继续实践、思考和探索,同时也诚恳希望得到专家和阅读此书的所有同行的批评与指导。

本项研究除得到国土资源部和国家自然科学基金委员会重点研究项目科研资金支持外,还得到中国地质调查局综合研究项目“中国前寒武纪重大问题研究”(项目编号:200113900070)的支持。研究工作期间,柴育成、姚玉鹏、高平、白星碧、于海峰、安树清、陈建国等从项目的角度给予了大力支持,同时得到孙枢、沈其韩、肖序常、任纪舜、许志琴、张国伟、马福臣、叶天竺、张洪涛、游振东、刘敦一、马文璞、袁学诚、肖庆辉、彭齐鸣、庄育勋、耿元生、卢欣祥、宋彪、李勇、裴先治、李海平、陈陇刚、王世炎等众多院士、专家和同行的关心与帮助,特别值得提出的是杨志华、王北颖等数次亲临野外指导我们的工作,对他们的支持与帮助,笔者表示深深的感谢。书中 TIMS 法同位素测年主要由周红英、李惠民和陈志宏完成, SHRIMP 法测年在国土资源部同位素地质开放实验室测定,地球化学数据分别在西北大学和英国 Cardiff 大学实验室完成,笔者对上述同行的辛勤劳动和实验室的大力支持也表示衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 秦岭造山带基本构造格架与组成	(1)
第一节 秦岭造山带地表构造格架及特点	(1)
一、前人的不同认识及分歧的焦点	(1)
二、秦岭造山带构造格架及分区	(3)
第二节 秦岭造山带中-新元古代地质演化	(20)
一、秦岭造山带形成与演化的主要构造阶段	(20)
二、秦岭造山带中的中元古代末至新元古代早期造山带残留	(21)
三、秦岭洋中具有陆壳性质的古岛屿	(22)
四、新元古代晚期裂解事件群的地质记录	(22)
五、秦岭造山带多(陆)岛-弧-盆系	(22)
六、中元古代晚期至古生代早期重大热-构造事件	(22)
第二章 秦岭造山带前寒武纪地层系统	(25)
第一节 早前寒武纪高级变质岩系:秦岭岩群、陡岭岩群、长角坝岩群	(25)
一、秦岭岩群	(25)
二、中秦岭东部陡岭岩群	(30)
三、中秦岭西部长角坝岩群	(31)
第二节 中元古代沉积-火山岩系:武当岩群及武关岩群	(35)
一、武当岩群	(35)
二、武关岩群	(35)
第三节 新元古界:南华系耀岭河群、震旦系陡山沱组及灯影组	(38)
一、耀岭河群	(38)
二、震旦系	(38)
第四节 早古生代二郎坪岩群与丹凤岩群	(39)
一、二郎坪岩群	(39)
二、丹凤岩群	(39)
第五节 关于宽坪岩群若干问题的讨论	(40)
第六节 秦岭岩群和宽坪岩群构造变形分析	(43)
一、秦岭岩群的构造变形分析	(43)
二、秦岭造山带中宽坪岩群的构造变形分析	(47)

第三章 秦岭造山带新元古代汇聚事件群	(51)
第一节 新元古代汇聚事件群的地质记录	(51)
第二节 中元古代末松树沟蛇绿岩片	(52)
一、松树沟蛇绿岩片的一般地质特征	(52)
二、松树沟蛇绿岩片主要岩石类型岩相学特点	(53)
三、松树沟蛇绿岩片的岩石地球化学特征	(56)
四、小结	(68)
第三节 新元古代早期同构造花岗岩岩浆侵入活动事件	(69)
一、新元古代早期花岗岩的地质及岩相学特征	(69)
二、新元古代早期花岗质片麻岩的地球化学特征	(74)
三、花岗质片麻岩 TIMS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素地质年代学	(77)
第四节 讨论	(92)
第四章 秦岭造山带新元古代南华纪裂解事件群	(94)
第一节 裂解事件群地质记录的标志	(94)
第二节 裂解事件群的地质及地球化学特征	(95)
一、基性岩墙群	(95)
二、裂谷型火山-沉积岩组合	(96)
三、花岗质侵入岩	(99)
第三节 裂解事件群的同位素地质年代学研究	(103)
一、基性岩墙群	(103)
二、裂谷型火山-沉积岩组合	(103)
三、花岗质侵入岩	(108)
第四节 小结	(115)
第五章 早古生代热-构造事件群及其构造意义	(117)
第一节 早古生代热-构造事件的地质记录标志	(117)
第二节 早古生代热-构造事件地质记录的地质地球化学特征及同位素年代学	(118)
一、早古生代岛弧火山岩	(118)
二、与弧火山作用有关的富水中基性杂岩	(130)
三、早古生代同构造花岗岩类岩浆侵入活动	(140)
四、秦岭岩群中的深熔淡色脉体及早古生代变质作用	(159)
第三节 早古生代热-构造事件的地质意义	(162)
第六章 新元古代时期中国古大陆与 Rodinia 及冈瓦纳超大陆的关系	(163)
第一节 从 Rodinia 形成到冈瓦纳超大陆汇聚	(163)
第二节 前新元古代中国古大陆块	(165)
第三节 新元古代热-构造事件特征、序列和时代——扬子与塔里木克拉通连接 (YZ-TAR 假设)	(168)

