

文章编号: 1006 - 544X (2005) 03 - 0267 - 07

# 中国阿尔泰山后造山伸展垮塌的地质证据

汪劲草<sup>1,2</sup>, 夏 斌<sup>2</sup>

(1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004; 2. 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 广州 510640)

**摘 要:** 继大规模海西期深层次逆冲推覆之后, 阿尔泰山带南缘发生了后造山伸展, 形成了克兰、库尔提、麦兹、阿特勒托别和苏鲁巴依变质核杂岩。变质核由中泥盆统浅变质岩及同构造侵入的碱性花岗岩组成, 盖层由逆冲推覆过来的前寒武系中—深变质岩或弱变质的上泥盆世、下石炭世地层组成, 在变质核的上部发育有绿片岩相顺层韧性剪切带, 其变质变形从下往上逐渐增强。剪切带中石英棒拉伸线理的产状集中在  $110^{\circ} \sim 125^{\circ}$   $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ; 表明伸展平行于造山带方向。剥离断层切削了早期的逆冲推覆构造的部分推覆断层及部分滑动系统, 但又与推覆体系一起受到了晚期褶皱与断裂的强烈改造。上述变质核杂岩不仅是阿尔泰山带后造山伸展垮塌的直接构造证据, 而且也是造山带南缘出露的后造山幔源花岗岩、基性—超基性杂岩活动的地质响应。

**关键词:** 阿尔泰山带; 变质核杂岩; 伸展垮塌; 深层次推覆; 后造山; 海西期

**中图分类号:** P542

**文献标识码:** A

沿中国阿尔泰山带南缘的额尔齐斯构造带, 分布着一系列与造山带方向一致, 呈长扁透镜状展布的浅变质岩地层, 其两侧以断层与中—深变质岩地层接触, 或一侧以断层与中—深变质岩地层接触, 而另一侧以断层与更浅变质岩地层接触。上述由海相中—基性火山岩、次火山岩及沉积岩组成的浅变质杂岩为中泥盆世地层, 一般被认为仅分布于阿舍勒、冲乎、克兰、麦兹、库尔提火山盆地中<sup>[1]</sup> (图 1), 形成构造背景分别有小洋盆<sup>[2]</sup>、大陆裂谷<sup>[3]</sup>、类坳拉谷<sup>[4]</sup>及沟弧盆体系<sup>[5-7]</sup>之说。由于其与中—深变质岩具有一定的构造协调关系, 过去认为它们是阿尔泰山带叠瓦状逆冲推覆构造系统中的推覆体之一, 而两侧的断层则被认为是逆冲断层系的组成部分<sup>[8-11]</sup>。

一些学者已经提到过, 在库尔提、克兰和麦兹火山盆地中发育有绿片岩相的韧性剪切带, 但是, 所有的解释都将它们归之于叠瓦状逆冲推覆构造体系或前陆走滑构造体系<sup>[8-13]</sup>。近年来, 通过对上

述火山盆地及其周边中—深变质岩的构造解析, 笔者不仅发现库尔提、克兰和麦兹火山盆地的出露是地壳伸展的结果, 而且是在大规模的深层次逆冲推覆构造之后, 形成以老地层为盖层, 新地层为变质核的变质核杂岩。同时, 在东部的玛因鄂博断裂下盘的阿特勒托别, 和再往南部的苏鲁巴依一带, 又识别出另外两个变质核杂岩。因此, 上述认识不仅可以作为阿尔泰山带后造山伸展垮塌的直接构造证据, 而且将对造山带的构造格局、地层时代、岩浆成因及成矿作用的认识产生深远的影响。

## 1 伸展垮塌前的推覆构造

以依来克断裂与卡依尔特—二台断裂为界, 中国阿尔泰山带可分为 3 个构造域, 从北西往南东分别为哈巴河—哈纳斯构造域、阿勒泰—富蕴构造域及青河—二台构造域 (图 1)。在伸展构造形成之前, 海西期大型逆冲推覆构造在 3 个构造域具有不同的构造表现<sup>[14]</sup>。

收稿日期: 2004 - 12 - 09

基金项目: 国家 973 计划项目 (2001CB409805); 中国科学院边缘海地质重点实验室基金资助项目 (MSGL04 - 5)

