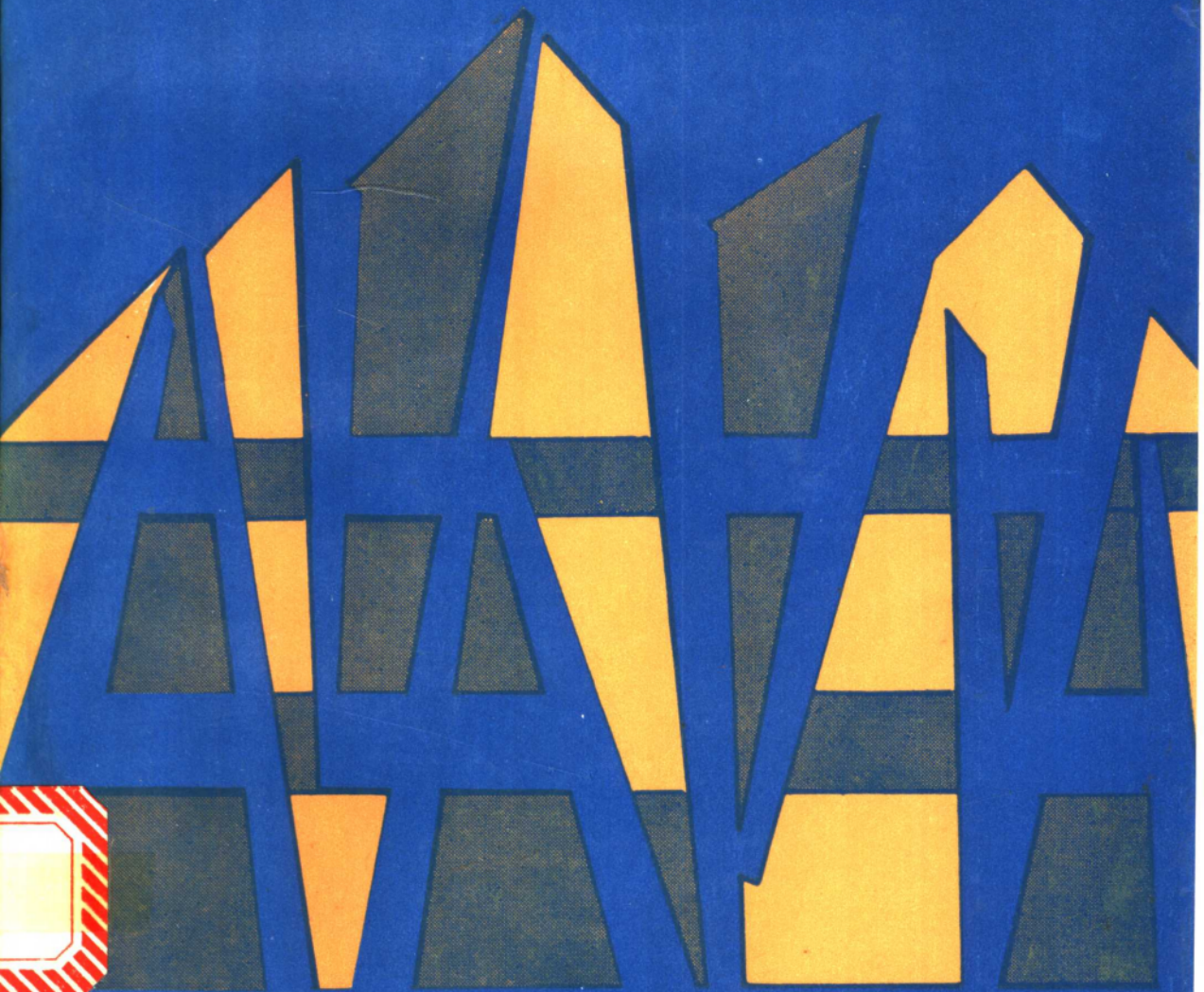


北秦岭变质地层同位素年代研究

张宗清 刘敦一 付国民 著



地质出版社



ISBN 7-116-01439-X/P·1176

定 价： 10.70 元

北秦岭变质地层同位素 年代研究

张宗清 刘敦一 付国民 著

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 简 介

秦岭是我国重要造山带。位于北秦岭的变质地层秦岭群、宽坪群、陶湾群的时代是我国地质学界长期争论的难题,也是探讨秦岭基础地质问题关键之一。本书是一本系统介绍北秦岭变质地层近年来所获得的同位素年代学研究成果的专著,内容包括秦岭群的年龄,宽坪群的年龄,陶湾群的年龄,二郎坪群、斜峪关群、丹凤群火山岩年龄,秦岭群中重要老花岗岩和华北大陆南缘粗面质碱性火山岩年龄,北秦岭地区强烈区域变质作用期次和时间等。并在所获得的年龄和同位素数据基础上探讨了一系列与秦岭地质构造关系密切的重大问题,揭示出了许多重要新信息。

专著内容丰富,数据翔实,有大量实际资料和图表,是北秦岭地区迄今为止第一份完整、系统的关于同位素年代学的优秀研究成果。该专著中给出的资料和信息对秦岭地区地质、构造研究,矿产规律研究及中国大陆壳形成和演化历史研究都具有重要参考价值。书中对同位素年代学方法的应用和数据解释方面也有较多论述。