一、新元古代早期热-构造事件	(168)
二、南华系至震旦系序列及特征	(170)
三、南华纪裂解型热-构造事件群	(172)
第四节 中国古陆块在 Rodinia 超大陆中可能的位置	(173)
第五节 古生代早期的中国古大陆块及与冈瓦纳的关系	(174)
第七章 进展与问题	(178)
一、主要进展	(178)
二、存在的问题与分析	(181)
结 语	(185)
参考文献	(187)

第一章 秦岭造山带基本构造格架与组成

秦岭造山带是位于中国大陆中部并夹持于华北与扬子克拉通之间的大陆造山带,是加里东期至印支期的碰撞造山带。在该造山带中,前人普遍认为商丹断裂带是一条重要的加里东期缝合带,其北的造山带部分称为北秦岭,主要分布有古元古代(?)秦岭岩群、中元古代(?)宽坪岩群和新元古代至早古生代的丹凤岩群和二郎坪岩群;断裂带以南称为南秦岭,主要分布有古元古代(?)陡岭岩群、龙草坪岩群,中元古代武当岩群和新元古代耀岭河群及震旦纪地层。国内一种有影响的见解认为北秦岭的秦岭岩群原属于扬子克拉通的边缘,于中元古代早期从扬子克拉通裂离并拼贴于华北克拉通的南缘,尔后又与华北克拉通分裂开,其间沉积了宽坪岩群。南、北秦岭在晋宁期实现了“点”碰撞,加里东期为主俯冲期,印支期则为陆陆碰撞的主造山期,嗣后,秦岭进入陆内演化阶段。但是,有关秦岭岩群归属先“南”后“北”的认识,尚缺少秦岭岩群与华北克拉通之间存在直接拼贴的证据,因此对秦岭岩群的归属仍存在较大的争议。

近几年来秦岭造山带又取得一系列新成果,归纳起来主要有:第一,从商丹断裂带以南在原属泥盆系中鉴别出一套中元古代的武关岩群,武关岩群为一套陆内裂谷中形成的火山-沉积岩系,表明传统划分中的南秦岭北缘曾存在一条中元古代裂谷系统,暗示该裂谷之北由秦岭岩群组成的陆块,其时尚未完全脱离扬子克拉通;第二,新元古代热事件的证据愈来愈充分,引起了对造山带早期地质历史演化过程的进一步思考;第三,由于在秦岭岩群北部发现早古生代超高压榴辉岩及在试马水库一带发现高压麻粒岩,因此对华北与扬子克拉通汇聚的时间和位置出现不同的认识,“商丹断裂带”是否一定为两个克拉通之间的主缝合带需要重新界定。第四,秦岭造山带中除南、北分区外,东、西之间的差异明显,对秦岭造山带构造单元的划分引起新的思考;本章将在概述前人资料的基础上,着重阐述作者对秦岭造山带现今平面结构和特点的基本认识。

第一节 秦岭造山带地表构造格架及特点

一、前人的不同认识及分歧的焦点

尽管秦岭造山带经历了十分复杂的演变,许多地质体经过变形、移位,现今地表地质结构与地史中各地质体形成时的原位特征发生了很大变化,但并不表明根本不可能从造山带现位构造重塑造山前或造山过程的某些重大事件和特点。为了重塑秦岭造山带的演化历史,许多地质学家从造山带地表地质入手,并结合深部地球物理工作,经过长期艰苦探索,取得了重大进展。现扼要介绍几种不同的观点和认识,并重点阐述作者等在探索这一问题时的某些思考。