作者简介: 汪劲草 (1963 - ), 男, 博士, 研究员, 区域构造与成矿构造专业。E-mail: Wangjincao1031@163.com

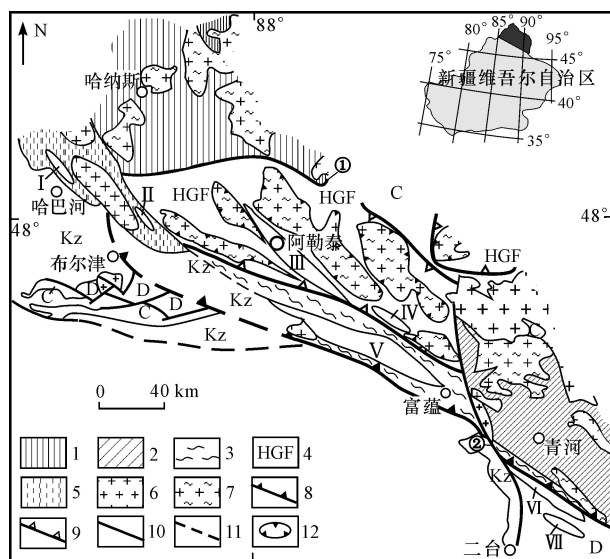


图 1 中国阿尔泰造山带构造分区与构造地质

fig. 1 Tectonic division and structural geology in Chinese Altay orogen

1—浅变质的下古生代地层；2—中—深变质的元古代地层；3—角闪岩相韧性剪切带；4—高绿片岩相韧性剪切带；5—绿片岩相韧性剪切带；6—海西期花岗岩；7—加里东期花岗岩；8—下推覆断层；9—上推覆断层；10—性质不明断层；11—推测性质不明断层；12—飞来峰；—阿舍勒构造窗；—冲乎尔构造窗；—克兰变质核杂岩；—麦兹变质核杂岩；—库尔提变质核杂岩；—阿热勒托别变质核杂岩；—苏鲁巴依变质核杂岩；—依来克断裂；—卡依尔特—二台断裂；K<sub>2</sub>—新生界；C—石炭系；D—泥盆系

### 1.1 阿勒泰 - 富蕴构造域

阿勒泰 - 富蕴构造域具有双重(冲)推覆构造结构<sup>[14]</sup>。下推覆构造由下推覆断层、角闪岩相深层次韧性剪切带(滑动系统)组成。下推覆断层仅在富蕴南部残存,其余或被第四系掩盖,或为后期剥离断层构造挫失。从上往下,滑动系统的变质与变形逐渐增强,且向下局部会产生递进重熔,形成一系列带状的构造混合花岗岩(图 1)。上推覆构造由上推覆断层、高绿片岩相中 - 深层次韧性剪切带(滑动系统)及上推覆体(飞来峰)组成。上滑动系统是由发育于混合花岗岩中的韧性剪切带组成,带内构造岩主要为黑云母构造片岩与石榴子石构造片岩,从上往下,滑动系统的变质与变形逐渐增强。上推覆体为北西向展布的混合花岗岩构造片体。综上可推出: 分布于阿勒泰 - 富蕴构造域的中 - 深变质岩与混合花岗岩是外来的,其中的变质岩不属中国阿尔泰造山带的基底岩系; 组成飞来峰的混合花岗岩也不是海西期造山花岗岩,而是前海西期(加里东期)造山花岗岩。上述混合花岗岩的年龄近来已得到一批锆石 U - Pb SHR MP 测年结果(410 ~

420 Ma)的支持。

### 1.2 青河 - 二台构造域

青河 - 二台构造域只发育下推覆构造。其由下推覆断层、角闪岩相深层次韧性剪切带(滑动系统)及下推覆体组成。下推覆断层因受后期剥离断层切削而缺失。下滑动系统宽约 3 ~ 5 km,受后期剥离断层的构造切削,缺失了下部递进重熔形成的高角闪岩相构造混合岩。滑动系统以北的中 - 深变质岩及混合花岗岩为下推覆体。综上可推出: 分布于青河 - 二台构造域的中 - 深变质岩与混合花岗岩是外来的,其中的变质岩也不属中国阿尔泰造山带的基底岩系。下推覆体中的变质岩及混合花岗岩形成于前海西期。

