

伸展构造研究

钱祥麟 主编



地质出版社



登录号	- 085137
分类号	P54-53
种次号	007

伸展构造研究



200591341

5/104/18

钱祥麟 主编



0077*1504

地质出版社

·北京·

(京)新登字 085 号

主编:钱祥麟

编委:(按姓氏笔划为序)

马杏垣	刘瑞珣	许志琴	吴正文
宋鸿林	李江海	郑亚东	林传勇

图书在版编目(CIP)数据

伸展构造研究/钱祥麟主编.-北京:地质出版社,1994.12

ISBN 7-116-01773-9

I. 伸… II. 钱… III. 构造, 伸展-研究-文集 IV. P552-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13507 号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:王章俊 李江海

北京地质印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092 1/4 印张:10.875 字数:255 千字

1994 年 12 月北京第一版·1994 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—570 册 定价:10.00 元

ISBN 7-116-01773-9

P·1417

前言

中国地质学会构造地质专业委员会于1991年11月16—23日在北京大学召开了伸展构造专题学术讨论会,这是我国第一次举行有关伸展构造研究的学术会议。在中国地质学会支持下,这次会议作为构造地质专业委员会的年度学术会议,正式命名为“伸展构造专题学术讨论会——矿产和能源的寻找及减轻灾害的关系”。它是我国构造地质学术界对新研究领域探讨的一次盛会,它不仅是—次学术理论的交流会,也是结合实际应用的经验汇报会。会议有四天学术报告交流讨论,还有会前怀柔密云和会后周口店各两天的伸展构造地质考察,会议日程全部进展顺利。

80年代前期,伸展构造作为地壳构造的一种重要新类型,已被地质学家提出来了,它有特殊的成因机制和区域构造环境,在地质产状上具有一系列构造单元组合的特征。70年代末,经过对美国落基山脉盆地省详细地质填图发现了加州东南部 Whipple 山为新生代伸展构造典型实例,它有大规模的低角度正断层存在和与之有成因关联的变质核杂岩单元,在明确的构造几何学特征和运动学标志基础上对其构造成因机制和演化作了系统而广泛的解释和讨论,因而很快得到了学术界的普遍响应,成为构造地质学科领域中的一项重要创新认识,特别是对低角度正断层从理论上作了全新分析,是80年代构造地质学进展中的一个新的里程碑。

1985年4月在英国 Durham 召开了第一次国际性的伸展构造学术讨论会,会后还编辑出版了该专题大陆伸展构造的论文集(1987),从而在80年代后期,伸展构造成为构造地质学科领域中的一个重要新方向,它对板内构造区带中的不同构造成因类型在时空中的规律性有了新的认识。我们这次会议是我国构造地质学界对陆壳内引张构造及变质核杂岩研究积累的基础上举行的,丰富的地质资料 and 实践经验成为理论研究的宝贵财富。可以认为,地壳构造在时空演化中表现出了明显的有序规律性,并强调了空间的高程在构造成因中有重要意义。本论文集是就与会近百位学者的80余篇论文选编而成,并按论文主题分为:变质核杂岩、造山带伸展作用、板内伸展作用、深部地壳与上地幔流变特征、构造岩与显微构造、伸展构造与矿产六个部分。在本文集之末还编入了这次会议的会前怀柔地质旅行指南,这一怀柔之行是由美国南加州大学教授 Gregory A. Davis 和北京大学教授郑亚东主讲,前者是美国伸展构造的主要奠基人之一,而该地质旅行指南是北京大学国家自然科学基金资助项目下与其四年国际合作成果的总结。

应该特别提到的是,北京大学已故教授王嘉荫先生是我国显微构造地质学研究的先驱,为了纪念他80周年诞辰,我们特别选定他的生日11月18日为我们这次学术讨论会开幕,以缅怀王嘉荫先生从事学术研究的正直和真诚的精神,纪念他一生为地质教学和科研的奉献,感谢他为恢复北京大学地质学科所作出的努力。

