

五台山西部地区繁峙群^①地质特征

苗培森 李营辉

(山西省地矿局区调队)

摘要 本文指出,五台山西部角闪岩相变质的繁峙群属于太古代花岗绿岩带性质,其中的变质火山岩具有由拉斑玄武岩向钙碱性系列演化特性。与该群相伴生的花岗质岩石,包括了云英闪长岩—奥长花岗岩和钙碱性二个演化系列,在西田可见到繁峙群不整合于灰色片麻岩(T、T₂、G岩套)之上。该区曾经受多期构造变形,早期以岩浆底辟及水平挤压褶皱作用为主,形成卵形花岗岩穹窿、向形盆地和韧性断裂;晚期受区域水平挤压作用,产生大规模的叠加褶皱,构成现今的线状构造及推覆构造。

五台山西部广泛出露着地台结晶基底——繁峙群角闪岩相的变质岩,该区地质研究历史悠久^[1]。近年来许多单位在变质和变形方面进行了深入研究工作,大大提高了这个地区的地质研究程度^[2,3]。笔者参加了该区1:5万区域地质调查,根据填图获得的实际资料,对其构造变形、地层层序及花岗质岩石特征,试作一初步探讨。文中不妥之处,敬请批评指正。

一、繁峙群层序及花岗质岩石特征

(一) 繁峙群地层层序

五台山西部繁峙群变质地层,是经受过多次构造变形、岩浆活动及变质作用的复杂岩系。在1:5万区调工作中,我们运用构造—岩性填图方法,并做了详细的剖面构造测量,对地层层序进行了验证与恢复,将繁峙群划分为三个岩石地层单元(图1),由老而新描述如下:

金岗库组:下部为石英岩,上部为含石榴石兰晶石十字石二云石英片岩、含石榴石二云石英片岩夹变质超基性岩,顶部为含石榴石角闪片岩、含石榴石斜长角闪岩夹条带状磁铁石英岩。广泛分布于花岗质岩石周围,局部与灰色片麻岩呈不整合接触关系。

庄旺组:下部含石榴石二云变粒岩,中部为含石榴石、兰晶石、十字石、二云石英片岩、含石榴石二云石英片岩,上部为黑云变粒岩、含石榴石黑云变粒岩夹角闪变粒岩。它主要分布于南部边缘,与金岗库组整合接触、同五台群(台怀亚群)为断层接触。

文溪组:以绿帘角闪片岩夹条带状磁铁石英岩为主,分布于山羊坪矿区一带,它与庄旺组及金刚库组均为断层接触关系。

在恒山—五台山花岗绿岩区内,繁峙群变质地层构成一个下部绿岩旋回。经恢复原岩

① 本文的繁峙群相当于石咀亚群,五台群相当于台怀亚群。

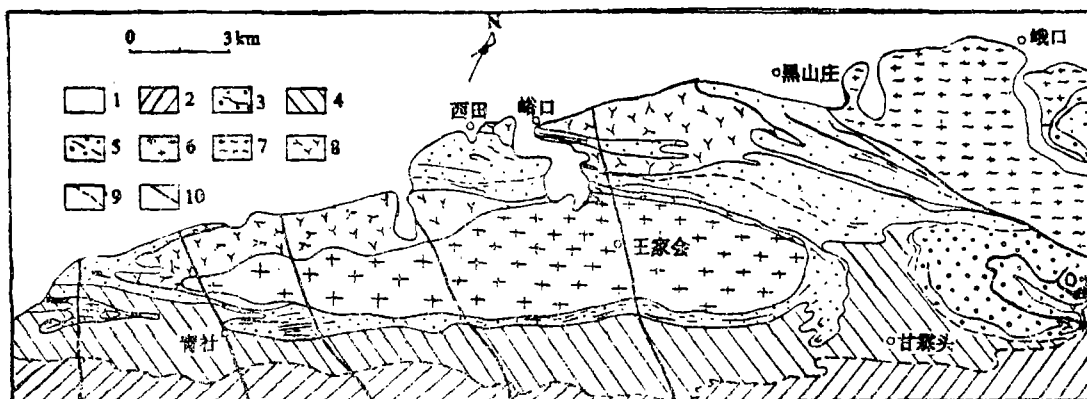


图1 五台山西上太古界地质略图

Eig. 1. Sketch geological map of the upper Archean in the western part of Mount Wutai.