### 1.3 哈巴河 - 哈纳斯构造域

与上述两构造域不同的是,哈巴河 - 哈纳斯构造域不发育下推覆构造,而且推覆构造也有别于阿勒泰 - 富蕴构造域的上推覆构造。其推覆构造发育于原为浅变质的下古生代地层中(以前称为下泥盆世地层),原地层变形为绿片岩相韧性剪切带,其部分呈断片展布于阿舍勒、冲乎火山盆地的南西侧,往北东则变形逐渐减弱而过渡到正常的变质岩地层,而阿勒泰 - 富蕴构造域中,上推覆构造中的韧性剪切带变质程度达高绿片岩相,是混合花岗岩退变质、递进变形形成的,且混合花岗岩“浮于”韧性剪切带之上,构成外来的飞来峰。阿舍勒、冲乎火山盆地的中泥盆世地层中未发育顺层的绿片岩相韧性剪切带。综上可推出: 分布于哈巴河 - 哈纳斯构造域南西部的绿片岩相韧性剪切带,可能是中国阿尔泰造山带大型逆冲推覆构造中层次最高的滑动系统; 阿舍勒、冲乎火山盆地为 2 个斜列的构造窗; 发育绿片岩相韧性剪切带的地层应为前泥盆系,而非下泥盆统。

## 2 伸展垮塌时的伸展构造

沿中国额尔齐斯构造带,笔者已识别出 5 个变质核杂岩,它们分别是克兰变质核杂岩、库尔提变质核杂岩、麦兹变质核杂岩、阿热勒托别变质核杂岩及苏鲁巴依变质核杂岩(图 1)。鉴于篇幅,下面仅选取上述类似变质核杂岩中的 3 个加以叙述。

会议资料:国家 973 计划项目《中国西部中亚型造山与成矿》2002 主要研究进展。

2.1 库尔提变质核杂岩

库尔提变质核杂岩呈北西向的长扁透镜体，出露于富蕴县城以西的苏普特 - 库尔提一带（图 2），长度大于 50 km，最大宽度约 20 km。变质核夹持于晚期两高角度脆性逆断层之间。原岩地层为中泥盆统阿勒泰组，下部岩性为一套席状互层的辉长岩与闪长岩组成的堆晶岩，岩席厚几米至几十米，各有数十层之多。上部岩性为厚层玄武岩，局部夹有薄层硅质岩及灰岩，此岩性段在变质核的北东侧局部缺失。许继峰等<sup>[12]</sup>根据岩性组合及岩石地球化学研究结果，认为其为古弧后盆地中的蛇绿岩，可能属古亚洲洋在晚古生代早期向西伯利亚板块之下消减作用的产物。上述岩套中发育顺层绿片岩相韧性剪切带，其中，闪长岩变形变质为长英质糜棱岩，从下部往上部，分别可见初糜棱岩、糜棱岩和超糜棱岩；辉长岩则变形变质为斜长角闪构造片岩，从下部往上部，糜棱面理往上愈趋发育；玄武岩也变形变质为斜长角闪构造片岩，其糜棱面理也是往上愈趋发育。以上表明顺层韧性剪切带的变质变形从下往上是逐渐增强的，说明该韧性剪切带既不是走滑的，也不是逆冲推覆的，而是顺层下滑剪切的。在变质核的北东侧，出露有二长花岗岩，已变质变形为长英质初糜棱岩与糜棱岩，往北东方向的边部，出现长英质超糜棱岩。变质核中的构造岩主要为 S - L 型构造岩，表明剪切带是以近于纯剪作用发生的。糜棱岩中 21 个石英棒拉伸线理的产状结果介于 115°~125° 10°~25°；表明其伸展方向与早期深层次逆冲推覆构造的方向（约 245°）近于垂直，因此证明晚期的伸展是近于平行于造山带方向的。张进江等<sup>[8]</sup>也注意到了上述现象，并用腹地逆冲、前陆走滑、中间为过渡状态的逆冲 - 走滑造山模式来解释。变质核呈一开阔背斜，其中，南西侧的上部岩性中发育一系列铅笔构造、揉曲及层间斜歪褶皱，其枢纽产状即 B 线理产状为 120°~135° 5°~10°；表明变质核在伸展构造形成之后，又叠加了北东 - 南西向的挤压，并在变质核的两侧形成高角度冲断层。断层上盘形成宽数十米的碎裂岩带，如库尔提至蒙库铁矿的山口断裂，断裂带从下往上发育断层泥带、碎裂岩带、角砾岩带及碎裂化构造混合岩，宽度达近百米。显然，最晚期的脆性断层破坏了滑脱带顶部的剥

