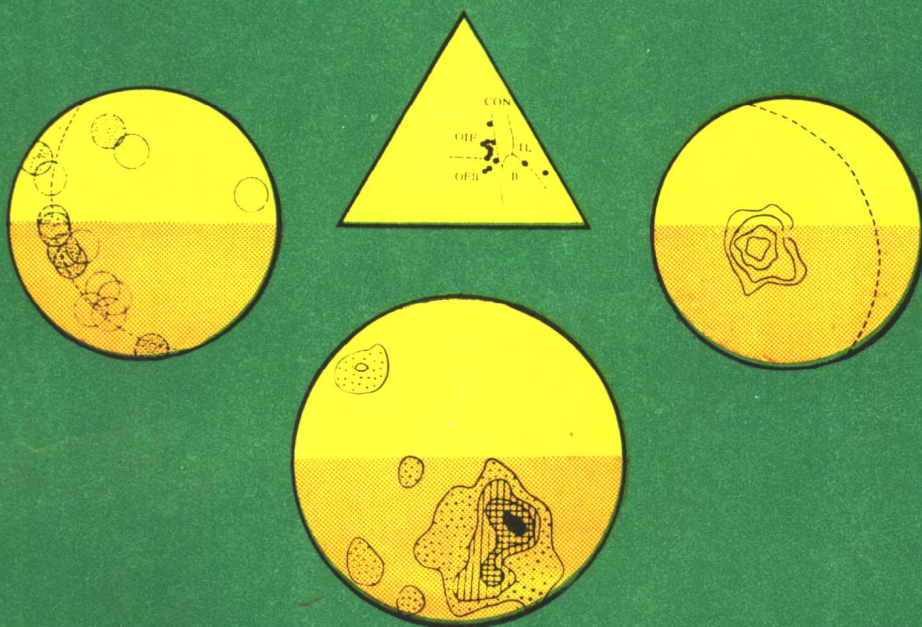


五台山 早前寒武纪 重大地质事件 及其年代

白瑾 王汝铮 郭进京 著



地质出版社



五台山早前寒武纪重大地质 事件及其年代

白 玲 王汝铮 郭进京 著

地质出版社

(京)新登字 085 号

五台山早前寒武纪重大地质
事件及其年代

白瑾 王汝铮 郭进京 著

责任编辑: 郑长胜

地质出版社 出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销



开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 4.75 字数: 97000

1992 年 12 月北京第一版 · 1992 年 12 月北京第一次印刷

印数: 1-510 册 定价: 3.50 元

ISBN 7-116-01152-8/P · 973

前言

《五台山区早前寒武纪重大地质事件研究和年龄的确定》是地质矿产部“七五”重点科研项目《我国北方前寒武纪成矿区域地质背景和找矿远景区预测》的组成部分，属《华北陆台前寒武纪重要基础地质问题的研究》课题中《华北陆台早前寒武纪重大地质事件研究和年龄的确定》专题的一部分。本书即为这一部分的研究成果。

专题负责单位为中国地质科学院地质研究所。天津地质矿产研究所为参加单位，受经费限制，仅作了五台山地区的部分工作。

专题研究任务是以太古宙—元古宙分界及其同位素年龄测定为重点，同时对太古时期的构造活动、岩浆作用和变质作用等事件的发生和演化也进行一定的研究。

五台山地区，分布有中国早前寒武纪标准地层单元——滹沱群、五台群和阜平群（图1），素以露头连续、界线明确著称，成为中国早前寒武纪地质研究的经典地区之一。

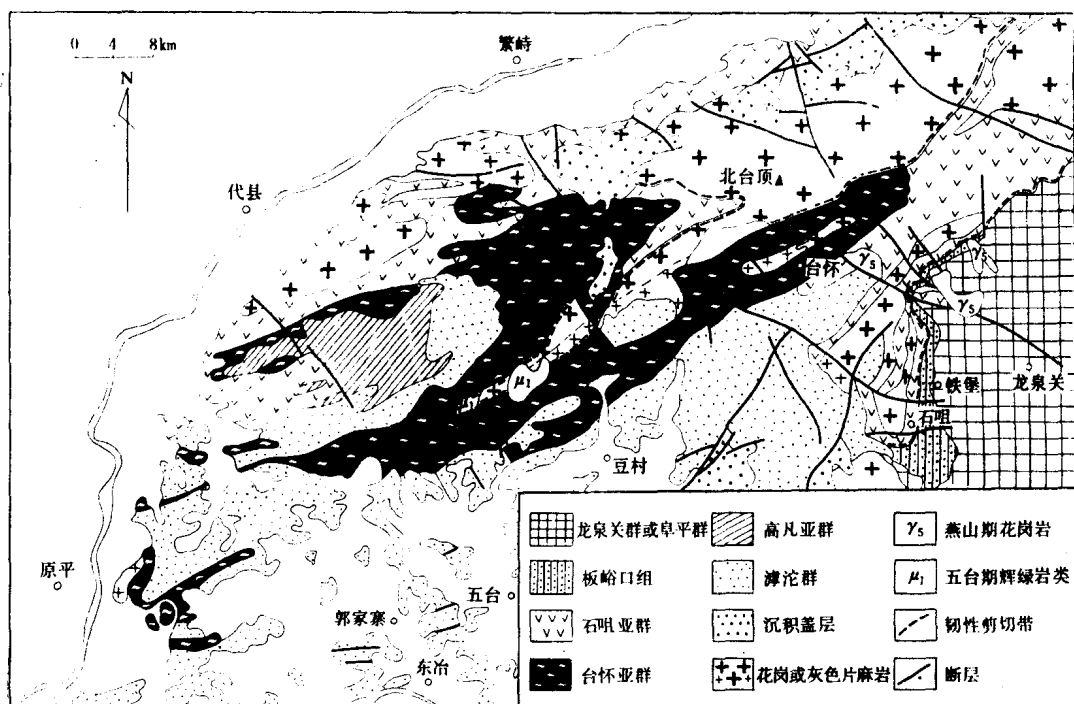


图1 五台山地区地质略图（据白瑾等，1986，简化）

Fig.1 Simplified geological map of the Wutaishan area (Simplified from Bai Jin et al., 1986)

