

拉脊山—化隆变质核杂岩构造及其隆升机制探讨

张旺生, 冯光胜, 高山, 孙林华

(中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 中祁连拉脊山、化隆地区的变质核杂岩是由韧性变形的太古宙、元古宙化隆群变质岩系组成核; 由脆—韧性变形和经受了低压变质的中、上寒武统和岩体组成中间层; 由脆性变形和未变质的下白垩统组成盖层。变质核杂岩的组成与结构显示了对称伸展和隆升的特征。23~32 Ma是快速隆升的时期。主剥离断层剪切位移量约 25~27 km, 并根据矿物对计算, 变质核杂岩的伸展变质温度约 625~630 °C, 变质深度约 20 km, 变质压力约为 0.63 GPa, 属偏低压型区域热流变质作用。从青藏高原热壳、热幔、厚壳的演化历史及构造隆升活动来看, 认为拉脊山、化隆变质核杂岩是地幔热隆引起地壳伸展的典型实例, 是研究青藏高原岩石圈结构和高原隆升的重要窗口。

关键词: 变质核杂岩; 热隆; 伸展构造; 拉脊山。

中图分类号: P54

文献标识码: A

文章编号: 1000—2383(2003)04—0407—07

作者简介: 张旺生(1955—), 男, 副教授, 构造地质学专业博士, 主要从事造山带构造、地质灾害学方面的研究工作。E-Mail: zhangwsh@cug.edu.cn

变质核杂岩是大陆伸展构造的重要表现形式之一, 是研究大陆岩石圈板内构造的重要窗口。变质核杂岩的隆升机制是地壳伸展引起核杂岩上升和岩浆侵位, 还是地幔上隆、加热与岩浆侵入引起地壳伸展始终是人们关注的问题^[1]。近十几年来, 人们陆续报道了许多大陆伸展构造和变质核杂岩构造, 如京北的云蒙山^[2~4]、京西的房山^[5~7]、内蒙古的亚干^[8]、山西的中条山^[9]、河南的桐柏山^[10,11]、湖南的幕阜山^[9]、安徽的洪镇^[9,12,13]、豫西的小秦岭^[14,15]、川西的江浪和丹巴^[16,17]等地。近年来, 又报道了辽宁医巫闾山^[18]和内蒙古的呼和浩特^[19]等地的变质核杂岩。这些核杂岩构造发育于不同的构造部位和形成于不同的构造时代, 具有许多不同的特点^[1]。发育于新生代或后期改造不明显的变质核杂岩, 如幕阜山和亚干变质核杂岩, 具有与科迪勒拉变质核杂岩十分相似的特征。发育于燕山期或更早的变质核杂岩, 常具有多期伸缩交替的历史, 因而具有比科迪勒拉变质核杂岩更复杂的特点。发育于古被动陆缘或裂谷中的变质核杂岩, 如扬子西缘和燕山地区, 具有厚

达数 km 的中、新元古界或古生界沉积盖层组成的上地壳表层; 而发育于长期被剥蚀地区的变质核杂岩, 如呼和浩特, 常缺乏有记录新生代前的沉积盖层。与此同时, 由于岩浆底辟作用形成的热隆构造也很普遍, 如张宣^[20]、都山、涑易^[21]等热(穹)隆构造。实际上, 人们已经注意了热隆与变质核杂岩的形成关系。许志琴等^[22]在研究松潘—甘孜造山带时明确提出挤压造山后, 由于地壳或古老变质杂岩重熔, 出现以深熔花岗岩上隆, 在垂直的主应力作用下导致上部地壳伸展减薄的热隆构造。本文通过对拉脊山、化隆地区出露的变质核杂岩、主剥离断层及其上盘的浅层次脆—脆性滑脱断层的野外观察和研究, 阐述了中祁连拉脊山构造变形具有伸展构造性质, 这对深入研究青藏高原新生代构造隆升及其深部背景是有意义的。

1 概况

拉脊山伸展构造主要分布于中祁连南部化隆一带。以拉脊山南坡塔洞—关安寺院—旦庄沟主剥离断层(F_1)为界, 北为主剥离断层上盘脆性伸展剥离区, 南为下盘韧性变质核杂岩隆升区(图1)。伸展剥