离断层（图 3a），而剥离断层又切削了早期的下推覆体断层，并导致上泥盆统、下石炭统及部分下滑动系统的缺失（图 3b，3c）。而以前认为，变质核两侧的逆冲断层为造山带主构造 - 叠瓦状逆冲推覆构造的次级冲断层，而变质核则为其所夹的推覆体<sup>[8-11]</sup>。

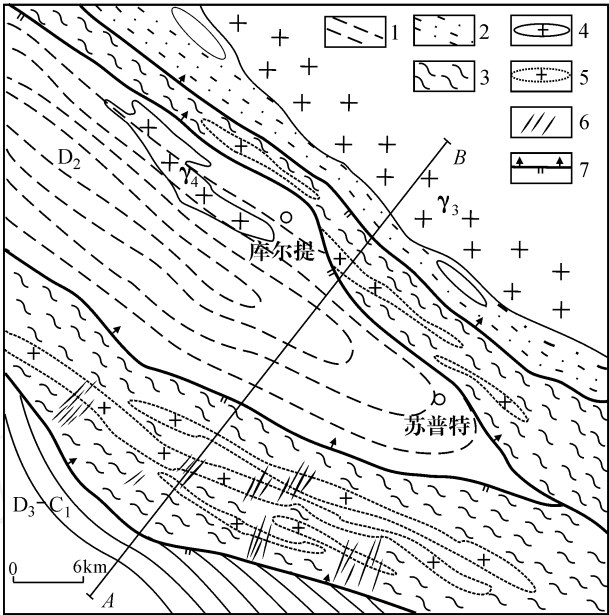


图 2 库尔提 - 苏普特地区地质构造图

Fig. 2 Geological structural map in Kuerti - Supute

1—绿片岩相韧性剪切带；2—高绿片岩相韧性剪切带；3—角闪岩相韧性剪切带；4—变形分解后形成的花岗岩构造透镜体；5—构造剪切增温导致局部递进重熔形成的带状混合花岗岩；6—酸性岩脉群；7—逆断层；D<sub>3</sub> - C<sub>1</sub>—上泥盆统至下石炭统；D<sub>2</sub>—中泥盆统；4—海西期花岗岩；3—加里东期花岗岩；AB—剖面线

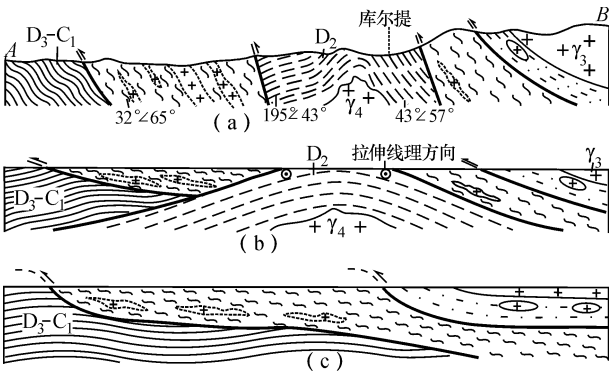


图 3 过库尔提变质核杂岩的构造剖面 (a) 及其反演的早期推覆示意剖面 (c) 与晚期伸展示意剖面 (b)

(图例同图 2)

Fig. 3 Structural profile across the Kuerti metamorphic core complex (a) and supposed earlier-stage overthrust profile (c) and supposed later-stage extension profile (b) (the same map symbols as Fig. 2)

变质核杂岩的盖层为逆冲推覆过来的中—深变质构造岩, 该变质岩为深层次推覆构造的下滑动系统, 从北东往南西, 分别出露构造片麻岩、条带状构造混合岩、条纹状构造混合岩并局部间夹构造混合花岗岩 (图 3b, 3c).