1—第四系, 2—五台群, 3—繁峙群文溪组, 4—繁峙群庄旺组, 5—繁峙群金岗库组, 7—峨口奥长花岗岩、花岗岩, 8—灰色片麻岩(花岗闪长岩), 9—韧性断层, 10—中生代断层。

后其底部为碎屑岩, 还可能有一些超镁铁质火山岩, 往上是拉斑玄武岩, 顶部为一套杂砂岩夹酸性火山岩。上述基性岩部分具有由拉斑玄武系列向钙碱性系列演化的特点^[3]。

2. 花岗质岩石特征

本区花岗类岩石的分布面积, 约占花岗绿岩区的一半左右。它由二部分组成: 一是灰色片麻岩, 包括峪口和小观两个岩体, 统称为豹家沟片麻岩体; 二是钾长质花岗岩, 包括峨口和王家会两个花岗岩体。

豹家沟片麻岩体, 主要岩性为黑云斜长片麻岩及部分角闪斜长片麻岩, 其原岩主要为花岗闪长岩, 其次为奥长花岗岩和云英闪长岩, 构成五台山西灰色片麻岩杂岩体。化学成分: SiO_2 60~70%, Al_2O_3 大都大于 15%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 5~7.5%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值在 0.1~0.9 之间。微量元素: Rb 含量较高(46~111ppm), Sr 含量较低(286~358ppm), Ba 含量更低(116~277ppm), Rb、Sr、Ba 特征与阿米佐克片麻岩^[4]相似, K/Rb 、 Ba/Sr 比值平均分别为 261、0.68。稀土总量: 奥长花岗岩较低 71ppm、 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 约 17.33, Eu 0.529ppm; 花岗闪长岩约 362ppm、 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 约 13.82, Eu 2.762ppm, 均无负铕异常。

峨口花岗岩主体为钾质花岗岩, 含有灰色片麻岩残留体。灰色片麻岩均为奥长花岗岩, 化学成份 SiO_2 71~78%, Al_2O_3 11~14%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 5~7.5%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在 0.02~0.7 之间; 稀土总量 196.2ppm, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 约 6.99, Eu 0.57ppm, 具明显铕负异常。主体花岗岩化学成分 SiO_2 72~77%, Al_2O_3 11~13%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 7~8.8%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 0.8~1.9%, 一般 1.0~1.2%; 微量元素平均约 Sr 167ppm、Ba 283ppm、Ba/Sr 1.69。

王家会花岗岩侵位于小观灰色片麻岩的东部, 其化学成份 SiO_2 70~77%, Al_2O_3 13% 左右, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 7.5~8.8%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 1.0~1.65; 微量元素平均 Rb 278ppm、Sr 234ppm、Ba 182.5ppm, K/Rb 140, Ba/Sr 0.78; 稀土总量平均 398ppm, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 约 15.12, Eu 1.65ppm, 具负铕异常。

本区花岗岩类岩石构成二个演化系列,即云英闪长岩—奥长花岗岩演化系列和钙硷性演化系列(T趋势、CA趋势⁽⁴³⁾)。花岗闪长岩介于两个演化系列之间。钙硷系列(CA趋势)有一个明显的间断。迄今为止峨口花岗岩及王家会花岗岩已获得U-Pb及Rb-Sr同位素年龄值略大于2500Ma。

3. 花岗质岩石和绿岩之间的关系

从现有的资料来看,花岗质岩石和绿岩之间的关系极为复杂。经野外调查证实,花岗岩和部分花岗闪长岩有明显侵入迹象,这些岩体内地层的残留体及捕虏体普遍存在。灰色片麻岩杂岩的内部灰色脉体(二云斜长片麻岩)及花岗岩脉体广泛发育。西田一带经填制岩性图及测制剖面,发现繁峙群底部石英岩不整合覆盖在灰色片麻岩之上(图2),个别地点石英岩与灰色片麻岩之间存在2~3m的白云母石英片岩(可能为古风化壳经构造剪切的残留)。经受构造变形的近水平剪切(滑脱)作用及晚期岩浆底辟侵位,石英岩与下伏地层的不整合关系均受到极大破坏,西田一带仅残留局部例证。因此,灰色片麻岩即T.T.G岩套构成了花岗绿岩区的内壳岩,繁峙群及其以上地层组成的绿岩带为外壳岩,外壳岩不整合在内壳岩之上;内壳岩晚期深熔的花岗岩及部分花岗闪长岩又呈底辟式侵位。