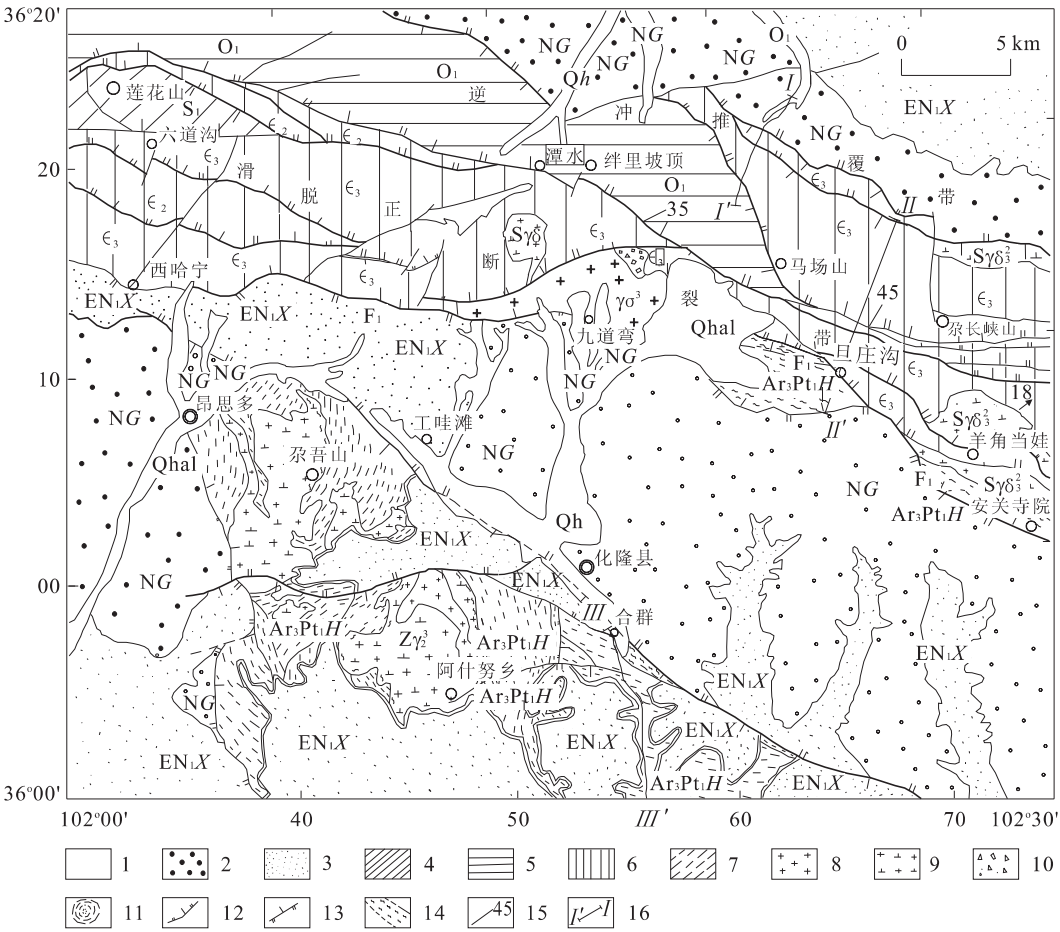


图 1 拉脊山—化隆一带热隆伸展构造

Fig. 1 Thermal upwelling structure from Lajishan to Hualong

1. 第四系河流冲积; 2. 上第三系贵德群; 3. 下第三系西宁群; 4. 志留系; 5. 下奥陶统; 6. 中、上寒武统; 7. 新太古—古元古化隆群; 8. 花岗岩体; 9. 志留系花岗闪长岩体; 10. 闪长质混染岩; 11. 穹状变质核杂岩体; 12. 正断层; 13. 逆断层; 14. 主折离断层韧性剪切带; 15. 伸展拉伸线理产状; 16. 剖面位置

