

青 ★ 年 ★ 科 ★ 学 ★ 家 ★ 文 ★ 库

THE SERIAL BOOKS WRITTEN
BY YOUNG SCIENTISTS

中国阿尔泰造山带 热动力时空演化 和造山过程

庄育勋 著

青年科学家文库

中国阿尔泰造山带热动力 时空演化和造山过程

庄育勋 著

国家自然科学基金 资助项目
博士后科学研究基金

吉林科学技术出版社

【吉】新登字 03 号

中国阿尔泰造山带热动力
时空演化和造山过程

庄育勋 著

责任编辑:张瑛琳 吴玉兰

封面设计:杨玉中

出版 吉林科学技术出版社 850×1168 毫米 32 开本 13.25 印张
发行 插页 9 326,000 字

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:16.50 元

印刷 长春市第九印刷厂

ISBN 7-5384-1448-7/P·5

内容简介

中国阿尔泰造山带发育十分典型的递增变质作用,是研究造山带变质作用举世罕见的理想地区,且蕴藏着丰富的金、铁、铜、铅锌、云母、宝石和稀有金属矿产。

作者对中国阿尔泰造山带的区域地质、原岩建造、变质岩石、变质带、变质反应、变质带 P-T 点系列、不同变质带的 P-T-t 轨迹、变质构造时空演化、花岗岩形成作用等方面进行了系统的研究和总结。在上述研究基础上提出了造山带变质作用 PTst 演化模式和热—构造—片麻岩三位一体穹窿作用模式等一系列新观点,是造山带变质作用理论和方法研究的系统论著。

本书可供从事岩石学、地球化学、构造地质学、大地构造学的科研、教学及生产人员参考。

《青年科学家文库》评审委员会

顾 问：王大珩 杨振宁

主任委员：高景德

副主任委员：高 潮 刘东生 卢良恕 丁石孙
鲍奕珊

委 员：按姓氏笔画排列

王寿仁	王泽九	石元春	叶耀先
田光华	许 翔	杨芙清	吴 博
何耀坤	张锐生	陆道培	陈运泰
陈佳洱	陈章良	罗 伟	赵玉秋
赵柏林	俞鸿儒	姜东华	顾方舟
高为炳	阎隆飞	雷天觉	黎乐民

祖国的希望 未来的曙光

——寄语青年科技工作者

王大珩

翻开吉林科学技术出版社送来的《青年科学家著作丛书》书目及作者名单,一个个自强好学,勇于探索创新的青年人仿佛就在眼前,使我欣慰,感到后生有望。所以在《丛书》编辑出版之际,我很乐于借此机会,同广大青年科技工作者讲几句共勉的话。

这些年来,一大批在五星红旗下诞生,成长起来的年轻科技工作者崭露头角,在面向国民经济主战场的应用研究和在基础科学以及高技术研究等诸多方面取得优异成就,有的跻身国际领先地位,或达到国际先进水平,有的填补国内空白,这些成果对推动科学技术进步,发展国民经济起到了重要作用。为鼓励青年科技工作者的科学研究和发明创造,中国科学技术协会、中国科学院分别设立了青年科技奖和青年科学家奖,规定每两年评选一次。首届青年科技奖评出 94 名,首届青年科学家奖评出 25 名,他们是从全国数以百万计的青年科技工作者中层层遴选出的佼佼者。

在此基础上,经过中国科协和中国科学院的推荐,吉林科学技术出版社编辑出版首届部分获奖者的著作,并获得长白山学术著作出版基金的资助,这对广大青年科

技工作者是很大的鼓舞。出版社关心青年科技工作者的成长是值得赞扬的。

当今，在激烈的国际竞争中，重要的是看一个国家的综合国力，而其中重要的一个方面是科学技术的进步，所以各国都把科学技术作为推动经济发展和社会进步的重要手段。我国是一个拥有十一亿人口的大国，经济还很落后。但是我们有志气、有能力振兴中华，立足于世界民族之林。实现这样的宏愿，要靠我们几代人的艰苦奋斗。中国科学技术的兴旺发达要靠我们老中青科技工作者团结合作，但归根到底要靠你们青年人。长江后浪推前浪，一代更比一代强。党和人民把国家的前途、民族的命运寄托在你们青年人身上，正如江泽民同志所说：“你们是祖国希望所在，是中国未来的曙光。”