五台山地区的地质研究工作，始于1871年，已有一百多年的研究历史（Richthofen, 1882; Willis and Blackwelder, 1904; 孙健初, 1930; 杨杰, 1937, 1947; 王

曰伦等, 1953; 马杏垣等, 1957; 山西区调队, 1967^①; 徐朝雷等, 1978^②, 1983^③, 1989; 刘敦一等, 1984; 白瑾等, 1986; 李树勋等, 1986; 耿元生等, 1989; 田永清等, 1989; 山西区调队, 1989^④; 李继亮等, 1990), 但对某些重大基础地质问题的认识还存在着很大分歧, 如: 太古一元古划分、地层划分、五台群石咀亚群板峪口组归属、甘泉不整合、构造岩石组合性质、五台群内部推覆构造发育的规模、性质及大地构造意义、构造演化等问题。现在综合分析前人研究成果的基础上, 结合作者等在五台山区的专题研究工作, 从晚太古一早元古代的地壳构造演化的角度, 探讨五台山区早前寒武纪地质事件序列。

受经费的限制, 天津所在五台山区重点进行了以下几个方面的工作:

1. 在石咀一带, 通过大比例尺地质填图, 确定五台群底部板峪口组和滹沱群大石岭组的分布及其接触关系, 以澄清兰芝山岩体上覆地层的归属, 进而讨论五台群的下限年龄及其时代归属。

2. 较系统地研究五台群板峪口组同金刚库组之间的韧性剪切带, 结合构造岩石组合的研究, 进一步论述这一剪切带在构造演化中的意义。

3. 通过小面积大比例尺填图、路线观察、构造岩研究和构造测量, 进一步落实甘泉不整合的时代属性。

4. 在原有研究成果的基础上, 从地质事件角度, 进一步阐述五台山区早前寒武纪建造的和改造的地质事件序列。

5. 尽可能地采集测年样品进行测试, 以确定地质事件的时序。

在上级主管部门、本单位领导和主管部门的支持下, 经过“七五”期间这一轮研究工作, 取得了一些重要成果; 野外工作过程中, 特别在石咀一带的地质填图和甘泉一带的草图修测工作中, 得到山西省地矿局 211 地质队和区调队的大力协作和配合; 在研究工作中, 高玉杰高级工程师提供了测年锆石矿物学研究的资料; 李惠民工程师提供了重要的同位素测年数据; 成果完成后经地质矿产部科学技术司组织了专家评审; 马杏垣教授、钱祥麟教授、游振东教授、孙大中研究员和乔秀夫研究员给予了评审; 在此一并表示深切的感谢。

本书是集体劳动的成果。前言和第一章由白瑾起草, 第二章和第三章由郭进京起草, 第四章由王汝铮起草, 第五章由白瑾和王汝铮起草, 最后由白瑾统编定稿。

① 山西省地矿局区域地质测量队, 1967, 1: 20万平型关幅地质图及说明书

② 徐朝雷执笔, 1978, 山西的滹沱系, 山西区调队

③ 徐朝雷、徐有华、张忻, 1983, 山西省五台系, 山西区调队

④ 胡学智等, 1989, 岩头豆村幅 1: 5万区调小结, 山西区调队

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 五台山区早前寒武纪地壳演化的地质背景	1
第二节 太古宙—元古宙的划分	3
第二章 晚太古代的克拉通化	6
第一节 晚太古代建造	6
第二节 晚太古代构造变形	18
第三节 晚太古代变质作用——古地热状态	26
第四节 晚太古代的克拉通化	28
第三章 太古宙克拉通的破裂和早元古代拗拉槽的出现	29
第一节 拗拉槽建造——溥沱群	29
第二节 拗拉槽的构造演变	32
第三节 拗拉槽的热历史	32
第四节 拗拉槽的演化模式	32
第四章 晚太古—早元古重大地质事件年代	34
第一节 五台期早期岩浆活动的年代	34
第二节 五台运动 I 幕(甘泉运动)的年代	37
第三节 五台期晚期岩浆活动年代讨论	40
第四节 五台运动 III 幕(金洞梁运动)的年代	43
第五节 溥沱群下部地层沉积建造的年代	49
第六节 吕梁运动的年代	53
第五章 结论与讨论	54
参考文献	56
英文摘要	58
图版说明和图版	62

CONTENTS

Preface	1
Chapter 1. Intruduction	1
Section 1. Geological background of the early Precambrian crustal evolution in Wutaishan region	1
Section 2. Division of Archaean—Proterozoic	3
Chapter 2. Late Archaean cratonization	6
Section 1. Late Archaean Formations	6
Section 2. Late Archaean Deformation	18
Section 3. Late Archaean Metamorphism—palaeogeothermalstate	26
Section 4. Late Archaean Cratonization	28
Chapter 3. The break up of the late Archaean Craon and emerging of the early Proterozoic Aulacogen	29
Section 1. Aulacogen formation ——Hutuo Group	29
Section 2. Tectonic evolution of the Aulacogen	32
Section 3. Thermal history of the Aulacogen	32
Section 4. Evolutionary Model of the Aulacogen	32
Chapter 4. Chronology of the major geological events of the late Archaean—early Proterozoic	34
Section 1. Age of magmatic activity in the early stage of Wutai Period	34
Section 2. Age of episode I of Wutai Movement	37
Section 3. Age of magmatic activity in the late stage of Wutai Period	40
Section 4. Age of episode III of Wutai Movement	43
Section 5. Age of the sedimentary formation of lower Hutuo Group	49
Section 6. Age of the Luliang Movement	53
Chapter 5. Conclusion and discussion	54
References	56
The Major Geological Events of Early Precambrian and Their bating in Wutaishan Region	58
Explanation of plates and Plates	62