本书可供地质、地球化学和同位素年代学生产、科研、教学人员和地质院校高年级学生参考。

北秦岭变质地层同位素年代研究

张宗清 刘敦一 付国民 著

责任编辑:易仁 舒志清

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 12.625 字数: 292000

1994年3月北京第一版·1994年3月北京第一次印刷

印数: 1—400册 定价: 10.70元

ISBN 7-116-01439-X/P·1176

序

《北秦岭变质地层同位素年代研究》是地质矿产部七五重点攻关项目《秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究》专题研究成果。

北秦岭变质地层秦岭群、宽坪群、陶湾群的形成时代是我国地质学界长期争论的难题，也是探讨秦岭基础地质问题关键之一。作者充分考虑了秦岭造山带的复杂地质特点，在前人工作基础上认真分析了地质年代学研究中存在的问题，采用地质研究与同位素定年紧密结合；多种同位素定年方法综合使用，以及同位素年代学和地球化学相结合的技术路线，在北秦岭变质地层年代学研究中取得重要进展。研究成果不仅涉及北秦岭三大变质岩群（秦岭群、宽坪群、陶湾群）的年龄确定；对北秦岭二郎坪群、斜峪关群、丹凤群变质火山岩也取得了年龄数据；提出了丹凤地区侵入秦岭群的两期重要花岗岩的年龄和成因类型；还测定了华北大陆南缘洛南至栾川粗面质碱性火山岩的形成时代；以大量年龄数据阐明北秦岭地区存在三期强烈区域变质作用或热事件。并通过新获得的年龄和同位素数据讨论了一系列与北秦岭地质构造研究关系密切的重大问题，如：北秦岭变质地层物质源区和形成环境；在2000Ma左右华北大陆南缘可能存在的地壳增生事件；华北陆块与扬子陆块同位素特征差别及秦岭群归属于华北陆块的范畴等方面，提出了许多重要的认识。这些成果，除对秦岭地质构造研究有重要意义外，对我国大陆陆壳的形成和演化历史研究，对区域地质调查和矿产规律研究都有重要参考价值。

同位素年代学是地学中最为活跃的学科之一，它的应用遍及地学各个领域。在我国，同位素年代学在基础地质和矿产规律研究，以及区域地质调查中起着重要的作用，提供了大量同位素年龄数据，阐明了许多地质难题，并揭示出许多具有重要意义的信息。在保证实验室仪器和技术水平尽可能先进的基础上，同位素年代工作中的地质研究和实验室测试研究还要紧密结合，数据综合分析研究和应用水平还要进一步提高。对于同位素年代学来说，地质研究、实验研究和综合分析研究是一个整体。对于复杂地质问题的探讨和阐明，同位素年代学和地球化学研究密切结合也是必须的。地质学家应多学些方法和实验知识，实验学家应多掌握些地质知识。从本书所介绍的研究成果中，可以看出作者及其合作者的研究过程中在上述许多方面也取得了一些有益的经验，可供类似地质特征地区进行同位素年代学研究时借鉴。

程志庚
1993年1月

前 言

秦岭山脉横亘我国中部，东西延绵千余公里，是我国南、北自然地理的分界线。在地质上，它位于我国不同大地构造单元结合处，南北与扬子古陆和华北古陆相邻，东西与大别山、祁连山、昆仑山相连，是我国重要造山带，在我国大陆壳的形成和演化历史中占有十分重要的地位。随着地球科学研究的深化，大陆岩石圈构造研究提上日程和国家经济建设对矿产资源的需求，秦岭造山带已为我国和世界地学界所瞩目。

位于北秦岭的变质地层的时代对秦岭造山带构造模式研究和矿产评价具有十分重要的意义，是多年来地质学者所关注但没有彻底解决的重大基础课题。1931年，黄汲清、赵亚曾先生首先对秦岭进行地质调查，创建“秦岭地轴”，把秦岭出露的变质岩系命名为秦岭系，归属于太古界。1951年至1956年，赵家骧、张伯声、张文佑、李振等分别把秦岭变质岩划归下古生界，或震旦系。50年代末和70年代初，1:20万区域地质调查，秦岭系被解体为秦岭群、宽坪组和陶湾组。秦岭群的时代先后被划归太古代和早元古代，宽坪组和陶湾组被划归早元古代。1977年，宽坪组、陶湾组被改建为群。70年代末至80年代中期，1:5万区域地质调查和大量专题研究对北秦岭变质地层年龄进行过大量工作，但是秦岭群、宽坪群、陶湾群的形成年龄仍然没有得到彻底解决。随着研究增多，反而争论更激烈。秦岭群分别被划归下古生界—太古代，宽坪群被划归早、中元古界，陶湾群被划归古生界奥陶系—下元古界长城系。由于秦岭变质岩系缺少化石证据，1958年同位素年代学就被引入该变质地层年代学研究中。秦岭地处我国南北两个大地构造单元扬子板块和华北板块衔接处，地质作用十分复杂，而且叠加过多次后期强烈变质作用，岩浆侵入和喷发作用，原有地层面貌被强烈改造，同位素系统也遭受不同程度破坏。几十年来，北秦岭变质地层已用不同同位素年代学方法测定过很多数据，分析样品数以百计，但是由于地质背景复杂，年代学方法使用不当，野外地质研究与实验研究脱节，缺乏综合分析研究，所得数据矛盾很多。这更增加了地质认识的复杂性。

