地 质 科 学
2002年 1 月 CHINESE JOURNAL OF GEOLOGY 37(1):79—85

中蒙边界区亚干变质核杂岩的组成与结构*

王 涛[1] 郑亚东[1] 李天斌[2] 高永军[1] 马铭波[1]

(1. 北京大学地质学系 北京 100871; 2. 宁夏回族自治区地质调查院 银川 750021)

摘 要 亚干核杂岩的变质核由条带状片麻岩、大理岩-糜棱状片(麻)岩、糜棱片麻状花岗岩、石英片岩等单位组成,拆离带由糜棱岩带、绿泥石化带、微角砾岩—假熔岩带、拆离断层面、断层泥和断层角砾构成,上盘岩系主要有二叠系、侏罗系、白垩系以及白云质大理岩异地块体。这些单位从构造角度可归结为3层结构并发育2个拆离带,显示了多层构造岩片由多个韧性拆离带经过长期递进伸展抬升叠置的特点,可能揭示了一种大陆内部多层伸展构造体系的特征。

关键词 组成 3层结构 亚干变质核杂岩 伸展构造

晚中生代伸展构造是中-东亚地区特别是中国华北及邻区显著的地质特征。中蒙边界区发现的大型变质核杂岩(亚干变质核杂岩)为一典型实例(Zheng et al., 1991; Zheng and Zhang, 1994),表明大规模的伸展应变发育至东亚内陆腹地,引起了国内外有关学者的关注(Johnson et al., 1997; Webb et al., 1997, 1999)。近期美国最大的研究亚洲地质的斯坦福大学中国研究组在蒙古境内开展了对比研究,确认了亚干-翁奇海尔罕(Onch OHayrhan)变质核杂岩(Webb et al., 1997, 1999)。目前,上述学者已对该核杂岩的地质产状、基本组成和运动学特征以及时代、意义等方面进行了研究,表明该核杂岩是我国最为典型的变质核杂岩,具有北美科迪勒拉变质核杂岩的主要特征。本文在填图基础上,进一步详细研究其组成和结构,特别是厘定出3层构造单位叠置的结构特点,与一般经典核杂岩的双层结构还有所不同。这不仅为该核杂岩的进一步深入研究奠定了基础,对丰富变质核杂岩组成特征的认识也具有重要意义。

1 区域地质背景

亚干-翁奇海尔罕变质核杂岩位于内蒙古自治区阿拉善盟西部,北延入蒙古南部,大地构造位置上属于华北地台、塔里木地台和西伯利亚地台3大构造单元的构造结合部的海西—印支造山带。该区主要出露角闪岩相深变质岩系、元古代黄褐色白云质大理岩及古生代浅变质岩系和中生代沉积岩系。其中,元古代大理岩主要以推覆体形式叠置于新地层之上(Zheng et al., 1996)。古生界(包括上二叠统的典型浊积岩)已经历了绿片岩相的区域变质作用。晚二叠至晚三叠世为隆升和造山期,上三叠统为陆相的红色磨拉石。侏罗系以褐色块状角砾岩为主,零星分布于杂岩东南外围。下白垩统主要由砾岩等粗碎

* 国家自然科学基金(编号: 49872072)和中国博士后科学基金资助项目。
王 涛,男,1959年2月生,博士后,构造地质学专业。
2000-10-19收稿,2000-12-19改回。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

屑岩组成, 为同伸展盆地快速堆积产物。

据 Zheng et al. (1991) 和 Zheng and Zhang(1994) 研究, 该区古生代末-三叠纪造山后于早侏罗世晚期发育大规模推覆构造; 之后, 亚干核杂岩叠加于之上。据目前获得的同构造花岗岩及糜棱岩年龄 128~ 155 Ma(Zheng and Zhang, 1994; Webb et al., 1999) 和中侏罗世-白垩纪同伸展沉积盆地分析, 伸展构造至少开始于早侏罗世末, 并持续到晚白垩世。