第一章 绪 论

第一节 五台山区早前寒武纪地壳演化的地质背景

同北美、南非、西澳相比,中国大陆地壳的演化显示了更加复杂的特征,集中表现以多期变形变质,使地壳性质发生由活动到稳定的多次转化。尽管如此,仍然保存了同世界其它大陆类似的性质,仍可将太古宙岩石分布区划分为高级变质的麻粒岩—片麻岩区和经历了不同程度变质的以火山岩为主的绿岩带(白瑾等,1990a)。

华北陆台上出露的太古宙麻粒岩—片麻岩区,广泛经历了相似的化学演化和构造的演化。当然,每一地区在岩石组成上和化学成分上都具有它自己的明显特征。

岩石组合和地质年代关系表明,至少发育了两套上壳岩,大约在2900Ma和2500—2600Ma以前形成,并分别经受了麻粒岩相和角闪岩相的变质作用。在不同的地区分布有一套或两套上壳岩,都经历了相同的变形、变质和岩浆作用的演化过程。高级岩石一般均遭受了多期变形,表现了明显一致的构造样式,总体上呈现出全活动的构造机制。

上覆于较早的麻粒岩相上壳岩之上的上壳岩随后经受角闪岩相变质作用,使先存麻粒岩发生退变质,则在上覆上壳岩堆积之前,下伏地壳必然隆起并经历了严重的剥蚀。另外,以“孔兹岩”系为代表的稳定型浅水陆棚沉积和类似的沉积岩经历了角闪岩相变质。假若取变质温度为650℃,地热梯度平均为33℃/km,这些沉积岩必须下沉至约20km的深处,才能变质达角闪岩相,随后角闪岩相岩石再次上升于地表,再经剥蚀,并接受以后的沉积。由此可见,太古宙地壳不仅曾经历过克拉通化的过程,尔后又处于韧性环境,而且在整个太古宙时期经过多期的强烈的隆起—剥蚀—下沉旋回。

变质的上壳岩,特别是斜长角闪岩及有关岩石作为大小残片出现在花岗质岩石之中,某些地点可见到清晰的侵入接触关系。鉴于二者之间地球化学性质的相似性和野外接触关系,认为某些花岗质岩石可能是上壳岩部分熔融的产物不是没有理由的。这一作用同显生宙造山带中的非常相似,以至不得不认为二者经历过类似的演化过程。

在华北陆台上,上壳岩在3500Ma前即已出现,表明已经存在一个古老的基底。阴山地区最醒目的构造方向大致为东西向;太行山的阜平地区为北西转东西向;鲁西泰山地区为北西向;冀东地区为近南北向;燕山地区为北西向至东西向;辽吉地区为北东到北西向。由于变形方位和变质相带方位的不同,上覆岩石单元可能不产生在一个统一的构造环境。所以,可能也没有一个共同的基底,而成为不同的片段。不论这些片段的成分来源如何,它们可能是一些古老的小规模的陆壳散布在更广阔的区域。由于各时代较年轻的地台盖层的分割,它们的形状和大小难以准确估量,以致我们现在不能确定它们的构造边界及其原始性质。所以,华北原陆台的基底在太古时代可能不是一个统一的单元,而是大约在太古宙末由较小的陆核聚集而成的。

刘寿彰(1981)应用地球物理资料,研究了华北地区的深部构造,认为华北地区地壳的速度分层是明显的。相当于硅铝壳同硅镁壳界面的 PC_1 反射波界面的深度为14—

20km。而全区深部磁性块体的平均深度为 14—16km，也大致反映了这一界面的深度。以深层磁性界面等深线图，结合 1：20 万上延 20km 航磁异常图和浅层磁性界面图（管志宁等，1987）分析，可将华北克拉通划分出东胜、临汾、济宁、渤海、赤峰和辽东六个硅镁壳顶面隆起区。它们就是由深层磁性等深线较密集的凹陷带围限出来的磁性块体的上隆区。前述具有不同构造方位的地区，即依次分别展布在这六个隆起区内（图 2）。因此，这些地球物理异常所表现出来的区划，也可能是聚集成华北原地台基底的小陆核存在的证据。

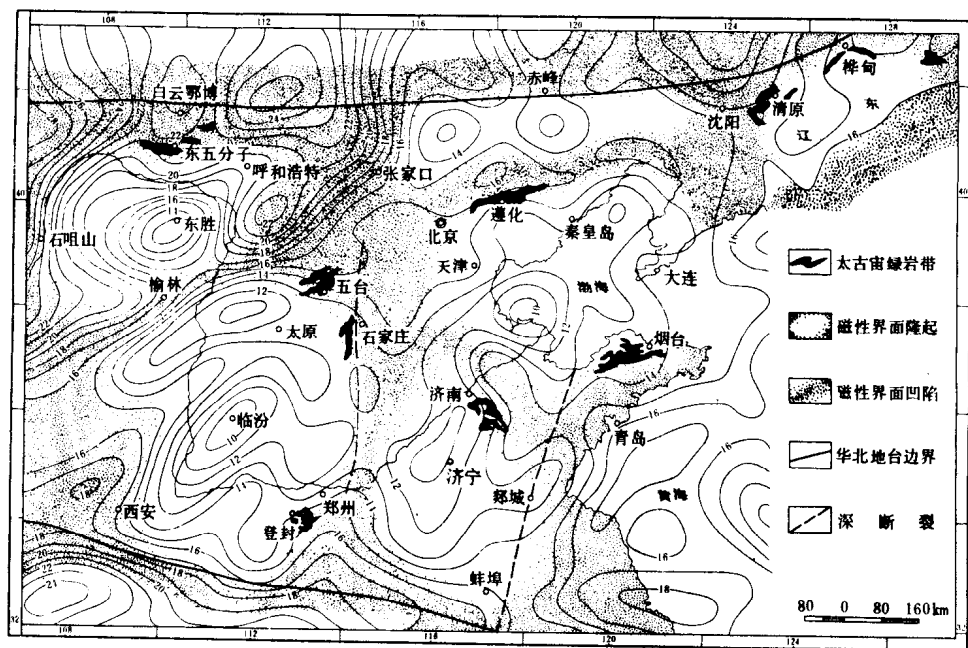


图 2 华北地区深层磁性界面等深度（据管志宁等，1987）

和部分出露的太古宙绿岩带分布图（据白瑾等，1990a）

Fig. 2 Map of isodepth of the deep magnetic boundary planes in (after Guan Zhining, et al., 1987) and

distribution of the Archaean greenstone belts exposed in North China (after Bai Jin et al., 1990a)