中国地质学会构造地质专业委员会主任
马杏垣

目 录

纪念我国显微构造研究的先驱王嘉荫先生	刘瑞珣(1)
• 变质核杂岩	
内蒙亚干变质核杂岩核内递进伸展作用	郑亚东 张青(4)
• 造山带伸展构造	
秦岭—大别造山带早期的伸展构造	宋鸿林(12)
秦岭造山带的伸展构造及抽拉—逆冲岩片构造	杨志华(22)
• 板内伸展作用	
大陆岩石圈板内地壳增厚的构造演化基本模式	钱祥麟(32)
论下扬子区伸展构造环境下半地堑内沉积的黄马青群	
..... 罗庆坤 刘国生 吴弘毅 陈玉灿(37)	
茅山山脉方山伸展薄皮构造	徐学恩 胡连英(48)
茅山伸展构造	徐学恩 胡连英(59)
伸展构造中的基性岩墙群	陈孝德 史兰斌(71)
• 深部地壳与上地幔流变特征	
恒山太古宙末期近水平构造作用——板底垫托作用机制探讨	李江海 钱祥麟(75)
中国东部幔源包体的变形特征及其上地幔流变学意义	
..... 林传勇 史兰斌 何永年 陈孝德(87)	
• 构造岩与显微构造岩	
内蒙赤峰南部娄子店—大城子拆离断层及其构造演变	
..... 王玉芳 崔文元 孙承志(99)	
动态蠕变、动态重熔及地壳收缩至伸展的转化——辽南古老变质体上隆机制探讨	
..... 许志琴 李海兵 郭立鹤(109)	
茅山断裂带上沛段的显微构造和组构特征	周师正 胡连英 徐学恩(120)
滇西韧性剪切带变形特征及岩石类型	林文信(129)
• 伸展构造与矿产	
长江中下游多金属矿床的剥离断层控矿成矿分析	李德成(134)
京西煤田大安山—高堂区滑脱构造特征及找煤	袁志中(143)
• 地质旅行	
中国变质核杂岩——北京云蒙山地质简介及地质旅行指南	
..... G. A. 戴维斯 于浩 钱祥麟 郑亚东 王琮	
..... 章亨茂 G. E. 格雷尔斯 M. 沙弗阔拉 J. E. 弗里克塞尔(154)	

CONTENTS

Professor Wang Jiayin—pioneer of microstructural geology research in China	<i>Liu Ruixun</i> (1)
Metamorphic core complex	
Progressive extension in Yagan metamorphic core complex, Inner Mongolia	<i>Zheng Yadong & Zhang Qing</i> (10)
Extension of orogen	
Early extensional structures of the Qinling-Dabie orogen	<i>Song Honglin</i> (20)
Extensional tectonics and drawing-out and thrusting sheets in the Qinling belt	<i>Yang Zhihua</i> (31)
Intraplate extension	
A tectonic model of intraplate thickening of continental crust	<i>Qian Xianglin</i> (36)
Discussion of Huangmaqing Group sediment in the half-graben of lower Yangtze River area	<i>Luo Qingkun Liu Guosheng Wu Hongyi & Chen Yucan</i> (47)
The Fangshan of Maoshan Mt. extensional thin skin tectonics	<i>Xu Xuesi & Hu Liangying</i> (58)
The Extensional tectonics of Maoshan Mt.	<i>Xu Xuesi & Hu Liangying</i> (70)
Basic dyke swarms in extensional structures	<i>Chen Xiaode & Shi Lanbin</i> (74)
Rheology of deep crust and upper mantle	
Near-horizontal tectonic reworking at end of the Archaean in Hengshan, Shanxi Province; mechanism of underplating	<i>Li Jianghai & Qian Xianglin</i> (85)
The deformation features of mantle xenoliths from Eastern China and their rheological significance	<i>Lin Chuanyong, Shi Lanbin He Yongnian & Chen Xiaode</i> (97)
Tectonite & microstructure	
The Louzidian-Dachengzi detachment fault and its tectonic evolution, south of Chifeng, Inner Mongolia	<i>Wang Yufang Cui Wenyuan & Sun Chengzhi</i> (107)
Dynamic myrmekite, dynamic melting and transfer from crustal contraction to extension; discussion on uplifting mechanism of ancient metamorphic terrane in southern Liaoning Province	<i>Xu Zhiqin Li Haibing & Guo Lihe</i> (119)
The microstructure and fabric characteristics of Shangpei parts of Maodong fault in southern Jiangsu	<i>Zhou Shili Xu Xuesi & Hu Liangying</i> (127)
The deformation feature and types of rock of ductile shear zone in west Yunnan	<i>Lin Wenxin</i> (132)
Mineralization associated with extensional tectonics	
On ore-controlling and metallization of denudational faults of metallic ore deposits in the middle-lower Yangtze valley	<i>Li</i>
Characters of detachment structures in Daanshan-Zhaitang coal field, western B.	

and its application in investigation of coal *Yuan Zhizhong* (153)

Geological travel

A chinese metamorphic core complex; geologic introduction and field guide to the
Yungmengshan, Northern Beijing

..... *G. A. Davis Yu Hao Qian Xianglin Zheng Yadong Wang Cong Tong*
Hengmao G. E. Gehrels M. Shafiquallah & J. E. Fryxell (154)

纪念我国显微构造研究的先驱王嘉荫先生

刘 瑞 琦

(北京大学)