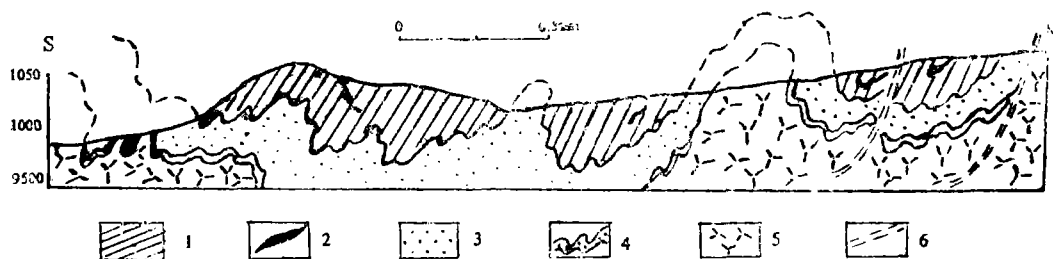


图2 五台山西田南部繁峙群岩性剖面图

Fig. 2. Petrological section of the Fanshi Group in the Southern Part of Xitian, Munt wutai.

1—角闪变粒岩、黑云变粒岩及斜长角闪岩, 2—磁铁石英岩, 3—含兰晶石石榴二云石英片岩, 4—石英岩, 5—灰色片麻岩(花岗闪长岩), 6—韧性断层。

本文将繁峙群(石咀亚群)和灰色片麻岩之间的不整合称之为西田不整合。该不整合的含义相当铁堡不整合,但五台山南部的铁堡不整合有人提出异议⁽⁴⁶⁾,抛开这些争论不谈,五台山西田不整合和五台山南部的铁堡不整合的下覆岩石及繁峙群的下部岩性也有很大差别,因此西田不整合至少在五台北部及恒山地区具有区域意义。

二、构造变形

经构造观察和整理,从不同尺度的构造研究入手,已查明繁峙群及花岗质岩石,经历了三次以上构造变形。早期(D_I)以岩浆底辟引起的垂直运动和近水平剪切作用下的流动变形机制为特征。中期(D_{II})为区域水平挤压应力作用下的强塑性压扁及韧性剪切。晚期(D_{III})变形相对较弱,表现为中期变形的进一步强化,仍以区域水平挤压应力作用下的剪切变形为特点,形成推覆构造。

1. 小型构造: 按面、褶皱及线构造的时间对应关系,本区的小型构造可划分出三组构

造,反映相继发生的变形幕或变形阶段^[7]。

(1) 第一组构造(D_I): S_0 即繁峙群中的岩性层理,原始沉积层理发育粒级层理等。 S_1 为原始近水平的片理(繁峙群的流劈理)或片麻理(花岗质岩石),粒状矿物石英、长石被强烈压扁或拉长、并普遍有波形消光。 F_1 是以 S_1 片理为轴面的褶皱构造(图3—1、2),一般为片内无根褶皱、平卧褶皱,均呈流褶皱和相似褶皱特点,并可见平卧褶皱同小型韧性断层(R_1)相伴产出(图3—3)。 L_1 有矿物定向线理、交面线理、石香肠构造等。