“七五”期间，地矿部“七五”重点攻关项目《秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究》，对秦巴地区变质地层时代、层序、变质作用及含矿性组织了专题研究。我们承担秦巴地区秦岭、宽坪、陶湾群同位素年代学研究任务。鉴于北秦岭变质地层年代学研究长期得不到进展的困难条件，我们在前人工作基础上，并根据秦岭造山带复杂地质特点，同位素年代学研究对以下几方面给予了特别注意：

1. 加强了野外地质工作，并使野外地质调查研究与实验室研究密切结合。野外地质研究是同位素地质年代学工作的基础。我们的研究工作密切配合秦巴项目其它地质研究工作，多次共同进行野外地质调查。在对地质背景进行充分了解基础上，根据地质特点，任务要求，方法原理进行采样。并根据地质资料对年龄数据进行合理解释；

2. 在实验室内，采用多个同位素年代学方法平行分析。不同同位素年代学方法有不同适用范围。多种同位素年代学方法配合，可以减少单一方法带来的年龄解释的不确定性（多解性），另一方面可以通过稳定性不同的同位素系统了解保存在岩石中的不同地质作用

信息;

3. 对地质背景、样品地球化学特征和所得年龄数据进行综合分析研究, 确定所获得数据的地质意义。对同位素地质年代学来说, 野外地质研究-实验室研究-数据综合分析研究, 三个环节是一个整体, 不能分割。

除此之外, 我们所有的同位素年代学实验工作都在中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学和地球化学实验室内完成, 便于质量管理, 为结果对比提供了方便。

通过上述工作, 北秦岭变质地层秦岭群、宽坪群、陶湾群的年代学工作取得重大进展。本书系统介绍了本项目所获得的研究成果, 内容包括北秦岭各变质岩群的年龄, 特别对秦岭群、宽坪群、陶湾群的年龄进行了较多的论述。对秦岭群中重要老花岗岩的年龄, 宽坪群中变粒岩年龄、华北大陆南缘洛南至栾川粗面质碱性火山岩的年龄都给予了数据, 重新厘定了北秦岭地区遭受强区域变质作用和热事件的期次和时间, 讨论了北秦岭变质地层物质源区; 2000Ma左右华北大陆南缘可能存在的一次强烈地壳增生事件; 华北陆块与扬子陆块同位素特征差异, 秦岭群归属等问题。根据所获得的同位素和元素地球化学资料讨论了北秦岭地区地壳演化历史及应深入研究的课题。

本书在科研报告基础上由张宗清、刘敦一、付国民编写, 最后由张宗清统稿。参加本项目的主要工作人员除张宗清、刘敦一、付国民外, 还有赵敦敏、叶笑江、陈文、张巧大、富云莲、安玉清等。样品由张宗清、陈文、刘敦一采集。岩石薄片由付国民鉴定。U-Pb年龄测定和单颗粒锆石年龄测定由刘敦一、赵敦敏、张巧大完成; Sm-Nd年龄测定和稀土分析由张宗清、叶笑江完成; Rb-Sr年龄测定分别由付国民、陈文、安玉清和张宗清、叶笑江完成; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定由富云莲完成。宋彪、李柏、仇广深、潘淼、杨淳、王进辉、陈启桐、刘凤香、夏明仙、郑宝英、张思红等参加了部分实验工作。

本项目工作和本书编写是在中国地质科学院、中国地质科学院地质研究所、地矿部秦巴科研项目办公室领导关怀和支持下完成的。在采样过程中得到地矿部地质研究所陶湾专题组任纪舜、姜春华、王作勋、王宗起, 宽坪群专题组刘国惠、张寿广等, 西北大学地质系秦岭群专题组张国伟、周鼎武、于在平等, 中国地质大学秦岭群专题组游振东等, 西安地质学院张维吉, 陕西区调队宋子季、王振东、高洪学等, 河南省区调队林德超、李采一等大力协助。岩石全分析和微量元素ICP分析由地矿部岩矿测试所完成。全部图件由董效净, 张森清绘。程裕淇教授, 沈其韩研究员, 陈毓川研究员, 任纪舜研究员, 张本仁教授, 游振东教授, 张国伟教授, 袁润广高级工程师, 许荣华研究员, 李曙光副教授在百忙中为科研报告进行了评审。在工作中得到江博明教授许多帮助和有益的讨论, 对本书初稿又进行了仔细的审阅。在此一并表示衷心的感谢。

最后还要感谢许英杰、王陆通、张玉海承担的质谱计维修工作。由于他们的认真负责, 使仪器保持良好实验条件。

秦岭是一个规模巨大, 演变时间长, 地质上十分复杂的大陆造山带。对于这样一个造山带的变质地层进行同位素年代学研究, 缺乏现成可参考路线。我们也没有经验。由于时间、经费和实验室能承担的工作量的限制, 许多重要问题还未提上日程。有些地区已采样, 也未能进行实验工作。已完成的工作, 由于人员水平限制, 也一定有许多不足和错误, 望批评指正。