我们这些人都已年逾古稀，要你们接好班，要有理想、有志气。一个人也好，一个民族也好，都要有一点精神，要有使命感，要有民族自强心，要为国家、为民族争口气，奋发向上，勇于进取；作为优秀的青年科技人才，除业务上有突出成就外，还要有不计名利、无私奉献的高尚精神，现在尤其要提倡这种精神，还要有求实的科学态度，尊重知识，尊重他人的劳动；你们还要发扬中华民族的美德，那就是要有集体主义精神，要团结协作，自力更生，艰苦奋斗，百折不挠地去拼搏，满怀希望，开拓未来！

1990年2月

序

造山带形成与演化的研究,是当代固体地球科学研究中的一个前沿领域,是80年代以来国内外地学界十分重视的热门课题。近年来,国内许多学者从大地构造和微构造相结合的角度,广泛开展了不同地区、不同时代的造山带的研究,并取得许多突破性进展。造山带变质作用演化,是造山带形成与演化研究中不可缺少的重要组成部分,也是大陆板块构造研究的重要基础之一。目前,除秦巴等少数几个造山带配合大地构造研究曾较系统地做过这方面工作外,其它地区研究尚十分零星,内容也很不系统。

中国阿尔泰造山带是横贯中亚的著名阿尔泰造山带的东段,也是中亚—蒙古构造—变质多旋回活动区的主要组成部分,大地构造位置十分重要。该带各类岩石出露良好,递增变质带发育齐全,具有特征的蓝晶石型和红柱石型变质带序列,十分典型;与变质作用有关的不同类型和不同时代的花岗质岩石分布广泛;不同尺度的褶皱构造和变形型式丰富多彩;变质岩中还赋存有多种矿产。中国阿尔泰造山带,是国内外少见的研究造山带递增变质带热动力时空演化以及造山过程的典型地区。但以往的研究程度很低,很多方面尚属空白,因此开展该带相应的研究,不但具有重大的理论意义,也有重要的实际意义。

庄育勋同志认识到该带研究的重要性,不顾该区工作环境艰苦,交通不便,毅然选择了这一造山带作为博士论文和博士后科研工作的对象,经过八年的辛勤努力和潜心研究,终于取得了很好的结果。《中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山过程》一书,就是他长期研究所取得成果的集中反映。

本项研究在理论指导思想,强调活动论和发展阶段论的观

点和辩证唯物主义的时空概念;在研究方法上,采用了当前先进的测试技术和多学科综合研究的手段。通过室内外研究密切结合,从而取得了多方面(包括理论性的概括)新的进展,其中突出的主要有:

1. 在以往 1:20 万区调工作的基础上,从泥质变质岩的研究入手,比较系统地划分了全区的递增变质带,并划分出蓝晶石型和红柱石型两个变质带序列和五个亚类型。它们围绕着区域热动力异常中心分布,构成了一系列递增变质作用热穹窿,揭示了中国阿尔泰造山带造山主期热流不均匀上升的特征;在综合研究的基础上确定了各变质带的实际变质反应和 P-T 条件,查明了从低级到高级变质带依次达到变质作用高峰条件的不等时演化特点,变质作用高峰温度由 400℃ 增至 700℃,压力则由 1.05GPa 减至 0.1GPa,即具有升温同时降压的特征。

2. 确定了中国阿尔泰造山带多幕构造变形作用的特点,划分出了早期褶皱变形幕;主期穹窿型递进变形幕和晚期叠瓦状推覆变形幕。

3. 根据变质热穹窿、变形构造穹窿和片麻岩穹窿的时空演化关系以及彼此间密切的成因联系等特点提出了“热—构造—片麻岩三位一体穹窿”(TSG 穹窿)的新概念。在综合分析该区及相邻构造单元的地球动力学背景和造山带变质作用时空演化的基础上,提出了造山带变质作用压力—温度—空间—时间(PTst 模式,成功地探讨了中国阿尔泰造山带的构造—热历史、变质带成因及形成演化机制。对 England 和 Thompson(1984)提出的 PTt 轨迹和造山带简单的均衡均匀块体隆起模式,做出了新的补充。