离区分布与现在拉脊山脉一致。由于拉脊山是祁连山造山系中的一条近东西向展布的构造带,它西起日月山,东至民和官亭,全长超过 200 km,宽 10~30 km,两侧被断裂所限,中间发育早古生代火山岩地层、蛇绿岩套、晚期侵入的斜长花岗岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及各种类型的岩脉和许多层间和顺层滑脱—脆性断层。在这套早古生代岩层中,伸展主剥离断层及其上盘的浅层次脆—脆性剥离断层,在拉脊山主峰和南坡,以阶梯状正断层组合形式,向北滑脱,并在拉脊山北坡以叠瓦状逆冲断层组合形式向北逆冲于第三系之上(图 2)。变质核杂岩隆升区主要分布于拉脊山以南、化隆一带。变质核杂岩由新太古—古元古化隆群(Ar₃Pt₁H)角闪岩相—高绿片岩相的黑云混合片麻岩、石榴黑云石英片岩、浅色均质混合岩、角闪斜长片麻岩、TTG 岩系等组成,

呈长垣状东西向展布,长约 160 km,宽约 35 km。变质核杂岩中明显存在两期变形。具拉伸线理的缓倾斜面理叠加在前期紧闭的高角度褶皱之上。高角度的紧密褶皱可能是前加里东造山阶段在地壳深部韧性变形条件下形成的共轴流褶皱。岩石强烈糜棱岩化,糜棱岩带顶部被低角度的、具拉伸线理的面理所切割,具有 SL 构造岩特征,反映后期它曾遭受过非共轴流动的韧性变形。这期变形与变质核杂岩的伸展—隆升作用有关。

变质核杂岩的顶部为一个由糜棱岩类岩石构成的韧性剪切带滑脱面。沿韧性剪切带滑脱面上部发育了一条规模较大的低角度主剥离断层。

由此可见,拉脊山伸展构造主要是由变质核杂岩、主剥离断层及其上盘的浅层次脆—脆性滑脱断层组成,反映青藏高原东北缘祁连山一带存在大陆

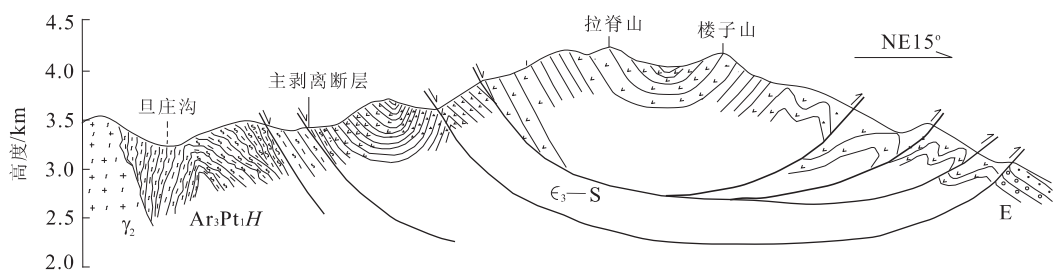


图2 拉脊山伸展剥离断层剖面

Fig. 2 Section of extending and peeling off fault of Lajishan

伸展构造变形特征.

2 变质核杂岩的组成

化隆变质核杂岩呈EW向长垣状出露拉脊山南部地区,长约150 km,宽约30 km.核杂岩(韧性变形层)由新太古—古元古化隆群(Ar_3Pt_1H)角闪岩相—高绿片岩相的黑云混合片麻岩、石榴石黑云石英片岩、浅色均质混合岩、角闪斜长麻岩、TTG岩系等组成.以核杂岩东侧塔洞、旦庄沟一带为例,在基底剥离断层之下的核杂岩石普遍发育透入性糜棱面理,经研究,变形岩石有长英质糜棱岩、糜棱片麻岩和黑云千糜岩.长英质糜棱岩中常见长石碎斑的阶步结构、核幔构造、压力影、不对称云母鱼构造及石英条带内的石英斜列式结构.这些结构、构造提供了正断式剪切滑动标志.核杂岩的上部为一个由糜棱岩类岩石构成的韧性剪切带(脆—韧性变形层),在韧性剪切带顶部的基底剥离断层之上是中、上寒武统六道沟组和下奥陶统(脆性变形层),该套地层通过层间剥离断层与上覆盖层第三系或花岗岩接触.变质核杂岩范围内的花岗质岩石均不同程度地经历了变形变质作用.变质核杂岩东北侧出露了低角度 $\angle 35^\circ \sim \angle 50^\circ$ 的塔洞—安关寺院—旦庄沟韧性剪切带,它们是深部伸展剪切活动的产物.沿韧性剪切带顶部发育了大规模的低角度剥离断层.该断层将变质核或中间层与上部盖层分隔开.塔洞—安关寺院—旦庄沟基底剥离断层(F_1)地表断续出露长约25 km,剥离断层面产状为 $30^\circ \sim 45^\circ \angle 35^\circ \sim 50^\circ$,下伏太古代变质杂岩,上覆下古生界中、上寒武统火山碎屑岩.剥离断层面之上有2余米断层泥,之下有数米的角砾岩带,角砾大多由下伏的糜棱岩或糜棱片麻岩组成.主剥离断层之下的韧性剪切带宽出露约0.5~1 km.按主断面倾角 30° 估算,沿这个剥离断

