

·专题研究·

五台山晚太古代碰撞造山带构造演化

刘志宏

(南京大学地球科学系 南京 210093) (长春科技大学地学院 长春 130026)

王安建

李晓峰

(山西省地质矿产局 太原 030001)

提 要 应用构造—岩性—事件法将五台山碰撞造山带划分为 3 个构造片体:弧前混杂岩带、古岛弧系和弧后混杂岩带。提出该造山带构造演化 5 个阶段:洋盆扩张阶段($>2\ 600\ \text{Ma}$);南部洋盆向微陆块下俯冲—微陆块转化为岛弧阶段($2\ 600\sim 2\ 500\ \text{Ma}$);弧前碰撞—弧后消减阶段($2\ 550\sim 2\ 500\ \text{Ma}$);陆—陆碰撞阶段($2\ 550\sim 2\ 450\ \text{Ma}$);伸展作用阶段($2\ 500\sim 2\ 400\ \text{Ma}$)。

关键词 五台山 构造片体 太古代 碰撞造山带 构造演化

中图分类号 P542.2

五台山地处华北地台腹地,被认为是中国最典型的花岗岩—绿岩带^[1~4],以新生代滹沱河断陷北侧的韧性剪切带为界与西北部恒山高级变质区相接,以龙泉关韧性剪切带为界与东南部阜平高级变质区相连,总体构成一向南西撒开的楔状体。尽管上述 3 个变质地体在江苏响水至内蒙古满都拉地质断面上作为一个构造单元^[5],但有关该段的布格异常图、航磁图、地球物理解释图都反映出该块体的基底构造格局为两个太古代古陆块,即北西的恒山高级变质区和南东的阜平高级变质区,中间被五台山碰撞造山带所缝合。五台山碰撞造山带分布着十分复杂的变质岩组合和构造形迹群,与世界上许多绿岩带相似^[3]。近年来研究发现:(1)现有绿岩系“地层”系统的不确定性。五台山地区地层划分和时代厘定的方案数以十计之多^[1,3,6],逐年都有“组”或“段”的上下位置变化,说明建立稳定“地层”序列的困难^[7]。限制了现有地层划分系统的使用。(2)绢云母石英片岩作为一种构造岩被识别出来。区域内稳定延伸的绢云母石英片岩曾一直被作为地层系统(芦咀头组)的可靠标志之一使用,然而在矿区内以容矿岩石原岩恢复为主题的系统研究表明,其中相当一部分是英云闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩经韧性变形改造而形成的一种构造岩。从而动摇了传统“地层”系统的根基。(3)两种不同性质韧性剪切带的发现和确定。确定了五台山地区发育一系列不同构造层次的逆冲型韧性剪切带和一种近水平滑移的纵向伸展型韧性剪切带的存在。强烈的构造作用使大部分原始层理、层序等已被破坏,韧性剪切带的剪切理与绿岩系的所谓“层理”平行,不同岩石组合相互叠置,使现有“地层”系统的可信度受到挑战。

地矿部定向基金项目(92—04)资助。

本文于 1996 年 8 月 23 日收到。

作者简介:刘志宏,男,1962 年生,博士,讲师。1996 年毕业于长春地质学院地质系,从事构造地质学和前寒武纪地质学研究。

根据上述事实,工作中把原来采用的构造—岩性—地层方法修正为构造—岩性—事件方法。确定五台山地区存在一晚太古代时期的碰撞造山带,并根据下列原则将该带划分为3个构造片体:①同一构造片体内各地质体形成于相同或类似的大地构造环境,并具有直接或间接的成因联系。②当构造片体内各地质体形成环境和时间不同时,至少应有一段相同或相似的变质、变形演化史。③构造片体本身具有完整的边界,多由规模较大的韧性剪切带构成。3个构造片体(图1)为:①金刚库—庄旺—神堂堡构造片体(南部构造片体);②高凡—岩头—李家庄—车厂构造片体(中部构造片体);③皇家庄—峨口—南峪口构造片体(北部构造片体)。