4. 在深入的变质反应研究基础上,提出了变质反应的组构分类;对变斑晶中包体 S 型构造的成因,提出了非旋转成因的新认识,并建立了新的判断变斑状特征矿物生成相对时间的标志。

从以上新进展可以看出,庄育勋同志地质理论基础扎实,熟练地掌握了变质地质学研究方法,在学习国外经验的同时,能勤于思

考,努力攀登、勇于创新。

本书内容丰富,研究深入细致,全面系统,立论严谨有据,是迄今为止该造山带最为完整系统的一部著作,使该带的研究大大前进了一步,填补了我国在这方面研究的不足,为造山带递增变质作用的立典做出了贡献,为国内同类研究提供了一个好的范例。

现当本书出版之际,为之介绍,预期该书必将对我国变质地质学的深入研究起到促进和推动作用。

程裕淇

沈其韩

1993年1月

前 言

造山带占整个地球表面的 10%，占大陆面积的 30% (Gellin 1982)。造山带记录了地球演化的历史，是洞悉地球内部构造运动的窗口。当今地球科学的研究有相当大的部分集中在造山运动问题上。造山带研究是当今地球科学研究的中心议题 (森格 1992)。

造山带中变质岩石、变质构造和花岗质岩石是造山带演化的产物，也是造山带演化的记录。造山带热动力时空演化的研究，已成为揭示造山带演化乃至全球板块构造运动、地球演化历史等重大地球科学问题的重要途径。同时，这方面研究也一直是推动变质地质学理论产生、发展的重要研究领域。

70 年代末以来，这一领域的研究取得了突破性进展，基于阿尔卑斯造山带变质作用研究提出了变质作用 PT 轨迹理论。这突破了长期以来在变质地质学中占主导地位的变质相系理论，成为变质地质学理论新的生长点，使造山带变质作用再次成为引人注目而且十分活跃的课题。继阿尔卑斯造山带变质作用研究出现突破以后，变质地质学家又在阿帕拉契、加里东、喜马拉雅等世界著名造山带开展了深入研究。

中国阿尔泰造山带位于西伯利亚地台与华北—塔里木地台及哈萨克斯坦地块之间，属乌拉尔—蒙古—鄂霍茨克造山带的中段。中国阿尔泰造山带变质作用现象奇特：各种结晶十分粗大的特征变质矿物；十分清楚而齐全的递增变质带，以及由这些递增变质带构成的一系列沿造山带走向拉长的热穹窿；丰富多彩的变质构造现象，平卧褶皱、变质构造穹窿和逆冲推覆构造；在热穹窿中心发育规模巨大的混合花岗片麻岩穹窿等等。典型的造山带变质作用现象、清楚的大地构造环境、极佳的露头条件以及美丽的景色，使

中国阿尔泰造山带成为造山带变质作用立典研究(李廷栋 1991),揭示造山带变质作用成因机制和造山作用过程与机制的理想地区。中国阿尔泰造山带变质作用的研究,对解决上述重要地质科学问题将有重要意义。

该区地处我国西北边陲,人烟稀少,交通不便,工作条件十分艰苦。长期以来尚未进行全面和系统的变质作用专题研究。1985~1988年间,作者在著名变质岩岩石学家董申保教授、卢良兆教授的指导下,对中国阿尔泰造山带的中段(克兰河以东,库额尔齐斯河以西)的变质作用进行了详细的研究,撰写了题为“新疆阿尔泰海西活动带变质作用演化及其大地构造意义”的博士学位论文。1988~1991年间,作者在博士后科研流动站工作期间,将研究范围扩展为整个中国阿尔泰造山带。提交了题为“中国阿尔泰造山带构造——热在空间、时间上的演化”的科研报告。1991年,作者调至中国地质科学院地质研究所,在野外地质工作的基础上,我们又补充了大量室内工作,最后形成本书。