## 2.2 阿热勒托别变质核杂岩

阿热勒托别变质核杂岩呈北西向的狭长透镜体, 分布于阿热勒托别至查干郭勒一带, 出露长度大于 60 km, 最大宽度约 4 km (图 4). 以往, 变质核中的地层划归为下石炭统南明水组第二岩性段, 呈一北西向的倒转背斜 (图 5a), 但经此次工作后确认, 所谓的第二岩性段实际上是顺层发育的糜棱岩 (图 5b), 即在晚期倒转背斜形成之前, 第二岩性段岩石中发育有顺层的绿片岩相韧性剪切带. 倒转背斜南西翼的糜棱面理与所谓的南明水组第三岩性段地层的层理近于一致, 两者的分界线为一晚期近于顺层的脆性逆断层. 第三岩性段地层主要为极低变质的凝灰质砂岩、粉砂岩及砾岩, 并顺层侵入有酸性小岩脉. 而所谓的第二岩性段下部岩性为厚层玄武岩、上部岩性段则为凝灰质砂岩. 上岩性段上部变质变形为石英质超糜棱岩、下部则为石英质糜棱岩. 下岩性段玄武岩变质变形为斜长角闪构造片岩, 且从下往上糜棱面理愈趋发育. 以上表明顺层韧性剪切带的变质变形从下往上是逐渐增强的, 说明该韧性剪切带既不是走滑的, 也不是逆冲推覆的, 而是顺层下滑剪切的. 变质核中侵入有同伸展期的二长花岗岩, 也变质变形为长英质糜棱岩, 其面理与两侧地层的糜棱面理完全协调. 糜棱岩中 13 个石英棒拉伸线理的产状结果介于  $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$

$5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ; 其运动学指向与库尔提变质核杂岩一致. 鉴于第二岩性段岩石与第三岩性段地层处于不同的变质变形环境, 且根据变质核杂岩的发育特点, 上述两套岩性应归属不同时代的地层, 结合区域地层对比, 笔者认为该套地层可能为中泥盆统阿勒泰镇组.

变质核杂岩的南西侧盖层为下石炭统南明水组, 北东侧为逆冲推覆过来的中—深变质构造岩 (图 5c). 变质核与下推覆体中—深变质构造岩以玛因鄂博断裂接触 (图 5a). 与变质核一样, 角闪岩相构造岩中也形成晚期倒转褶皱. 构造岩下部为长英质超糜棱岩, 往上逐渐过渡到长英质糜

棱岩、长英质初糜棱岩及糜棱岩化斑状混合花岗岩. 从初糜棱岩至超糜棱岩, 长石的颗粒越来越细. 上述角闪岩相长英质糜棱岩可能为混合花岗岩退变质、递进变形的产物. 其下部高角闪岩相递进重熔形成的构造混合岩, 可能因受剥离断层的构造切削而缺失 (图 5b).

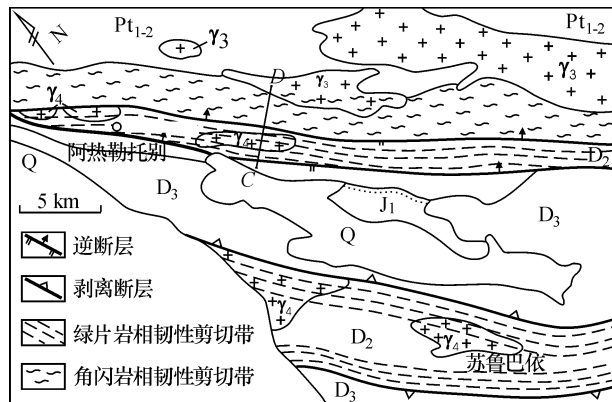


图 4 阿热勒托别 - 苏鲁巴依地区地质构造图

Fig. 4 Geological structural map in Areletuobie - Sulubayi  
Q—第四系; J<sub>1</sub>—下侏罗统; C<sub>1</sub>—下石炭统; D<sub>3</sub>—上泥盆统;  
D<sub>2</sub>—中泥盆统; Pt<sub>1-2</sub>—中—下元古界; <sub>4</sub>—海西期花岗岩;  
<sub>3</sub>—加里东期花岗岩; CD—剖面线

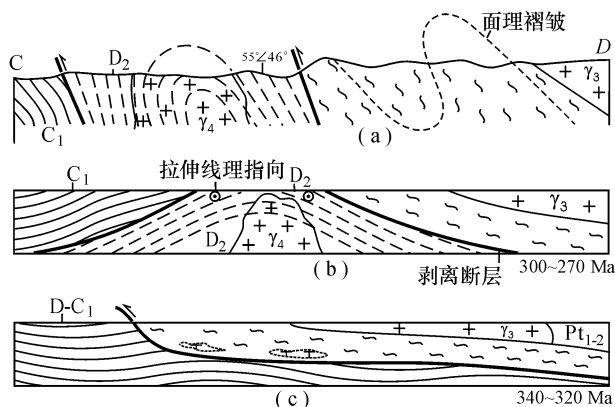


图 5 过阿热勒托别变质核杂岩的构造剖面 (a) 及其反演的早期推覆示意剖面 (c) 与晚期伸展示意剖面 (b) (图例同图 2、4)