张国伟等(2001)根据地质、地球化学、地球物理的最新研究成果,以造山带地表地质现位构造格局为基础,并考虑地质历史发展演化特点,将秦岭造山带划分为三个一级构造单元,自北而南分别是华北地块南部、秦岭地块和扬子地块北缘,在一级构造单元内又再分为6个二级构造单元。他们将秦岭造山带概括为:三个板块(华北、秦岭和扬子)、两条主缝合带(商丹和勉略带),经早古生代加里东板块俯冲期,于晚海西-印支期碰撞造山完成其最后拼合,之后又经历中、新生代强烈陆内造山作用叠加复合,在其主造山期构造基础上,形成现今的基本构造面貌。

张本仁等从区域地球化学的角度论述了秦岭造山带的演化过程,主要论点可归纳如下:第一,华北和扬子克拉通的壳幔具有不同的演化历史和趋势,具有不同的地球化学组成特征,它们是独立发展的陆块,因此,秦岭造山带不是由一个统一的陆块裂解和再拼合的产物。第二,南秦岭在地壳增生历史、地幔性质和演化趋势、壳幔化学和铅同位素组成特征方面均与扬子克拉通基本相同,表明应属扬子克拉通的组成部分。第三,北秦岭的地球化学组成和特征与华北克拉通差异明显,而与南秦岭比较相近,但北秦岭亏损地幔源区的演化趋势与南秦岭仍有差异。因此,北秦岭为一具有特殊成因的微陆块(张本仁等,1996,1998;欧阳建平等,1996),它是在“扬子板块洋域洋岛之上发展形成的微陆块”(张本仁,2001)。第四,商丹和勉略洋盆均属扬子板块内部裂解类型,它们先后打开,北秦岭和南秦岭依次向北拼接于华北克拉通,这一过程揭示秦岭造山带经历了扬子板块的裂解和华北板块的增生。

在张国伟和张本仁的研究工作中,他们均将宽坪岩群视为“由秦岭岩群组成的地质体”与华北克拉通裂离过程中的产物,而二郎坪岩群则为弧后盆地中形成的火山-沉积岩系。与上述二位作者的观点不同,杨巍然等(1991)在对秦岭造山带元古宙构造演化的论述中,将华北克拉通与扬子克拉通之间的北秦岭自北而南划分为栾川陆缘弧、宽坪弧间盆地(而不是上文所指的裂谷)、“秦岭岩群(地质体)”和商丹断裂带。

我们在学习前人研究成果的同时,对秦岭造山带演化历史和特点进行了新的探索。首先我们基本赞同张国伟等对秦岭造山带演化历史的高度概况,即秦岭造山带是“经早古生代加里东板块俯冲期,于晚海西-印支期碰撞造山完成其最后拼合,之后又经历中、新生代强烈陆内造山作用叠加复合,在其主造山期构造基础上,形成现今的基本构造面貌”,但进一步明确了下列几点:第一,秦岭造山带不是华北克拉通与扬子克拉通两个大陆边缘简单的直接拼贴,其间在中-新元古代扬子大陆北缘经历了一次类似威尔逊旋回的发展过程。第二,按现存推覆岩片的性质判断,秦岭造山带在整个古生代自北而南至少可划分为宽坪地体(性质不明)、二郎坪岛弧火山岩带(加里东期)、北秦岭变质地体(加里东期,仅限于主要由秦岭岩群及前加里东侵入岩组成的地质体)、丹凤岛弧火山岩带(加里东期)、中秦岭变质地体(加里东期+印支期)、勉略蛇绿混杂岩带(印支期)和扬子大陆边缘(南秦岭,印支期)。第三,在秦岭造山带中,残留了一条中-新元古代造山带,它是中元古代末期“松树沟小洋盆”的封闭而形成的一条造山带,其证据是松树沟蛇绿岩的存在及新元古代早期同造山花岗岩的发育。值得注意的是新元古代早期同造山花岗岩主要发育于北秦岭变质地体之中,而中、南秦岭则保存大量的南华纪裂解型花岗岩和其它岩浆活动的地质记录,这为秦岭造山带中-新元古代造山带的俯冲极向及构造单元的划分提供了重要依据。第四,早古生代是华北克拉通南缘和北秦岭、中秦岭等陆岛汇聚的重要时期,其间的洋盆也在同期消亡。早古生代热-构造事件强烈波及大部分秦岭造山带,表现为超高压榴辉岩的形成、高压麻粒岩的发育,北秦岭及

中秦岭秦岭岩群、长角坝岩群、陡岭岩群的高角闪岩相变质及强烈变形、加里东期同造山花岗岩的发育以及两条岛弧火山岩带的出现等。第五,华北克拉通与扬子克拉通的最终拼合完成于印支期,拼合位置在勉略缝合带,因此在其两侧的地质体中,印支期热-构造事件的影响特别明显。第六,强调了燕山-喜马拉雅期运动对秦岭造山带定型、定位的重要作用,将这一时期的热-构造事件作为秦岭造山带发展的第四构造旋回的产物。