1 各构造片体岩石组成及特征

1.1 南部构造片体 该片体位于五台山东南部,平面上呈南西宽、北东窄的楔状体,相当于白瑾等^[1]所划板峪口组、金刚库组、庄旺组和文溪组岩石以及石佛岩体的分布范围。以龙泉关韧性剪切带为界与南东侧阜平高级变质区相接触,以东台顶—文溪—白坡头韧性剪切带为界与中部构造片体相连(图1)。该片体主要由斜长角闪岩—磁铁石英岩组合、长石石英岩—大理岩组合和黑云变粒岩—斜长角闪岩组合构成,其间均以韧性剪切带相接触。

(1)斜长角闪岩—磁铁石英岩组合 该组合分布的范围大体上与原“地层”系统的金刚库组相当。主要由斜长角闪岩、角闪片岩、磁铁石英岩组成,还有少量含石榴石、蓝晶石、十字石黑云变粒岩(原岩可能相当于复理石建造^[7]),组合中分布有超基性侵入体的块体。斜长角闪岩中可见变余杏仁构造,结合与条带状磁铁石英岩伴生关系,许多学者^[1,3,6]将其原岩视为水下喷发的玄武岩流。这些斜长角闪岩化学成分在AFM图解中投影主要显示拉斑玄武岩系列的特点,在Pearce的 $\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解和Ti—Cr关系图解^[8]中的投影点几乎全部落入洋中脊、洋底或洋岛玄武岩区。基本上反映了形成于大洋环境的特点,与李继亮等^[7]、白瑾等^[2]把其作为洋壳一部分的认识相一致。值得重视的是,这套组合中发育许多超基性岩体(块),呈层状、似层状、透镜状成群成带出现。主要岩石类型有辉橄岩和纯橄岩变质形成的蛇纹岩、辉石岩和其他超镁铁质岩石变质形成的纤闪石岩。岩石化学特征显示属镁—铁质超基性岩,部分类似于玄武质或橄榄质科马提岩^[1,6]。该类岩石稀土元素配分型式显示重稀土平坦,轻稀土有起伏,铈显示正异常,轻稀土相对重稀土有明显亏损。这种特征类似于阿尔卑斯超基性岩中的石榴辉石岩^[9~10],与太古宙橄榄质科马提岩的稀土特征也相似。白瑾等^[2]强调无论这些变质超基性岩是侵入成因,还是类似于科马提岩的喷出成因,它形成的初始地质背景是洋壳。结合与斜长角闪岩的关系,我们倾向于把这套岩石组合总体视为蛇绿岩套。

(2)长石石英岩—大理岩组合 该组合的分布范围大体相当于原“地层”系统的板峪口组。主要由长石石英岩、石英岩、黑云角闪变粒岩和少量大理岩组成。其中可见残留的变余碎屑结构、斜层理、交错层理、波痕及鲕状构造、同生角砾状构造等原生构造,反映形成于滨海至浅海环境。该组合中长石石英岩的地球化学特征类似于稳定大陆边缘克拉通沉积的特点^[2]。

(3)黑云变粒岩—斜长角闪岩组合 该组合的分布范围大体与原“地层”系统中庄旺组和文溪组相当。主要由黑云变粒岩、斜长角闪岩和少量黑云角闪变粒岩、浅粒岩组成。原岩恢复结果表明,它们主体相当于一套玄武质—英安质火山熔岩和火山凝灰岩,岩石化学成分表现出钙碱性特征^[1],可与现代岛弧环境中的钙碱性玄武岩—英安质火山岩对比。

花岗质岩石,该片体中的花岗质岩石主要为石佛岩体(包括后坪岩体),片麻理平行于围岩

图1注解:1—第四系;2—高凡群—奥陶系;3—北部构造片体——弧后混杂岩带;4—中部构造片体——古岛弧系;5—南部构造片体——弧前混杂岩带;6—阜平变质杂岩;7—元古代—中生代花岗岩;8—太古代基性侵入体;9—太古代花岗岩;10—断层;11—逆断层;12—正断层;13—伸展型韧性剪切带;14—绿片岩相逆冲型韧性剪切带;15—角闪岩相逆冲型韧性剪切带;16—龙泉关韧性剪切带;17—叶理产状;18—矿物拉伸线理产状;
19—地质界线;20—角度不整合界线