本研究先后得到了国家教委博士点科学研究基金、博士后科学研究基金、国家自然科学基金基金的资助。陈斌、梅宝丰、李殿超、翟伟、魏义和、金利勇、魏子昕、高全胜等同志先后参加了野外工作。在研究中得到了长春地质学院张贻侠院长,李舟波副院长的热情关怀和支持。新疆地矿局陈哲夫副总工程师、王广平高级工程师、新疆地矿局地质研究所陈颂光所长、新疆第四地质大队王富同总工程师、杨型强队长、赵昌龙、周云霞、马文鹏高级工程师以及四大队的许多同志在作者野外工作中都给予了热情帮助。地矿部地质所赵子然同志、地矿部天津地矿所梅华林同志在矿物对温压计计算和矿物成分环带P-T轨迹计算中给予了许多帮助。长春地质学院地质研究所、同位素地质年代学实验室、电子探针室、科研处以及地矿部地质研究所、地矿部矿床地质研究所电子探针室的许多同志对本项目工作都给予了大力协助。在多年的研究中一直得到董申保教授、卢良兆教授的悉心指导。从研究方案的确定、野外

工作指导到论文的修改、审定,无不倾注了导师的心血。在此向尊敬的导师和参予、支持本项工作的同志们表示衷心的感谢!作者十分感谢中国科学院学部委员,我国著名的变质岩石学家程裕淇先生和沈其韩先生热情为本书作序。衷心感谢吉林科学技术出版社、长白山学术著作出版基金会的资助和支持。

庄育勋

1992年11月

目 录

第 1 章 研究思想和研究方法	(1)
1.1 区域动力热流变质作用的特征和存在的问题	(1)
1.2 研究指导思想和技术路线	(3)
1.2.1 变质作用时空观	(4)
1.2.2 技术路线和工作方法	(7)
1.2.3 工作量	(9)
第 2 章 中国阿尔泰造山带地质	(10)
2.1 中国阿尔泰造山带及相邻构造单元的板块构造体制	(10)
2.1.1 晚元古—早古生代旋回	(11)
2.1.2 早古生代中晚期旋回	(13)
2.1.3 中古生代旋回	(14)
2.1.4 晚古生代旋回	(16)
2.2 中国阿尔泰造山带地质	(17)
2.2.1 地质研究史	(17)
2.2.2 中国阿尔泰造山带构造—变质单元	(18)
2.3 中国阿尔泰造山带及邻区地球物理特征	(34)
第 3 章 中国阿尔泰造山带变质岩石学特征	(37)
3.1 变质岩岩石类型	(37)
3.1.1 泥砂质变质岩系列	(39)
3.1.2 酸性火山质变质岩系列	(41)
3.1.3 基性火山质变质岩系列	(42)
3.1.4 碳酸盐质变质岩系列	(43)
3.2 变质原岩和原岩建造	(44)
3.2.1 泥沙质变质岩	(44)
3.2.2 酸性火山质变质岩	(50)

3.2.3	基性火山质变质岩	(60)
3.2.4	碳酸盐质变质岩	(67)
3.3	中国阿尔泰造山带造山构造 ——热事件前的大地构造环境	(68)
第4章	中国阿尔泰造山带变形作用的时空演化	(70)
4.1	早期褶皱变形幕	(72)
4.1.1	早期变形幕大型弧型褶皱推覆构造	(72)
4.1.2	早期变形幕的地球动力学	(74)
4.1.3	早期变形幕相伴的变质作用	(77)
4.2	主期变形作用时空演化	(78)
4.2.1	主期变质构造空间分布	(79)
4.2.2	主期变质构造的时空演化	(87)
4.2.3	递增变质作用过程中的变形作用机制	(94)
4.2.4	主期变形幕的时限和相邻构造 ——变质单元的构造特征	(98)
4.3	晚期叠瓦状逆冲推覆变形幕	(101)
第5章	中国阿尔泰造山带递增变质作用空间分布	(107)
5.1	递增变质带	(108)
5.2	热穹窿与热谷	(112)
5.3	变质带序列类型	(114)
5.3.1	各变质带序列特征	(114)
5.3.2	两类变质带的异同	(119)
5.4	喀拉额尔齐斯带与库尔木图带变质作用空间 分布特征	(121)
5.4.1	喀拉额尔齐斯带	(121)
5.4.2	库尔木图带	(124)
5.5	中国阿尔泰造山带变质作用空间分布总体特征	(124)
第6章	递增变质作用过程	(126)
6.1	特征变质矿物的形成演化和实际变质反应	(127)
6.1.1	白云母(绢云母)	(127)
6.1.2	绿泥石	(129)