目 录

第一章 区域地质概况	1
一、区域地层	1
二、岩浆活动	3
三、变质作用	3
第二章 采样原则、样品加工、实验方法	4
一、采样原则	4
二、样品加工	5
(一) 全岩样品加工	5
(二) 单矿物分选	5
三、实验方法	5
(一) 锆石U-Pb同位素年龄测定实验方法	5
(二) 单颗粒锆石逐级蒸发法 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) 年龄测定实验方法	5
(三) Sm-Nd同位素年龄测定实验方法	6
(四) Rb-Sr同位素年龄测定实验方法	6
(五) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄测定实验方法	6
(六) 稀土(REE)分析实验方法	7
四、Sm-Nd模式年龄计算方法	7
第三章 秦岭群年龄	8
一、秦岭群形成年龄的争论和原因	8
二、河南省西峡县蛇尾地区秦岭群变质岩同位素年龄测定结果及其意义	11
(一) 采样地区地质概况和样品岩石学、地球化学特征	11
(二) 同位素年龄测定结果	13
(三) 讨论	20
三、陕西省丹凤县涌峪地区秦岭群变质岩的同位素年龄测定结果及其意义	24
(一) 采样地区地质概况和样品岩石学、地球化学特征	24
(二) 丹凤涌峪地区秦岭群下部变质岩同位素年龄测定结果	29
(三) 秦岭群上部大理岩的年龄数据	37
(四) 讨论	39
四、陕西丹凤地区秦岭群中老花岗岩的年龄	56
(一) 枣园花岗岩年龄	57
(二) 王家庄花岗岩年龄	58
五、小结	66
第四章 宽坪群年龄	67
一、宽坪群地质概况和宽坪群形成年龄的争论	67

(一) 宽坪群地质概况	67
(二) 宽坪群年龄争论焦点	67
二、陕西省商县北宽坪宽坪群广东坪组绿片岩年龄	69
(一) 采样地区地质概况和样品地球化学特征	69
(二) 同位素年龄测定结果	72
三、陕西省洛南县马河宽坪群广东坪组斜长角闪岩年龄	76
(一) 采样区地质概况和样品地球化学特征	76
(二) 同位素年龄测定结果	79
四、陕西省商县板桥宽坪群四岔口组云母石英片岩年龄	82
(一) 采样地区地质概况和样品地球化学特征	82
(二) 同位素年龄测定结果	82
五、陕西省商县板桥宽坪群谢湾组斜长角闪岩同位素年龄数据	86
(一) 采样地区地质概况和斜长角闪岩的化学组成	86
(二) 同位素年龄测定结果	88
六、商县板桥宽坪群变粒岩(浅粒岩)年龄	90
(一) 商县板桥变粒岩组成	90
(二) 变粒岩同位素年龄测定结果	90
七、河南省南召县铁匠炉宽坪群云母石英片岩和伏牛山南麓变质岩带年 龄	91
(一) 区域地质概况	91
(二) 河南省南召县铁匠炉云母石英片岩同位素年龄数据	91
(三) 河南省南召县龙脖庄-河西村一带变质岩的年龄及伏牛山花岗岩南侧变质岩 带的时代归属	92
八、讨论	98
(一) 宽坪群的形成年龄	98
(二) 宽坪群的变质期次	104
(三) 宽坪群变质岩物源、成因及形成环境	105
(四) 河南省南召县黑沟-栾川断裂以北、伏牛山花岗岩以南变质地层时代归属及宽 坪群的北界	108
(五) 小结	108
第五章 陶湾群年龄	110
一、陶湾群地质概况和地层年龄研究程度	110
(一) 陶湾群地质概况	110
(二) 陶湾群地层年龄研究程度	110
二、河南省栾川县大红口栾川群大红口组火山岩年龄	112
(一) 采样区地质概况和样品岩石学、地球化学特征	112
(二) 同位素年龄分析结果	114
三、河南省栾川县陶湾北沟陶湾群风脉庙组变质岩年龄	117
(一) 采样区地质概况	117
(二) 栾川县陶湾北沟陶湾群风脉庙组云母片岩年龄	118
(三) 栾川县陶湾北沟陶湾群风脉庙组炭质绢云片岩 Rb-Sr 年龄	120

四、陕西省洛南县页山河陶湾群变质岩及其它有关地层变质岩的年龄	121
(一) 区域地质概况	121
(二) 页山河陶湾群年龄	121
(三) 大庄组炭质板岩Rb-Sr年龄	124
(四) 罗圈组砂板岩Rb-Sr年龄	124
(五) 洛南县页山河东沟口(中沟)绢云片岩Rb-Sr年龄	126
五、洛南碱性火山岩年龄	129
(一) 样品岩石学和地球化学特征	129
(二) 同位素年龄测定结果	130
六、陕西省洛南县碘峪正长斑岩年龄	133
(一) 样品稀土地球化学特征	134
(二) 洛南碘峪正长斑岩同位素年龄测定结果	134
七、讨论	136
(一) 陶湾群的形成年龄	136
(二) 陶湾群遭受变质作用期次	140
(三) 陶湾群变质沉积岩的物质源区	140
(四) 洛南-栾川碱性火山岩带年龄、源区, 及和陶湾群的关系	140
(五) 关于洛南县页山河东沟口(中沟)绢云片岩归属	143
第六章 二郎坪群、斜峪关群、丹凤群年龄	145
一、二郎坪群年龄	145
(一) 二郎坪群地质概况	145
(二) 河南省南召县上青石峡二郎坪群细碧角斑岩Sm-Nd同位素年龄数据	146
(三) 河南省西峡县长探河二郎坪群变质细碧角斑岩年龄	148
(四) 讨论	151
二、斜峪关群年龄	153
(一) 斜峪关群组成和年龄研究程度	153
(二) 眉县铜峪斜峪关群变质火山岩年龄测定结果	153
(三) 斜峪关群年龄的讨论	156
三、丹凤群年龄	156
(一) 丹凤群地质概况	156
(二) 丹凤群变质岩同位素年龄测定结果	157
(三) 丹凤群的形成年龄和变质时间	158
四、北秦岭断陷带“古生界”地层同位素特征	160
第七章 北秦岭地区区域变质作用期次和时间	162
一、北秦岭地区变质作用的多期性和变质期次研究的困难	162
二、北秦岭地区区域变质作用期次、变质强度及区域分布	162
(一) 北秦岭地区区域变质作用期次和时间	162
(二) 变质作用强度及区域上的不均匀性	165
三、在变质作用中年代学同位素系统的稳定性及其年龄的意义	166
第八章 关于秦岭群的归属	168
一、单颗粒锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄证据	168