王嘉荫先生生于1911年11月18日,今天是王嘉荫先生诞辰80周年。

王先生原籍河北省永年县,他生长在一个贫寒而有教养的家庭,6岁上私塾,学过《四书》《五经》,9岁上永年县城的公立学堂,13岁考入县城中学,学习成绩一直名列前茅。1929年考入北京大学预科,当时17岁。1931年升入北大理科地质系,1935年毕业留校任助教。抗日战争开始后北京大学南迁,王嘉荫曾在湖南停留,短期任长沙临时大学助教,随后在昆明西南联大地质地理气象学系任助教、讲师。1940年在前中央研究院地质研究所任助研,1942年任副研。抗战胜利后,1946年西南联大迁回,他回到北京大学任副教授,1948年任教授。1952年院系调整时调到北京地质勘探学院任岩石教研室主任,院图书馆馆长。1955年北京大学在地质地理系中恢复地质学专业,王嘉荫先生调回北大,任地质地理系地球化学教研室主任,与乐森珉先生一起为重建北大地质系作出了重大贡献。

王嘉荫先生在教育战线上辛勤耕耘了40年,正当他在教学、科研和著书立说的鼎盛时不幸积劳成疾,1976年6月1日被癌症夺去了生命,年仅64岁。

在北大恢复地质学专业的初期,王嘉荫先生从筹备图书、设备到制定教学计划都一一操办,教师不够,他就聘请临时教师或兼职教师。由于招生人数增加和学制延长,教师力量还不够,他就自己开授多门课程,他曾从一年级讲到六年级。他开过的课很多,计有《普通地质学》、《结晶学》、《矿物学》、《光性矿物学》、《岩石学》、《岩石学专题》和《交代作用》等课程。他与马杏垣先生合写的《普通地质学》是建国后最早的国内自编教材,为许多大专院校所采用。

王嘉荫先生专长岩石学;是著名的岩浆岩专家,他写的《火成岩》一书简明扼要,结合我国实际,有独创性,1955年出版后一售而空,1957年出了增订版,这是我国学者所写的岩石学专著的第一本畅销书。作为岩浆岩专家他最早接受的当然是岩浆冷凝分异产生各类岩浆岩的观点,即一元论学说,他也认真讲授过这种学说。但他是最重实际的学者,他认真研究了许多岩体的侵入关系和许多区域变质岩的关系。在50年代末他就相信有些花岗岩不是岩浆冷凝而成的,而是交代变质的。他把交代作用的意义从柯仁斯基的脉岩与围岩的范围扩展到区域变质和花岗岩基的范围。现在已经公认,花岗岩有多种成因,包括由沉积岩变质的。而在当时,在火成成因占统治地位的时代,一位火成岩专家敢说出火成岩不是火成的,这该有多么大的勇气和多么严肃的追求真理的态度。我国接受花岗岩的多成因说大约是70年代后半期,可见王嘉荫的学术思想是大大超前的。

王嘉荫先生善于发现问题,进而钻研、思考,提出新意。他在整理中国地质史料时留意到古代地震记录的时空规律性,发现许多地震往往在某些构造线的端部发生,他当时称这些线性规律为地震线。1962年在北大“五四”科学讨论会上他作了题为“地震线的应用”的学术报

告,他说,利用地震线两端扩展发震的规律性可以预报地震,并建议加强对地震线的研究。他指的地震线就是活动构造带。大家知道我国在1966年邢台地震以前还没有专门的地震研究机构,一些利用地震台测震的专家认为地震不是地质现象,而是地球物理现象,当时他们没有看出王先生对地震线研究的意义,也没能使该文在重要刊物上发表。现在已经证实,活动构造带在震害的中、长期预报中有着重要意义,而王嘉荫从古书漫无条理的地震记录中找出规律,提出当时内行人都意想不到的见解,其科学意义是无法估量的。

王嘉荫在青年时代就注意过石英在显微镜下常有异常的光性,并且发现有的石英颗粒有两个不同的光轴。这些现象在当时的教科书上都称为光性异常。青年时代的王嘉荫并不满足于光性异常的现象,而要探索光性异常的原因。

在30年代,在光学显微镜还只在岩矿鉴定中应用时,有两位外国学者首先把显微镜引入了构造地质学领域。一位是奥地利学者布鲁·桑德尔,他于1930年写出专著《岩石的组构学》,即岩组学。他提出岩石组构要素的对称性反映了形成组构时的运动的对称性。岩组学由何作霖先生介绍到中国,而早已熟悉使用多轴旋转台的王嘉荫则是我国第一位利用我国岩石测定岩组图的人。另一位将显微镜方法引入构造地质领域的学者是英国学者A·哈克尔,他提出了应力矿物概念,他将在应力作用下形成的矿物称为应力矿物。王嘉荫是我国首先接受这个概念的学者,并且进一步把包括光性异常现象的所有应力作用下发生变化的矿物都称为应力矿物。这样,上述石英的光性异常等就都是应力矿物现象,这些异常就可用来作为推测构造活动的标志。