$h = 16\text{km}$, $J = 400 \times 10^{-2} \text{A} / \text{m}$, 等深线单位: km

综上所述，在 2600—2500Ma 以前，可能有一个小型陆核聚集的阶段。这一聚集过程可以通过地体碰撞的形式加以实现，也不能排除小规模俯冲带的出现。而带有构造边界性质的韧性剪切带可能就是这种俯冲带的表现。同现代地壳相比，由于地壳厚度、地热梯度和地壳塑性的差异，在太古宙时期，假若有任何形式的板块构造机制起作用的话，必然在规模上和方式上有所不同。

五台群作为绿岩带，即形成于这样的地质背景之中，同其它绿岩带一起，在岩石组合方面同麻粒岩—片麻岩区有明显的差异。有的绿岩带（如五台绿岩带和东五分子绿岩带）同麻粒岩—片麻岩区在区域构造方位方面也表现出显著不协调的特点。绿岩带底部，除同

花岗质岩呈侵入接触关系以外，同麻粒岩—片麻岩区之间，都是以韧性剪切带为界的。这些韧性剪切带平行于绿岩带的早期变形面理和变质相带分布。它们虽然在后期仍有活动，但是上述事实表明，它们可能就是绿岩盆地封闭时的构造边界。

各绿岩带的构造岩石组合可概括为两类：第一类为以大洋拉斑玄武岩为基性端元的双峰式火山沉积建造（如遵化、东五分子、登封绿岩带等）；第二类为由拉斑玄武岩系列向钙碱性岩石系列演化的火山—沉积建造（如清原、桦甸、阿拉善、鲁西、胶东、五台等绿岩带），均为金矿的矿源层或含矿层。它们的早期区域构造样式，以平卧褶皱及相伴随的韧性推覆构造为特征。在递进变质相带划分明显的绿岩带（如五台、东五分子绿岩带等）中构成“槽”形的古地温等温面，有的绿岩带（如五台、东五分子、桦甸、遵化等绿岩带）处于区域地球物理异常分界带上或梯度带上。结合它们在原地台上所处的构造位置进行分析，具第一类岩石组合的绿岩带的构造环境可能类似现代的弧前、弧后盆地，或者是活动大陆边缘盆地；而具第二类岩石组合的可能类似现代岛弧或弧沟环境。

由于元古代以来的盖层的覆盖，不能排除更多的绿岩带存在的可能性。已经描述的绿岩带都座落在前述深层磁性界面所构成的可能代表古陆块的隆起区的周边（图2）。因此，绿岩带很可能就是这些陆块的焊接带，在太古宙末成为统一的华北原陆台。

元古宙伊始，构造体制发生了明显的分异，显著地表现出不同性质的活动带同刚性地块并存的构造格局。在华北陆台北缘内侧的东段和中段，分别出现了以辽河群变质火山—沉积建造为代表的辽吉活动带（白瑾等，1990b）和以双山子群—青龙河群所构成的绿岩带所代表的岛弧带。尽管现在人们尚不能推断当时同它们共存的洋域的宽阔程度，但根据它们线性延长的构造边界，似可推测，它们可能处于破裂的克拉通的边缘。尔后，两侧地块以碰撞带的形式将破裂的克拉通焊接起来。此外，出露在五台山区的淳沱群、吕梁山区的岚河群—野鸡山群—黑茶山群、太行山区的甘陶河群—东焦群、中条山区的中条群—担山石群、嵩山地区的嵩山群，以相似的冒槽相建造、相似的热动力学经历和协调一致的区域构造样式，表明它们原是一个统一的在克拉通基底上发育起来的裂陷带——晋豫裂陷带建造在各山区的残留部分。这一裂陷带可能是在陆台南缘增生过程中，由软流层相相对流南北向挤压剪切作用下导生出来的东西向拉伸而产生的。然后，由于幔源岩浆上涌而导致两侧软流层东西向相向对流而封闭了裂陷带。总之，在吕梁运动结束时，各种活动带的闭合，又使华北陆台基底成为一个统一的整体（白瑾等，1990a）。

分布在华北陆台北部边缘的红旗营子群和南部边缘的秦岭群和红安群，代表陆台边缘的活动带，表现陆台边缘的增生。

第二节 太古宙—元古宙的划分

许多地质学家在划分早前寒武纪构造阶段和岩石建造时，均以重大地质事件所标志的地壳演化的阶段性作为准则。并以大陆壳普遍的快速增生和大面积克拉通化以后的分异，也即全活动体制转变为槽台体制，作为太古宙—元古宙划分的标志。

在具有太古宙地质特征的地体内，较广泛地获得了2500Ma左右的年龄数据，除了华北陆台上较集中地获得这类年龄数据外，在各个构造单元上均有出现。最近以单颗粒锆石U-Pb法和全岩Sm-Nd法等准确定年给出一些2600Ma左右的数据（见后文）。这些

年龄数据,比较充分地代表了早期以钠质花岗岩、晚期以钾质花岗岩为标志的岩浆活动,以角闪岩相至绿片岩相的区域变质和太古宙行将结束时的强烈的构造变形时间,正是五台运动的鲜明象征。一般都认为,以这些岩浆活动、变形和变质为标志的地质作用,是一次重大的构造-热事件。产生上述年龄数据的地体,一般均经历了多期的变形和变质,多呈现穹隆构造;某些地质单元即便呈现类似槽形活动带的形象,却仍为后期叠加变形的结果。根据大量而广泛出现的 2500Ma 左右的可信年龄数据,可以认为,不管现存于中国大陆的前寒武纪构造单元在当时的地理分布如何,它们基底的主体形成于太古宙末。也就是说,中国大陆壳基本形成的时期,也接近全球性的克拉通化时期,并将太古宙—元古宙的界限厘定为 2500Ma 左右。

