

中国阿尔泰造山带的变形 变质及流体作用

刘顺生 李志纯 谭凯旋 赵志忠 郑常青 著



地质出版社

中国阿尔泰造山带的变形变质 及流体作用

刘顺生 李志纯 谭凯旋 赵志忠 郑常青 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是以国家“九五”科技攻关项目《加速查明新疆优势金属矿产资源及大型矿床的综合研究》的 96—915—02—01 专题研究成果为基础,有关中国阿尔泰山带变形变质及流体作用的专著。内容包括构造变形与地质流体,地质流体与变质作用,流体演化与成矿作用,地质流体与构造热演化,构造变形、变质及成矿作用的非线性动力学等。书中实际资料丰富,介绍了近来不断发展的一些新技术、新方法和新理论,突出了专题研究中已取得的新成果,具有多学科结合的特点。对造山带的时空演化、物质迁移、构造-流体-成岩作用、构造-流体-成矿作用和构造成矿规律等方面均有新的认识,有较强的实用价值。本书可供从事构造地质、区域地质、变质岩、矿产资源、地质流体等方面科研及技术工作人员和高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国阿尔泰山带的变形变质及流体作用/刘顺生等著. -北京:地质出版社,2003.7
ISBN 7-116-03853-1

I. 中… II. 刘… III. ①阿尔泰山-褶皱带-构造变形-研究 ②阿尔泰山-褶皱带-变质作用-研究 ③阿尔泰山-褶皱带-流体-地质作用-研究 IV. P548.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 039532 号

ZHONGGUO A'ERTAI ZAOSHANDAI DE BIANXING BIANZHI JI LIUTI ZUOYONG

责任编辑:张新元 江晓庆

责任校对:黄苏晔

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);82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm $1/16$

印 张:14.625 图版:6 页

字 数:356 千字

印 数:1—800 册

版 次:2003 年 7 月北京第一版·第一次印刷

定 价:34.00 元

ISBN 7-116-03853-1/P·2379

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

引言

中国科学院长沙大地构造研究所继“七五”期间完成国家攻关“305项目”专题“额尔齐斯构造带构造演化及成矿系列研究”的科研工作、“八五”期间完成国家攻关“305项目”专题“阿尔泰山南缘大型变形构造及与成矿作用关系研究”的科研工作之后,于“九五”期间又完成了国家攻关“305项目”专题“阿尔泰山变形变质及流体作用研究”的科研任务。本书是“九五”科研成果的总结。

10多年来,该所十分重视国家“305项目”的实施,组织了一支优秀的中青年科研骨干队伍进疆工作,“九五”期间又有长春科技大学地球科学学院科研人员参加,加强了对变质岩和变质作用的研究。通过10多年的工作,获得了大量的野外地质和矿产地质资料,从理论上不断进行了深化,取得了一批重要的科研成果,为开发祖国的西北边陲新疆做出了重要的贡献。

“七五”、“八五”和“九五”以来所承担的国家“305项目”专题,均是以北纬46°线以北的北疆阿尔泰山地区为科研基地而启动实施的小比例尺(1:50万)区域地质和区域矿产诸方面的应用性基础科研工作,这对于阿尔泰山地区区域资料的积累、认识的提高、研究的深化和成果的连续性均是具有价值的。

“七五”承担的“305项目”专题研究,发现自北向南呈NW向带状分布的稀有金属、铜多金属和铜-金三大成矿系列的矿产,均受控于呈NW向延伸的数条大型叠瓦式冲断-推覆构造带,加之乌龙古杂岩带内洋壳残片的首次发现,从而提出了“阿尔泰山构造成矿域”和细分的数条“构造成矿带”等论点。

“八五”对大型冲断-推覆构造的深化研究中,进一步发现自加里东中期开始至海西期末经历的碰撞→俯冲→滑脱→冲断→走滑→缝合而最终形成阿尔泰山造山带的动力学过程中,产生了大量高强度、高水岩比的成岩流体和成矿流体,特别是在额尔齐斯滑脱-推覆带中,存在显著的流体活动和侧向迁移。初步查明流体的形成和迁移与金、铜多金属的成矿密切相关。

“九五”专题在深化“七五”、“八五”构造和成矿学研究成果的同时,侧重研究了构造变形变质过程中同造山期流体活动规律及其与成岩成矿的关系等内容,并初步建立了“阿尔泰型”构造成矿域的理论框架和“阿尔泰式”造山带的动力学模型,以实现“九五”攻关的布局之一——“深化北疆”的战略设想。专题科研着重从流体作用、变形变质、变质热穹窿和成矿作用的关系等方面开展了深化研究。专题实施期间,进行了国际学术交流和合作。裂变径迹、热释光和光释光样品的精确测定不仅利用了世界上最先进的仪器设备,并进行了国际标准样的对比。

“九五”科研攻关针对造山过程变形变质这个以往科研工作中的薄弱环节,突出了同造山期成岩流体和同造山期成矿流体在成岩成矿过程中的作用,从而在基础研究领域的四个方面(①阿尔泰山变形变质的岩石学、构造几何学与运动学;②阿尔泰山大型推覆构造与成矿流

体系统;③阿尔泰构造-变质热穹窿形成演化与成矿关系;④阿尔泰深构造层次与北准噶尔浅构造层次流体系统特征与金、有色金属成矿关系)取得了重要进展和理论上的深化。

通过近4年多的科研攻关,专题承担单位中国科学院长沙大地构造研究所和参加单位长春科技大学地球科学学院的科研人员进行了密切的合作,无论在野外或室内的交往中,都表现出了良好的学术风气和正确的科学态度。正是由于全体科研人员的团结拼搏、全身心的投入和严谨的学风,使专题研究取得了重大进展和一系列重要成果。

应该特别指出的是,专题组成员齐心协力,以艰辛的劳动,精心实测了总长62 km的两条长地质剖面。其中一条是为重点查定构造变质热穹窿的热演化史、流体活动及与成岩成矿的关系而测的,选在哈巴河县城以北,穿越哈巴河斜长花岗岩岩基,取名为“赛都-萨热朔克地质剖面”(29 km);另一条是基于查定深、浅构造层次流体活动情况,了解额尔齐斯深断裂对成矿的贡献以及断裂带两侧的变形变质特点等而测的,在青河县境内实测了穿越泥盆系、石炭系、玛因鄂博深断裂和古-中元古代克木齐群的“老山口-阿亚克河布地质剖面”(33 km)。这两条长剖面资料,为专题的深入研究提供了重要的第一手野外资料。长实测剖面以及其后配合的数十条路线剖面地质资料,为“九五”专题成果更上一层楼打下了良好的基础。