在接受国外新思想的同时,王嘉荫逐渐形成了自己的学术思想,他把应力矿物和岩组研究紧密与构造地质环境结合,于1951年写出《北京西山的硬绿泥石带》一文(原文为英文)。硬绿泥石是哈克尔指出的一种应力矿物,王先生则具体研究了这种矿物形成时的温度、压力条件,结合硬绿泥石在北京西山的北北东方向展布,提出这与李四光提出的新华夏系展布方向是一致的。西山当时已知的构造方向是北东东方向,与新华夏系不配套。王嘉荫则首先把标志矿物在区域范围内展布方向作为构造带的标志,成为我国把标志性矿物带与构造带联系起来的前驱,这个成果在国际上可能也是超前的。我们知道日本学者都城秋德(A. Miyashiro)是1965年写出《变质岩与变质带》一书的,他把蓝闪石矿物带作为高压变质带的标志。这是对板块构造的有意义的认识。但是从应力矿物角度看,硬绿泥石和蓝闪石分别是封闭条件和开放条件下形成的应力矿物,这两种矿物带代表不同的应力环境,而王嘉荫的文章却较早十多年。

王嘉荫先生没有出国留学,但他除了掌握英语之外,还学习了德语和日语,建国后还学了俄语。他的《交代作用》一书(稿)就是主要参考俄文文献的著作,在他生命的最后几天里,我系一位年轻教师在编写折光率图谱时曾被二十几个德文词汇难住,当时所能找到的“地质词汇”里都没有这些词。于是想到了王先生,但很犹豫能否请教病重的王先生。当王先生得知这一情况时,他不顾病痛,拿出放大镜按照写出词汇一一说出中文意思,说出其大致的折光率。不过,仍有两个词,他只说出了化合物的成分,还建议查化学词汇以便定准折光率。经查实这两个词汇多半是人工合成物,分别具有过高或过低的折光率。德语不是他的第一外语,然而这几个德语单词的解释完全证实了他在学业上所花的心血和所取得的成绩。而他重病中还不如如此热心地解决别人疑难的精神又是多么感人!那时“四人帮”还没有倒台,王嘉荫曾被扣上“反动学术权威”的帽子。得到王先生的解答后,这位年轻教师非常激动,情不自

禁地说：“什么反动权威？学术权威就是学术权威！学术上就需要这样的权威！”

王先生过早地离开了我们，这是地质事业的损失，现在我们在这里开会纪念他——中国显微构造学先驱，在座的有他的同学、同事、学生，也有他学生的学生，让我们一起学习他，使我们的地质事业更加兴旺。

内蒙亚干变质核杂岩核内递进伸展作用^{*}

郑亚东 张 青

(北京大学地质学系)

摘要: 亚干变质核杂岩的基本构造组成与北美科迪勒拉区变质核杂岩相似, 包括下盘糜棱状岩带、绿泥石碎裂岩带、超碎裂岩—假熔岩带及上盘断层泥或未粘结的断层角砾。然而, 与之不同的是拆离断层下盘发育一套韧性至脆性新层(从低角韧性正断层经脆韧性至脆性铲形及高角度正断层), 反映伸展作用下, 下盘从上盘下抽拉至地表过程中构造层次的递进变浅。亚干变质核杂岩的时代为侏罗纪, 突破科迪勒拉区变质核杂岩的新生代时限。

一、概 述

原中蒙边界上的亚干古隆起(中心部位东经 $103^{\circ}40'$, 北纬 $41^{\circ}50'$), 经查明为一伸展变质核杂岩(郑亚东等, 1990)。该杂岩地理上位于中蒙海西印支造山带内, 古生界为造山前沉积, 直到上二叠统尚有典型的浊积岩, 其中鲧马序列发育, 并经历了区域性低级绿片岩相变质。泥质、粉砂质及部分砂岩中发育透入性板劈理, 砂岩中则一般为间隔劈理。上三叠统为典型红色磨拉石建造(其中含 *Neocalamites*), 未卷入区域变质, 无透入性组构, 表明造山期为晚二叠至早中三叠世。侏罗系以褐色块状角砾岩为主, 零星分布于杂岩东南外围, 内含 *Mongolianella* 等化石。

本区造山后重大构造事件为早侏罗世晚期的大规模推覆(Zheng 等, 1991)使中元古代的块状白云岩推覆距离 60—70km, 实际推覆距离很可能超过 120km(郑亚东等, 1990)。亚干变质核杂岩位于推覆体范围内, 呈 NE65°方向延伸的穹隆状背斜隆起, 长约 90km, 宽约 10—18km, 出露面积约 1000km²。杂岩主体位于蒙古境内, 我国部分位于该杂岩的西南角(图 1)。