叶理,与围岩多以韧性剪切带接触,局部地段仍可见与围岩呈侵入接触关系。岩体中 SiO_2 含量为 $60.83\% \sim 69\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$, 主体相当于花岗闪长岩和石英闪长岩。根据花岗岩类岩石大地构造环境判别方法^[11]确定石佛岩体属岛弧花岗岩类(或大陆弧花岗岩类)²。

1.2 中部构造片体 位于五台山中部,以东台顶—文溪—白坡头韧性剪切带为界与南东侧的南部构造片体相接触。与北部构造片体相接触的北部边界,西侧被章腔—甘泉伸展型韧性剪切带所覆盖,东侧被车厂岩体所“淹没”。根据变质变形作用和岩石组合特征的研究,推断中部构造片体与北部构造片体之间存在一逆冲型韧性剪切带,后者逆冲于前者之上(图1)。

岩石组合:该片体主要由绿岩系构成,高凡群的浊流沉积岩系以角度不整合沉积于其上及北部构造片体的南部边缘。这套岩石组合包括钠长绿泥片岩、绿泥钠长片岩和少量中酸性火山岩、侵入岩经变质、变形作用改造形成的绢云石英片岩以及少量磁铁矿石岩。绿片岩的岩石化学资料表明,它们大多属于钙碱性火山岩系列。在 $F_1-F_2-F_3$ 图解^[8]中,绿片岩投影点落入岛弧拉斑玄武岩、钙碱性玄武岩及橄榄粗安岩区及其边缘,暗示形成于岛弧环境。绿片岩的微量元素表现为 Ba、Th 强烈富集, Ti、Y、Yb 显示亏损,其特征与典型火山岛弧玄武岩的钙碱性火山岩地球化学型式^[8]相一致。绿片岩的稀土总量 $\sum \text{REE} = (65.98 \sim 161.22) \times 10^{-6}$, 轻稀土相对富集,重稀土相对亏损, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.484 \sim 0.995$ 。球粒陨石标准化稀土元素图谱与现代岛弧钙碱性拉斑玄武岩相似²。综上所述,绿岩系的原岩建造具有成熟岛弧的性质。

花岗质岩石:该片体的花岗质岩石主要为车厂岩体,与绿岩系多以剪切带接触,局部可见侵入接触。岩体的 $\text{SiO}_2 = 60\% \sim 70\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.37$, 其他化学成分特征与世界灰色片麻岩相似。稀土总量变化较大, $\sum \text{REE} = (14.9 \sim 140.5) \times 10^{-6}$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.26 \sim 1.62$ 。其中 $\sum \text{REE}$ 稍高(接近太古宙上地壳平均丰度^[12])者, $\text{Eu}/\text{Eu}^* < 1$; $\sum \text{REE}$ 低者, $\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$ 。与太古宙上地壳平均丰度相比,该岩体轻稀土相对富集,重稀土相对亏损,反映出明显的分异性质。上述稀土特征表明,车厂岩体原岩是原始岩浆在不同熔融阶段形成的,属多期岩浆侵入事件的综合产物。根据花岗岩类岩石大地构造环境判别方法^[11],确定车厂岩体属于岛弧花岗岩(或大陆弧花岗岩、大陆碰撞花岗岩)和造山后花岗岩类²,显示了车厂岩体的不同部分形成于不同大地构造环境,为这一片体形成环境和地质内涵提供了十分有意义的信息。根据车厂岩体中获得的 Pb-Pb 等时线年龄(3.036 Ma ^[3])可以推断,车厂岩体中的一部分很可能是早期从地幔中分异出来的地壳物质,后经碰撞造山作用过程中 TTG 岩系复合改造。李继亮等^[7]把车厂岩体中 S 型和 I 型花岗岩的空间分布规律与日本岛弧花岗岩比较,提出五台山地区发育双花岗岩带,并阐述了该区岛弧体系的存在,这与我们前面的认识相一致。