野外科学考察,还取得了如下重要的发现。①在老山口一带发现了巨厚的砾岩层,砾径从几厘米至1 m左右,为下泥盆统底砾岩。这在1:20万区测报告(青河幅)中都没有报道过。底砾岩的存在,解决了一个长期争论不休的下、上古生界的接触关系问题。通过这个发现,可以认为:阿尔泰山地区的下、上古生界之间存在一个不连续的间断不整合面。②在老山口以南地段的泥盆纪地层中发现了层厚达0.6~0.8 m的富赤铁矿层,内含大量的珊瑚和筳类化石,建议进行沉积铁矿的勘查工作。所发现的富赤铁矿层可与蒙库-可可塔勒火山-沉积盆地中的富赤铁矿层进行对比,再结合该地段出现的火山碎屑岩-火山熔岩建造分析,得出如下认识:①该地段存在一个古火山-沉积盆地;②该火山-沉积盆地内有寻找铜多金属矿床的潜力;③对两个古火山-沉积盆地分布位置的类比分析,为“玛因鄂博断裂是额尔齐斯深断裂南东段”提供了新的证据。

回首四年多的科研经历,无不体现了专题组全体科研人员的艰辛劳动。科研成果的取得,得益于中国科学院长沙大地构造研究所和长春科技大学地球科学学院的友好合作,更得益于两单位科研人员的拼搏攻关,也得益于同仁们的支持和协助。

本书的撰写分工如下:引言刘顺生、李志纯,第一章赵志忠,第二章郑常青,第三章李志纯,第四章刘顺生,第五章谭凯旋,结论刘顺生,最后由刘顺生审核定稿。

德国马普学会核物理所G·A·瓦格纳教授和日本北海道大学藤田嘉树副教授先后应邀来所,赴专题科考地进行了考察。

在该书出版之际,作者由衷地感谢国家“305项目”委员会、国家“305项目”办公室和中国科学院资源环境科学与技术局的大力支持和领导。感谢课题组的指导和兄弟专题组的协作。

感谢中国科学院开发新疆工作办公室的后勤联络工作。

感谢新疆地质矿产局、新疆有色金属公司、中国科学院国际合作局以及专题承担单位和参加单位在项目实施过程中给予的关怀和支持。

由于作者水平所限,书中缺点错误难免,敬请读者批评指正。

目 录

引 言

第一章 构造变形与地质流体	(1)
第一节 阿尔泰造山带的构造格局与大地构造背景	(1)
一、阿尔泰造山带的基本构造格局	(1)
二、阿尔泰山南缘地区的大地构造背景及其构造演化	(8)
第二节 阿尔泰造山带构造岩石学、几何学与运动学	(10)
一、阿尔泰造山带变形岩石的组成与岩石变形特征	(10)
二、变形岩石的几何学、运动学特征	(14)
第三节 流体活动的构造动力学条件	(22)
第四节 流体作用与岩石变形	(27)
一、不同构造变形域内流体活动特征	(27)
二、流体的运移机制及动力学模式	(32)
三、流体作用与岩石变形变质的地球化学过程	(34)
四、流体作用与岩石变形的关系	(41)
第二章 地质流体及变质作用	(47)
第一节 阿尔泰造山带变质岩的分布特征	(47)
一、变质作用类型	(47)
二、变质带发育特征	(58)
三、变质岩石特征	(60)
第二节 变质原岩建造	(66)
第三节 变形变质作用研究	(83)
一、矿物生长发育与变形之间的关系	(83)
二、矿物转变与变质反应	(96)
三、变质作用的温、压条件	(98)
第四节 变质作用 P - T - D 轨迹及其地球动力学过程	(104)
一、阿尔泰造山带海西期变质作用 P - T - D	(104)
二、变质作用 P - T - D 轨迹的大地构造环境及地球动力学过程	(106)
第三章 流体演化与成矿作用	(107)
第一节 阿尔泰山构造成矿域及其重要构造成矿带	(107)
一、构造成矿区划基础	(107)
二、阿尔泰山构造成矿域	(108)
三、阿尔泰山构造成矿域的重要构造成矿带	(109)
第二节 金的构造-流体-成矿作用	(112)
一、阿尔泰山南缘铜-金构造成矿带金矿床的矿床地质特征	(114)
二、额尔齐斯深断裂概况及喀依尔肯-阿热勒托别实测剖面	(116)

三、金的构造-流体-成矿机理	(121)
四、金的构造-流体-成矿作用	(142)
第三节 阿尔泰山构造成矿域形成的理论框架	(144)
一、阿尔泰山造山带的形成	(144)
二、构造-流体-成矿作用的模拟试验	(147)
三、阿尔泰山造山带的形成与成矿作用的关系	(151)
四、阿尔泰山构造成矿域形成的理论框架	(152)
第四章 地质流体与构造热演化	(153)
第一节 阿尔泰山地壳的热结构及其热历史特征	(153)
一、地球的热状态	(153)
二、阿尔泰山地区地壳的热结构	(155)
三、阿尔泰山地区热历史特征	(161)
第二节 地质流体及其热传输作用	(169)
一、地质流体的重要性	(169)
二、流体在地壳中的流动	(170)
三、地质流体的热传输作用	(172)
第三节 热穹窿及其与成岩、成矿的关系	(173)
一、阿尔泰山地区热穹窿分布	(173)
二、热穹窿与成岩成矿的关系	(174)
三、热释光和光释光研究	(175)
第五章 构造变形、变质及成矿作用的非线性动力学	(182)
第一节 构造变形与矿床分布的分形特征	(182)
一、多重分形理论基础与分析方法	(182)
二、构造变形的多重分形模拟	(183)
三、矿床分布的多重分形分析	(190)
第二节 构造变形的非线性动力学	(195)
一、构造变形的力学-反应-迁移耦合动力学模型及模拟方法	(195)
二、阿尔泰山构造变形的动力学模拟	(203)
第三节 变质作用的非线性动力学	(206)
一、糜棱岩带形成的动力学	(206)
二、变质作用中岩石矿物与化学成分的变化	(207)
第四节 成矿作用的非线性动力学	(210)
一、构造聚流成矿作用动力学	(210)
二、石英脉型金矿床形成的动力学	(212)
结 论	(216)
参考文献	(220)
图版和图版说明	(228)

第一章 构造变形与地质流体

第一节 阿尔泰造山带的构造格局与大地构造背景

一、阿尔泰造山带的基本构造格局

阿尔泰山南缘地区的褶皱构造与断裂构造十分发育(图 1-1),前人(张湘炳等, 1990, 1993; 何国琦等, 1990; 杨新岳等, 1994; 李志纯等, 1995; 曲国胜等, 1992)曾对这些变形构造的几何特征及空间展布规律、运动学与动力学过程进行过研究。