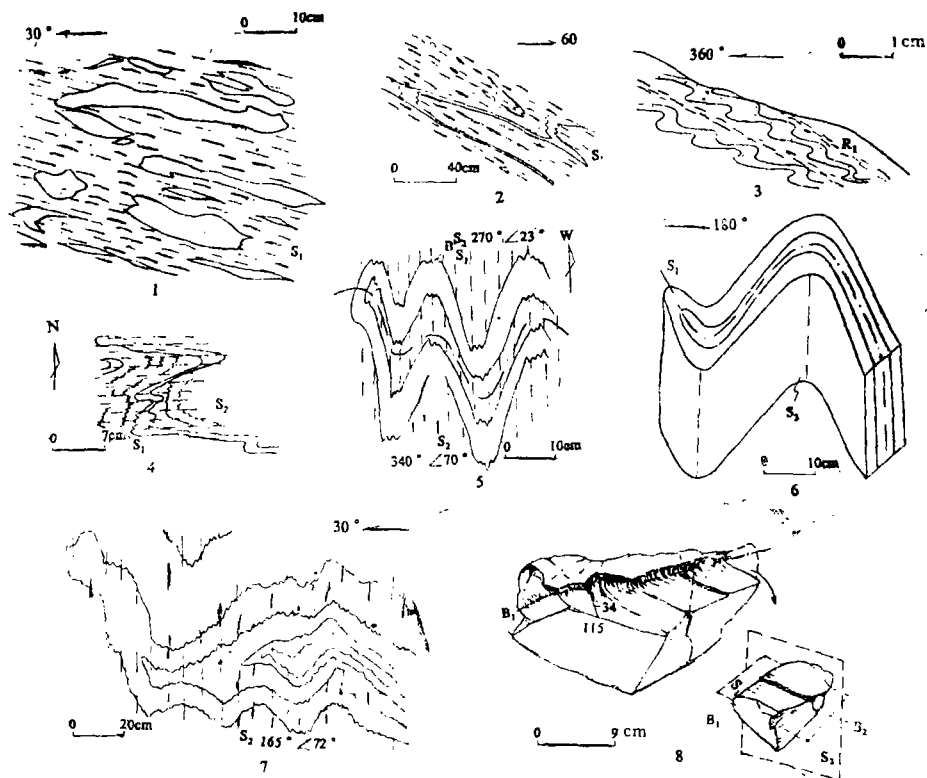


图3 繁峙群中 F_1 及 F_2 褶皱特征

Fig. 3. Features of folds F_1 and F_2 in the Fanshi Group.

1—黑云变粒岩内长英质无根褶皱, 2—黑云变粒岩内的浅色细层褶皱, 3—角闪片岩内小型褶皱及韧性断层, 4—角闪片岩内长英质脉的倾竖褶皱平面图, 5—黑云变粒岩内叠加褶皱平面图, 6—黑云变粒岩内叠加褶皱立体图, 7—两期叠加褶皱图示(共轴不共面, 8—叠加褶皱立体图(不共轴, 不共面)。

(2) 第二组构造(D_{II}): S_2 为折劈理(应变滑劈理),而在大褶皱翼部多表现为同 S_1 片理一致的复合片理。 F_2 是以 S_2 为轴面劈理的褶皱构造(图3—4、5、6),均呈相似褶曲,野外多见倾竖—倾伏—水平的褶皱。 L_2 主要有褶皱纹理、交面线理等。

(3) 第三组构造(D_{III}): S_3 不具透入性,多为膝折带和退化变质带内的劈理(折劈理或枢劈理)。 F_3 褶皱较为开阔,可基本不发育轴面劈理。

(4) 小型褶皱的干扰型式:

繁峙群中的小型构造叠加主要表现为第一组(D_I)构造和第二组(D_{II})构造之间的褶皱叠加,所呈现的干扰型式主要为兰姆赛所描述的第3类干涉型式(图3—5、6、7),也有第2类

干涉型式(图3、1-8)⁽⁶⁾。

2. 大型构造:

通过路线地质及剖面的详细构造测量,分别确定各期构造降向及构造面向,并结合繁峙群的岩石单位,编制出了五台山西部晚太古界的构造纲要图(图4),该图较为清楚地揭示了繁峙群的构造轮廓。早期(D_I)为内壳岩中深熔的花岗岩及花岗闪长岩,以底辟式侵位形成的卵形花岗片麻岩穹窿及线型绿岩向形盆地。在绿岩向形盆地内部因重力滑动形成平卧褶皱及近水平的韧性断层,其中平卧褶皱轴线变化很大,反映线型向形盆地的总体方向的变化。晚期(D_{II} 、 D_{III})构造变形均是区域水平挤压应力的产物,它使早期穹盆构造褶皱压扁呈现出线型构造带的特征。 D_{II} 属强期变形,构造线走向 $60^\circ \sim 80^\circ$ 之间,为一系列以 S_1 面的同斜及直立的背向形构造,兼有叠瓦状韧性断层(韧性剪切带)。 D_{III} 变形相对较弱,构造线走向北东,使早期褶皱进一步压紧,并产生退化变质带(韧性剪切带)、山羊坪推覆体是沿底部的富水片岩(如白云母片岩、绿泥片岩)发生滑动,形成推覆片体。多次的构造变形均使内壳岩和外壳岩之间产生强烈的构造滑脱。