1.3 北部构造片体 该片体包括了滹沱河两侧,即恒山的南缘和五台山的北缘,大致相当于

五台北部五台群下亚群^[1]分布的区域(图1)。该片体主要由斜长角闪岩—磁铁石英岩和黑云变粒岩—富铝片麻岩两套岩石组合构成,其中发育一系列角闪岩相逆冲型韧性剪切带。

(1)斜长角闪岩—磁铁石英岩组合 分布于北部构造片体北部剪切带以北的地区。根据组合中斜长角闪岩、角闪片岩中发育变余杏仁构造和岩石化学成分特点,将其恢复为拉斑玄武岩^[1,5],在 $F_1-F_2-F_3$ 图解^[8]中投影点均落入洋中脊、洋底或洋岛玄武岩区,暗示可能是古老洋壳的组成部分。与南部构造片体类似,该组合中也发育一套超基性岩,一般为透镜状、似层状,长宽比大于10,个别大于40^[6],是镁铁质堆积晶岩和冷凝深成岩以及火山熔岩经变质作用改造的产物。其成分较复杂, $SiO_2=38.89\%\sim 49.6\%$, $MgO=21.75\%\sim 26.69\%$, $Al_2O_3=3.26\%\sim 10.26\%$, $Na_2O+K_2O=0.1\%\sim 0.57\%$, $Al_2O_3/TiO_2=10.2\sim 22.8$, $MgO/FeO=2.8\sim 7.1$, $FeO/Fe_2O_3=0.79\sim 2.36$, $MgO>FeO>CaO$, m/f 值一般小于6.5,属镁铁质超基性岩。在稀土和微量元素方面,这些变质超基性岩与世界典型太古宙超镁铁质岩石比较,主要表现为富含REE和Zr,贫V和Cu。所以除Ti/Zr比值低外,其最大特征是富集型稀土配分模式, $(La/Sm)_N$ 平均2.6, Eu/Eu^* 平均0.65,表现为负铕异常。显然与太古宙科马提岩不同^[3],而与阿尔卑斯造山带超基性岩有许多相似之处^[10],也有别于南部构造片体中的超基性岩。

(2)黑云变粒岩—富铝片麻岩组合 该组合分布于北部构造片体北部剪切带以南的地区。多被恢复为中酸性火山岩、火山凝灰岩、砂岩、粉砂岩和泥质岩^[6]。白瑾等^[1]将这一组合中原岩相当于中酸性火山岩的黑云变粒岩判别为岛弧环境下的产物。李江海等通过对恒山南缘相当于这套岩石组合的化学成分研究也指出,其特点与现代岛弧及活动大陆边缘的沉积物具有相似之处^[13]。看来这套岩石组合具有弧后盆地沉积物的特征。

花岗质岩石:该片体中的花岗质岩体主要为王家会岩体和峨口岩体,与围岩侵入界线清楚,部分地段被伸展型剪切带改造。 SiO_2 含量为 $69.30\%\sim 78.11\%$, $K_2O/Na_2O>1$, $Ab-An-Or$ 图解中^[8]投影主要落入花岗岩区。根据花岗岩类岩石大地构造环境判别方法^[11],确定该花岗岩形成于大陆碰撞(或岛弧、陆弧)和造山后环境,并以造山后环境为主。

2 变形变质作用特征

五台山碰撞造山带是由形成于不同构造环境的构造片体拼合而成的,在与阜平、恒山高级变质区接触部位和不同构造片体之间及内部皆发育韧性剪切带,它们形成于太古代晚期恒山古陆块与阜平古陆块碰撞造山作用过程中。研究表明,发育于北部和南部构造片体中的角闪岩相逆冲型韧性剪切带与发育于中部构造片体的绿片岩相逆冲型韧性剪切带具有相同的变形特征,变质程度的差异是构造拼合过程中俯冲的深度不同造成的。逆冲型剪切带主要倾向北西,矿物拉伸线理的倾伏向也为北西,倾伏角与剪切叶理的倾角近于一致。大量运动学标志指示上盘(北西盘)向南东逆冲,下盘(南东盘)向北西深处俯冲,使地壳明显增厚,它们是碰撞造山早期地壳拼合阶段的产物。伸展型韧性剪切带在各构造片体皆有分布,以章腔—甘泉—智存沟剪切带规模最大(图1)。产状总体向西—南西西缓倾,矿物拉伸线理向西—南西西或东—北东东缓倾伏,运动学标志指示上盘(西盘)向西—南西西滑移,反映了碰撞造山作用晚期由于伸展垮塌作用而使显著增厚的地壳得以减薄、深部岩石迅速裸露并均衡发展。