6.1.3	黑云母	(133)
6.1.4	石榴石	(145)
6.1.5	十字石	(149)
6.1.6	红柱石和蓝晶石	(156)
6.1.7	矽线石和堇青石	(158)
6.1.8	本区的退化变质反应	(164)
6.1.9	递增变质反应序列	(166)
6.2	递增变质反应问题的讨论	(168)
6.2.1	递增变质反应机制	(168)
6.2.2	变质反应组构分类	(174)
6.3	变斑晶中包体显微构造与 变斑晶形成的相对时间标志	(183)
6.3.1	变斑晶中包体 S 形构造的成因	(183)
6.3.2	确定变斑晶形成时间的显微组构标志	(189)
6.3.3	变斑状特征变质矿物的形成顺序	(193)
第 7 章	递增变质带 P-T 点系列和 P-T-t 轨迹	(204)
7.1	各变质带变质高峰 P-T 条件	(204)
7.1.1	实际变质反应的实验资料	(205)
7.1.2	矿物对温压计估算变质峰期 P-T 条件	(210)
7.1.3	各变质带岩石变质高峰 P-T 条件	(233)
7.2	不同变质带岩石的变质作用 PTt 轨迹	(239)
7.2.1	变质反应背景	(241)
7.2.2	各变质带石榴石成分环带和 P-T 演化	(243)
7.3	递增变质作用中岩石 P-T 轨迹与 P-T 点系列的关系	(276)
7.3.1	P-T 轨迹与 P-T 点系列	(276)
7.3.2	本区变质作用 P-T 点系列和 不同变质带的 P-T 轨迹之间的关系	(279)
第 8 章	中国阿尔泰造山带花岗质岩石成 因类型和混合花岗片麻岩穹窿	(283)
8.1	中国阿尔泰造山带及相邻地区花岗质岩石成因类型	

.....	(285)
8.1.1 中国阿尔泰造山带中改造型花岗岩	(288)
8.1.2 准噶尔地块东北缘同熔型花岗岩	(292)
8.1.3 准噶尔地块边缘 A 型花岗岩	(293)
8.1.4 中国阿尔泰造山带中同造山超基性、 基性侵入岩系列	(298)
8.2 中国阿尔泰造山带各类花岗质岩石的时空分布	(304)
8.3 混合花岗片麻岩穹窿	(306)
8.3.1 混合花岗片麻岩穹窿的一般特征	(307)
8.3.2 混合花岗片麻岩与变质围岩在岩石特征上 的连续性和继承性	(311)
8.3.3 变形作用的连续性	(328)
8.3.4 P-T 条件的连续变化特点	(328)
8.3.5 混合花岗片麻岩的演化	(330)
8.4 混合花岗岩的成因系列	(331)
8.5 混合花岗片麻岩穹窿的时空演化	(335)
第 9 章 中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山隆起过程	(336)
9.1 变质地质学中的两个基本问题	(337)
9.1.1 温度与压力的地质控制因素	(337)
9.1.2 变质作用时与空的关系	(339)
9.2 中国阿尔泰造山带变质作用 PTst 演化模式和 TSG 穹窿形 成机制	(344)
9.2.1 空间上变化特点	(344)
9.2.2 时间上演化特点	(345)
9.2.3 P-T 条件	(345)
9.3 中国阿尔泰造山带区域动力热流变质作用和造山作用过程 的地球动力学	(351)
9.3.1 中国阿尔泰造山带的造山作用类型	(352)
9.3.2 中国阿尔泰造山带变质作用深部地球动力学过程	(356)
结语	(362)