Fig. 5 Structural profile across the Areletuobie metamorphic core complex (a) and supposed earlier - stage overthrust profile (c) and supposed later - stage extension profile (b) (the same map symbols as Fig. 2 and Fig. 4)

## 2.3 苏鲁巴依变质核杂岩

苏鲁巴依变质核杂岩出露于阿热勒托别变质核杂岩的南部, 两者相距约 12 km. 以往, 变质核中的地层划归为下泥盆统卡希翁组 (D<sub>3</sub>k), 或中泥盆统蕴都卡拉组 (D<sub>2</sub>y), 而其北东侧的地层则划归为中泥盆统北塔山组 (D<sub>2</sub>b), 南西侧的地层

则划归为下泥盆统托让格库都克组 ( $D_1 t$ )，即变质核两侧的地层较变质核中的地层老，且认为两侧形成对冲的推覆构造<sup>[15]</sup>。但构造解析发现，变质核两侧的绿片岩相顺层韧性剪切带并不位于所谓推覆体的下部，而是位于所谓原地系统的顶部，如北东侧顺层韧性剪切带从下往上构造岩分别为糜棱岩化花岗岩闪长岩、花岗质初糜棱岩、花岗质糜棱岩、斜长角闪构造片岩及硅质糜棱岩，表明剪切带的变质变形往上是逐渐增强的，此即说明剪切带不是逆冲推覆的，而是顺层伸展滑脱的。滑脱带中的糜棱面理、剥离断面及上盘的弱变质的盖层层理近于一致。上述面理或层理产状变陡是后期北西—南东向挤压所致。韧性剪切带中 5 个石英棒拉伸线理的产状平均为  $112^\circ \pm 14^\circ$ ；其运动学指向与上述变质核杂岩一致。鉴于上述岩性组合为变质核杂岩，则完全可以认为变质核中的地层应为老地层，盖层中的地层应为新地层。即：如果变质核中的地层为中泥盆统，则盖层中的地层应为上泥盆统或更年轻的地层。

综上所述，阿尔泰山带南缘发育的变质核杂岩具有如下的地质特征：形成于大规模深层次逆冲推覆之后，伸展方向与造山带走向一致；

变质核由中泥盆统浅变质岩及侵入其中的同构造期花岗岩组成，顶部发育绿片岩相顺层韧性剪切带，从下往上变质变形逐渐增强；除苏鲁巴依变质核杂岩的盖层为晚古生代弱变质地层外，其余变质核杂岩的盖层全部或部分为外来的中—深变质岩；变质核杂岩与推覆构造体系一起卷入了后期北西—南东向强烈挤压褶皱，且变质核中的构造面理与推覆构造体系中的构造面理基本协调，其呈北西向长扁透镜状出露可能与晚期的强烈挤压有关。上述变质核杂岩的结构与特征完全可与国内外典型变质核杂岩对比<sup>[16-20]</sup>。

### 3 伸展垮塌后的褶皱构造

以上已多次提到，在造山带伸展垮塌后，早期的深层次推覆构造、之后的中层次伸展构造，又叠加了一次浅层次的强烈挤压褶皱作用。在哈巴河—哈纳斯构造域，晚期的挤压方向为近东西向，主要形成近南北向的紧密线性褶皱与脆性断裂。在阿勒泰—富蕴构造域，晚期的挤压方向为北东—南西向，主要形成近北西向的层间斜歪褶

皱、铅笔构造与脆性断裂。其挤压作用减弱可能与该域大片混合花岗岩对挤压应力的消减有关。在青河—二台构造域，晚期的挤压方向也为北东—南西向，主要形成近北西向的紧密线性倒转褶皱与脆性断裂，并往南逐渐减弱。需要指出的是，上述挤压构造往往被误以为是阿尔泰山带的主期构造——即所谓叠瓦状逆冲推覆构造中的构造要素。