五台山碰撞造山带3个构造片体的变质作用及演化既有区别又有联系,在晚太古代均遭受一次区域变质作用,由于所处环境不同,出现了变质程度的差异。3个构造片体的 PTt 轨迹

相似(图 2),都与造山型 PTt 轨迹相同^[13]。

3 同位素年代学资料分析

五台山地区已积累了相当多各种方法测试的同位素年代学数据^[1~3,14],遍布 26~17 亿年区间。在此仅就比较可靠地反映碰撞造山作用的锆石 U-Pb 法、全岩 Sm-Nd 法数据进行了收集整理,适当地补充收集了地质含义较为清楚的全岩 Rb-Sr 法、Pb-Pb 法和极个别的 K-Ar 法数据,并将它们分为性质明确的变质年龄、岩体侵位年龄和壳幔分异年龄 3 类(表 1)。尽管中部构造片体迄今尚未测到较为可信的变质年龄数据,但仍然能从中总结出十分有意义的规律:

①岩浆侵位结晶的年龄:南部构造片体为 2 600 Ma,中部构造片体为 2 500~2 550 Ma,北部构造片体为 2 400~2 500 Ma,由南向北,岩体侵位结晶年龄逐渐变小。②变质作用年龄:南部构造片体 2 500~2 600 Ma,北部构造片体为 2 400~2 500 Ma,借助于同一片体中岩浆侵

位结晶的年龄资料,推断中部构造片体变质年龄介于 2 500~2 550 Ma 之间,反映了变质作用年龄由南向北逐渐变新的规律。

4 构造片体的地质含义讨论

4.1 南部构造片体——弧前混杂岩带 南部构造片体由陆棚沉积建造(长石石英岩—大理岩组合)、洋壳残片(斜长角闪岩—磁铁石英岩组合)和岛弧型火山岩系(黑云变粒岩—斜长角闪岩组合)及稍晚侵位的石佛岩体组成。该片体是上述 3 种不同构造环境下形成的岩石组合的拼合体。能够圆满解释这种拼合的最佳机制是构造混杂。发育于各岩石组合之间及内部、倾向北西的一系列逆冲型韧性剪切带的存在,使该片体内 3 种岩石组合通过构造作用拼合在一起,并俯冲到地壳一定深度经受角闪岩相变质作用改造。3 种不同构造环境下形成的岩石组合由南向北出现陆棚沉积建造、洋壳残片组合、岛弧火山岩组合有序排列,明确指示了洋壳消减、弧—陆碰撞过程和弧前混杂的构造环境。石佛岩体的构造环境判别也支持了这一点。还得到深部地质资料的佐证,五台山—龙泉关一带中下部地壳中发育一厚大的低密、高导、低速近水平分布的地质体,马杏垣等认为该区相对应深度可能存在相当于地表出露的各类长英质混合岩或英云闪长岩^[5]。现在看来把这一地质体解释为构成阜平陆块主体部分的 TTG 岩套沿龙泉关韧性剪切带经 A 型消减俯冲的产物可能更合适。

4.2 中部构造片体——岛弧体系 由车厂岩体和绿岩系构成的中部构造片体代表了古岛弧

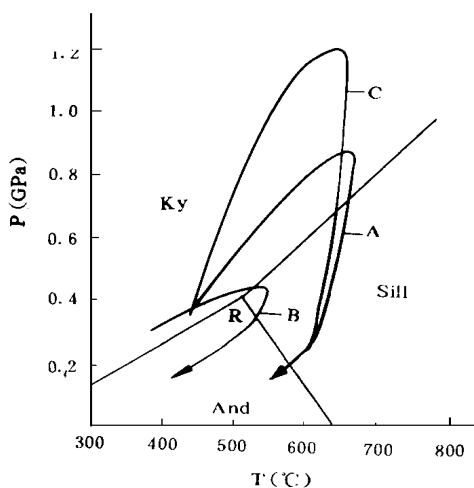


图 2 变质作用的 PTt 轨迹

Fig. 2 PTt Path of metamorphism

A—南部构造片体; B—中部构造片体;