目前,中国地质学家对划分太古宙同元古宙地质年代界限所遵循的原则是基本一致的,但是,对具体单元的时代归属问题,却又有不同的见解。究其原因在于如何认识这些单元所表达的构造体制。对中国太古和元古的划分最有代表性的剖面是华北陆台上五台—太行山区从阜平群—五台群—滹沱群的连续剖面。太古宇—元古宇的界限划在阜平群同五台群之间?抑或划在五台群同滹沱群之间?是当前存在的主要分歧。问题的焦点在于如何认识五台群及其相伴随的地质事件所反映的构造环境信息。

五台群是一个夹有超基性岩的以基性火山岩为主、火山旋回发育的绿岩建造,伴生有阿尔戈马型的条带状铁建造;发育多期变形变质,反映了地壳强烈的活动性。已获得了大于 2500Ma 的变质年龄和花岗岩的成岩年龄(刘敦一等,1984;白瑾等,1986)。五台群所处盆地现在所显示的形态和方位,是最终经受了吕梁运动北西—南东向挤压改造的结果,不是克拉通之间的线形构造带。从区域构造解析结果可知,由五台群早期构造方向所反映的盆地早期方位,同现在的构造方位近于垂直或大角度相交。五台群下部板峪口组,虽以不整合覆于下伏阜平群之上,但以其变形受力方向的多次改变和始终使盆地边界同岩层构造方位一致的现象,以及广泛发育于五台群和下伏岩层中的透入性叶理,可以看出五台群所在盆地两侧岩块不是稳定的克拉通。此外,五台群主体的地球化学参数反映的地壳成分、构造环境以及成熟度等,均显示了太古宙的特征(白瑾等,1986)。

经过五台运动,在不整合面上堆积了滹沱群巨厚的夹有大陆拉斑玄武岩的冒地槽型沉积,覆盖在五台群三个亚群不同层位之上。以滹沱群底砾岩厚度之大,砾石成分之复杂和下伏层位之变化,说明基底侵蚀范围之广,侵蚀时间之长。因此代表五台运动的不整合面的规模是巨大的,在地质构造上的分野是极其显著的。

滹沱群主要经历了一次褶皱运动——吕梁运动。以其下部层位超覆边界的展布,所勾画出的沉积槽地线形延长的轮廓,同区域褶皱轴向平行,表明地壳显著减弱的活动性和槽地两侧基底的相对稳定性。

滹沱群中大量的和多种类型的碳酸盐质叠层石的繁衍,以及红色地层的出现,标志着藻类生物空前茂盛和氧气大量形成。同五台群形成时缺氧的状况相比,滹沱群形成时代的大气圈、水圈和生物圈发生了巨大变革。此外,火山作用的急剧减弱,成熟度较高的沉积物和碳酸盐沉积的大量形成,都显示出划时代的特征。

关系到滹沱群下限的很重要的一个年龄数值是自滹沱群东冶亚群河边村组顶部变质玄武岩中所获得的。反映其沉积建造年代的原生单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $2358 \pm 96\text{Ma}$ (2σ)。根据采样地点至滹沱群沉积厚度(约 5000m),推断其底界时限接近 2500Ma。

近年来,对五台群及 TTG 岩套活动时限的研究,通过 Rb-Sr 法、Sm-Nd 法,尤其单颗粒锆石 U-Pb 法同位素年龄测定,已取得明显的进展(见后文)。Rb-Sr 法和 Sm-Nd 法给出下亚群金刚库组年龄分别为 $2573.06 \pm 47.16\text{Ma}$ (2σ) 和 $2599.16 \pm 41.49\text{Ma}$ (2σ),是各自同位素体系重设的结果,它们都不能代表底界沉积年龄。自侵入于金刚库组并与其同褶的片麻状花岗岩中选出的锆石类型,唯有一种,其单颗粒 U-Pb 年龄为 $2607 \pm 36\text{Ma}$ (2σ),不言而喻,金刚库组底界沉积时限 $>> 2607\text{Ma}$ 。与溥沱群下部(前青石村组)可能呈侵入关系的石佛岩体(小马蹄沟)中,选出两种类型锆石,其中较老的单颗粒锆石 U-Pb 年龄是 $2803 \pm 430\text{Ma}$ (2σ),可能代表岩体早期结晶年龄,似可藉鉴五台群底界时代,另一可能侵入于溥沱群下部(前青石村组)的西沟岩体,仅选出一种类型锆石,单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $2549 \pm 22\text{Ma}$ (2σ),蒸发法 Pb-Pb 年龄为 $2514.4 \pm 22\text{Ma}$ (2σ),上述年龄在时序方面与溥沱群青石村组变质玄武岩中的可能为残留锆石年龄 $2531 \pm 8\text{Ma}$ (2σ)、河边村变质玄武岩的沉积年龄变基性熔岩的沉积年龄 $2366 \pm 96\text{Ma}$ (2δ) 是和谐的。

综上所述,太古宙五台群与元古宙溥沱群的时限大抵在 2600—2500Ma。

第二章 晚太古代的克拉通化

第一节 晚太古代建造

五台山地区晚太古代建造包括两个部分：上壳岩建造——五台群；深成岩建造——TTG 岩套。

一、上壳岩建造——五台群

晚太古代的上壳岩建造——五台群，是一套旋回性清楚，以基性—中基性火山岩为主体的活动带火山—沉积建造，夹有阿尔戈马型条带状铁建造，经受了从角闪岩相、绿片岩相到次绿片岩相的多期变质作用和多期构造变形。