二、秦岭造山带构造格架及分区

尽管对秦岭造山带构造格架及演化历史存在认识上的分歧,但对于该造山带的复杂性及经历过多旋回的热-构造活动则是共识(马杏垣等,1987;任纪舜,1995;许志琴等,1997;张国伟等,2001)。本书研究工作中再次证实中元古代晚期至新元古代早期、新元古代中期至古生代早期、古生代晚期至中生代早期及三叠纪以后存在4个构造旋回,并进一步获得早期构造旋回的重大热-构造事件的地质记录及年代学证据。

秦岭造山带北以洛南-栾川断裂带与华北克拉通相隔,南以阳平关-大巴山断裂带与扬子克拉通为邻。本书研究成果表明,“秦岭岩群”、“长角坝岩群”和“陡岭岩群”等原系“秦岭洋”(原特提斯洋中的一支)中具有陆壳性质的岛屿,在早古生代随着其间洋盆的消失,受到加里东造山运动的强烈改造,并拼贴在华北克拉通南缘。因此,这些古陆岛与二郎坪和丹凤火山弧等共同构成秦岭洋中的早古生代多(陆)岛-弧-盆系,这种构造格局与祁连山-柴达木北缘-昆仑山的早古生代大地构造轮廓具有很大的相似性。“勉略蛇绿混杂岩带”是扬子克拉通与已经缝合在一起的华北克拉通—北秦岭—中秦岭之间的缝合带,只有“勉略洋”关闭后,扬子克拉通与华北克拉通才实现了最终统一,并进入陆陆碰撞阶段。因此,秦岭造山带的成生与演化不仅仅涉及到华北克拉通南缘和扬子克拉通北缘,同时也涉及到其间洋盆和具有中间地块性质的古岛屿的形成与演化历史。

(一)华北克拉通南缘

华北克拉通是几个由太古宙和古元古代花岗岩-绿岩带及高级变质区等组成的古老块体经吕梁运动(2.0~1.85 Ga)拼贴而形成的一个规模较大的陆块(白瑾等,1996;Zhao et al.,2000;Wilde et al.,2002)。在早前寒武纪变质基底之上,从1.8~1.6 Ga期间曾发生过克拉通规模的裂解,形成初始裂谷、基性岩墙群、斜长岩、奥长环斑花岗岩、碱性花岗岩和超钾质火山岩等一系列指示陆壳减薄和破裂的地质事件(Lu et al.,2002)。华北克拉通南缘豫陕裂谷的发育、熊耳群和西洋河群双峰式火山岩及龙王矽碱性花岗岩即为该时期裂解的地质记录。从1.6 Ga以后直至中奥陶世,南缘几乎一直处于相对稳定的碳酸盐陆架的环境中,沉积了以碳酸盐岩为主的巨厚沉积地层,唯有震旦纪罗圈冰碛层(注意不等同于南华纪南沱冰碛层!)的发育,才指示华北克拉通南缘环境的一次突变。上述地质历史及特征与扬子克拉通同期地质历史演化特点构成本质性的差异。

华北克拉通南缘发育一系列碱性岩体,张正伟等(1996)曾划出三个碱性岩带,时代跨度从古元古代至中生代。龙王矽碱性岩位于其中的中带,是时代最老的碱性侵入体,但对该岩体形成的确切时代仍有较大争议。周玲棣等(1993)根据U-Pb年龄认为形成于古元古代,而另一些学者依据Rb-Sr年龄(卢欣祥等,1998)则置于中元古代末期,并将该岩体作为晋宁期伸展体制下形成的碱性岩,认为这期岩浆活动与扬子克拉通北缘同时代的裂解型岩浆活动可以对应(邱家骧等,1990;张国伟等,2001)。因此,正确厘定龙王矽碱性岩的时代无论是

对华北克拉通自身发展过程中的特征裂解事件,或是提供华北克拉通与扬子克拉通对比的证据都是非常迫切和十分重要的。

新的 TIMS 法和 SHRIMP 法 U-Pb 测年数据表明,龙王碰岩体形成于中元古代早期,是上述华北克拉通长城纪 1.8~1.6 Ga 裂解事件群中的重要组成部分,也是其中最晚期的特征性碱性侵入体。