层面将有15~18 km深(即相当于绿帘石—角闪石相变质深度)的变质核杂岩“抽拉”到地表,剪切位移量约25~27 km.在大加沿沟一带基底剥离断面以下的脆—韧性剪切带宽出露比较窄,约500 m.剥离断层面与下伏糜棱杂岩的糜棱面理一致.在剥离断层下盘附近的岩石大多变成千糜岩,并有绢云母、绿帘石、绿泥石、石英等新生矿物的形成.由于糜棱岩化后界线变得模糊不清或渐变过渡.在靠近拆离面的底层出现角砾状糜棱岩,沿角砾之间产生绿帘石化.岩石亦受到较强的糜棱岩化及片理化,具有脆—韧性变形层构造变形特征.

化隆变质核杂岩的一个重要特征是在核杂岩形成前和形成过程中均伴有强烈的构造岩浆活动,变质核杂岩面积的20%被岩体所占据.此外,化隆变质核杂岩中部被晚期的北西向逆断层(下沙浪—三塘逆断裂)所改造,伴随这期逆冲断层也形成一套相对低角度 $210^\circ \angle 30^\circ$ 的糜棱面理.

3 变质核杂岩的变形特征

化隆变质核杂岩变形总体显示了向北东下滑的特点.在东侧塔洞一带,低角度韧性剪切带稳定的糜棱面理产状 $30^\circ \angle 30^\circ \sim 65^\circ$,拉伸线理 $20^\circ \sim 60^\circ \angle 35^\circ \sim 55^\circ$,拉伸线理均指示该正断层具有左型下滑的运动方式.在关藏沟一带,新太古—古元古的表壳岩中可见到非常发育的透入性糜棱面理($20^\circ \angle 60^\circ$),并可见与伸展构造有关的褶皱(F_2)明显叠加在早期的褶皱(F_1)之上,呈现复杂的干涉形式.在台群一带,根据微型褶皱与旋转碎斑可辨别出该变质核杂岩至少有两次构造作用.两次构造运动的应力方向均为NS向.第1次构造由伸展剪切作用所形成的中深层次的韧性流变及向北倾斜的糜棱面理,从韧性流变褶皱判别运动方向向北,顺着糜棱面

理向北拆离,拆离面在当时可能是低角度的.第 2 次构造作用发生在伸展后期,表现为对冲,使变质核杂岩岩系逆冲于第三系之上,并造成低角度的糜棱面理及拆离面产状变陡.

3.1 不同层次的变形特征

Lister 等^[23]在总结科迪勒拉变质核杂岩时,提出了两层结构的问题.宋鸿林^[7]等在研究房山变质核杂岩时提出三层结构的看法,强调了核和盖层之间存在中间层,在中间层以上是层间剥离断层,以下是基底剥离断层.笔者在研究化隆变质核杂岩过程中支持后一种观点.本文采用“韧性变形”,“脆—韧性变形”和“脆性变形”等术语描述这三层变形特征.