(一) 单颗粒锆石年龄及其应用	168
(二) 单颗粒锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄证据及其构造含义	168
二、铽同位素证据	169
(一) 北秦岭花岗岩铽同位素组成与华北陆块中出露花岗岩类似, 与扬子陆块中出露的花岗岩明显不同	171
(二) 北秦岭花岗岩铽同位素组成与南秦岭明显不同	171
三、北秦岭变质碎屑沉积岩Sm-Nd 模式年龄和钆同位素证据	174
(一) 沉积岩的Sm-Nd模式年龄 t_{DM}	174
(二) 秦岭群、宽坪群、陶湾群变质碎屑沉积岩的Sm-Nd模式年龄及意义	174
(三) 秦岭群、宽坪群、陶湾群变质碎屑沉积岩钆同位素特征及意义	176
四、变质碎屑沉积岩的Sm、Nd含量关系及意义	179
五、小结	180
第九章 结论与问题	181
一、基本结论	181
二、华北大陆南缘地壳演化历史	182
三、存在问题	184
参考文献	186

第一章 区域地质概况

秦岭是我国重要造山带，挟持于中朝克拉通华北古陆块和扬子古陆块之间（图1-1）。研究地区——北秦岭造山带，分属不同构造背景，其地层、构造、岩浆活动及变质作用都十分复杂。工作区地质构造略图如图1-2。

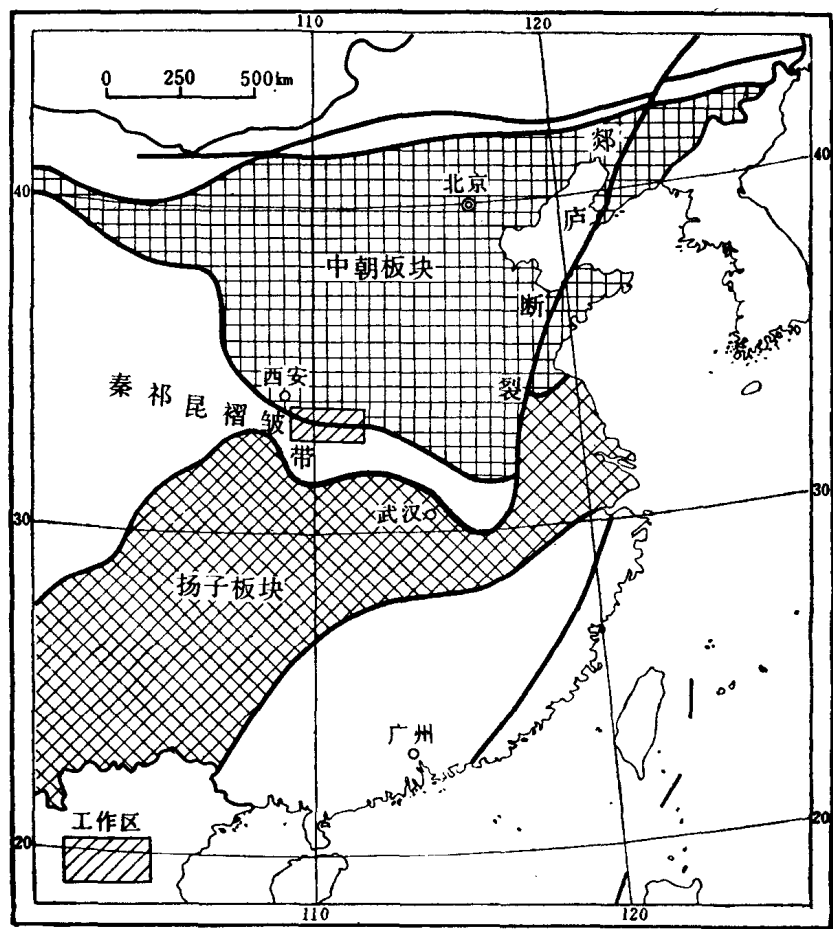


图 1-1 秦岭造山带大地构造位置和工作区范围

一、区域地层

工作区地层可划分为华北、秦岭两个地层区。地层近于东西分布，多数地层群组以断裂为界。

华北区地层除志留系、泥盆系缺失外，其余地层均有出露。太古宇太华群出露于本区最北部，陕西太华山、老牛山、河南崤山、熊耳山、外方山及舞阳等地。主要由片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、大理岩和石英岩组成。陕西省区调队（1989）根据地层层序、