C—北部构造片体

考虑到 Rb-Sr 法较同一样品 U-Pb 法测年偏低,故取 2 400 Ma 作为变质作用发生的下限。

系。根据车厂岩体中获得的 Pb-Pb 等时线年龄^[3]推断,车厂岩体中的一部分可能是很早以前(3 036 Ma)从地幔中分异出来的地壳物质,后经碰撞造山作用形成的岩浆活动复合改造。正如前述,该岩体是多期多阶段岩浆侵位的产物,具有岛弧(或大陆弧、大陆碰撞)和造山后型花岗岩的特点。伴生的绿岩系主要由钙碱性玄武岩和低钾拉斑玄武岩组成,可能为洋壳消亡过程中岛弧火山喷发形成的。

4.3 北部构造片体——弧后混杂岩带 把北部构造片体视为弧后混杂带,一方面是因为组成该片体的岩石组合包括具有洋壳特点的斜长角闪岩—磁铁石英岩组合和活动大陆边缘及弧后盆地环境下形成的黑云变粒岩—富铝片麻岩组合等不同构造环境下形成的岩石。另一方面是片体内普遍发育一系列北西倾的逆冲型韧性剪切带,使片体内不同构造环境下形成的岩石组合得以通过构造混杂在一起并俯冲到地壳一定深度遭受角闪岩相变质作用的改造。再有是片体中具有大陆碰撞(或岛弧、陆弧)和造山后型(以后者为主)双重构造环境下侵位为特征的花岗质岩石,反映了陆—陆碰撞造山的演化过程。

5 碰撞造山带的构造演化

我们获得的有关五台山碰撞造山带构造演化方面的证据支持了李继亮等^[7]提出的洋壳俯冲、陆—陆碰撞造山模式。但我们认为:①碰撞造山过程发生于晚太古代约 200 Ma 的时间里,而不是从太古代末至早元古代末跨越相当于整个显生宙如此漫长的时间间隔里;②车厂弧地质体是一个古老的微陆块转化而成的;③碰撞造山作用晚期的纵向伸展作用是五台山碰撞造山带构造演化的重要环节。五台山碰撞造山带构造演化可归纳为 5 个阶段(图 3):

A. 大约在 2 600 Ma 之前,阜平陆块、车厂微陆块、恒山陆块之间存在两个大洋盆地,盆地中发育了残留在南部和北部构造片体中以蛇绿岩(斜长角闪岩—磁铁石英岩组合)为代表的大洋岩石圈。同时在恒山陆块的东南缘和阜平陆块的西北缘及车厂微陆块周边都沉积了被动大陆边缘沉积棱柱体,相当于残留在南部构造片体中以长石石英岩—大理岩组合为代表的陆棚沉积建造,但其中的绝大部分在碰撞造山作用过程中剥蚀殆尽。

B. 大洋消减—微陆块转化为岛弧阶段 在大约 2 600~2 500 Ma 间,金刚库洋盆的大洋岩石圈向北西方向消减,使车厂微陆块转化为岛弧性质,形成了以中部构造片体为特征、由车厂 TTG 岩套和以岛弧钙碱性火山岩系为代表的绿岩系共同构成的弧地质体。同时车厂弧与恒山陆块之间开始了弧后盆地扩张作用,在残留于北部构造片体中以斜长角闪岩—磁铁石英岩组合为代表的大洋岩石圈上,沉积了残留于北部构造片体中相当于黑云变粒岩—富铝片麻岩组合的弧后盆地和被动大陆边缘环境下形成的火山沉积岩系。这时阜平陆块的被动大陆边缘沉积作用仍在持续进行。