“变质核杂岩”一词起源于北美科迪勒拉区的现代研究(Davis & Coney, 1979)。科迪勒拉区 20 余变质核杂岩虽然各具特色, 但构造上都与一大型低角正断层为主的伸展作用有关。这类断层(一般称为拆离断层)将下盘深层次的岩石组合(典型情况下为糜棱状或非糜棱状片麻岩)与上盘浅变质的岩石组合或未变质的岩层分割开来。拆离断层一般已褶皱, 下盘深变质岩以下隆状或背形状出露于核部。周围或一侧是一条向外倾斜的低角正断层, 上盘岩石的变质程度明显低于下盘。下盘深层次岩石与上盘浅层岩石的并列要求拆离断层至少有十几公里以上的断距, 因而拆离断层在伸展过程中起主导作用(Wernicke, 1981; Davis &

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

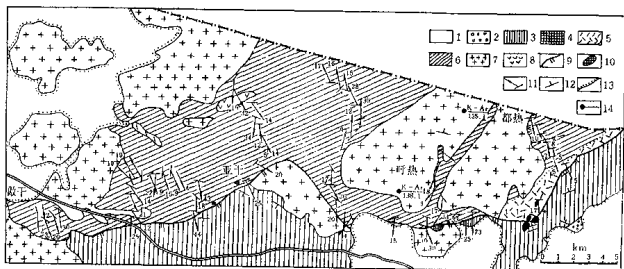


图 1 内蒙亚干变质核杂岩构造图

Fig. 1 Structural map of the Yagan metamorphic core complex, Inner Mongolia

1—白垩系; 2—二叠系; 3—中元古界; 4—绿泥石化碎裂岩; 5—糜棱状岩; 6—伟罗系; 7—花岗岩类; 8—基性岩;
9—伸展拆离断层; 10—飞来峰; 11—糜棱岩面理及线理; 12—岩层产状; 13—不整合; 14—同位素年龄采样点

Lister 1988; Lister & Davis, 1989)。

内蒙古西印支造山带中出现大规模伸展构造,对构造演化规律的认识有深远的意义。本文将系统说明亚干变质核杂岩的构造组成与特征,特别是拆离断层本身及下盘中的递进伸展断层,并对变质核杂岩的时代进行探讨。

二、变质核杂岩的构造组成

(一)糜棱状岩带

亚干拆离断层的下盘主要是糜棱状岩石和侵入其中的黑云二长花岗岩。糜棱状岩石包括糜棱状片麻岩、长英质糜棱岩和条带状大理岩(或碳酸盐质变余糜棱岩)。糜棱状片麻岩主要由黑云母、斜长石和石英组成,黑云母与斜长石相对含量的变化,形成色调深浅不同的糜棱片麻岩。糜棱片麻岩一般具有宏观的面理和线理构造,并常具有S—C构造和不对称眼球构造(照片1、照片4、照片5)。

长英质糜棱岩的主要成分为斜长石、石英和白云母。透入性面理和线理极为发育,故曾被误认为“变质流纹岩”,显微镜下可以看出线理是矿物颗粒的定向排列构成的,并见有微观S—C构造和发育极好的云母鱼构造(郑亚东等,1990,图版I—1 I—2)。

条带状大理岩常夹燧石条带或燧石结核(多已阳起石化、透闪石化或角闪石化)。外观与未变质的中元古界的块状白云岩相似,但宏观上见有一组透入性面理和线理,并发育大量的a型褶曲(其中有些是鞘褶曲)(郑亚东等,1990,图版I—4),表明岩石经历了强烈的韧性剪切变形。然而镜下白云石已静态重结晶为等粒状结构,实质为变余糜棱岩。

上述各种糜棱类岩石的面理和线理产状协调一致,表明为同期构造的产物。从图2a中可以看出面理产状一般平缓。南部总体倾向SSE,北部一般倾向NNW,西部及中部主要倾

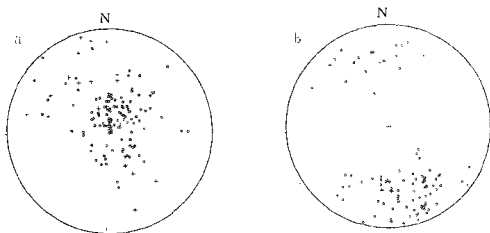


图2 亚干变质核杂岩中糜棱状岩

Fig.2 Stereonets (equal angle) of poles to foliations(a) and lineations(b) of mylonitic rocks in the Yagan Metamorphic core complex

岩石中的面理(a)和线理(b)结构要素图(等角投影下半球)

圆圈为面理极点(a)和线理(b),星号示断层(a)或擦痕(b)

向SW,反映了变质核杂岩的总体向SW倾伏(图1)。线理的产状相当稳定(图2b),总体趋向为NNE和SSE,北部一般向NNW倾伏,南部向SSE倾伏(图1)上述各类糜棱岩中具有多种剪切指向意义的标志,绝大多数表明上盘对下盘的向南剪切运动。这些标志包括宏观S-C结构(照片1、照片4、照片5),宏、微观不对称眼球(照片1),微观不对称云母鱼(郑亚东等,1990,图版Ⅰ—2)和石英动态重结晶集合体中的斜向面理。