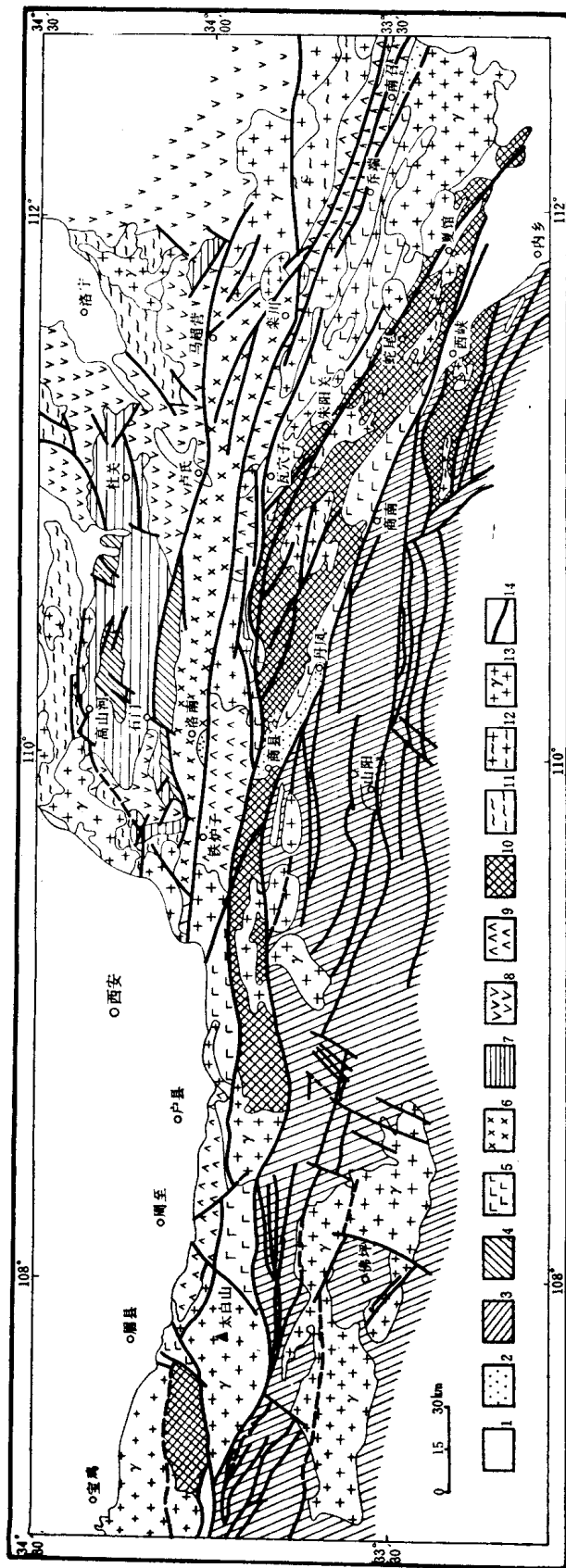


图 1-2 北秦岭造山带地质构造略图

(据张二朋, 朱启斌资料编绘)

1—新生界, 2—陆相古生界, 3—海相上古生界, 4—浅海相寒武系, 5—二郎坪群、斜峪关群、丹凤群, 6—陶湾群、栾川群, 7—洛南群, 8—熊耳群, 9—宽坪群, 10—秦岭群, 11—太华群, 12—混合质花岗岩, 13—花岗岩类, 14—各类断裂

岩石组合及含矿性, 将小秦岭地区的太华群划分为下、中、上三个亚群。下亚群主要为黑云斜长片麻岩, 夹斜长角闪岩、黑云角闪斜长片麻岩及变粒岩, 混合岩化强烈; 中亚群主要由长石石英岩、黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩和黑云角闪片麻岩组成, 夹大理岩、斜长角闪岩、石墨片岩; 上亚群主要由黑云斜长片麻岩组成, 夹斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云变粒岩及磁铁石英岩。总厚度大于5000m。

华北区元古宇由下至上依次出露: 下元古界铜铁沟组, 中元古界熊耳群、洛南群(或官道口群), 上元古界栾川群、震旦系。铜铁沟组石英岩及熊耳群火山岩呈角度不整合覆盖在太古宇太华群之上。洛南群由下至上由高山河组、龙家园组、巡检司组、杜关组和冯家湾组组成, 下部为碎屑岩, 中、上部为碳酸盐岩。栾川群中、下部以浅海相陆源碎屑沉积为主, 上部以碳酸盐岩沉积为主, 顶部夹一层粗面质火山岩。震旦系罗圈组由冰碛砾岩、板岩、砂岩、粉砂岩组成。

古生界分布范围局限。寒武系碳酸盐岩在金堆城、豫西一带发育。志留系、泥盆系缺失。自二叠纪开始, 本区转为陆相沉积, 以碎屑岩、泥质岩为主, 夹煤层。

秦岭区地层由北向南出露陶湾群、宽坪群、二郎平群(云架山群、斜峪关群)、秦岭群和丹凤群。二郎平群、云架山群、斜峪关群和丹凤群统称北秦岭古生界。所有秦岭区地层, 除陶湾群由变质陆源碎屑岩和大理岩组成外, 其余地层均为变质火山-陆源碎屑沉积岩系。火山岩以基性火山岩为主。岩石强烈变质变形, 构造十分复杂。上述各群时代归属, 争论很大, 是我们研究的重点。

二、岩 浆 活 动

北秦岭地区岩浆活动强烈, 从超基性岩到酸性岩、碱性岩类均有分布。从时代上看, 由太古宙到中生代各个地质时期, 均有规模不等的岩浆活动。火山活动主要集中在元古宙, 以基性岩浆喷发为主; 大规模岩浆侵入活动集中在古生代和中生代, 以酸性岩为主。