(1)变质核的韧性变形.变质核的韧性变形在太古代地层中表现得更为明显,以变质核杂岩东侧塔洞、旦庄沟一带的变形—变质带为例,在基底剥离断层之下普遍发育透入性糜棱面理,变形岩石有长英质糜棱岩、变余糜棱片麻岩.长英质糜棱岩中常见长石碎斑的阶步结构、核幔构造、压力影、不对称云母鱼等构造.这些结构、构造提供了正断式剪切滑动标志.层内流褶曲及保留的无根褶曲不仅表明其经历的韧性变形,而且还保留了剪切滑动的指向标志.(2)中间层的脆—韧性变形.变质核杂岩北侧往往可以看到中、上寒武统中发育起来的层间剥离断层.在上寒武统六道沟组粉砂质板岩中发育一组低角度滑动面理 $45^{\circ}/12^{\circ}$,面理间距 $2\sim 10\text{ cm}$,在剪切作用下形成典型的 S—C 糜棱岩和剪切滑动形成平卧褶皱,还可以看到扁平状砾石被拉断形成的石香肠,两端有明显的压溶及拖尾变形现象.板岩的角岩化现象标志伸展剥离区经受了热变质作用,形成一些多硅白云母.另外,在这套早古生代岩层中,伸展主剥离断层及其上盘的浅层次韧—脆性剥离断层,在拉脊山主峰和南坡,以阶梯状正断层组合形式,向北滑脱,并在拉脊山北坡以叠瓦状逆冲断层组合形式向北逆冲于第三系之上.上盘脆性层的变形特征基本反映了由于下盘变质核杂岩“热垫”导致上盘变质作用之后,又经受了近水平的剪切作用.(3)盖层的脆性变形.变质核杂岩东侧,由少量下白垩统组成的滑覆岩块沿产状 $55^{\circ}/30^{\circ}$ 的层间剥离面向 NE 方向下滑,上盘下滑形成的擦痕产状为 $20^{\circ}/40^{\circ}$ 指示上盘下滑同时具有左旋剪切作用.

综上所述,主剥离断层面上、下经历了完全不同的变形过程,反映了下盘岩层重熔或岩浆底辟热伸展过程中不断被抽拉并隆升至地表.

3.2 核杂岩的伸展变质

从变质核杂岩的变质作用来看,它们属于一套偏低压的伸展变质产物,区别于挤压造山过程的变质作用.变质核杂岩的热变质作用由片麻岩、片岩(黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩、石榴石斜长角闪片岩)、长英质粒岩类、大理岩组成,其原岩为陆源碎屑岩,局部夹基性沉凝灰岩.变质相为低温绿帘角闪岩相的变质岩石.根据变质杂岩核部伴随早期伸展剪切形成的糜棱岩,据黑云母、石榴石矿物对计算,其形成温度介于 $625\sim 630^{\circ}\text{C}$ 之间.变质压力,考虑伸展时期地壳要比现在的薄,假定按 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 的地热增温率计算,发生变质的深度约 20 km ,据此推得压力约为 0.63 GPa .另外根据十字石—石英组合的平衡区间的 pT 图解^①,所对应的变质的压力为 0.64 GPa ,与所推得的变质压力相吻合.由此可以得出,变质核杂岩的变质温度较高,压力偏低,属偏低压型区域热流变质作用.

3.3 变质核杂岩的隆升时期

从组成变质核杂岩盖层的时代看^①,上新统贵德群可以被认为是变质核杂岩隆升的下限时间,在化隆变质核杂岩东侧上新世断陷盆地中可见到渐新统砾岩,砾石成分复杂,分选、胶结差,分布受断层控制,主要分布于隆起北侧和东侧,盆地内部逐渐消失,属于一套快速堆积产物.按渐新世下限 32 Ma 计,大体可以认为 $32\sim 23\text{ Ma}$ 是快速隆升的时期.处于青藏高原隆升的第 2 个时段($25\sim 17\text{ Ma}$)前期.

4 变质核杂岩的隆升机制讨论

自 20 世纪 70 年代美国学者在北美西部科迪勒拉山的构造研究中提出变质核杂岩的概念以来,大陆山区伸展构造和变质核杂岩的研究,一直为构造地质界密切关注.Coney^[24]指出,科迪勒拉变质核杂岩是一群由异常变形的变质岩和侵入岩组成的穹形或拱形的孤立的隆起,其上为构造滑脱和扩张的不变质的盖层.它们是地壳深部($\geq 10\sim 15\text{ km}$)中、下地壳的物质,因伸展作用而沿大型低角度拆离断层被拉出地表,并造成一大套地壳柱被切失.从国内外已报道的多种形式的变质核杂岩可以看出,伸展作用能使地壳变薄,使深处的中、下地壳岩石接近地表,但要使其出露地表,并上升成山,必须还有其他

①青海省地质矿产局,第九地质队五分队.上加合、化隆回族自治县幅 1:5 万区域地质调查报告,1987.