侵入糜棱岩中的黑云母二长花岗岩主要为块状构造,仅边部显示微弱的韧性剪切,所形成的面理和线理产状和糜棱岩中的一致,表明是剪切作用末期的产物。经宜昌地质矿产研究所(1980)和北京大学(1991)同位素年龄的测定(黑云母K-Ar法),岩体年龄为138.5—149.0±0.3Ma,主要的剪切活动很可能发生在中侏罗纪的晚期。

(二)绿泥石化碎裂岩带

分布在亚干拆离断层东段下盘100—200m范围以内,但中西段缺失该带,可能是原岩缺少暗色矿物之故。绿泥石化碎裂岩呈暗绿色,绿泥石沿裂隙蚀变交代糜棱岩的碎块和角砾,绿泥石化强度与岩石的破裂程度有密切关系。绿泥石化碎裂岩带中的条带状大理岩形成以白云石为韧性基质的燧石碎裂流(郑亚东等,1990,图版Ⅰ—3)。绿泥石化碎裂岩带的铲形断层(照片7)和平面状断层发育(照片8)。

(三)超碎裂岩—假熔岩带

超碎裂岩—假熔岩带紧贴拆离断面之下,厚25—30cm,为一层暗褐色及暗绿色燧石状岩石,地貌上形成一特征的板状保护层(照片2)。

超碎裂岩宏观上可见大小不等的不同世代的超碎裂岩角砾,角砾一般小于1cm,角砾约占岩石体积的10%左右。镜下观察表明,除少量脆性破裂的细粒石英碎屑外,主要是不具光性的隐晶物质组成,并具有典型的球状放射状和纤毛状脱玻结构(照片3)。超碎裂岩在北美科迪勒拉区称为微角砾岩,厚度一般不超过0.2m,地貌上形成一抗风化陡坎。Phillips(1982)用扫描电镜研究过微角砾岩,发现其基质由极细的(平均粒径为0.004—0.006mm)

等轴状相互咬合的长石和石英组成,颗粒未经变形,认为是碎裂流动的产物。Davis 等(1988)曾报道微角砾岩及下伏的绿泥石化角砾岩带中有类似假熔岩的稀疏细脉(小于3mm),但始终未作明确的鉴定(Davis, 1991, 个人通讯)。关于本区假熔岩的系统鉴定,将另著专文报道(王玉芳等, 1994)。

超碎裂岩—假熔岩带的顶面即主拆离断面。面上见有磨擦面与擦痕。断面平缓倾向 SSE。呼热南部以东一线断面出露最佳,产状变化于 $140^{\circ}-180^{\circ}/27^{\circ}-40^{\circ}$ 之间。擦痕产状稳定, $180^{\circ}-188^{\circ}/23^{\circ}-25^{\circ}$, 与下伏糜棱岩中的面理线理一致。

拆离断层面上常见几十厘米的断层泥和未粘结的断层角砾。砾石成分主要来自上盘二叠系浊积岩或中元古代白云岩。

从上述亚干变质核杂岩的构造组成可以清楚地看出,亚干变质核杂岩与北美科迪勒拉区变质核杂岩的基本特征几乎完全一致,反映了伸展作用下拆离断层的下盘从上盘之下下拉^①出地表过程中由深层次进入浅层次的递进过程(Wernicke, 1981; Davis & Lister, 1988)。然而,本区下盘都发育了一套大小不等从韧性到脆性的断层,与科迪勒拉区下盘似乎是完整一片的景象构成了鲜明的对比(Davis & Lister, 1988, 图 11, 13)。

三、下盘中的脆韧性断层

亚干拆离断线下盘糜棱岩和绿泥石化碎裂岩中常见一些露头规模的脆韧性断层,按其韧性程度和产状可分为以下三类。

(一)低角韧性正断层

呈单组或共轭组出现(照片 4)。可以看出主要一组沿“伸展槽劈理”(Platt, 1979)或“剪切条带劈理”(White, 1979)发育而成(照片 5),其产状和剪切方式与主拆离断层一致,但规模小得多。另一组与之交角为 110° 左右,剪切方式相反(上盘相对下盘向 NWW 方向剪切)。共轭组所夹钝角为挤人象限。根据郑亚东(1992)的解析,该角的理论值为 $109^{\circ}20'$ 。从照片 4、5 断层两侧成分层或糜棱条带的 S 或反 S 形弯曲可以看出,发生断层前岩石经历了很大的塑性变形,故属韧性断层。

(二)脆韧性断层

多呈单组出现,倾向高于 60° ,倾向一般与拆离断层相反,常构成多米诺牌构造(照片 6)。断层两侧的糜棱片麻岩条带有明显的弯曲而且厚度有显著的减薄,表明断层形成前经历了较大的塑性变形,故称之为脆韧性断层。