2 亚干核杂岩的组成

亚干核杂岩由变质核、拆离带及上盘组成, 其中变质核可分为 4 个构造-岩石单位。

2.1 变质核结晶岩系——亚干杂岩

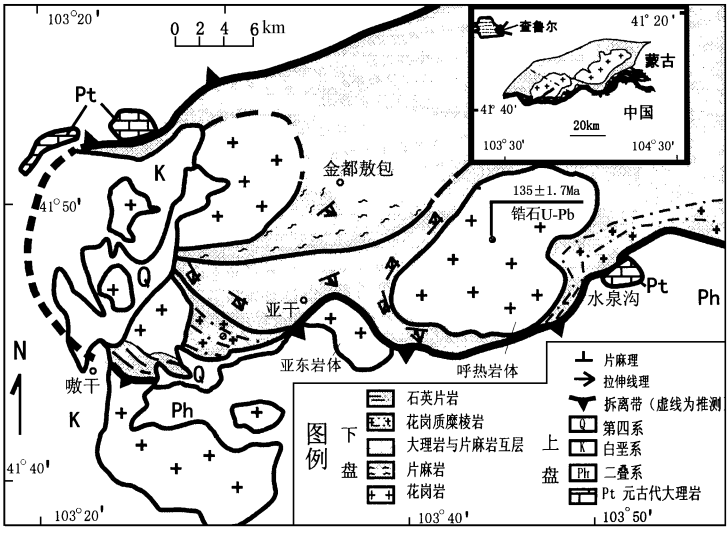


图 1 亚干变质核杂岩的地质略图(蒙古部分据 Webb et al., 1999)

Fig. 1 A sketch map of the Yagan metamorphic core complex

上述角闪岩相深变质岩系构成变质核杂岩的下盘即核部结晶岩系。它呈椭圆形穹状隆起, 其主体向北东延入蒙古国, 总面积约(90 × 20) km^2, (图 1)。在中国境内, 该岩系原称前长城系嘎顺陶来群①。在蒙古境内, 该套岩系归为元古界变质杂岩(转引自 Webb et al., 1999)。中国境内的详细填图, 发现该套结晶岩系具有复杂的岩石组合, 可分为以下 4 个主要单位。

(1) 条带状片麻岩单位 分布于亚干杂岩的中部, 岩性上可分为 2 部分。一部分为条带状或眼球状黑云斜长(二长) 片麻岩、角闪黑云母斜长片麻岩、条带状混合片麻岩和黑云斜长变粒岩。条带状构造由浅色条带(或脉体) 与暗色条带(基体) 相间平行排列构成; 前者为长英质, 一般宽 0.5~ 1 cm, 长者可达 30~ 60 cm, 边界较清晰, 有的边界渐变; 后者由黑云母、石英、长石富集构成, 一般宽 0.5~ 0.8 cm, 长者可达 20~ 50 cm。一些长英质脉体变形后呈眼球状, 有些片麻岩长英质条带宽约 0.4~ 0.6 cm, 长约 10~ 40 cm, 边界不甚清晰, 具有变质分异条带特点。暗色条带较宽, 0.5~ 2 cm, 长约 30~ 70 cm。总体而言, 北部(核部) 条带状片麻岩具有注入特征的混合岩特点, 长英质脉体发育, 占岩石的 30%~ 60%; 南侧向外, 片麻岩具有某些变质分异混合条带特点, 长英质条带(数量、宽度) 略少一些, 占岩石的 20%~ 40%。有些岩石粒度变化(长英质) 和条带多少的差异等所表现出的

① 宁夏回族自治区地质矿产局区调队. 1982. 哈日奥日布格幅(K-48, XX) 地质图说明书.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