1. 岩石类型及岩性特征

龙王碰岩体是一个规模较大的岩体,位于华北克拉通南缘卢氏-栾川陆缘断裂带内,出露位置在栾川大清沟、卢氏管、龙王碰一带,呈椭圆形岩株产出,面积约 120 km²(图 1-1)。岩体侵位于新太古代花岗岩片麻岩中,东侧被白垩纪合峪黑云母二长花岗岩体侵入,由中粗粒正长花岗岩单元、中粗粒钠铁闪石正长花岗岩等两个单元组成。

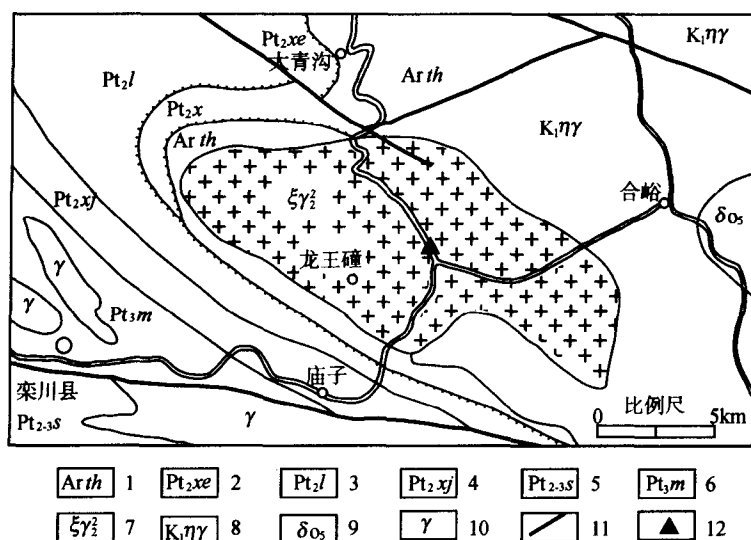


图 1-1 龙王碰岩体一带地质图

1—太古宙太华岩群; 2—中元古界熊耳群; 3—中元古界龙家园组; 4—中元古界巡检司组; 5—中新元古界四岔口组; 6—新元古界栾川群; 7—中元古代正长花岗岩; 8—中粗粒二长花岗岩; 9—早古生代石英闪长岩; 10—花岗岩; 11—断层; 12—T26 采样位置

(1) 中粗粒正长花岗岩单元

分布于东地(卢氏管)一带,呈浅肉红色,中粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物为钾长石(43%~50%)、斜长石(19%~20%)、石英(26%~35%)、黑云母(1%~2%)。钾长石为微斜长石,自形-半自形粒状,粒径 3~7mm,斜长石为粒状,粒径 3~6mm,石英多呈集合体出现,可见零星黑云母。

(2) 中粗粒钠铁闪石正长花岗岩单元

中粗粒钠铁闪石正长花岗岩单元为龙王碰序列的主体岩石,与中粗粒正长花岗岩单元脉动接触。浅灰色,中粗粒花岗结构,块状构造及斑杂构造。由钾长石(60%~70%)、钠长石(2%~10%)、石英(21%~25%)、钠铁闪石(6%~5%)及少量黑云母组成。钾长

石为微斜长石、自形-半自形粒状, 粒径 3~7mm, 晶内富含钠长石条纹。钠长石呈他形-半自形粒状, 粒径 2mm 左右, 被条纹长石穿插并不同程度的绢云母化。石英为粒状集合体, 具不均匀波状消光。钠铁闪石呈粒状、不规则状集合体出现, 完整晶形可见角闪石式解理, 多色性 Np' 深蓝绿色、绿黑色, Ng' 黄绿色、棕黄色, $C \wedge Ng = 15^\circ$, 多被黑云母、石英、磁铁矿交代, 呈暗色团块出现。本次测定的同位素年龄样品即采自钠铁闪石正长花岗岩单元。

2. 岩石地球化学特征

(1) 化学成分特征

化学成分及有关参数见表 1-1, $Na_2O + K_2O$ 为 8.55%~9.48%, K_2O/Na_2O 为 1.32~1.47, 属富钾岩系。中粗粒钠铁闪石正长花岗岩 A/NCK 为 0.99~0.85, 属偏铝质, 同时, Al_2O_3 含量较低, 而全铁含量及 $Fe/Fe + Mg$ 比值较高, 具明显 A 型花岗岩特征。

表 1-1 主元素化学成分 ($w_B/\%$)

样 号	单元岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总 量
019/北 1	中粗粒钠铁 闪石正长花 岗岩	70.46	0.30	13.2	0.48	2.08	0.086	0.39	1.18	3.46	5.09	0.04	2.02	99.74
G11-1		70.90	0.30	13.05	1.28	3.35	0.08	0.07	1.52	4.08	5.40			100.23
T26 ^①		72.77	0.32	12.41	4.41	3.05	0.12	0.08	1.20	3.60	5.21	0.03	0.48	100.63