(三)脆性断层

高角度倾向 NNW 或 SSE。断面呈铲形(照片 7),或平面阶梯状(照片 8)或多米诺牌构造(图 3)。根据本区的观察结果,多米诺牌构造的倾向一般与拆离断层相反,而铲形断层常与主断面倾向一致。

上述下盘各种样式的断层系统反映了下盘岩石从深层次递进进入浅层次过程中岩石从韧性逐渐过渡变为脆性的行为。

① “下拉”一词系杨志华(1991)首次采用,形象地说明“Lower-plate are drawn upward and out from beneath upper-plate rocks”(Davis & Lister, 1988)的过程。



图3 都热南糜棱片麻岩中的脆性多米诺骨牌构造

Fig. 3 A domino structure of brittle style in mylonitic gneisses, south of Dure
 断层面产状 $345^{\circ}\angle 78^{\circ}$, 底板伟晶岩脉产状 $360^{\circ}\angle 10^{\circ}$, 多米诺牌构造内旋转的片麻条带产状为 $180^{\circ}\angle 11^{\circ}$,
 伸展量为 16% 左右 (据照片素描)

四、变质核杂岩的形成时代

前已提及, 根据同构造晚期就位岩体的同位素年龄, 推断变质核杂岩为白垩纪以前的产物, 这一点得到野外地质关系的证明。本区白垩系地层中普遍含有来自变质核杂岩的砾石, 有些巨砾直径超过 1m。本区白垩系有大量双壳类、叶支介、腹足类、植物化石和孢粉为依据, 因而变质核杂岩的时代无疑应早于白垩纪, 不仅如此, 我们还在变质核杂岩南侧上盘零星出露的褐色砾岩夹砂岩及泥灰岩中也发现大量的糜棱类岩石的砾石, 表明这些砾岩堆积时, 变质核杂岩已出露地表。宁夏地质矿产局区调二分队 (1982) 根据这组岩层中含 *Mongolianella* 等化石定为中下侏罗统^①, 如果该组岩层的时代无误, 则变质核杂岩的时代应提至早中侏罗世以前。然而本区伸展前的一期大规模推覆构造使中元古代的块状白云岩推覆在上三叠统磨拉石上 (郑亚东等, 1990)。根据左国朝等 1990 年在西部邻区甘肃北山的合作研究, 发现这期大型推覆已推覆到下侏罗马鬃山煤系之上, 而被中上侏罗世一套粗碎屑岩不整合覆盖 (左国朝, 郑亚东等, 1992) 因而推覆构造的时代是早侏罗世以后中侏罗世以前。前已提出, 拆离断层上的断层泥及未粘结的断层角砾中含大量中元古代白云岩的角砾, 表明亚干变质核杂岩的上盘包括推覆在二叠系上的元古界白云岩。因而变质核杂岩应晚于早侏罗世末的推覆构造, 可能是中侏罗世的产物。然而, 根据北美科迪勒拉区的研究, 第三纪糜棱岩以每年大于 1cm 的速率从中地壳层次抽拉到地面, 前后历时不到 2Ma (Davis, 1988; Davis & Lister, 1988)。按照这一速率, 上述变质核杂岩的推断年龄还显得不够准确。

① 宁夏地质矿产局区调二分队, 哈日奥日布格娜地质图及说明书, 1982。

五、结 论

(1) 亚干变质核杂岩的构造组成为糜棱状岩带、绿泥石化碎裂岩带、超碎裂岩—假熔岩带及断层泥或未粘结的断层角砾带。这些组成要素和北美科迪勒拉区变质核杂岩几乎完全一致,表明内蒙海西印支造山带内经历了大规模的伸展。

(2) 与科迪勒拉区不同,亚干拆离断层的下盘岩石中发育一套从韧性过渡到脆性的断层。体现了下盘岩石从深层次进入浅层次过程中变形从韧性域逐渐进入脆性域。这似乎是对北美科迪勒拉区伸展构造模式的重要补充。

(3) 在上述初脆性变形转化过程中,糜棱岩中的伸展褶皱理演化为低角度正断层。在更浅更脆的领域中形成高角初脆性或脆性断层;断层可以是铲形或平面状,然而铲形断层多与主断面倾向一致,多米诺牌构造多与主拆离面倾向相反。

(4) 亚干变质核杂岩是中生代侏罗纪的产物,突破了科迪勒拉区变质核杂岩的新生代时限。

假熔岩的鉴定过程中先后得到刘瑞琦、王玉芳教授和臧启家副教授的帮助,同位素年龄测定得到穆治国副教授的大力支持,作者一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