“成层”性, 局部发育富云母片麻岩和(角闪) 黑云斜长变粒岩, 具有副变质岩的特点。这类岩石占亚干杂岩的 10%~ 30%。该单位中还见大量花岗质片麻岩或糜棱状花岗岩, 岩性均匀, 糜棱岩化强烈, 原岩可能多为古侵入岩体, 如灰黑色糜棱片麻状含小斑黑云母花岗闪长岩、糜棱片麻状中粒黑云母二长(或花岗闪长) 岩、中细黑云母二长花岗岩。它们一般出露宽度几十米至百余米不等。有些石英含量高的花岗质片麻岩原岩可能是火山岩。

(2) 条带状大理岩-糜棱状片(麻) 岩单位　分布于片麻岩单位南、东侧, 为条带状(糜棱状) 大理岩与糜棱状片麻岩, 长英质、花岗质变晶糜棱岩(原称变质流纹岩) 和黑云斜长变粒岩“互层”。与上述片麻岩单位渐变过渡, 由核杂岩中部向南部边缘大理岩层渐增, 厚度加大, 也可与片麻岩直接接触。大理岩多为灰白色、灰黄色、灰色的硅质、白云质大理岩, 一般宽约数米至几十米, 发育条带、条纹状的变形面理实为变余糜棱面理。可与钙硅酸岩及一些含钙的变粒岩、片麻岩(浅灰色, 少量黑云母) 共生, 原岩应为一套碳酸盐岩—含钙泥砂岩组合。与大理岩一同产出的片麻岩、片岩、糜棱岩主要有 3 种: 1) 条带状黑云斜长片麻岩, 可能为副变质岩; 2) 花岗质片麻岩, 长石呈小斑, 石英含量少, 原岩可能为花岗质侵入岩; 3) 长英质、花岗质变晶糜棱岩, 石英含量高, 粒度较细, 原岩可能为火山岩。另外, 条带状大理岩见斜长角闪岩透镜体, 它们可能是脉体变质、变形产物, 也可能是火山岩或副变质岩(特别是黑灰色矿物组成的斜长角闪岩)。

上述 2 个单位特征矿物组合指示主期变质达角闪岩相, 如角闪石+ 斜长石、黑云母+ 石英+ 斜长石+ 钾长石+ 熔体。它们位于亚干变质核杂岩中最下部; 另外, 几乎所有岩石都发育条带、条纹状变形面理(变余糜棱面理), 局部发育 a 型褶皱和鞘褶皱等流褶皱。在微观尺度下, 两种长石发育强烈的动态重结晶条带, 石英呈显高温流变形特点, 具变晶糜棱岩特征。这都显示了强烈的高温(600 ℃以上) 韧性流变, 在正常的地温梯度下, 可能代表中-下地壳的组成和变质变形。

(3) 糜棱片麻状花岗岩(花岗质糜棱岩带)　在亚干杂岩南部, 在大理岩-片麻岩单位南侧即上部发育较大的糜棱状花岗质岩及花岗质糜棱岩带, 呈线形平行区域面理分布, 向北东延入蒙古, 向西延至嗷干一带, 被白垩系、第四系覆盖, 延伸长度至少 30~ 40 km, 宽 1 ~ 4 km。其主体为糜棱状含斑中粗粒花岗质岩石, 以黑云母二长岩或糜棱状眼球状二长质片麻岩为主, 在水泉沟最为发育。岩石的面理和线理极为发育, 具 S-L 和 L 组构。以往几乎所有描述该核杂岩韧性伸展变形的事例均取自该糜棱岩带(Zheng and Zhang, 1994)。它们不同程度显示(亚) 岩浆流动机制组构→高温固态流动组构→中低温固态流动组构的连续过渡特点。其中, 斜长石、钾长石发育强烈的动态重结晶集合体条带, 显示了高温(至少> 600 ℃) 固态变形(Paterson et al., 1989), 表明在岩浆结晶过程中或结晶后不久便发生了高温变形, 这是同构造岩体的特点(Miller and Paterson, 1994; Schofield and D’lemos, 1998)。不同岩体发育的面理、线理产状一致, 但强弱有别, 显示了不同时期的递进韧性剪切作用。斜长石脆性破碎及绢云母的生成反映了后期低温固态变形的叠加, 使糜棱岩顶部进一步遭受改造(绿泥石化带)。