### 4 伸展垮塌的成因与意义

在早石炭世末 (320 Ma)，准噶尔—哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块碰撞之后，由于增厚岩石圈地幔部分可能发生拆沉<sup>[21]</sup>，热的软流圈地幔随之上涌，产生的幔源岩浆上升到壳幔界面和下地壳中，发生底侵作用<sup>[22]</sup>，并部分沿阿尔泰山带南缘的深断裂上侵到上地壳中，形成一系列后碰撞 (270~300 Ma) 幔源花岗岩类、基性—超基性杂岩与火山岩<sup>[23]</sup>。很显然，阿尔泰山带南缘变质核杂岩群的形成是上述深部过程在地壳浅部的构造响应。同时，外来巨厚的、热的深层次逆冲推覆体的构造叠置，所引发的浅层次地壳 (相对冷的原地系统) 产生的异常增温，也是导致中泥盆统地层发生韧性伸展的一个重要因素。

因此，阿尔泰山带南缘变质核杂岩群的厘定，不仅直接证明造山带伸展垮塌发生于大规模的深层次逆冲推覆之后，而且可以间接指示与变质核杂岩有关的花岗岩形成于后碰撞阶段。同时，认识与后碰撞作用有关的浅层次伸展型韧性剪切带及其同构造岩浆作用，对于理解额尔齐斯构造带中与后碰撞有关的剪切带型金矿 (270~290 Ma)<sup>[24,25]</sup> 的成因，具有重要的地质意义。而且，上述认识还将对造山带的构造格局、地层时代、岩浆岩时代与成因等认识产生深远的影响。

### 5 主要结论

(1) 额尔齐斯构造带中已确定 5 个变质核杂岩，它们从西往东分别为克兰变质核杂岩、库尔特变质核杂岩、麦兹变质核杂岩、阿特勒托别变质核杂岩和苏鲁巴依变质核杂岩。变质核由中泥盆世地层及侵位其中的同构造期花岗岩组成，盖层为逆冲推覆而至的前寒武纪中—深变质岩或中泥盆世以后地层组成，滑脱带为绿片岩相顺层韧

性剪切带, 伸展方向为北西 - 南东向, 与阿尔泰造山带方向一致。

(2) 变质核杂岩形成于大规模深层次逆冲推覆构造之后, 并造成部分推覆断层、部分滑动系统、部分上泥盆统及部分下石炭统地层缺失, 之后, 滑脱带与剥离断层卷入了晚期北东 - 南西向的强烈挤压, 形成断面褶皱。

(3) 最大伸展量发生于额尔齐斯构造带前缘, 并向北东 - 南西两侧依次减弱, 因此, 展布于额尔齐斯构造带的磁力、重力异常带, 是地壳伸展过程中深部物质调整的结果, 而非存在一条所谓“额尔齐斯深大断裂”的缘故。

(4) 分布于额尔齐斯构造带、与前寒武系中—深变质岩断层接触的一部分泥盆纪火山岩盆地, 不是直接发育于中—深变质岩之上的上叠式盆地, 而是经后造山伸展作用抽拉出露的、由推覆构造原地系统组成的、经伸展型韧性剪切带叠加改造过的构造窗。

在变质岩的鉴定过程中, 曾得到周国庆教授的指导, 傅昭仁教授曾提出过许多宝贵意见, 秦纪华、周刚高工, 高珍权教授级高工、曾乔松博士曾与笔者在野外进行过多次讨论, 庄育勋研究员、张进江教授百忙中为笔者提供了宝贵资料, 在此特表感谢。