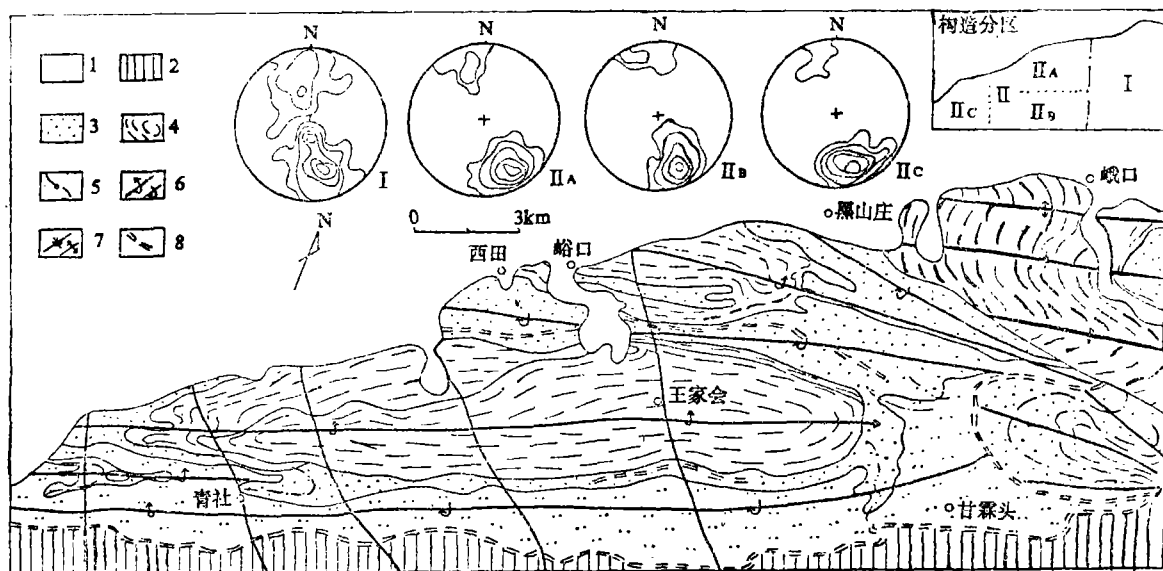


图4 五台山西部晚太古界构造纲要图

Fig. 4. Outline map of the late Archean structures in the western part of Mount Wutai.

1—第四系, 2—五台群, 3—繁峙群(外壳岩), 4—花岗片麻岩穹窿(内壳岩), 5—石咀期(D_I)平卧褶皱, 6—五台期(D_{II})同斜背、向形, 7—五台期(D_{II})直立背、向形, 8—韧性断层。

为了阐明花岗绿岩区的主要变形特征, 本文将就早期(D_I)穹盆构造(网脉状构造)的确定和恢复作几点说明。

本区以花岗一片麻岩大面积出露为显著特点, 岩体发育的早期片麻理(S_1)同围岩片理产状和接触面产状近乎一致, 岩体内片麻理由边部向中心有变弱的趋势(峨口花岗岩体), 表明岩体(尤其是花岗岩体)是底辟式侵位的。下面许多证据也证明了这一点。繁峙群的底部层位金岗库组均分布于岩体周围, 而较新层位则位于地层大面积分布区近中心部位, 这是确定早期穹盆构造的基础。然而本区几个重要的铁矿区, 无一例外地分布于向

形盆地的内部,铁矿层的小型构造极为发育,为平卧式褶曲及小型韧性断层。从盆地边部向内部大型褶曲呈由小变大“Z”形,它反映出岩浆底辟引起的垂直运动作用下的重力滑动构造,是早期流动变形最主要的因素^[9]。大型构造所呈现的叠加型式来看,一般为兰姆赛描述的第3类型(共轴、不共面),在平面或剖面呈现“W”型样式;赵村铁矿和山羊坪铁矿区,所呈现的叠加褶皱平面型式为新月型或“Ω”型,属兰姆赛所描述的第2类型(不共轴、不共面)。上述较为复杂的干扰型式,表明早期构造线(平卧褶皱轴线)走向的多方向性,是花岗绿岩区线性向形盆地(网脉状构造)的特点。