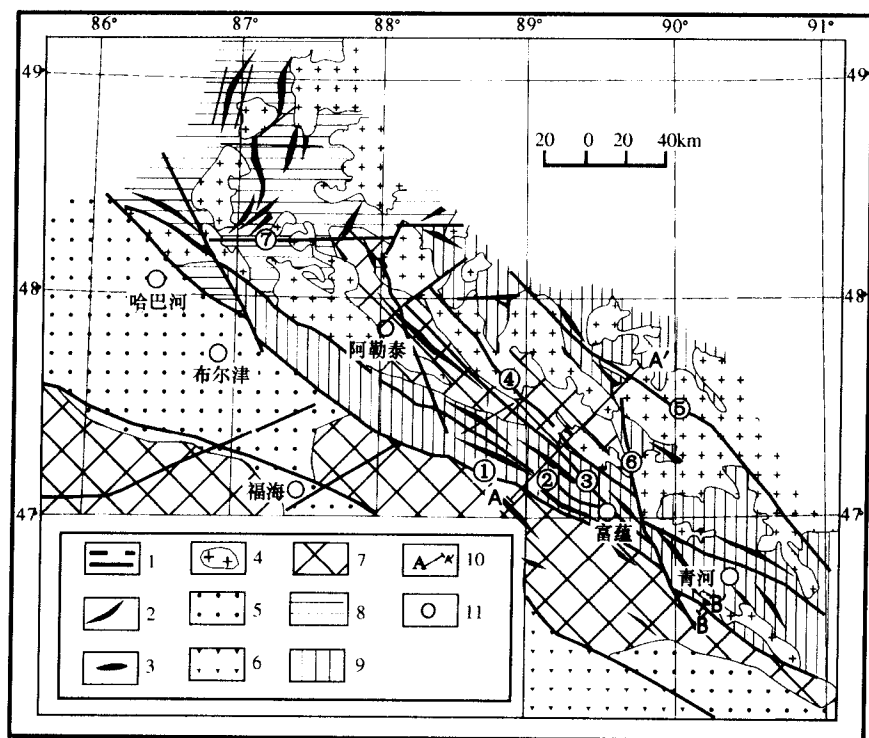


图 1-1 阿尔泰山南缘区域地质图

1—断裂; 2—褶皱; 3—基性-超基性岩; 4—花岗岩; 5—第四系; 6—第三系; 7—晚古生代; 8—哈巴河群; 9—克木齐群; 10—实测剖面位置; 11—地名。①—额尔齐斯断裂; ②—特克斯汗断裂; ③—阿巴宫-库尔提斯断裂; ④—巴寨断裂; ⑤—库热克特断裂; ⑥—可可托海-二台断裂; ⑦—依莱克断裂

前人的工作存在一定的局限性,尤其是对以依莱克断裂为界的南东部与北西部地区内各种变形构造之间存在的差异未引起足够的重视。事实上,这两个区域内的变形构造无论

是几何形态还是空间展布规律都存在明显的差异,二者显然是不同构造变形方式下形成的构造形迹,而前人(张湘炳等,1993;曹荣龙等,1993;何国琦等,1990;杨新岳等,1994;李志纯等,1995;徐新等,1990;成守德等,1998;曲国胜等,1992;肖序常等,1990)大多简单地用相同的岩石变形方式来解释阿尔泰山南缘地区不同区域内各种变形构造的形成与演化规律,结果导致阿尔泰山南缘南东部与北西部地区在构造变形、岩石变质、岩浆活动、地壳演化、成矿规律以及构造格架的形成及其构造演化规律等方面都不能得到令人满意的解释。

阿尔泰山南缘地区南东部与北西部的基本构造格架差别主要表现如下。

(1)以依莱克断裂为界,阿尔泰山南缘地区可分为两个不同的构造变形域(即南东部构造变形域与北西部构造变形域),两个构造变形域内的各种变形构造在几何形态与空间展布上极不协调,反映它们主体构造应是不同构造变形方式下构造应力作用的结果。

(2)北西部构造变形域内的褶皱大多是呈S-N向的线性紧闭褶皱,且大型褶曲多发生“S”型的弯曲。而在南东部构造变形域内的阿尔泰-青河一带,也发育了一系列的线性紧闭褶皱,但褶皱轴线主要呈 $290^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 展布,褶皱形态大多表现为两翼陡倾,轴面近直立,转折端则向北西作小角度倾伏。

(3)北西部构造变形域内发育一些南北向断裂,NW向断裂次之,而且断裂多具右型走滑特点,其规模普遍较小。而在南东部构造变形域内主干断裂除可可托海-二台断裂呈NNW向展布外,其余多呈NW向展布,而且区内发育的众多次级断裂也多显示呈NW向展布这一特征,断裂规模也较大。

现将两个构造变形域内的变形构造特征分述如下。

(一) 褶皱构造

以区内近东西向的依莱克断裂为界,在阿尔泰山南缘地区的北西部构造变形域内发育一系列的呈S-N向甚至NNE向展布的线性紧闭褶皱,褶皱的两翼陡倾,轴面近直立,其中几个规模较大褶皱的轴线还发生了“S”状弯曲,如:那伦复背斜、哈拉苏复背斜、色姆卡背斜以及土尔滚背斜等都是如此,它们在卫片(即卫星照片,下同)上也显示呈近SN走向的影像特征。

褶皱岩层以下古生界的页岩、灰岩与砂岩为主,岩层多发生了劈理化,以破劈理为主,大部分地区岩层的层理因已被劈理置换而难以辨别(图1-2),劈理的产状与褶皱轴面近乎一致。说明在早期岩层褶皱变形基础上,又叠加了另一期构造变形。

而在阿尔泰山南东部构造变形域内的阿尔泰-青河一带,在泥盆-石炭纪地层中发育了一系列的线性紧闭褶皱,这些褶皱两翼陡倾,部分褶皱的南西翼发生倒转,褶皱轴线大多呈 $290^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 展布,转折端则向北西作小角度倾伏。

褶皱岩层也发生了强烈的劈理化,以区域透入性劈理为主,表现为区域性褶皱构造的轴面劈理。这些区域褶皱构造应为造山作用早期阶段形成,随着造山作用的加强,早期形成的褶皱构造被后期的构造置换作用(图1-3)和冲断-推覆作用所改造,构造置换作用导致强烈变形岩石中形成大量的无根钩状褶曲和近于同方向的叠加褶曲,使得沿轴面劈理产生的分异层理发生再褶皱。冲断-推覆作用则导致大量中型规模的平卧褶皱的形成(杨新岳,1995)。区内的克兰复向斜、哈龙复背斜、额尔齐斯复向斜、达罕第尔背斜等大型褶皱都具有这些特征。