①为本次分析结果, 余为王世炎提供, 下同。

(2) 稀土元素特征

表 1-2 中所列稀土元素含量, 其一由王世炎提供, 另一为本次测定, 两次测定结果比较相近, 特别是重稀土元素含量几乎重叠。稀土元素测定结果显示龙王碛正长花岗岩中的 ΣREE 总量高达 800×10^{-6} 以上, 是富稀土元素岩类。同时轻、重稀土元素分异强烈, 钕出现明显的负异常。从图 1-2 可以看出稀土元素图谱呈向右陡倾的折线, 在 Eu 元素处出现波谷, 呈 V 字形。这类稀土元素图谱显示早期岩浆活动中已有斜长石的晶出, 因此晚期岩浆结晶中钾长石更富集, 轻、重稀土元素分异明显, 钕出现强烈的负异常, 是一类在伸展机制下, 晚期富碱岩浆活动稀土元素的特征。

表 1-2 龙王碛正长花岗岩稀土元素含量 ($w_B/10^{-6}$) 及有关参数表

样 号	单元岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
019/北 1	中粗粒钠铁闪石	194.40	434.20	51.51	184.70	30.37	1.72	23.89	3.82	19.46
T26	正长花岗岩	165	345	44.7	168	28.5	1.53	26.3	3.88	20.20
样 号	单元岩性	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	δEu
019/北 1	中粗粒钠铁闪石	3.68	10.35	1.57	9.55	1.38	94.35	970.6	12.17	0.188
T26	正长花岗岩	3.9	10.4	1.54	9.2	1.44	104	829.6	9.79	0.168

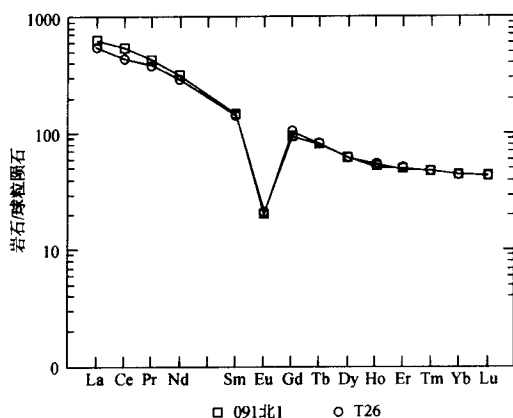


图 1-2 龙王礁正长花岗岩稀土元素图谱
(球粒陨石数据引自 W. V. Boynton(1984)推荐值)

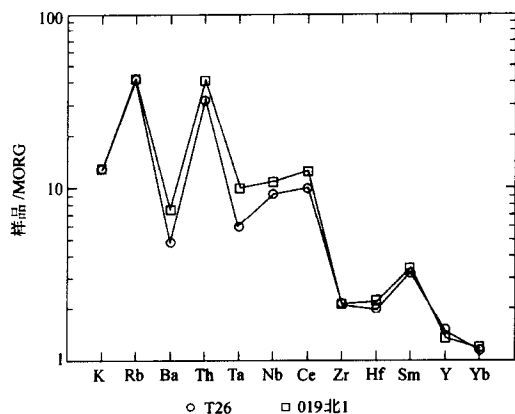


图 1-3 龙王礁正长花岗岩微量元素蛛网图

(3)微量元素特征及构造环境判别

前人的工作已证实龙王礁岩体为 A 型花岗岩区(卢欣祥, 1988)。该岩体矿物结晶良好, 并有碱性暗色矿物钠铁闪石出现。岩石富 K_2O 、 ΣREE 、Nb、Ta、Zr、Th、Hf、Sr、Rb, 贫 Ni、Co、V, 明显负钕异常, 与 A 型花岗岩特征相似。从 MORF 标准化蛛网图 1-3 中可以看出所有的微量元素丰度都高于 MORF(样品 T26 的微量元素含量见表 1-3), 其中高场强元素 Nb、Ta、Ce 的丰度约为 MORF 的 10 倍, Zr、Hf、Sm 超过两倍, Y 的丰度也超过 MORF, 既不同于洋中脊花岗岩, 也不同于岛弧或碰撞型花岗岩, 而是具有大陆板内花岗岩微量元素的地球化学特征。通过多种构造环境判别图解, 样品均落入板内花岗岩区, 正如其中 Rb-(Y + Nb)、Nb-Y 图解(图 1-4)判别结果所示。因此, 龙王礁正长花岗岩为形成大陆板内构造环境的 A 型花岗岩。