王玉芳、郑亚东、臧启家、张青,中蒙边界区亚干伸展拆离断层中假熔岩的玻璃质及其运动学意义。科学通报, 1994, (6), 524—526。

郑亚东,我国发现阿尔卑斯特大型推覆构造及变质核杂岩。中国地质, 1990, (6), 32。

郑亚东、王士敏、王玉芳,中蒙边界区新发现的特大型推覆构造及伸展变质核杂岩。中国科学, 1990, (12), 1300—1305。

左国朝、郑亚东、冯永忠、刘春燕,甘蒙北山中南带新发现燕山早期走滑挤压推覆构造带。地质科学, 1992, (4), 309—316。

Davis, G. A. and Lister, G. S., Detachment faulting in continental extension; perspectives from the southwestern U. S. Cordillera. John Rodgers Symposium Volume, Spec. Pap. Geol. Soc. Am. 1988, 218, 133—159。

Davis, G. A., Rapid upward transport of mid-crustal mylonitic gneisses in the footwall of a Miocene detachment fault, Whipple Mountains, Southeastern California. Geol. Rundsch., 1988, 77, 191—209。

Davis, G. H. and Coney, P. J., Geologic development of the Cordilleran metamorphic core complexes. Geology, 1987, 7, 120—124。

Lister, G. S. and Davis, G. A., The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River Region, U. S. A. J. Struct. Geol., 1989, 11, 65—94。

Phillips, J. C., Character and origin of cataclastic developed along the low-angle Whipple detachment fault, Whipple Mountains, California. Frost, E. G. and Martin, D. L. eds., Mesozoic-Cenozoic Tectonic Evolution of the Colorado River Region, California, Arizona, and Nevada. San Diego, California Cordilleran Publishers, 1982, 109—116。

Platt, J. P., Extensional crenulation cleavage. J. Struct. Geol., 1979, 1, 95。

Wernicke, B., Low-angle normal faults in the Basin and Range province-nappe tectonics in an extending orogen. Nature, 1981, 291, 645—648。

White, S., Large strain deformation; report on a Tectonic Studies Group discussion meeting held at Imperial College, London on 14 November, 1979. J. Struct. Geol., 1979, 1, 333—339。

Zheng, Y. A., Quantitative analysis of the angle between conjugate sets of extensional crenulation cleavages; an explanation of the low-angle normal fault development. The 29th International Geological Congress Abstracts with

Programs. (in the Third Circular) (Kyoto), 1992.

Zheng, Y., Wang, S. and Wang, Y., An enormous thrust nappe and extensional metamorphic core complex newly discovered in Sino-Mongolian boundary area. Science in China (Series B), 1991, 34, 1145—1152.

PROGRESSIVE EXTENSION IN YAGAN METAMORPHIC CORE COMPLEX, INNER MONGOLIA

Zheng Yadong Zhang Qing

(Department of Geology, Peking University)

Abstract

The Yagan metamorphic core complex displays many of the structural characteristics of Cordilleran metamorphic core complexes: (a) footwall mylonitic gneisses; (b) chloritic breccias; (c) pseudotachylites and flinty cataclasites or microbreccias and (d) fault gouge. In contrast to its Cordilleran equivalents, there are many faults with different style in the lower plate, from ductile low-angle normal faults through brittle-ductile to brittle high-angle normal faults, this implies a process in which lower-plate mylonitic gneisses are drawn upward and out from beneath upper-plate rocks. As footwall gneisses rise structurally upward, they are sheared at progressively shallower crustal levels and with brittle deformation regimes. The age of the Yagan metamorphic core complex is Jurassic, not Cenozoic as its Cordilleran counterparts.

照 片 说 明

1. 都热南糜棱片麻岩中的 S—C 组构及长石不对称眼球, 指示上盘相对下盘向右(175°)方向的剪切运动。
2. 呼热东南亚干拆离断层及堼石状超碎裂岩—假熔岩带, 断面产状 $165^\circ \angle 30^\circ$, 超碎裂岩—假熔岩带厚 25—30cm, 宏观可见不同世代的超碎裂岩角砾。
3. 堼石状超碎裂岩—假熔岩的显微照片(正交偏光, 4×2.0 倍), 可见球状、放射状和纤毛状脱胶结构。
4. 糜棱片麻岩中的共轭低角韧性剪切带, 上下钝角象限对着挤压方向。
5. 糜棱片麻岩中沿 C' 或 ecc 面理发展而形成的低角韧性正断层(都热南)。
6. 糜棱片麻岩中的脆韧性多米诺牌构造, 断面产状 $320^\circ \angle 67^\circ$, 糜棱带产状 $165^\circ \angle 8^\circ$, 伸展量约为 10% (都热南)。
7. 绿泥石化碎裂岩带中的铲形正断层, 右侧为南东(都热南)。
8. 绿泥石化碎裂岩带中的平面阶梯状断层, 断面产状 $155^\circ \angle 58^\circ$, 绿泥石化糜棱岩。面理产状 $330^\circ \angle 18^\circ$, 线理产状 $345^\circ \angle 16^\circ$ (都热南)。