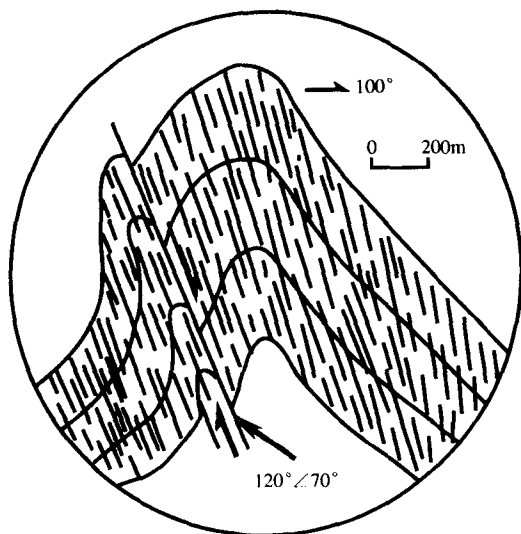


图 1-2 褶皱岩层中的劈理
(白哈巴)

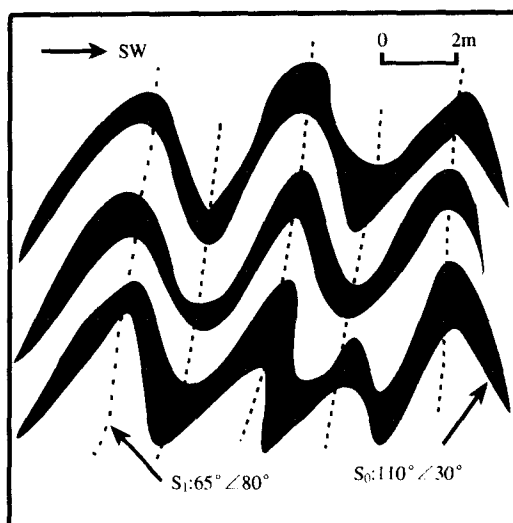


图 1-3 发育于黑云母片麻岩中的构造置换
(阿拉图拜)

(二) 断裂构造

阿尔泰造山带的断裂构造极为发育，这些断裂构造多形成于早古生代末-晚古生代，其中几条规模巨大的断裂都是在古老基底上的断裂经改造而成的，具有一定的继承性。其变形历史和变形特征直接反映了该区的构造活动历史和地壳变形状态。

两个不同构造变形域内的断裂存在明显的差异（表 1-1），西北部变形域内断裂规模较小，断裂延伸从数百米—数千千米不等，在卫片中反映不很明显，地表显示断裂展布方向以 S-N 向、NNE 向和 NW-SE 向为主，断裂以盖层断裂与基底断裂为主，多数具逆冲和右型走滑特征（图 1-4）。

南东部变形域内主要区域性断裂的展布方向有 NW-SE、NNW-SSE、NE-SW，大型断裂带的延长均大于 100 km，断裂带宽度从数百米到数千千米不等，具有多期次活动特征，其中晚古生代造山阶段是这些断裂带形成发展的主要阶段。是在地壳发生大规模横向缩短和挤压造山的构造背景下形成的，为造山带深部过程在浅部的直接构造效应。断裂带构造活动的不均匀性导致南东部变形域内地壳变形也不均匀，构造-岩浆活动和地壳结构也呈现相应的不均匀性，从而构成了该区复杂的构造格局。

NW-SE 走向的大型断裂带与阿尔泰 NW 向的褶皱山系奠定了区域的总体构造格架，由北往南依次发育有红山嘴-库热克特

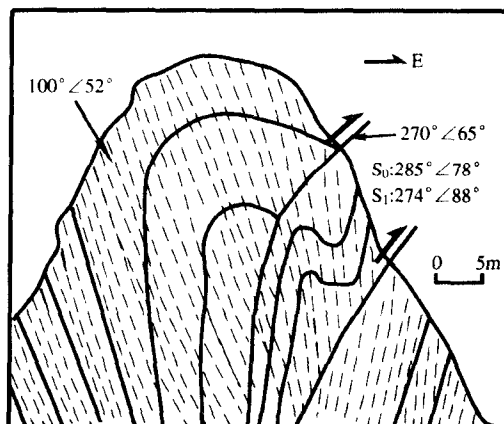


图 1-4 发育于哈巴河群中的高角度冲断层
(据何国琦, 1992)

表 1-1 阿尔泰南缘地区不同构造变形域内断裂特征

	断裂走向	断裂性质	产状与规模	地质特征与地球物理特征	活动时代	实例
北西部构造变形域	近 S-N 向	盖层断裂或基底断裂	近于直立,延伸数十至数十公里,相对东部地区断裂,其规模较小	多具有右型走滑特征,带内岩石变形以脆性变形为主,航、卫片上影像特征不明显	形成于晚古生代,晚古生代末活动强烈	吐尔根达坂-乌兰哈特断裂
	NNE-SSW	盖层断裂或基底断裂	倾向北西,倾角 60° ~ 80°,延伸数十至数十公里,相对东部地区断裂,其规模较小	多具有右型走滑特征,带内岩石变形以脆性变形为主,航、卫片上影像特征不明显	形成于晚古生代,晚古生代末活动强烈	西部断裂,喀拉斯断裂
南东部构造变形域	NW-SE	岩石圈断裂、地壳断裂和基底断裂	倾向北东,倾角 70° ~ 80°,多为区域性大型断裂,延伸数十至数百公里	以逆冲推覆为主,多具有右型走滑特征,带内岩石变形以韧性(下部)和脆-韧性变形(上部)为主,多具线性或带状展布的航磁异常	形成于早古生代,泥盆-石炭纪活动强烈,晚古生代末-中生代仍有继承性活动	额尔齐斯深断裂、特斯巴汗断裂、阿巴宫-库尔特断裂,库热克特-红山嘴断裂、巴寨断裂
	NWW-SEE	基底断裂	近于直立,延伸长达数十公里,宽 300 ~ 500 m	具有右型走滑特征,是典型的韧性剪切带,形成于地壳下部 10 ~ 15 km 处,地球物理特征不明显	形成于早古生代末,晚古生代活动强烈,中生代基本不活动	富蕴-锡泊渡韧性剪切带
	NNW-SSE	地壳断裂	倾向东,倾角 80° ~ 85°,多为区域性大型断裂,延伸数十至一百公里以上,宽数十米至数百公里	具有右型走滑特征,是典型的走滑型断裂破碎带,岩石变形以脆性变形为主,航磁图显示异常线发生扭曲,布格重力异常也呈同型线性扭曲	形成于晚古生代,中-新生代活动强烈,现在仍是一条活动带	可可托海-二台断裂