(4) 石英片岩单位　主要出露于核杂岩边部(如南部奥日布格南东侧和北西沙尔陶盖), 与上述(1)(2) 两单位未见直接接触, 其间为糜棱状花岗岩带。岩石类型主要为含云母石英构造片岩或长英质糜棱岩。矿物组成主要为石英、长石及少量黑云母、白云母。该

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

单位与上述单位的区别在于: 1) 原岩组成不同, 石英含量高; 2) 变质程度低, 未见条带状(长英质分异长带) 构造, 变质程度可能达绿片岩相; 3) 变形上以糜棱岩化为特征, 矿物强烈拉长定向如石英, 而上述片麻岩多为粒状结构(变质结晶或静态重结晶作用强); 4) 未见其它岩性夹层。

总体说, 上述(1) (2) 两个单位构成核结晶岩系的主体, 它们中除一些长英质、花岗质变晶糜棱岩原岩可能为中-酸性火山岩外, 大部分可能是变质变形的侵入岩体; 能够识别的具有成分层特点的副变质岩(片麻岩) 仅占整个片麻岩系的 10% ~ 30%, 原岩建造可能是一套(杂) 砂岩为主的碎屑岩加硅质、镁质碳酸盐岩及中-酸性至酸性火山岩系。此外, 核部岩系中还发育大量的椭圆形或不规则形花岗岩体(图 1), 我们新获得锆石 U-Pb 年龄 135 ±1.7 Ma, 与拆离带附近糜棱岩冷却年龄 126~ 160 Ma 相近, 为同构造晚期岩体。

2.2 拆离断层及拆离混杂带

由下而上, 拆离断层依次由绿泥石化带、微角砾岩—假熔岩带、拆离断层面角砾岩、断层泥等构成(Zheng et al., 1991; Zheng and Zhang, 1994; Webb et al., 1999)。绿泥石化碎裂岩带主要叠加于上述花岗质糜棱岩带的上部 100~ 200 m 范围内的绿泥石化带之上。在露头尺度和标本尺度可见绿泥石化带与糜棱岩间连续的递进变化。微角砾岩—假熔岩带紧贴拆离断层面之下, 厚 25~ 30 cm, 为一层暗褐色及暗绿色燧石状岩石。拆离断层面发育于假熔岩带顶面, 断层面平缓, 倾向 SSE, 见有摩擦镜面和擦痕, 与近水平的南南东向伸展有关, 与变质下盘中的拉伸线理所示的伸展方向相同。

拆离断层产状沿走向波折变化(图 1), 切割不同的岩石单位, 造成不同层位的单位接触。这说明脆性拆离断层不完全与韧性拆离带一致。局部地方, 拆离带显示了一定的混杂带的特点, 如在核杂岩南东和北西, (元古代?) 白云质大理岩块体直接盖于花岗质糜棱岩之上; 有些地带大理岩块体混入于糜棱岩中。在南部亚干地区, 变质核中的大理岩-糜棱状片(麻) 岩单位直接与上盘中生代花岗岩(262 Ma) 以断层相接。

2.3 上盘岩系

由二叠系、侏罗系、白垩系组成; 尚有元古代白云质大理岩外来岩块, 其中含叠层石大理岩可解释为飞来峰残块(Zheng et al., 1996)。二叠系发育轴面近直立的褶皱和劈理, 伴有低绿片岩相的动力变质作用, 构造上与核杂岩结晶岩系很不协调, 显然是海西—印支期挤压造山的产物。侏罗系和白垩系为同伸展陆相盆地沉积产物。下-中侏罗统(含 *Mongolianella* 等化石) 见有来自变质核糜棱状岩石的砾石(Zheng and Zhang, 1994)。总体上, 白垩纪地层产状近平缓, 无强烈挤压变形, 说明该时期及以后一直处于伸展构造背景。