北秦岭花岗岩类分布广泛。在区域上大致呈东西向带状分布。早前寒武纪花岗岩出露在本区最北部, 与太古宇变质地层空间关系密切。元古宇花岗岩分布在陕西蓝田及豫西一带。张家坪岩体Rb-Sr年龄为1532Ma, 龙王碛碱性花岗岩Rb-Sr年龄为1076Ma(尚瑞钧、严阵, 1988)。加里东-华力西二长花岗岩沿秦岭群分布, 秦岭群中许多大岩体, 如翠华山岩体、枣园岩体、灰池子岩体等都形成于这一时期(尚瑞钧、严阵, 1988; 及本文)。印支-燕山期花岗岩分布广泛, 往往形成大的岩基或岩体。

三、变 质 作 用

北秦岭地区遭受过多期强烈区域变质作用。太古宇太华群岩石变质程度达角闪岩相, 局部达麻粒岩相。其它地层分别达低绿片岩相至角闪岩相。变质带多与区域地层和构造方向一致, 大致呈东西向展布。多数变质带以断裂为界。

关于变质作用时期, 由于缺少可信年龄资料, 认识分歧。变质时期划分也是本文需要探讨的一个课题。

第二章 采样原则、样品加工、 实验方法

一、采样原则

同位素年代学样品必须满足两个要求：(1)样品在地质上有代表性；(2)样品对年代学方法适用。关于Sm-Nd年代学样品采集和加工，张宗清(1988)有专文论述。秦岭造山带经过长期构造演变，地质背景十分复杂。地层被褶皱、断裂，切割成不同块体，加上后期地质作用，原有地层面貌已完全被改造。为了得到有代表性的样品，我们坚持以下采样原则：

1. 采样在做好野外地质调查工作基础上进行。为了使样品有代表性，我们把采样点选择在地质研究程度高的地区。由于地质研究程度高，争论问题突出、集中，我们可用少量样品解决较多地质问题。同时，由于这些地区地质工作者熟悉，由这些地区所获得的结果，也最容易为广大的地质工作者理解和利用，从而达到解决地质问题的目的。在每一个采样地区，我们都是对野外地质情况、存在问题充分了解后，根据地质、地球化学背景、需要解决的问题和年代学方法特点制定采样方案，采集合适样品。

2. 采样充分考虑秦岭变质地层分布特点。秦岭变质地层东西延伸长度千余公里，但是宽度一般只有几十公里。由于构造切割，常以一个一个块体出现。变质类型各处不完全相同。为了准确确定各变质地层时代，我们采用多点控制解剖的办法，分别在一个地层的不同地段采样，进行分析。由于工作量和时间限制，我们对每个变质地层一般选择两个点重点进行解剖。例如陶湾群，我们分别在河南省栾川县和陕西省洛南县选点，进行详细工作。

3. 在一个采样点内，采样范围尽量减小。由于秦岭造山带地质背景复杂，变化大，采样范围严格控制。除明显具有共成因关系的变质火成岩外，其余变质岩采样距离一般都不超过1 km。

4. 北秦岭地区变质岩石遭受过多期强烈变质作用、岩浆侵入和火山喷发作用。在这些作用中，同位素系统遭受不同程度破坏或扰动。不同同位素系统在变质作用中的稳定性不同，所得结果反映的地质作用也不同。单一年龄结果具有多解性。对于地质上十分复杂的秦岭地区，为了消除变质地层遭受多期变质作用的影响，必须采用多种同位素年代学方法配合，取长补短，互为补充，以确定所获得年龄的地质意义。为了避免由于样品不同引起的年龄对比的困难，采样地点尽量选择兼有多种同位素年代学方法适用的地区。争取同一岩石(样品)多种方法测试，避免因地质样品不同，在年龄对比中带来的误差。

5. 采样点选择在岩石新鲜，风化蚀变、混合岩化弱，后期脉体影响小的地区。为了保证样品新鲜，采样点尽量选择在采石场、新开公路断面和水渠开凿面。采样位置尽量远

离混合岩化强烈地点和脉体发育区。如果细小脉体、风化面不能除去,则将样品砸碎,剔除脉体和风化面部分。样品经镜下鉴定,新鲜无蚀变,无后期脉体影响者,方可作为同位素年龄样品。

6. 鉴于同位素年代学方法的限制,尽量选择火成岩岩石,特别是变质火山岩作为样品。

二、样品加工

(一) 全岩样品加工

全岩样品的加工方法是将经镜下鉴定后确认为新鲜、无蚀变、无后期脉体影响的样品洗净,经粗碎、中碎、缩分后,取少量样品(20—30 g)用刚玉振动磨粉碎至200目。粉末样品置于干净塑料瓶内保存。

(二) 单矿物分选

1. 锆石分选

锆石分选采用摇床、重液和电磁分选办法,最后把样品分成不同粒级和磁性组分。被挑选用于分析的锆石组分再经双目镜下检查,进行矿物性分离并除去其它残留矿物。

2. Rb-Sr、Sm-Nd矿物等时年龄样品分选

Rb-Sr、Sm-Nd矿物等时年龄样品一般为造岩矿物,如黑云母、长石、辉石、角闪石、石榴石等。先用电磁选,再通过双目镜下手选获得纯净单矿物。

在样品加工过程中,严格避免其它样品和加工器皿的污染。

三、实验方法

(一) 锆石U-Pb同位素年龄测定实验方法

实验采用Krogh (1973) 流程。被测锆石经仔细清洗、称量后在F 4 高压坩埚中用 HF 溶解。U、Pb分离和纯化采用阴离子交换技术。U、Pb含量用同位素稀释法测定(稀释剂 ^{208}Pb 和 ^{235}U)。同位素分析在MAT-261 固体同位素质谱计上完成。流程空白 $\text{U} 2 \times 10^{-11}\text{g}$, $\text{Pb} 6 \times 10^{-10}\text{g}$ 。