80 年代初，在五台群内部发现和确定了两个角度不整合（白瑾等，1982；杨振升等，1980，1982），据此将五台群自下而上分为三个亚群：石咀亚群、台怀亚群和高凡亚群（白瑾等，1986）。

（一）石咀亚群

石咀亚群主体分布在五台山东部和北坡，根据其岩石组合性质可分为：陆棚沉积建造——板峪口组；大洋地壳残片——金刚库组；钙碱性火山岩组合——庄旺组和文溪组。

1. 陆棚沉积建造——板峪口组

五台群石咀亚群板峪口组与下伏地层阜平群（伍家善等，1989）之间的界面，即铁堡不整合面，虽然经历了后期变形变质事件的改造而显示出韧性剪切变形的特征，但就其变形强度而言还不构成一个规模宏大的韧性剪切带，相反，不整合面所分割的上下两套地层在岩石组合、构造变形、变质作用等方面具有迥然不同的特征（伍家善等，1989；白瑾等，1986），并且局部地段还具有古铁—铝风化壳的特征。

板峪口组是否为晚太古代五台群的组成部分也有争议。有归早元古代溥沱群大石岭组的认识（杨杰，1936；王曰伦等 1954；马杏垣等，1957；袁国屏，1986），有归五台群的认识（山西区调队，1967；伍家善等，1984；李树勋等，1986），也有西段为溥沱群大石岭组，东段仍为五台群板峪口组的认识（白瑾等，1986；张翊钧，1988）。通过重点地段安家沟—化桥一带的地质填图和构造测量，结合室内研究工作，对二者之间的关系有了进一步了解（图 3）。在这一带大石岭组和板峪口组有着极为不同的地质特征（郭进京等，1990）。

（1）大石岭组主要岩石类型有：变质砾岩、变质长石石英砂岩、绢云母片岩、含石英白云石大理岩；板峪口组主要岩石类型为：中细粒微斜长石石英岩、黑云变粒岩、豆状黑云变粒岩、角砾状透闪方解变粒岩、金云透闪方解大理岩、白色含透闪方解大理岩。

（2）大石岭组的变质砾岩、变质砂岩、大理岩中变余结构发育，如变余砂状结构，变余砾状结构。板峪口组岩石以变晶结构为主，很少残留变余结构，如长石石英岩的变晶结构。

（3）大石岭组显微构造特征：石英以波状消光、变形纹和显微剪切破裂为特征（图版

I-1, 2), 长石显脆性破裂, 反映了低温变形的特点。板峪口组岩石的显微变形特征: 石英以强烈塑性拉长定向、波状消光、带状消光为特征 (图版 I-3, 5, 6), 长石塑性拉长呈眼球状和蠕虫状结构 (图版 I-4), 反映了高温变形的特点。

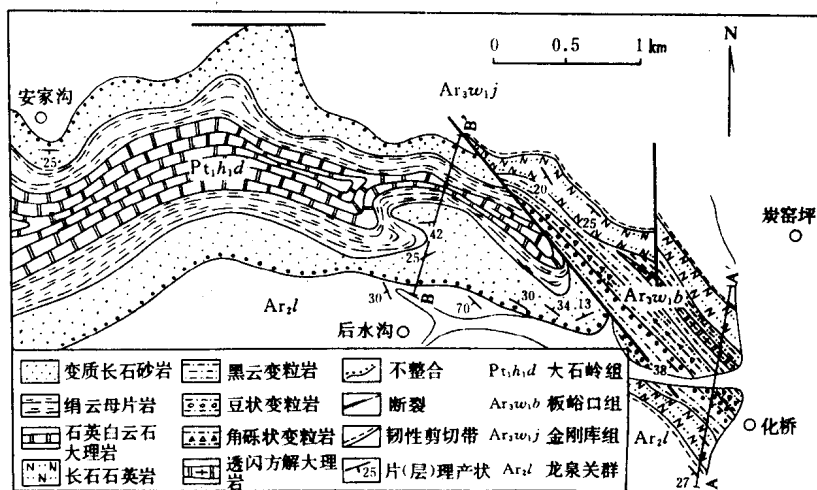


图3 安家沟—化桥一带地质图

Fig.3 Geological map of Anjiagou-Huaqiao, Shizui district, Wutai country

(4) 板峪口组下部为中细粒微斜长石石英岩,发育小型交错层; 大石岭组底部为变质砾岩、变质含砾长石石英砂岩, 不发育交错层。

(5) 板峪口组的大理岩类典型矿物共生组合为: 金云母+透闪石+方解石, 变粒岩类典型矿物共生组合为: 方柱石+黑云母+斜长石+石英, 另在区域内还出现角闪石、透辉石等特征变质矿物, 总体标志着它经历了角闪岩相的区域变质作用 (张翊钧, 1988); 并且发育有后期热事件 (可能与兰芝山岩体有关) 形成的放射状透闪石 (图版 I-7, 8)。大石岭组仅经历了次绿片岩相的变质, 绢云片岩典型矿物共生组合为: 绢云母+斜长石+石英; 大理岩类矿物共生组合为: 白云石+石英+黑云母, 在区域内只在局部地段 (石佛岩体附近) 出现叠加热变质, 达绿片岩相, 出现不定向的黑云母、石榴石等后构造变斑晶, 同时也引起了构造形迹的变位 (白瑾等, 1986)。

(6) 板峪口组在这里总体为一单斜构造 (图 4), 然而以区域而论至少经历了三期构造变形, 并且第一期构造变形特征同金刚库组第一期变形特征完全吻合。而大石岭组总体为一向斜构造 (图 5)。

安家沟—后水沟一带所测得的大石岭组层理(S_0)产状的极点投影 (图 6a) 呈一大圆环带, 环带轴 (B) 产状为 $228^\circ \angle 26^\circ$, 与所测得的褶皱枢纽及层片交面线理 (L) 的产状 (图 6b) 相吻合, 反映了大石岭组仅经历了一次构造变形。