3 亚干核杂岩垂向上“2 带 3 层”的组成结构及层次特点

上述岩石单元由中心向外、由下向上依次有序排列、叠置, 构成核杂岩核部结晶岩系。即, 核杂岩的下盘: 条带状片麻岩→大理岩-片麻岩→花岗质糜棱岩→石英片岩单位。如上所述, 石英片岩单位与片麻岩单位、大理岩-片麻岩单位变质程度差异较大, 可能属不同的地层系统或不同层次的构造岩片, 后经韧性拆离叠置在一起。它们之间发育的花岗

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

质糜棱岩带可能原来就是一韧性拆离带, 后被花岗岩愈合, 并再次糜棱岩化。因此, 核杂岩下盘可进一步分为 2 个构造单位: 下部的中-深变质岩片和上部的中-浅变质岩片, 前者由角闪岩相条带状片麻岩→大理岩-片麻岩构成; 后者由石英片岩构成。这样, 加上上盘, 从构造角度来看, 整个核杂岩可以分为 3 层 2 带: 下盘下部中-深变质岩片→花岗质糜棱岩带(古韧性拆离带) →下盘上部中-浅变质岩片→韧-脆性拆离带→上盘(图 2) 。个别单位现仍保持着正常的上下层次关系, 而且变形形式以面理、线理化为主, 褶皱不甚发育。这显然是一种伸展构造体制下构造地层格架和岩片叠置及变形的特点。

在上述不同层次岩片叠置的基础上, 后期退变质的叠加, 特别是在核杂岩核部岩系的上部和近拆离带附近, 造成同一岩石单位出现不同的变质变形特征和层次特点, 如下盘下部角闪岩相中-深变质岩片单位中的一些片麻岩发生绿帘角闪岩相退变质。在核杂岩拆离带中, 叠加有绿泥石化动力退变质及绿片岩相变形, 并可见变形花岗岩→糜棱花岗岩→遭受改造的糜棱岩→绿泥石化带→碎裂岩带递变现象。这些同一岩石中的退变质现象和变形的叠置体现了由深到浅递进抬升的特点。