## 参考文献

- [1] 庄育勋. 中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山过程 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1993: 10 - 101.
- [2] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [3] 何国琦, 韩宝福, 岳永君, 等. 中国阿尔泰造山带的构造分区和地壳演化 [A]. 《新疆地质科学》编委会. 新疆地质科学 (第2辑) [C]. 北京: 地质出版社, 1990: 9 - 20.
- [4] 张湘炳, 隋静霞, 李志纯, 等. 额尔齐斯构造带构造演化与成矿系列 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 170 - 180.
- [5] Sengor A M C, Natal in B A, Burtman V S. Evolution of the Altai tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, (364): 299 - 307.
- [6] Coleman R G. Continental growth of Northwest China [J]. Tectonics, 1989, (8): 621 - 635.
- [7] 芮行健, 朱韶华, 刘抗娟. 新疆阿尔泰原生金矿基本特征及区域成矿模式 [J]. 地质论评, 1993, 39 (2): 138 - 148.
- [8] 张进江, 郑亚东. 阿尔泰造山带的逆冲 - 走滑构造模式 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1993, 20 (6): 745 - 753.
- [9] 张朝文, 刘援朝, 魏显贵. 阿尔泰地区韧性剪切带和推覆 - 滑覆构造 [J]. 成都地质学院学报, 1992, 19 (1): 1 - 7.
- [10] 杨新岳, 李志纯, 谢国源. 新疆阿尔泰造山带南缘萨勒巴斯推覆体的变形和变质作用 [J]. 地球科学, 1994, 19 (1): 461 - 469.
- [11] 曲国胜, 何国琦. 阿尔泰造山带的构造运动 [J]. 地质学报, 1992, 66 (3): 193 - 205.
- [12] 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔特蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物 [J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20 (3): 344 - 352.
- [13] Laurent - Charvet S, Charvet J, Moni P, et al. Late Paleozoic strike - slip shear zones in eastern central Asia (NW China): new structural and geochronological data [J]. Tectonics, 2003, (22): 1 - 24.
- [14] 汪劲草, 夏斌. 中国阿尔泰造山带大型逆冲推覆构造 [J]. 桂林工学院学报, 2005, 25 (2): 135 - 140.
- [15] 尹意求, 李嘉兴, 张积斌, 等. 新疆青河科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化模式 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (4): 314 - 319.
- [16] 宋鸿林. 变质核杂岩研究进展、基本特征及成因探讨 [J]. 地学前缘, 1995, 2 (1 - 2): 103 - 111.
- [17] 李江海. 造山带的伸展作用及其地壳演化意义 [J]. 地质科技情报, 1992, 11 (3): 10 - 17.
- [18] 汪劲草, 王正云, 耿文辉, 等. 云开隆起西缘大型剥离断层的发现及意义 [J]. 科学通报, 1994, 39 (20): 1886 - 1888.
- [19] Davis G H. Shear - zone model for the origin of metamorphic core complexes [J]. Geology, 1983, (11): 343 - 347.
- [20] Lister G S, Davis G A. Metamorphic core complexes and detachment faults [J]. J. Struct. Geol., 1989, 11 (1/2): 65 - 94.
- [21] Kay R W, Kay S M. Delamination and delamination magmatism [J]. Tectonophysics, 1993, (219): 177 - 189.
- [22] Caress D W. Seismic imaging of hotspot - related crustal un-deplating beneath the Marquesas Island [J]. Nature, 1995, (373): 600 - 603.
- [23] 韩宝福, 何国琦, 王式光. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底性质 [J]. 中国科学 (D辑), 1999, 29 (1): 16 - 21.
- [24] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 26 - 47.
- [25] 陈华勇, 陈衍景, 刘玉琳. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿作用及其与中亚造山型造山作用的关系 [J]. 中国科学 (D辑), 2000, 30 (S): 38 - 44.

## Geological Evidences for Post-Orogenic Extensional Collapse in Altaides, NW China

WANG Jin-cao<sup>1</sup>, XIA Bin<sup>2</sup>

(1. *Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;*

2. *Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*)

**Abstract:** After largescale deep-level thrust nappe in Hercynian, the post-orogenic extension occurred in the southern boundary of Altaides, and formed Kelan, Kuerti, Maizi, Areltuobie and Sulubayi metamorphic core complexes. The cores consist of the epimetamorphic rocks of middle Devonian system and syntectonic alkali granites. The covers are composed of the meso- and hypometamorphic rocks in Precambrian which are foreign geological bodies formed by thrusting, or of the slight metamorphic upper Devonian and lower Carboniferous formations. At the top of the cores, the bedded greenschist facies ductile shear zones are formed and their metamorphism and deformation gradually become strong from bottom to top. The occurrences of quartz-rod stretching lineations are  $110^{\circ} \sim 125^{\circ}$   $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ , indicating parallel extensional direction of the orogenic belt. The detachment faults partly cut away the parts of the thrust nappe faults and the sliding systems of thrust nappe tectonics, and, together with thrust-nappe system, are strongly superimposed by the late folds and fractures. The metamorphic core complexes are not only a direct evidence for the post-orogenic extension in the Altaides, but also a reflection for the activity of post-orogenic mantle-resource granites, basic-ultrabasic complexes in the southern boundary of Altaides.

**Key words:** Altaides; metamorphic core complexes; extensional collapse; deep-level thrust-nappe; post-orogeny; Hercynian