石咀—新路口以南所测得的板峪口组的片理 $S_1(S_0 // S_1)$ 产状的极点投影 (图 6c) 呈一显著的极密, 极密对应的大圆产状为 $248^\circ \angle 26^\circ$, 结合黑崖堂附近平卧褶皱转折端的存在分析, 这一极密反映了板峪口组片理 $S_1(S_0 // S_1)$ 褶皱具平卧的特征。在这一带板峪口组中所测得的褶皱枢纽极点投影 (图 6d) 分散, 反映了板峪口组多期变形的特点。

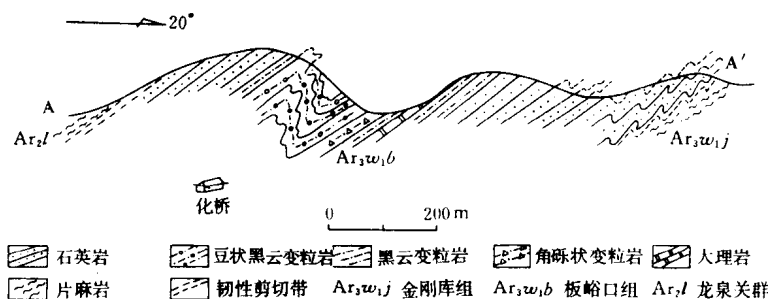


图 4 石咀化桥村北板峪口组剖面图 (图 3 中 A-A')

Fig.4 Section of the Banyukou Formation through Huaqiao village, Shizui district, Wutai Country (A-A' in Fig. 3)

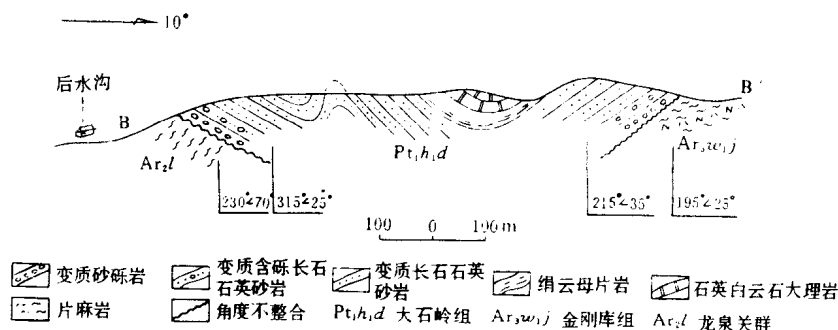


图 5 石咀后水沟村北大石岭组剖面图 (图 3 中 B-B')

Fig. 5 Section of Dashiling Formation through Houshuigou village, Shizui district, Wutai Country (B-B' in Fig. 3)

有趣的是早期褶皱枢纽粗略地构成了一个大圆环带, 这一大圆环带与板峪口组片理产状极点投影 (图 6c) 的极密所对应的大圆环带相吻合, 反映了板峪口组早期褶皱也具有平卧的特征, 这与野外露头所见的早期平卧褶皱的特征一致。此外, 板峪口组还发育有轴向北东, 近水平的, 轴面陡立的开阔褶皱。

(7) 板峪口组同金刚库组以角闪岩相条件下形成的韧性剪切带相接触 (郭进京, 1990), 而大石岭组与金刚库组、龙泉关群都以角度不整合相接触。

综合分析, 不难看出, 板峪口组与大石岭组在岩石组合、构造变形、变质作用等方面有很大差异, 二者应分属两个构造层。板峪口组当属五台群石咀亚群, 同溥沱群豆村亚群大石岭组为不整合关系。而这一带以西原曾称为板峪口组的地层应为溥沱群大石岭组, 它不整合覆盖在兰芝山岩体之上。

如前述板峪口组主要由浅肉红色中细粒微斜长石石英岩、石英岩、黑云变粒岩、角闪变粒岩、金云透闪方解大理岩组成, 在南部 (红安以南) 出现角砾状透闪方解变粒岩、豆状黑云变粒岩。空间分布很有规律, 北薄南厚, 南部岩石类型齐全, 层序完整。由两个沉

积旋回组成。原岩为一套陆源碎屑沉积夹碳酸盐沉积的岩石组合。其中还发现许多变余沉积构造，如波痕、泥裂、交错层、递变层等。波痕属小型对称波痕，波长（L）为

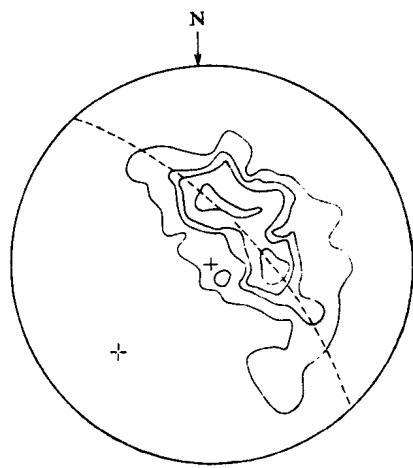


图 6a 大石岭组层理(S_0)极点图
 Fig. 6a Stereogram of the poles of bedding
 in Dashiling Formation
 安家沟—化桥, 140 点, 0.7–2.1–3.6–7.1%

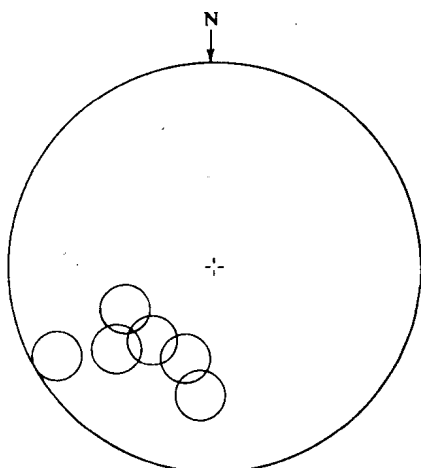


图 6b 大石岭组枢纽极点图
 Fig. 6b Stereogram of the fold hinges
 in Dashiling Formation
 安家沟—后水沟, 6 点