的因素. 热隆说受到了人们的重视. Critenden^[25] 趋向于认为科迪勒拉变质核杂岩代表局部的热点, 是非均一热事件的产物. 变质核杂岩周围的高古地热异常及与变质核杂岩紧密相伴的同构造中、酸性岩浆岩的侵入, 也从另一方面反映了地壳的局部增热. Zheng 等^[3] 在研究云蒙山变质核杂岩时, 曾提出热隆作用的意义. 许志琴等^[22] 在研究川西丹巴和雅江地区的构造中, 也提出了热隆伸展构造的论点, 强调在逆冲收缩事件后大量印支期及燕山期地壳重熔及 S 型花岗岩侵位, 使地壳变热, 出现以上升的深熔花岗岩体为中心或古老变质杂岩重熔而上隆所造成的热隆构造. 而拉脊山、化隆变质核杂岩, 在核杂岩形成之前, 该区就有强烈的岩浆作用, 形成各种类型的花岗岩. 这些岩体中存在规模较大呈圈闭状的韧性剪切变形带(图 1), 表明这些早期侵位的岩体受到了变质核杂岩伸展隆升作用的改造. 这一事实表明, 岩石圈的伸展减薄与地壳重熔及 S 型花岗岩侵位所造成的热隆是化隆变质核杂岩形成的 2 个重要的地质因素. 结合青藏高原的“热壳、热幔、厚壳”特征, 热力作用不仅能增强地壳的蠕变变形, 造成地壳的缩短和加厚, 而且可促使地壳发生重熔、热扩散, 为地壳上浮、隆升提供条件. 因此, 结合拉脊山、化隆一带伸展构造变形特征, 其变质核杂岩的隆升机制如图 3 所示.

在印度板块向欧亚板块碰撞挤压, 产生大规模滑脱—逆冲收缩事件之后, 青藏高原发生大量地壳重熔及 S 型花岗岩的侵位, 使冷地壳转变为热地壳, 并出现以上升的深熔花岗岩体为中心或者古老变质杂岩重熔呈柱状, 顶部具半球状顶冠和细颈尾柱的蘑菇柱状的高温低粘度热物质流而上隆, 形成类似于地幔柱式的“热隆”构造, 它不仅可引起地壳深熔、大规模的 S 型花岗岩浆活动、区域变质作用, 还

可以使地壳伸展, 使变质核杂岩隆升. 而地壳伸展的机制是由于热隆作用, 引起地幔上隆, 产生垂向压力, 加上均衡作用, 使得上地壳下陷, 中—下地壳向周围伸展—迁移, 周围地壳加厚, 发生侧向伸展. 所以, 热隆作用引起伸展, 而不是伸展导致热隆.

5 大地构造意义

目前, 青藏高原北缘的北祁连、拉脊山造山带被纳入青藏高原隆升的统一动力学系统. 一些学者开始强调喜马拉雅期的再造山作用. 青藏高原在始新世中期(45 Ma)以后已全部成陆, 并开始大规模的隆升. 其隆升时段大体可分为 4 个阶段: 即 45~38、25~17、13~8 Ma 和 3 Ma 以来. 隆升是以多阶段、非均一、不等速为特征, 根据近年 MT 热流测量、深地震测深和层析成像等资料, 深部存在低阻、低速和高导层及高热流值, 使青藏高原具有“热壳、热幔、厚壳”特征. 热力作用不仅能增强地壳的蠕变变形, 造成地壳的缩短和加厚, 而且可促使地壳发生重熔、热扩散, 从而产生低密度空间, 为地壳上浮、隆升提供有利条件. 拉脊山伸展构造的变质核杂岩隆升就是在这样壳—幔隆升的热演化背景下形成的, 是热隆导致了地壳的伸展减薄. 再联系到变质核杂岩逆冲于第三系贵德群之上, 可以认为该区新生代伸展构造活动是占主导地位的, 伸展作用在该区的构造演化中占有不容忽视的重要作用. 笔者认为研究区从新生代以来基本处于伸展状态下, 这主要与青藏高原大陆岩石圈板内的软流物质上涌有关. 因此, 无论对拉脊山地区伸展构造的地球动力学作何种成因解释, 我们都可以将它看作是研究青藏高原岩石圈结构和演化的重要窗口之一.