断裂、巴寨断裂、阿巴宫-库尔特断裂、特斯巴汗断裂、额尔齐斯断裂,这些断裂的延伸均大于 100 km,特别以额尔齐斯断裂规模最大。

额尔齐斯断裂延长大于 400 km,向东和向西分别延入蒙古与哈萨克斯坦境内,其中向西在哈巴河县境内与玛尔卡库里断裂相连并继续向哈萨克斯坦境内延伸,向东在青河县境内与玛因鄂博断裂相接并继续向蒙古境内延伸而与中蒙古深断裂相连,该断裂在地表表现为一狭长带状展布的强烈变形带,在地壳下部分为两支,其中一支为切穿岩石圈的深断裂,另一支在地壳下部与其他几条大断裂合并构成区内的主滑脱面。一般认为,该断裂和其南部的乌伦古断裂一起控制了新疆阿尔泰地区的地壳变形与区域构造演化。区内其余几条北西走向的主干断裂(红山嘴-库热克特断裂、巴寨断裂、阿巴宫-库尔特断裂、特斯巴汗断裂)为发育于地壳范围内的大断裂。它们在地表表现为一组密集的北西走向的冲断-推覆带,带内岩石变形强烈,构造岩发育,并出现不同性质的构造叠加现象,带内部分地段还发育糜棱岩,反映断裂发生了强烈的韧性变形。区内断裂具有多期活动的特点,野外观察发现断裂带中的次级断层倾向北东,倾角较大(70°以上)。运动方向均为北东盘向南西盘逆冲,由于断裂带中的各次级断裂依次发生高角度逆冲,从而形成一系列叠瓦式逆冲-推覆构造带,阿尔泰造山带中发育了众多的这种型式的冲断-推覆带(图 1-5),构成了阿尔泰造山带的一个显著构造特征,也反映了由北东向南西的逆冲推覆构造在阿尔泰造山带形成过程中起着重要的作用,反映区内地壳在发生大规模横向缩短的同时,变形地层发生

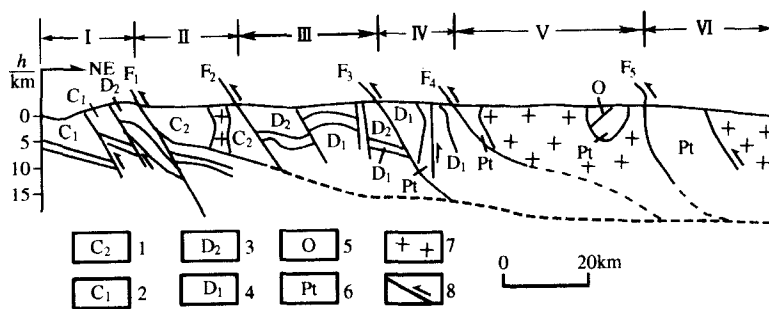


图 1-5 阿尔泰造山带南缘冲断-推覆带构造剖面图

(据张朝文等 1992 资料修改)

1—上石炭统；2—下石炭统；3—中泥盆统；4—下泥盆统；5—奥陶系；6—元古宙变质基底岩系；7—花岗岩；8—逆冲断层。I—下伏岩系；II—额尔齐斯冲断-推覆带；III—特斯巴汗冲断-推覆带；IV—阿巴宫-库尔特提冲断-推覆带；V—巴寨冲断-推覆带；VI—红山嘴-库热克特冲断-推覆带

了大规模逆冲-推覆，这也是碰撞造山作用过程中常有的构造现象。此外，区内部分断裂在后期还有继承性活动，导致该区发生进一步块断抬升，构成了阿尔泰南部构造变形域内后期造山作用（二次造山）的重要特点，也有人称其为断裂造山作用（杨巍然，1989）。

呈 NNW 走向的大断裂主要发育于南东部构造变形域内的山前地带，这些断裂在卫片上具有非常清晰的线性影像，断裂活动历史长，中、新生代的新构造运动也非常强烈，并构成新疆北部重要的发展构造。卫片上观察 NNW 走向的二台-可可托海断裂具有明显的右型走滑特征，野外观察发现断层面上存在两组叠加的擦痕构造，反映至少经历了两期以上的构造活动。早期北东盘以较大倾角（70°左右）相对南西盘作右行走滑，断层性质为右型平移-正断层，晚期斜滑的侧伏角较小（30°左右），断层性质表现为正-右型平移断层。

由上可知，两个构造变形域变形构造各具特征，而南东部构造变形域内的几条大型断裂又将该区分割成几个变形带，使得南东部地区岩石变形呈现出南北分带特点。

纵观整个阿尔泰南缘地区，区内岩石变形变质总体呈现出东西分区、南北分带的特征（图 1-6，表 1-2）。

表 1-2 阿尔泰山南缘地区构造变形分区分带

变形域	变形分带	变形机制	变形方式	典型变形构造	变形时代
南东部构造变形域	额尔齐斯构造变形带	深层次韧性变形，浅层次脆-韧性变形	沿额尔齐斯断裂逆冲-推覆，局部走滑推覆	被动褶皱，鞘褶皱，线理、逆掩双层构造，劈理置换	古生代
	特斯巴汗构造变形带	脆-韧性变形，塑性流变变形	沿特斯巴汗断裂冲断-推覆，局部走滑剪切	断层弯曲褶皱，断层扩展褶皱，a 型褶皱	晚古生代
	阿巴宫-库尔特提构造变形带	脆-韧性变形	沿阿巴宫断裂逆冲-推覆，局部走滑	叠瓦状逆冲褶皱，骨牌构造	早古生代末—晚古生代
	巴寨构造变形带	脆-韧性变形	沿巴寨断裂推覆	鞘褶皱，线理，旋转布丁构造	晚古生代
	红山嘴-库热克特构造变形带	脆-韧性变形，塑性流变变形	沿库热克特断裂逆冲-推覆	被动褶皱，线理，劈理置换	晚古生代
北西部构造变形域		脆性变形为主	沿不整合面滑脱，局部推覆-走滑	尖棱褶皱，膝折，破劈理	早古生代末—晚古生代