表 1-3 龙王礁正长花岗岩微量元素含量 ($w_B/10^{-6}$)

样 号	单 元 岩 性	Co	Ni	Cr	V	Nb	Ta	Zr	Th	Sr	Rb	Ga	Ba
T26	中粗粒钠铁闪石	1.0	2.1	5.0	2.5	91	4.12	727	25	39.9	168	27.6	239
019/北 1	正长花岗岩	14.8	7.4	5.0	8.9	107.4	7.0	715	32.7	52	166	31.4	373
样 号	单 元 岩 性	Sc	Hf	Ti	Pb	U	Cs	Ge	Ga	Zn	Cu	Li	Be
T26	中粗粒钠铁闪石	2.4	18.0	1918	29	2.8	3.4	727	27.6	73	14	4.2	4.1
019/北 1	正长花岗岩	1.9	19.8	19.5									

(4)U-Pb 同位素年龄

龙王礁岩体侵入于太古宙变形侵入岩体, 同时被白垩纪合峪超单元侵入, 地质上的接触关系难以给龙王礁碱性花岗岩精确的形成时代提供有用证据。前人曾从该岩体中获得 1035Ma 的全岩 Rb-Sr 等时线年龄和 2021Ma 锆石 U-Pb 年龄(周玲棣, 1993), 数据相差很

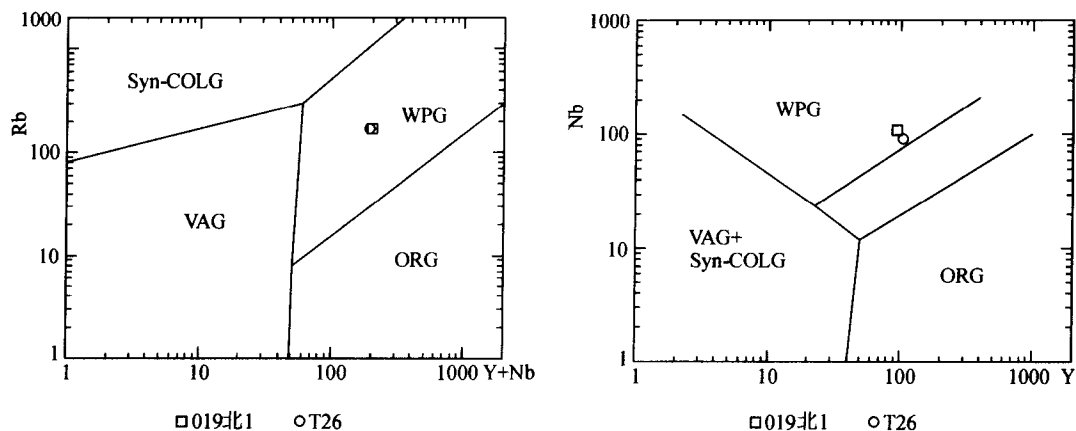


图 1-4 微量元素 Rb-Y + Nb 及 Nb-Y 构造环境判别图
(据 Pearce, 1984)

大,亦很难界定该岩体的形成时代。本次研究工作中,为了获得龙王碯碱性花岗岩精确的形成时间,分别采用 TIMS 法和 SHRIMP 法对岩体中的锆石进行了 U-Pb 年龄测定。

1) 测试方法简介

TIMS 法 U-Pb 年龄测定在天津地质矿产研究所同位素年代学实验室进行,采集的岩石样品经过仔细清洗之后粉碎至全部通过 100 目筛,然后按照常规方法分选锆石。在双目实体显微镜下,人工挑选适合进行 U-Pb 同位素测年的锆石,尽量挑选无包裹体、无裂纹、透明度高的锆石。锆石 U-Pb 定年采用同位素稀释法进行。锆石的溶解及 U、Pb 的分离在 Krogh 程序的基础上做相应的改进。锆石在 0.25ml 容积的氟塑料容器内用高纯氢氟酸-硝酸混合溶剂溶解,并使用²⁰⁸Pb-²³⁵U 混合稀释剂。锆石溶解后的样品溶液蒸干后,用硅胶-磷酸溶液将 U 和 Pb 加在同一单铈带灯丝上,在 VG354 型质谱仪上用高灵敏度 Daly 检测器进行 U-Pb 同位素测定。在灯丝温度为 1300~1400℃ 时采集 Pb 同位素数据,然后灯丝温度升至 1450~1500℃ 时采集 U 同位素数据。所有 U-Pb 同位素数据均对质量歧视效应做了校正。实验室全流程 Pb 空白为 0.030~0.050ng, U 空白为 0.002~0.004ng。