花岗一片麻岩穹窿明显地经受晚期(D_{II}、D_{III}构造变形的褶皱压扁,现均呈扁叶状平面型式,其两侧边界为不规则状,表明估算岩体经受晚期变形的应变量可恢复花岗一片麻岩的原始形态,这是认识早期构造的关键。本区花岗一片麻岩(岩体)的片麻理本身均呈现出了明显的再褶皱、片麻理的原始产状与围岩片理和岩体边界一致,为平缓产状特点,这可能暗示岩浆底辟侵位的垂直上拱作用,使岩浆已部分结晶的前锋形成片麻理,也可能伴随有近水平的剪切作用。然而受晚期(主要D_{II})变形改造的王家会花岗岩体,这种特点已极不明显,野外片麻理十分一致 $340^{\circ} \angle 60^{\circ} - 70^{\circ}$,表现为强期(D_{II})变形改造的特征。因此我们对主要表现为强期(D_{II})变形的王家会花岗岩体,进行了有限应变测量。通过对二个点的石英集合体运用Robin法^[10],分别估算出其应变轴率,进而获得富林(Flinn)指数: A. $K = 0.95$, B. $K = 0.59$; 应变程度 r 均在3左右;投影在伍德(Wood)图解^[11]上,分别求得岩体的伸长和缩短值: A. $X = 105\%$ 、 $Y = 2\%$ 、 $Z = -52\%$, B. $X = 85\%$ 、 $Y = 10\%$ 、 $Z = -50\%$ 。据岩体的伸长和缩短值,并按强期(D_{II})变形岩体处于背形位置的平面应变(单剪),对岩体的初始形态进行恢复(估算),王家会花岗岩体原始形状近圆形(卵形)。进一步概略地对整个五台山区繁峙群的早期(D_I)构造轮廓进行恢复(图5),可见角闪岩相变质的繁峙群及大面积花岗岩区—花岗绿岩区,早期(D_I)构造为卵形花岗一片麻岩穹窿和线型绿岩向形盆地。另外,两个点的富林指数特征,表明本区强期(D_{II})构造变形为强塑性压扁及韧性剪切,是以早期片麻理(S_I)为形面的褶皱作用的反映。

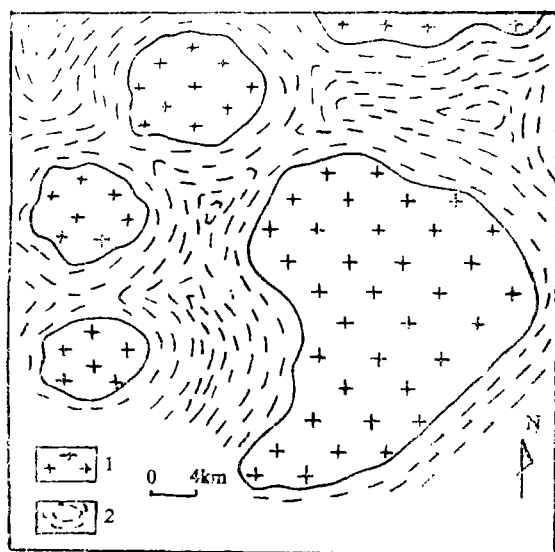


图5 五台山区太古宙原始穹盆构造示意图

Fig. 5. Diagrammatic map of the Archean dome-basin structure in the Mount Wutai area.

1—花岗一片麻岩穹窿, 2—向形盆地。

三、结论与讨论

恒山—五台太古宙花岗绿岩区,可能经历了漫长的地质演化历史(2400~2700Ma)。下部绿岩繁峙群底部的碎屑沉积,表明它形成在古老克拉通(蚀源区)之上,而古老地壳的

组成部分就是灰色片麻岩。高铝的灰色片麻岩经风化剥蚀形成了金岗库组底部的石英岩及其上的富铝岩系,所以繁峙群不整合在云英闪长岩、奥长花岗岩组成的灰色片麻岩之上,代表了太古宙一次重大的地质事件。恒山和五台山之间的绿岩带发育在两个古老克拉通之间(裂谷),绿岩带成分是拉斑玄武岩系列向钙硷系列的演化。裂谷在伸展作用下,钙硷系列的花岗质岩石发生了深熔侵位。随后,地壳才出现水平挤压作用。

同世界上许多太古宙花岗绿岩带一样,本区太古宙花岗绿岩带,由卵形花岗片麻岩穹窿和线型绿岩向形盆地组成,是岩浆底辟引起的垂直运动的产物,它属于横弯褶皱(弯流)作用的流动变形机制成因(图6)^[12],且以重力滑动为典型的构造变形样式。太古代末期在区域水平挤压作用下,形成同斜褶曲及叠瓦状韧性断层等,构成了现今的线状构造带,并逐渐产生大规模的推覆构造。