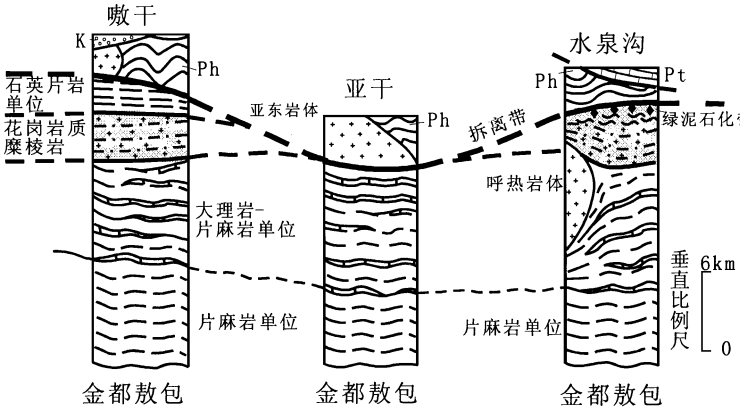


图 2　亚干变质核杂岩垂向结构示意图

Pt. 元古代白云质大理岩; Ph. 二叠系; K. 白垩系

Fig. 2　Vertical texture of the Yagan metamorphic core complex

4　讨论及结论

变质核杂岩经过几十年的研究已有较成熟的认识, 特别是其组成结构。经典的核杂岩如北美科迪勒拉区核杂岩为上、下盘双层结构。宋鸿林(1995) 提出还有 3 层结构, 即盖层(上盘) 和变质核(下盘) 之间发育复杂变形的浅变质层状岩系的中间韧性流变层, 是沉积盖层下部在较高温度下达到韧性流变限后在近水平剪切下的产物, 为核杂岩构成的第 3 层构造单位。本文确定的亚干核杂岩也具有 3 层结构, 略有不同的是, 每个层原来可能就是独立的不同层次的构造—岩石单位或构造岩片, 之间分别发育有 2 个韧性拆离带。因此, 主拆离带下盘还可进一步分为 2 个次级单位, 它们如同经典的核杂岩上、下盘经拆离相互叠置一样, 也是由韧性拆离叠置在一起。据此还可推测, 一个大的伸展体系有可能发育 2 个甚至多个不同层位的拆离带, 造成多个不同层次的构造岩片有序叠置而形成一种复杂有序的伸展拆离系统, 犹如逆冲断裂系造成的多个逆冲岩片叠置一样。今后应注意这种多层伸展拆离系统的识别和研究, 它们可能提供有关大陆地壳流变学剖面特征的信息。如果再考虑到上盘存在的元古代大理岩推覆体, 亚干核杂岩的结构更为复杂。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://

这种垂向结构特点既反映了原不同地壳层位的构造岩片的伸展叠置,又显示了由深部到浅部的递进伸展抬升过程,说明核杂岩的形成是一个由深部开始启动,逐渐伸展抬升的长期过程。目前国内外对核杂岩形成的研究特别是时代的确定,过多地集中于拆离带附近的糜棱岩带,如 Webb et al. (1999) 仅用糜棱岩的黑云母冷却年龄来讨论核杂岩的形成时代,得到年龄一般偏新,限定的形成时间很短。实际上伸展构造可能很早就启动了,核杂岩只是伸展构造发育的主期甚至后期才"快速"形成的。要了解整个伸展过程,特别是探讨其与早期挤压推覆的转换关系,对早期伸展事件的了解至关重要。核杂岩最下部的中-深变质岩片记录有中-下地壳开始伸展的信息,其年代学研究可以限定早期伸展时限。所以,这种垂向结构的鉴别为探讨核杂岩启动的层次和起始时间奠定了基础。

综上所述,亚干核杂岩的组成单位由下之上依次是条带状片麻岩→大理岩-片麻岩→花岗质糜棱岩带→石英片岩单位→脆-韧性拆离带→上盘(近变质)沉积岩系,构造上可分为3层2带。各单位可能原属不同的地层系统或不同层次的构造岩片,后经长期韧性拆离叠置在一起,并叠加递进的伸展抬升的退化变质,揭示了大陆内部多层伸展构造体系的特征。这对研究核杂岩的组成结构、形成演化及了解大陆流变学剖面都具有重要意义。

致谢 刘树文、张进江参加了部分野外工作,并给予了有益学术讨论,在此致谢。

参 考 文 献

宋鸿林. 1995. 变质核杂岩研究进展及成因探讨. 地学前缘, **2**(1-2): 103—111.

Song Honglin. 1995. An overview of metamorphic core complex-characteristics and origin. Earth Science Frontiers, **2**(1-2): 103—111.

Johnson C L, Graham S A, Webb L E, et al. 1997. Sedimentary response to Late Mesozoic extension, southern Mongolia. Eos (Transactions, American Geoghysical Union), **78**: F175.

Miller R B and Paterson S R. 1994. The transition from magmatic to high-temperature solid-state deformation: implications from the Mount Stuart batholith, Washington. Jour. Struct. Geol., **16**: 853—865.

Paterson S R, Vernon R H and Tobisch O T. 1989. A review of the criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations. Jour. Struct. Geol., **11**: 349—363.

Schofield D L and D'lemos R S. 1998. Relationships between syn-tectonic granite fabrics and regional PTt paths: an example from the Gander-Avalon boundary of NE Newfoundland. Jour. Struct. Geol., **20**: 459—471.