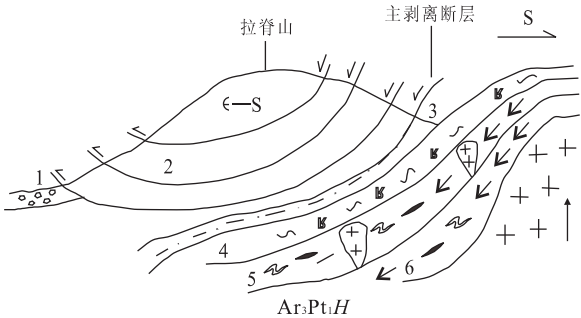


图 3 拉脊山、化隆地区热隆伸展模式

Fig. 3 Model of thermal upwelling of Lajishan and Hualong
1. 第三系; 2. 寒武—志留系; 3. 糜棱岩; 4. 糜棱岩化混合岩;
5. 斜长片麻岩、长英质片麻岩; 6. 基性岩

参考文献:

[1] 宋鸿林. 变质核杂岩研究进展、基本特征及成因探讨 [J]. 地质前缘, 1995, 2(1-2): 103-111.
SONG H L. An overview of metamorphic core complexes—characteristics and discussion of its origin [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(1-2): 103-111.
[2] Davis G A, Zheng Y. A possible Cordilleran-type metamorphic core complex beneath the Great Wall near Hefangkou, Huairou County, northern China [J]. Geol Sci Am Abs, 1988, 20: 324.
[3] Zheng Y, Wang Y, Liu R, et al. Sliding thrusting tectonics caused by thermal uplift in the Yunmeng

- mountains, Beijing, China [J]. *J Struct Geol*, 1988, 10: 135—144.
- [4] Davis G A, Qian X, Zheng Y, et al. Mesozoic deformation and plutonism in the Yumengshan: a metamorphic core complex north of Beijing, China [A]. In: Harrison M, Yin A, Rubey V, eds. *Tectonics of Asia* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 253—280.
- [5] 韦必则, 宋鸿林. 北京房山变质核杂岩 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 42—47.
WEI B Z, SONG H L. Metamorphic core complexes in Fangshan, Beijing [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990. 42—47.
- [6] Song H, Wei B. Metamorphic core complexes and its significance in the continental crust evolution [J]. *J China Univ Geosciences*, 1990, 1: 111—121.
- [7] 宋鸿林. 北京房山变质核杂岩基本特征及其成因探讨 [J]. *现代地质*, 1996, 10(2): 149—158.
SONG H L. Metamorphic core complex—characteristics and origin in Fangshan, Beijing [J]. *Geoscience*, 1996, 10(2): 149—158.
- [8] 郑亚东, 张青. 内蒙古亚干变质核杂岩与伸展拆离断层 [J]. *地质学报*, 1993, 67: 301—309.
ZHENG Y D, ZHANG Q. Metamorphic core complexes and extending-peeling fault in Yagan, Inner Mongolia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1993, 67: 301—309.
- [9] 傅昭仁, 李德威, 李先福, 等. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 110.
FU Z R, LI D W, LI X F, et al. Analysis of metamorphic core complex, decollement fault and their control on ore mineralization [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992. 110.
- [10] 金维浚, 宋鸿林, 马文璞. 桐柏—大别山西段的伸展构造 [J]. *地质科学*, 1997, 32(2): 156—164.
JIN W J, SONG H L, MA W P. Extensional tectonics in Tongbai-west Dabie mountain [J]. *Chinese Journal of Geology*, 1997, 32(2): 156—164.
- [11] 索书田, 钟增球, 张宏飞, 等. 桐柏山高压变质带及其区域构造型式 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(6): 551—559.
SUO S T, ZHONG Z Q, ZHANG H F, et al. High pressure metamorphic belt and its tectonic pattern in Tongbai mountains, Central China [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(6): 551—559.
- [12] 罗庆坤, 刘国生, 王彪. 下扬子区安庆附近洪镇变质核杂岩的研究 [J]. *南京大学学报*, 1993, 4: 14—25.
LUO Q K, LIU G S, WANG B. Research of metamorphic core complex in Hongzhen, near Anqing in the lower Yangtze region [J]. *Journal of Nanjing University*, 1993, 4: 14—25.
- [13] 李德威. 洪镇变质核杂岩及其成矿意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 1993, 17: 220—221.
LI D W. Geological characteristics and metallogenic significance of Hongzhen metamorphic core complexes, Anhui [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1993, 17: 220—221.
- [14] 胡正国, 钱壮志, 阎广民, 等. 小秦岭拆离变质核杂岩构造与金矿 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994.
HU Z G, QIAN Z Z, YAN G M, et al. Relationship between denudational metamorphic core complex and gold ore in Qinling [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1994.
- [15] 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造与超大型矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 137—142.
ZHAI Y S, ZHANG H, SONG H L, et al. Relationship between giant tectonics and super giant ore deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 137—142.
- [16] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁, 等. 扬子地台西缘变质核杂岩带 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 94.
YAN D P, SONG H L, FU Z R, et al. Metamorphic core complexes along western margin of Yangtze platform [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 94.
- [17] 侯立玮. 扬子克拉通西缘穹隆状变形变质体的类型与成因 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1996. 13—27.
HOU L W. Type and origin of core complexes and domal deformational-metamorphic bodies in the western margin of Yangtze craton [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1996. 13—27.
- [18] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 医巫闾山变质核杂岩构造特征 [J]. *地球学报*, 2001, 7(1): 79—91.
MA Y S, CUI S Q, WU G G, et al. Structure feature of metamorphic core complex in Yiwulüshan mountains, West Liaoning [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 7(1): 79—91.
- [19] 王新社, 郑亚东, 张进江, 等. 呼和浩特变质核杂岩伸展运动学特征及剪切作用类型 [J]. *地质通报*, 2002, 21(4—5): 238—245.
WANG X S, ZHENG Y D, ZHANG J J, et al. Extensional kinematics and shear type of the Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4—5): 238—245.