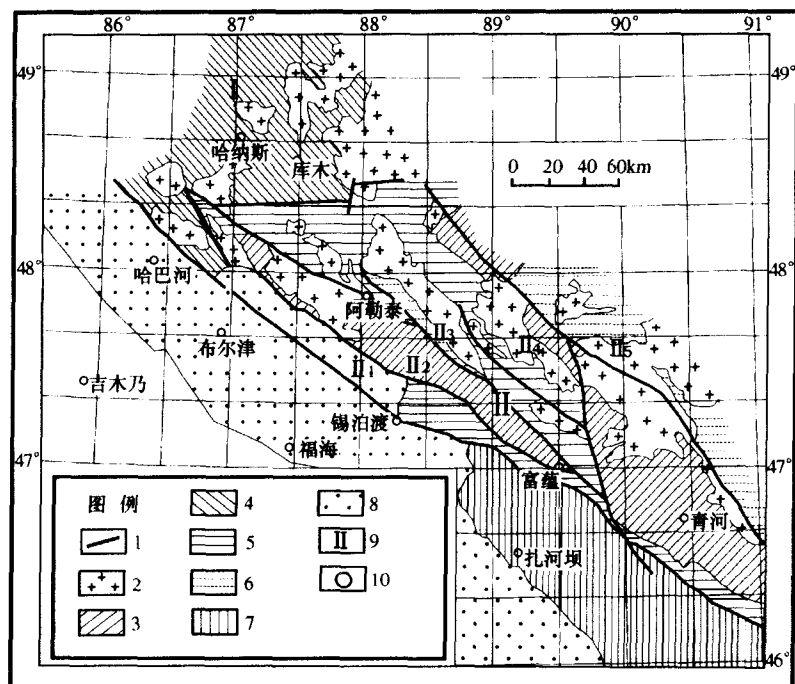


图 1-6 阿尔泰造山带南缘岩石变形变质分区分带图

I—北西部构造变形域；II—南东部构造变形域；II₁—额尔齐斯构造变形带；II₂—特斯卡汗构造变形带；II₃—阿巴宫-库尔特提构造变形带；II₄—巴寨构造变形带；II₅—红山嘴-库热克特构造变形带。1—断裂；2—花岗岩；3—低压角闪岩相；4—低压绿片岩相；5—中压角闪岩相；6—板岩-千枚岩相；7—葡萄石-绿纤石相；8—未变质沉积岩；9—变形域代号；10—城镇

(三) 基底特征

在北西部构造变形域内，褶皱岩层下部存在一套浅变质岩，前人称为哈巴河群。据王广耀等（1984）研究，在区内哈纳斯地区的哈巴河群中发现震旦纪的微古植物，而胡霭琴（1990）曾对哈纳斯湖西岸的千枚状片岩进行了全岩铅-铅同位素等时线年代学分析，测得其成岩年龄为 541 Ma。据此可以认为，区内下部可能存在新元古代的结晶基底。

而在南东部构造变形域内，特别是在阿勒泰-青河一带，广泛发育着一套由片麻岩、混合岩、角闪片岩、糜棱岩、混合花岗岩、片麻状花岗岩等组成的深变质岩系，20 世纪 80 年代初完成的 1:20 万区调报告曾将此套岩系也定名为早古生代的哈巴河群，但李天德等（1995）通过研究发现它们应为元古宙地层，并将其划分为元古宙的克木齐群和富蕴群。

我们专题组在区内进行了一条长剖面实测（图 1-7），并详细穿越了区内的几条路线剖面。发现这套变质岩变形十分强烈，条带褶皱十分发育，原始层序难以恢复。我们还发现，原区调报告划分的康布铁堡组、库鲁木提群、库马苏群等变质地层的很大一部分在岩性、变质程度上与原来划分的“哈巴河群”并无多大差别。此外，我们认为，由于区内这些变质岩被后期构造运动强烈改造，而李天德等（1995）划分的克木齐群与富蕴群在岩石变形变质特征、变质原岩组成等方面差别也不大，且二者为整合接触，李天德等（1995）划分的富蕴群经胡霭琴（1993）对群内岩石进行 Sm-Nd 法同位素年代学测定，发现其年龄大于 10 亿年，因此，我们

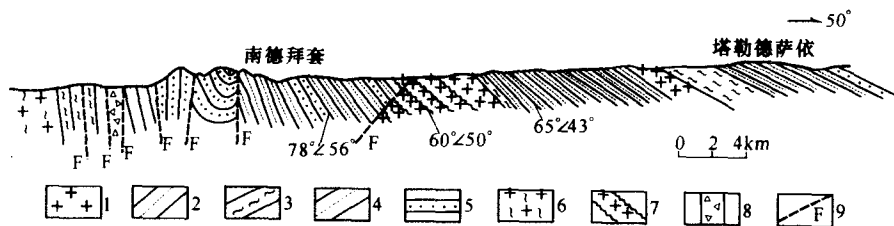


图 1-7 老山口一带实测剖面图

(南德拜套-塔勒德萨依段)

1—花岗岩;2—片麻岩;3—混合岩;4—糜棱岩;5—凝灰质砂岩;6—混合岩化花岗岩;7—花岗片麻岩;8—断层角砾岩;9—断裂

认为,目前难以将这套变质地层加以细分,宜将此套变质岩系暂定名为“克木齐群”。

长期以来,关于这套变质地层的年代一直是人们关心的焦点,“七五”、“八五”期间,部分学者(何国琦等,1990;胡鹰琴等,1990、1993;曲国胜等,1990;李天德等,1995)对区内的这套变质岩系做了一系列的同位素年龄测定(表1-3)。从表中我们可以发现,区内岩石的成岩年龄应在10~24亿年间,显然,此套地层当属古-中元古代的结晶基底。

表 1-3 南东部构造变形域变质岩同位素年龄一览表

采样地点	岩石名称	所测矿物	同位素方法	同位素年龄/Ma
阿尔泰山西	片麻状花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1789$, $t_2 = 401$
佳木斯达坂	片麻状花岗岩	斜长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1930$, $t_2 = 389$
海子口西南	片麻状花岗岩	斜长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1863$, $t_2 = 911$
可可托海东	片麻状花岗岩	斜长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1891$, $t_2 = 335$
阿热勒托别西北	片麻状花岗岩	斜长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1286$, $t_2 = 407$
阿热勒托别东北	片麻岩	锆石	铀-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1975$, $t_2 = 355$
萨吾克	混合片麻花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1396$, $t_2 = 336$
冲乎尔东南	片麻状花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1551$, $t_2 = 403$
切木尔切克	混合片麻岩、变粒岩、斜长辉闪岩	全岩	钐-钕	等时线年龄: 1358 ± 13 , $\epsilon_{Nd} = +6.6$
大喀拉苏西南	片麻状花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1931$, $t_2 = 334$
大喀拉苏西南	片麻状花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 2483$, $t_2 = 346$
萨尔布拉克	片麻状花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1528$, $t_2 = 396$
乌恰沟北段	混合花岗岩	钾长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1472$, $t_2 = 196$
乌恰沟南段	黑云母斜长花岗岩	全岩	钐-钕	等时线年龄: 1456 , $\epsilon_{Nd}(t) = +6.5$
富蕴县西	黑云母片岩	锆石	铀-铅	不一致曲线: 2349 ± 22
富蕴县南	斜长花岗岩	斜长石	铅-铅	两阶段模式年龄: $t_1 = 1849$, $t_2 = 412$
阿克西克-孔古	黑云母斜长变粒岩	锆石	铀-铅	表面年龄: $^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U} = 1100$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} =$
鲁阿提错	斜长角闪岩、角闪岩	全岩	钐-钕	1590 , $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2300$
乌恰沟-富蕴县西	斜长角闪岩、角闪岩	全岩	钐-钕	等时线年龄: 1060 ± 128
库尔丘姆河中游	黑云母片麻岩	锆石	铀-铅	不一致曲线年龄: $t_1 = 1450$, $t_2 = 305$
蒙格尔村	透辉石片麻岩	锆石	铀-铅	不一致曲线年龄: $t_1 = 1800$, $t_2 = 368, 303$