质量分馏用NBS982标准校正。不一致线上、下交点年龄用Ludwing (1980) 方法计算。全部年龄误差以 2σ 表示(95%置信度)。文中所用现代 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 比值为137.88,衰变常数 $\lambda(^{238}\text{U}) = 1.55125 \times 10^{-10}\text{年}^{-1}$, $\lambda(^{235}\text{U}) = 9.8485 \times 10^{-10}\text{年}^{-1}$ 。

(二) 单颗粒锆石逐级蒸发法($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) 年龄测定实验方法

单颗粒锆石逐级蒸发法由Kober (1987) 提出。实验方法刘敦一、赵敦敏(1988) 有专文论述。将被测锆石颗粒包在Re蒸发带的中心部位,装入离子源并与相对的电离带呈平行状。分析开始时,在蒸发带和电离带上加高温数秒钟,除去锆石表面普通铅。尔后开始逐级蒸发、沉淀、测定。每次蒸发的温度较前一阶段略有提高,以获得不同阶段或不同蒸发温度的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值年龄。

单颗粒锆石逐级蒸发法分析在MAT-261质谱计上完成。微弱铅离子流用电子倍增器收集并测定。质量分馏对铅每个质量单位约为0.3%。普通铅按测定的 ^{204}Pb 的丰度扣除。

一般来说,普通铅含量都很低,可以忽略不计。

年龄误差以置信度95%表示。

(三) Sm-Nd同位素年龄测定实验方法

Sm-Nd同位素年龄测定实验方法,张宗清和叶笑江已有报道(张宗清、叶笑江,1987;叶笑江、张宗清,1990)。Sm、Nd含量用同位素稀释法分析。称取粉碎至200目以下的粉末样品,置于低压密封溶样罐中,加入HF+HNO₃溶解。待样品完全溶解后,蒸干,用HCl溶解。将样品分为两部分。一份用于含量测定,另一份用于Nd比值测定。

含量分析:样品加入Sm、Nd稀释剂(如同时测定Rb-Sr年龄,还加入Rb、Sr稀释剂),混匀、蒸干转为过氯酸盐。用阳离子交换柱(20 cm×φ 1 cm, AG50W×8 (H⁺), 200~400目)分离主要元素及Rb、Sr,并把稀土分成若干部分。收集Rb、Sr和MREE部分,蒸干,转为硝酸盐。然后用质谱分析。

Nd同位素分析:样品蒸干,转为过氯酸盐,用阳离子交换柱(柱条件同含量分析)分离。REE被作为一组解吸下来。如果同一流程要分析Sr同位素组成,则将含Sr解吸液收集后蒸干,送质谱分析。对含REE溶液,先蒸干,再经HDEHP交换柱分离。收集含Nd解吸液,蒸干,质谱分析。

质谱测定用MAT-261固体同位素质谱计,双(Re)带, M⁺离子型式,可调多法拉第筒接收器接收。质量分馏用¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219校正。标准测定结果: J. M. Nd₂O₃, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.511125±8 (2σ), BCR-1 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.512643±12 (2σ)。Sm/Nd比值测定精度优于0.1%。Sm、Nd流程空白为5×10⁻¹¹g。

年龄用York (1969)回归分析法计算。 ϵ Nd(t)值误差用Fletcher和Rosman (1982)方法计算。衰变常数 $\lambda(^{147}\text{Sm})=6.54\times 10^{-12}\text{年}^{-1}$ 。

(四) Rb-Sr同位素年龄测定实验方法

Rb-Sr年龄测定由两个流程完成。

1. Rb-Sr年龄测定和Sm-Nd年龄测定同一流程完成。其实验方法前面已叙述,不再重复。

2. 称取一定量粉碎至200目以下的粉末样品于Teflon烧杯中,加入Rb、Sr稀释剂,用HF+HClO₄混合酸溶解。待样品完全溶解后,蒸干。用HCl溶解样品,溶液载入DOWEX 50W×8 (H⁺) (200—400目)离子交换柱,分离Rb、Sr及其它元素。收集Rb、Sr解吸液,蒸干。送质谱分析。

Rb、Sr同位素分析用MAT-260固体同位素质谱计, M⁺离子型式,法拉第筒接收器接收。Rb同位素分析,双(Re)带。Sr同位素分析采用单带或双带。单带分析时,加Ta₂O₅发射剂。Sr同位素质量分馏用⁸⁸Sr/⁸⁶Sr=8.37521校正。标准测定结果: NBS987 SrCO₃, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.71025±2 (2σ), Rb/Sr比值测定精度优于0.1%。Rb、Sr流程空白为10⁻⁹~10⁻¹⁰g。

年龄计算用York (1969)回归分析法。 $\lambda(^{87}\text{Rb})=1.42\times 10^{-11}\text{年}^{-1}$ 。

(五) ⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄测定实验方法

⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄测定实验方法已有专文论述(富云莲等,1987)。样品在中国原子能科学研究院照射。将样品用铝箔包成小包,并装入铝箔筒中,再将数支铝箔筒竖直排列在一密封玻璃瓶中,瓶外再包一层厚0.5mm的镅皮后,送入反应堆照射。照射快中子