C. 弧前碰撞—弧后消减阶段 在大约 2 550~2 500 Ma 时,金刚库洋盆通过弧前消减作用闭合,弧地质体与阜平陆块碰撞。消减带上,弧前消减过程中刮离的部分洋壳残片和弧地质体一起向阜平陆块仰冲叠置,使陆棚沉积建造、洋壳残片和部分岛弧火山沉积岩系拼合在一起,形成弧前混杂岩带。持续的北西向 A 型俯冲作用使混杂岩带达到地壳深部经受角闪岩相变质作用,并形成龙泉关韧性剪切带和混杂岩带中不同岩石组合之间及内部的逆冲型韧性剪切带,最终使岛弧体系与阜平陆块焊接在一起,构成统一古陆。伴随碰撞作用,在弧前混杂岩带和弧地质体中侵位了具有岛弧(或大陆弧)型花岗岩特点的石佛岩体和车厂岩体的一部分。

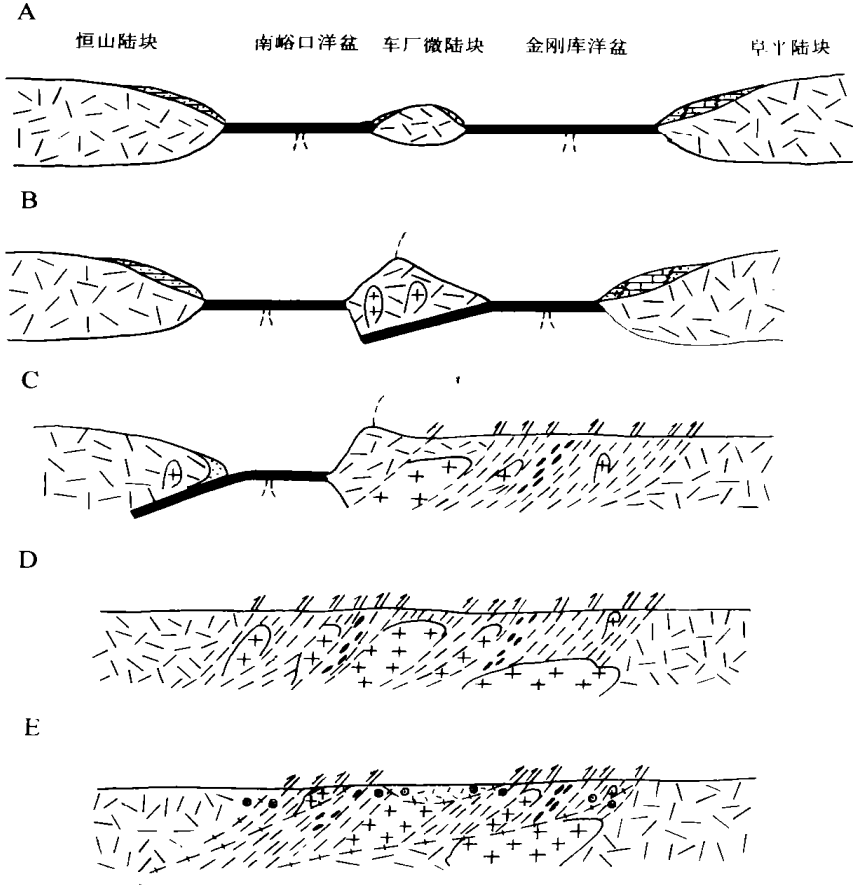


图3 五台山晚太古代碰撞造山带构造演化示意图

Fig.3 Diagram showing the tectonic evolution of the Late Archean Wutaishan collision orogen

在弧前碰撞同时或稍后,弧后盆地的大洋岩石圈向恒山陆块之下消减。

D. 陆—陆碰撞造山阶段 在大约 2 500~2 450 Ma 时,弧、陆焊接在一起的统一古陆与恒山陆块碰撞,使以斜长角闪岩—磁铁石英岩组合为特征的洋壳残片与弧后盆地和被动大陆边缘环境下形成的以黑云变粒岩—富铝片麻岩组合为代表的钙碱性火山—沉积岩系拼合在一起,构成北部弧后混杂岩带,并且与弧—陆焊接古陆向恒山陆块下俯冲,使其发生角闪岩相—绿片岩相变质作用,同时形成一系列倾向北西的角闪岩相—绿片岩相逆冲型韧性剪切带。在碰撞造山作用过程中,北部混杂岩带俯冲的深度较大,接受角闪岩相变质,中部弧地质体相当于一个反向逆冲楔,俯冲的深度较小,接受绿片岩相变质。伴随造山作用的持续和发展,在弧后混杂岩带和弧地质体中侵位了具有大陆碰撞(或大陆弧、岛弧)和造山后型花岗岩(以后者为主)双重构造环境特点的峨口岩体、王家会岩体和车厂岩体的一部分。