据李天德等(1995),胡鹰琴(1993),何国琦等(1990)

总之,南东部构造变形域与北西部构造变形域在岩石变形变质特征、变质岩组合、变质原岩组成、变质作用类型、深部构造特征(如 Moho 面深度(林关玲等,1995))、成矿作用等也都存在一定的差异,造成这些差异的原因与两变形域的岩石变形方式和区域构造演化密切相关。

二、阿尔泰山南缘地区的大地构造背景及其构造演化

前人运用槽台说、多旋回构造、板块构造以及地洼说等对阿尔泰山地区的构造演化做过大量工作。概括起来有以下 5 种代表性观点。

(1) 阿尔泰山南缘地区属于西伯利亚板块西南缘的陆缘活动带,晚古生代末,哈萨克斯坦-准噶尔板块向北东方向俯冲,引起地处西伯利亚板块西南缘的陆缘活动带发生强烈的地壳横向缩短,并最终褶皱形成阿尔泰造山带(杨新岳,1995;杨树德,1994)。

(2) 认为在西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块之间可能存在一个古亚洲洋,两个板块之间发生过多开合,与此同时,古亚洲洋也发生过多开合与产生,西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块之间的位置也不断地由北向南发生迁移。晚古生代末两大板块发生碰撞拼合并最终形成阿尔泰现阶段的构造格局(黄汲清等,1990;徐新,1998)。

(3) 认为早期形成的“新疆古克拉通”自新元古代末开始经历了分裂、聚合、俯冲、碰撞及褶皱造山等过程,小洋盆夹微陆块和不同时期的褶皱带镶嵌构成该区大地构造格局的主要特征。并将新疆北部显生宙以来的地壳演化阶段概括为:古克拉通地幔上隆、地壳减薄分裂→拉张前期初始海盆→拉张期洋盆→聚合期残余海盆→碰撞期造山→大陆山链形成等发展阶段(肖序常等,1990)。

(4) 认为阿尔泰造山带为一陆间造山带,早古生代时,阿尔泰为西伯利亚板块南缘蒙古-阿尔泰被动大陆活动边缘的一部分,自早古生代开始,造山带的地壳演化经历了基底陆壳→拉张过渡型壳→洋壳→汇聚型过渡壳→新陆壳五个发展阶段,并最终于海西期末奠定阿尔泰造山带的基本格架(何国琦等,1995)。

(5) 认为阿尔泰造山带为一晚古生代地槽造山带,中生代早期经短暂的剥蚀夷平作用和准平原化作用后,于三叠纪晚期进入地洼演化阶段,现阶段区内的大地构造性质表现为一地洼区(李志纯等,1995)。

上述学者大都将阿尔泰山南缘地区作为一个统一的整体来进行研究。而我们认为区内存在两个不同的构造变形域,它们在区域造山前可能具有不同的岩石圈大地构造体制,造山期又具有不同的岩石变形方式,因此,需对区内的构造格局与构造演化进行重新厘定。

区域构造样式与变质岩岩石组合特征显示,阿尔泰造山带是由两个不同性质的岩石圈地块组成的(图 1-8),两个地块的界线可能在依莱克断裂一带,区域上表现为一近东西向断裂,与两个构造变形域内的变质地层不整合线近于重合。其南东部为阿尔泰地块,而北西部为山区阿尔泰地块。

两个地块的形成演化历史不一,阿尔泰地块具有古一中元古代结晶基底,其形成时间较早,为 Rodina 超级大陆的重要组成部分,结晶基底的原岩建造为中基性火山-陆源碎屑建造(克木齐群),系新元古代早期强烈的区域变质作用使其发生区域变质而形成(李天德等,1995)。

新元古代末(震旦纪),随着 Rodina 超级大陆的解体,西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块分裂,其间形成一个古亚洲洋,阿尔泰地块作为西伯利亚板块西南边缘的一部分

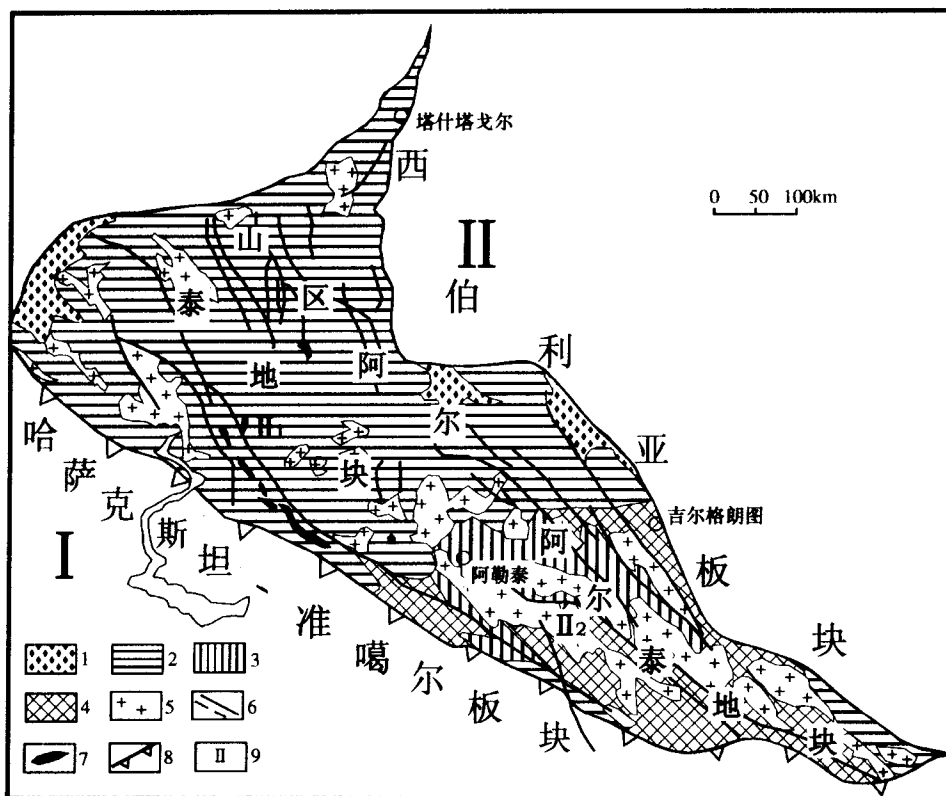


图 1-8 阿尔泰造山带大地构造图

I—哈萨克斯坦-准噶尔板块；II—西伯利亚板块；II₁—山区阿尔泰地块；II₂—阿尔泰地块。1—第四系；2—下古生界；3—上古生界；4—元古宇；5—花岗岩；6—断裂；7—超基性岩；8—俯冲带；9—板块编号