Webb L E, Graham S A, Johnson C L, et al. 1997. Chracteristics and implications of the Onch Hayrhan metamorphic core complex of southern Mongolia. Eos (Thransactions, American Geoghysical Union), **78**: F174—175.

Webb L E, Graham S A, Johnson C L, et al. 1999. Occurrence, age, and implication of the Yangan-Onch Hayrhan metamorphic core complex, southern Mongolia. Geology, **27** (2): 143—146.

Zheng Y and Zhang Q. 1994. The Yagan metamorphic core complex and extensional detachment fault in Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, **7** (2): 125—135.

Zheng Y, Wang S and Wang Y. 1991. An enormous thrust nappe and extensional metamorphic core complex newly discovered in Sino-Mongolian boundary area. Science in China (Series B), **34** (9): 1146—1152.

Zheng Y, Zhang Q, Wang Y, et al. 1996. Great Jurassic thrust sheets in Beishan (North Mountains)-Gobi areas of China and southern Mongolia. Jour. Struct. Geol., **18**(9): 1111—1126.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

COMPOSITION AND TEXTURE OF THE YAGAN METAMORPHIC CORE COMPLEX BORDERING CHINA AND MONGOLIA

Wang Tao[1]　Zheng Yadong[1]　Li Tianbing[2]　Gao Yongjun[1]　Ma Minbuo[1]
(1. *Department of Geology, Peking University, Beijing* 1000871;
2. *Geological Survey, Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan* 750021)

Abstract

The Yagan metamorphic core complex (MCC) is composed of low-plate metamorphic crystalline core, detachment fault zone and upper plate. The core can be subdivided into two tectonic slices: the high-grade metamorphic slice in the lower and the low-grade metamorphic slice in the upper. The former consists of amphibolite facies banded gneisses and marble-gneisses, and the later of quartz schists. Between the both occurs a granitic mylonite zone. The major detachment fault zone is composed of mylonitic zone, chloritized zone, breccias-pseudotachylite zone, fault surface and cataclasitic zone. The upper plate of the MCC consists of anchimetamorphic Permian, Jurassic and Cretaceous as well as exotic blocks of the Proterozoic dolomitic marbles. In a whole, the MCC can be divided, structurally, into three layers separated by two detachment zones, instead of a simple two-plate mode. All these units arrange in outward (ascending) order, keeping the original relationship. Additionally, the deformation is characterized by foliation and lineation, instead of folds. Such a feature of stratum framework in extensional regime means structural nappies of extension and elevation of tectonic slices by several detachment zones and shows a characteristics of poly-layer extensional tectonic systems. It provides an example that a large-scale extensional system, including more than one detachment zones, consists of several tectonic slices, stacking up regularly, as a series of thrust slabs, which may have some rheological information on continental crust section.

Key Words　Composition, Three-layer structure, The Yagan metamorphic core complex, Extension structure

21 世纪活化构造与成矿学发展创新国际学术研讨会暨陈国达院士九十华诞庆贺活动在长沙隆重举行

由中国科学院长沙大地构造研究所和中南大学举办、中国科学院长沙大地构造研究所承办的"21 世纪活化构造与成矿学发展创新国际学术研讨会"于 2001 年 10 月 28－31 日在长沙隆重举行。恰逢地洼学说(活化构造及其成矿学理论)创立 45 周年及其创立者中国科学院资深院士、中南大学一级教授、中国科学院长沙大地构造研究所名誉所长、国际矿床大地构造委员会副主席兼地洼学组主席、国际地洼构造与成矿学研究中心主席、国际期刊《大地构造与成矿学》主编陈国达先生 90 华诞之际,此次会议的召开对弘扬老一辈科学家的科学创新精神,进一步发展、创新活化构造与成矿学理论,具有深远的学术和社会意义。

(下转 95 页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://