SHRIMP 法 U-Pb 年龄在国土资源部同位素地质开放实验室 SHRIMP II 上进行测定。锆石按常规方法分选,最后将样品锆石与标样锆石 TEM 置于环氧树脂中,待固结后抛磨至锆石粒径的大约二分之一,使锆石内部充分暴露,用于阴极发光结构研究及 SHRIMP 法 U、Pb 含量及同位素测定分析。详细分析流程和原理可参见 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)及宋彪等(2002)。实验测试过程中,采用标样锆石 TEM(标准年龄值为 417Ma)进行同位素分馏校正,使用标样锆石 SL13(年龄值 572Ma;U 含量为 238×10^{-6})标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量;应用 Ludwig SQUID1.0 及 ISOPLOT 程序进行数据处理。

2) 测定结果

样品(T26)采自河南省栾川县庙子镇之北的卢氏管村西,地理坐标为 E111°46.654', N33°49.690'。从碱性花岗岩样品中选取的锆石多呈浅黄色透明长柱状晶体, TIMS 法和 SHRIMP 法 U-Pb 测定结果分别见表 1-4、1-5 和图 1-5、1-6。TIMS 法测定结果显示,锆石中普通铅含量较低,²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 比值均在 200 以上,最高达 1732,说明实验结果是可信的。同

时 6 个测点均靠近上交点, 表明样品中铅丢失不严重, U、Pb 同位素基本处于封闭体系。因此, 上交点年龄 $1637 \pm 33\text{Ma}$ 应代表该岩体的侵入时代, 而下交点 $840 \pm 149\text{Ma}$ 由于远离所测样品的 U、Pb 同位素比值投影点, 造成测试误差过大, 所以没有明确的地质意义。

表 1-4 龙王碇正长花岗岩(T26)TIMS 法 U-Pb 年龄测定结果

样品情况			$w_B/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		样品中 普通铅 含量 ng	同位素原子比率 ^①					表面年龄/Ma		
点号	铅石特征	质量 μg	U	Pb		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
1	浅黄色透明 半截柱状	5	1255	457	0.340	225	0.1463	0.2692 (8)	3.652 (34)	0.09839 (82)	1537	1561	1594
2	浅黄色透明 中长柱状	5	664	223	0.098	382	0.1717	0.2676 (7)	3.630 (64)	0.09839 (162)	1529	1556	1594
3	浅黄色透明 半截柱状	5	1508	441	0.044	1732	0.1576	0.2623 (7)	3.533 (30)	0.09770 (75)	1501	1535	1581
4	淡黄色透明 中长柱状	5	505	191	0.170	169	0.1555	0.2594 (14)	3.411 (86)	0.09536 (221)	1487	1507	1535
5	浅黄色透明 半截柱状	5	1107	325	0.150	382	0.1290	0.2425 (8)	3.153 (39)	0.09431 (105)	1400	1446	1514
6	浅黄色透明 长柱状	5	1350	365	0.071	967	0.1487	0.2388 (6)	3.115 (43)	0.09461 (118)	1381	1437	1520
测定结果			1~6 号点上交点年龄值: $1637 \pm 33\text{Ma}$, 下交点年龄值: $840 \pm 149\text{Ma}$										

①在测定 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 原子比率时已对实验空白(Pb 质量为 0.050ng , U 质量为 0.002ng)及稀释剂作了校正; 其它比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素; 括号内数字(2σ)为绝对误差, 例如: $0.2692(8)$ 表示 0.2692 ± 0.0008 。

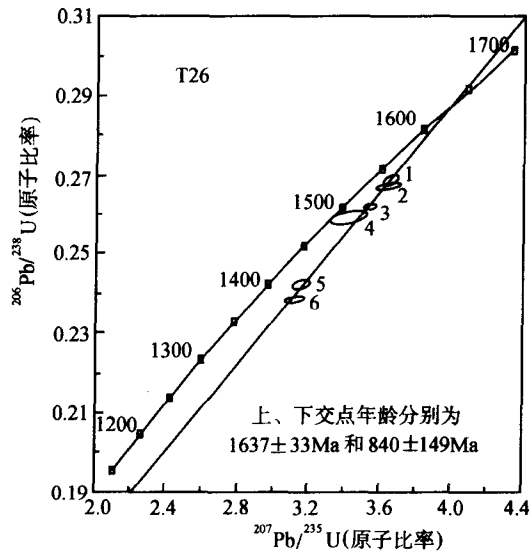


图 1-5 龙王碇正长花岗岩(T26)TIMS 法 U-Pb 年龄谐和图