[20] 李红阳, 阎升好, 王金锁, 等. 热点与成矿——试论冀西北金、银多金属成矿区壳幔成矿机制[J]. 矿产与勘查, 1996, 5(2): 81—88.
LI H Y, YAN S H, WANG J S, et al. Hotspot and metallogenesis: the crust-mantle metallogenic mechanism of the Au-Ag poly metallic mineralization area in Northwest Hebei [J]. Geological Ore Exploration, 1996, 5(2): 81—88.

[21] 傅朝义. 河北省变质核杂岩[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(3): 10—16.
FU C Y. Metamorphic core complex in Hebei [J]. Geology and Mineral Resources Research, 1999, 14(3): 10—16.

[22] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
XU Z Q, HOU L W, WANG Z X. Evolution of Songpan-Ganzi orogenic belt, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

[23] Lister G S, Davis G A. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado region [J]. USA Struct Geol, 1989, 11: 65—94.

[24] Coney P J. Cordilleran metamorphic core complexes: an overview [J]. Mem Geol Soc Am, 1980, 153: 7—31.

[25] Critenden M D. Metamorphic core complexes of the North American Cordillera: summary [J]. Mem Geol Soc Am, 1980, 153: 485—490.

Metamorphic Core Complex Structure and Uplifting Mechanism
in Lajishan-Hualong Area

ZHANG Wang-sheng, FENG Guang-sheng, GAO Shan, SUN Lin-hua
(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper studies the metamorphic core complex in Lajishan-Hualong area, middle Qilian. Its core consists of Archeozoic and Proterozoic Hualong Group metamorphic complexes undergoing ductile deformation, with its median layers, Middle-Upper Cambrian and mass of magmatic rocks undergoing plastic deformation of low-pressure metamorphism, and overlayers, Lower Cretaceous experiencing minor brittle deformation without metamorphism. The composition and texture of the metamorphic core complex show features of symmetrical extension and uplifting and a rapid uplifting period within 23 to 32 Ma and displacement quantity of normal denudational faults about 25—27 kilometres. The mineral pair calculation measures its extensional metamorphic temperature about 625—630 °C, the metamorphic depth about 20 km and the metamorphic pressure about 0.63 GPa, which shows that it should belong to a regional thermal current metamorphism of low-pressure type. In the light of long run thermal crustal, thermal mantle, thick crustal evolution and tectonics upwelling of the Qinghai-Tibet plateau, the Lajishan-Hualong metamorphic core complex can be considered as a typical example of crust extension caused by thermal upwelling of mantle. The Lajishan-Hualong area can, therefore, become a window to look into the structure and tectonic upwelling of the Qinghai-Tibet plateau lithosphere.

Key words: metamorphic core complex; thermal upwelling; extensional tectonic; Lajishan.