E. 碰撞造山晚期伸展阶段 在 2 500~2 400 Ma,显著增厚的地壳变得不稳定,发生了纵向伸展作用,形成一系列向西或南西西滑移的低角度伸展型韧性剪切带,使地壳迅速减薄,也

使变质程度较深的岩石出露地表。

参 考 文 献

- 1 白瑾主编. 五台山早前寒武纪地质. 天津科学技术出版社, 1986, 1~435.
- 2 白瑾, 王汝铮, 郭进京. 五台山早前寒武纪重大地质事件及其年代. 北京: 地质出版社, 1992, 1~57.
- 3 田永清主编. 五台山—恒山绿岩带地质及金的成矿作用. 太原: 山西科学技术出版社, 1991, 1~155.
- 4 沈保丰, 彭晓亮, 骆辉等. 中国太古宙绿岩带. 地质学报, 1993, (3).
- 5 马杏垣, 刘昌淦, 刘国栋主编. 江苏响水至内蒙古满都拉地质断面说明书. 北京: 地质出版社, 1991, 1~68.
- 6 李树勋, 冀树楷, 马志红等. 五台山变质沉积铁矿地质. 长春: 吉林科学技术出版社, 1986, 1~299.
- 7 李继亮, 王凯怡, 王清晨等. 五台山早元古代碰撞造山带初步认识. 地质科学, 1990, (1).
- 8 王仁民, 贺高品, 陈珍珍等. 变质岩原岩图解判别法. 北京: 地质出版社, 1984, 52~118.
- 9 Frey F A. Rare earth element abundances in upper mantle rocks. in: P. Henderson(ed.), Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 1984, 153~159.
- 10 Cullers R L, Graf J L. Rare earth element in igneous rocks. in: P. Henderson(ed.), Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 1984, 237~267.
- 11 Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101, 635~643.
- 12 Taylor S R, McLennan S M. Evidence form rare earth elements for the chemical composition of Archaean crust. Spec. Publs. Geo. Soc. Aust., 1981, 7, 255~261.
- 13 England P C, Thmpson A B. Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism I. heat transfer during the evolution of regions thickened continental crust. Juornal of Petrology, 1984, 25, 894~928.
- 14 刘敦一, 佩吉. R. W, 康普斯顿. W 等. 太行山—五台山区前寒武系变质岩系同位素地质年代学研究. 中国地质科学院院报, 1984, 第 8 号, 57~82.

TECTONIC EVOLUTION OF THE LATE ARCHEAN WUTAISHAN COLLISION OROGEN

Liu Zhihong,

(*Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu*)

Wang Anjian

(*Department of Earth Science, Changchun College of Geology, Changchun, Jilin*)

and Li Xiaofeng

(*Shanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Taiyuan, Shanxi*)

Abstract The Wutaishan collision orogen may be divided into three tectonic slices by applying the tectonic-lithologic-event method; from south to north they are the forearc mélange zone, paleoisland arc system and backarc mélange zone. Five stages are proposed for the tectonic evolution of the Late Archean Wutaishan collision orogen: the ocean basin spreading stage ($>2\ 600\text{ Ma}$), stage of subduction of the southern ocean basin beneath the microcontinental blok and transformation of the microcontinental block into an island arc ($2\ 600\sim 2\ 500\text{ Ma}$), stage of forearc collision-backarc subduction ($2\ 550\sim 2\ 500\text{ Ma}$), continent-continent collisison stage ($2\ 550\sim 2\ 450\text{ Ma}$), and extension stage ($2\ 500\sim 2\ 400\text{ Ma}$).

Key words: Wutaishan, tectonic slice, Archean, collision orogen, tectonic evolution