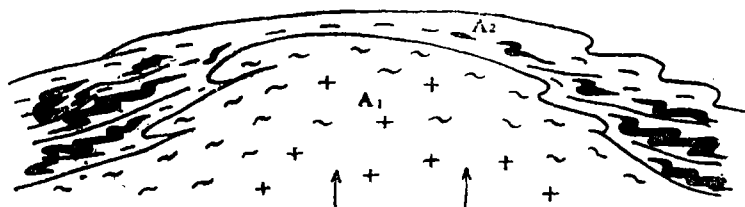


图 6 五台山区太古宙时期花岗一片麻岩热穹窿构造模式
(据傅昭仁, 1983 改编)

Fig. 6. Model of the granite-gneiss thermal domal structure during the late Archean in the Mount wutai area.

A₁—深熔的花岗片麻岩穹窿 A₂—繁峙群的磁铁石英岩为标志层的平卧褶皱及韧性断层

绿岩带内含铁建造,经重力滑动而聚集于线型向形盆地的中心,之后平行于晚期(D_{II})挤压应力的向形盆地再次褶皱,同时也使铁矿进一步富集成矿;其他方向的向形盆地内的含铁建造则被后期构造所破坏,铁矿床规模变小,甚至不再富集为铁矿床。上述构造作用的识别,对于寻找磁铁石英岩型的铁矿不无裨益。

本文写作中,得到沈亦为工程师的具体指导。此外,冀树楷、武铁山高级工程师及徐朝雷工程师等提出了宝贵意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 马杏垣等, 1957, 五台山区地质构造基本特征, 地质出版社。
- [2] 李树勋, 冀树楷等, 1986, 五台山区变质沉积铁矿地质, 吉林科学技术出版社。
- [3] 白谨等, 1986, 五台山西部早前寒武系地质, 天津科学技术出版社。
- [4] McGregor · R · V, 1979, 太古宙灰色片麻岩和大陆壳的成因, 国外前寒武纪地质构造研究(肖庆辉), 地质出版社。
- [5] Condie · K, 太古宙绿岩带, 1985, 国外前寒武纪地质(增刊), 地矿部天津地质研究所。
- [6] 袁国屏, 1986, 五台山区“五台群板峪口组”的归属问题, 山西地质, 第二期。
- [7] 刘如琦等, 1983, 区域变质杂岩的构造序列规律探讨, 地质科学, 第一期。
- [8] 武汉地质学院, 成都地质学院, 南京大学, 河北地质学院, 1979, 构造地质学, 地质出版社。
- [9] 马杏垣等, 1986, 中国前寒武纪历史过程中的构造样式的变化, 国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集(一), 地质出版社。
- [10] 郑亚东等, 1985, 岩石有限应变测量及韧性剪切带, 地质出版社。

- [11] 许志琴, 1984, 地壳变形与显微构造, 地质出版社。
[12] 傅昭仁, 1983, 变质岩层构造变形相分析, 地球科学, 总第21期。
[13] 索书田, 1983, 重力滑动构造, 地球科学, 总第21期。

GEOLOGICAL-STRUCTURAL FEATURES OF THE FANSHI GROUP IN THE WESTERN PART OF MOUNT WUTAI

Miao Peisen and Li Yinghui

Abstract

The area where the amphibolite-facies rocks of the Fanshi Group are distributed in Mount Wutai is an Archean granite-greenstone terrane. By means of the petrological-structural mapping of the western part of Mount Wutai, the Fanshi Group is divided into three petrological-structural units. The metavolcanic rocks of the Fanshi Group reflect an evolution from the tholeiite series to calc-alkaline series. The granitic rocks (with an isotopic age of over 2500 Ma) in the area of distribution of the Fanshi Formation fall into two evolutionary series: the tonalite-trondhjemite series and the calc-alkaline series. The infracrustal rocks consist of gray gneisses (T. T. G.) suite and the supracrustal rocks are made up of the Fanshi Group of the greenstone belt, with the supracrustal rocks overlying unconformably the infracrustal rocks (Xitian). The granites and part of granodiorite were emplaced as a diapir. The magmatic diapirism and subhorizontal shearing combined to form oval granite domes and linear synformal basins. In the synformal basins there are recumbent folds and subhorizontal ductile faults formed by gravity sliding. The late-stage regional horizontal compression caused the domes and basins to be refolded and flattened and brought about large-scale overlapping deformation, thus forming the present linear structural belt and nappe structure.