也同时被拉裂出哈萨克斯坦-准噶尔板块，拉裂的同时，伴有大规模的火山喷发，并在阿尔泰地块西部形成了山区阿尔泰陆缘增生地块的雏形。自寒武纪开始，阿尔泰地块周边开始接受沉积，在西部形成了一套火山岩沉积（在哈萨克斯坦见及）和一套浅海相复理石沉积建造（哈巴河群），在北部，则形成一套巨厚的复理石建造（相当忙代恰群的第二—第四亚群，其形成时代与哈巴河群相当），沉积物的主要来源是其周围的阿尔泰古陆剥蚀物。奥陶纪早期，哈萨克斯坦-准噶尔板块开始沿乌仑古深断裂向 NE 方向俯冲，古亚洲洋开始逐渐封闭。沿乌仑古河分布的斋桑-阿尔曼泰超基性岩带可能就是古亚洲洋洋壳残留物。“七五”期间，我所杨新岳、刘伟在该带采集了 5 个橄榄岩样品，经 Sm-Nd 法测定，其年龄为 479.2 Ma（图 1-9），5 个样品点获得的一组 ϵ_{Nd} 值分别为 23.79、27.53、17.42、28.71 和 15.06，均大于现代大洋中脊（+10）和岛弧（+8）玄武岩的 ϵ_{Nd} 值，为早古生代中期岩石圈演化中的亏损上地幔物质。这套由橄榄岩、超

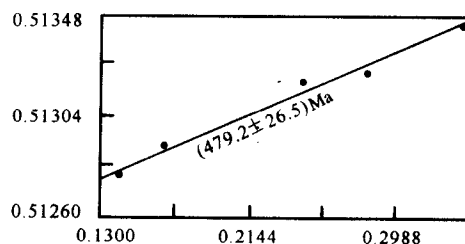


图 1-9 阿尔曼泰橄榄岩 Sm-Nd 等时图
(据李志纯, 1995)

镁铁-镁铁质堆晶岩、中基性火山岩和放射虫硅质岩组成的超基性岩带应为一蛇绿岩套，代表了两个板块的古缝合线位置。

在哈萨克斯坦-准噶尔板块向西伯利亚板块俯冲的初期，位于西伯利亚板块边缘的阿尔泰地块内的岩石因受到挤压而发生变形，其内的沉积物发生褶皱，而形成阿尔泰褶皱山脉的雏形。其时，由于阿尔泰地块刚性较强，且它处在西伯利亚板块西南缘弧形边界的前端，因此，其内的岩石变形大大缓冲了位于阿尔泰地块以西的山区阿尔泰陆缘增生地块所受的挤压应力，使山区阿尔泰地块内的沉积物所受影响较小。中奥陶世晚期-晚奥陶世早期，随着古亚洲洋的进一步减小，阿尔泰地块与山区阿尔泰地块被缝合后连为一体，因而进入同步构造演化阶段。此时，山区阿尔泰地块也受到 NE-SW 向的挤压应力，区内地层开始发生褶皱，形成北西向的褶皱与断裂，与此同时，其南部的哈萨克斯坦-准噶尔板块继续向阿尔泰地块下部俯冲，使古亚洲残留洋逐渐减小并于早泥盆世彻底消失，从而结束了区内的加里东构造运动。加里东造山运动还导致在两个地块内形成了一些火山-沉积盆地，如阿舍勒盆地、阿勒泰盆地、可可托勒盆地等。

晚古生代早期，区内除几个火山岩盆地接受沉积外，其他地区都遭受剥蚀作用，但区内的岩浆活动依然十分频繁，并发育众多的双峰式火山岩建造。晚古生代中期，随着哈萨克斯坦-准噶尔板块向北东方向的进一步俯冲，阿尔泰地块与山区阿尔泰地块遭受到更强烈的地壳变形，在阿尔泰地块内形成了五条巨大的逆冲-推覆带。至于山区阿尔泰地块，由于受到不均一的挤压作用（山区阿尔泰地块北部与西伯利亚板块之间可能还未缝合），造成具刚性特征的山区阿尔泰地块发生顺时针旋转，旋转的结果是使区内早期形成的 NW 向构造线发生偏转而变成近 SN 向展布，在山区阿尔泰地块南部，由于旋转作用造成了地块边缘局部地区发生张裂，使东部受到强烈挤压的地块呈楔状乘虚挤入到山区阿尔泰地块内部，同时，阿尔泰地块西部因“丢失”了部分地块而使应力再次失去均衡，从而引发了在阿尔泰地块内部产生一系列不同规模的右型走滑断裂，其中以可可托海-二台断裂规模最大，它错开了先期形成的几条冲断-推覆带。与此同时，在山区阿尔泰地块内部也发育了一系列的右型走滑断裂。这种作用一直持续至晚古生代末，最终使阿尔泰地块发生大规模的地壳横向缩短和褶皱造山，从而奠定了阿尔泰造山带的最终构造格局。在整个变形过程中，两个地块内的岩石也多发生了区域变质，其中阿尔泰地块内的岩石变形变质更加强烈，同时发生区域变质的还有几个火山岩盆地内的沉积建造。

中生代早期，区内进入相对稳定阶段，主要的构造运动表现为中等拉张与挤压作用，岩浆活动不强。

自中侏罗世开始，区内又逐渐转入活动阶段，主要表现为断裂活动与地震作用强烈，沿可可托海-二台断裂还有少量碱长花岗岩侵入。

第二节 阿尔泰造山带构造岩石学、几何学与运动学

一、阿尔泰造山带变形岩石的组成与岩石变形特征

（一）西北部构造变形域变形岩石的组成与岩石变形特征

区内的变形岩石包括上文提到的已发生浅变质的哈巴河群以及以变质砂岩为主的上奥陶统白哈巴组，目前人们对后者的认识比较统一，因此，本书只对哈巴河群进行重点讨论。