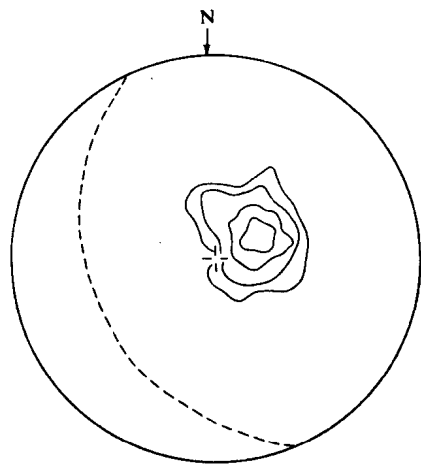


图 6c 板峪口组片理($S_0 // S_1$)极点图
 Fig. 6c Stereogram of the poles of schistosity
 in Banyukou Formation
 石咀南部, 101 点, 1–4–10–15%

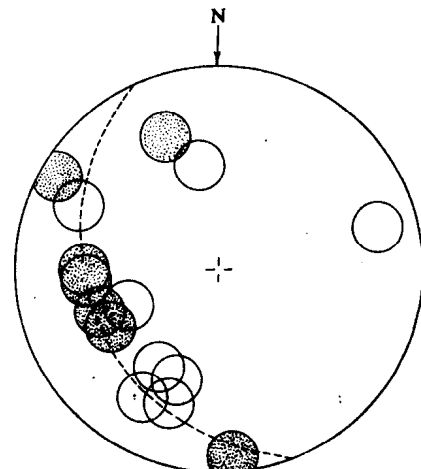


图 6d 板峪口组枢纽极点图
 Fig. 6d Stereogram of the fold hinges
 in Banyukou Formation
 石咀南部, 阴影部分为早期褶皱枢纽, 15 点

8.85cm，波高（H）为 0.5cm，波痕指数（L / H）为 7.08，波脊平直圆滑且相互平行，多属浪成波痕（Reineck and Singh, 1973），在波痕面上有时可见多边形泥裂构造。交

错层也是以小型为主,层系厚度一般在5—8cm,细层与下层理交角一般为20—25°。黑云变粒岩中还见有变余递变层理,它通过垂直层理方向长英质矿物和云母含量变化显示出来,在一个小韵律层中从底到顶由较粗的长英质矿物微层(浅粒岩)向上逐渐过渡成富含云母微层(云母片岩,黑云变粒岩),单个韵律层厚0.8—1cm。在黑云变粒岩中还见有变余条纹长石碎屑。

南部板峪口组的豆状变粒岩在成因上与显生宙鲕状灰岩类似,反映形成滨浅海高能环境;角砾状透闪方解变粒岩的角砾具有同生沉积的特征,形成于滨浅海侵蚀—沉积交替出现的动荡环境,这种环境可能与太古宙周期性风暴作用有关(郭进京,1988)①。

板峪口组长石石英岩的 SiO_2 平均含量为85.3%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为24.7,类似于被动大陆边缘型石英砂沉积(Cook, 1974); $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}=0.927\%$, $\text{TiO}_2=0.067\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2=0.08$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=24.7$, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})=16.9$, $\text{Ba}/\text{Sr}=33.3$, $\text{Cr}=13\text{ppm}$, $\text{V}=12\text{ppm}$, $\text{V}/\text{Ni}=0.8$,这些地球化学特征类似于稳定大陆边缘的克拉通沉积的特点(Bhatia, 1983, 1985)。

从板峪口组分布看,它平铺在古陆核阜平群之上,尽管它们之间可能存在韧性剪切滑动,底层石英岩分布广泛,底部缺乏砾岩,上部层位南部完整,北部由缺失某些层位到全部缺失,在神堂堡附近仅余一层石英岩,其厚度仅数米,这种变化并非是由于构造因素引起,而是自然尖灭。从原生沉积构造看,交错层、斜层理、波痕及鲕状构造、同生角砾状构造等显示了滨浅海高能环境(或与风暴作用有关)沉积的特点,从地球化学特征看,它具有稳定大陆边缘克拉通沉积的特点。

2. 大洋壳残片——金刚库组

金刚库组主体由变质的超基性岩、斜长角闪岩夹条带状磁铁矿石岩组成。

金刚库组的变质超基性岩沿一定层位分布,呈层状、似层状、透镜状,往往成群成带出现。岩石化学特征表明属镁—铁质超基性岩,部分类似于玄武质或橄榄质科马提岩(白瑾等, 1986; 李树勋等, 1986)。岩体与围岩呈整合接触关系,所有围岩未见有蚀变现象,岩石同围岩一样遭受了角闪岩相变质和叠加变质,并且同围岩一起卷入了多期变形。由于它处于板峪口组与金刚库组之间韧性剪切带的中心部位(应变集中部位),所以强烈的变形变质,使其形成了明显的构造岩石分带(见第二节)。由于强烈的变形变质,这些超基性岩不仅发生了强烈的片理化和矿物组合的变化,而且还伴随有化学成分的大量迁移,从变质超基性岩(透闪岩)的化学分析结果可以看出 SiO_2 含量高达54.7%,说明 SiO_2 的大量带入或其它元素的大规模迁移的存在,但 MgO 含量仍高达19.5%,显示了超基性岩的特征。因此,利用这些变质超基性岩的主要化学成分探讨其形成的构造环境有极大的冒险性,而稀土元素(REE)被认为是评价岩浆历史的一组很重要的元素组合(Condie, 1982),是一种良好的地球化学指示剂。金刚库组变质超基性岩稀土元素(REE具有如下特征: $\sum \text{REE}=17.69\text{—}22.28\text{ppm}$, $\text{LREE}/\text{HREE}=0.32\text{—}0.36$,球粒陨石标准化稀土元素分配型式(图7)显示出重稀土(HREE)平坦,轻稀土(LREE)有起伏,铕(Eu)略显正异常,轻稀土(LREE)相对重稀土(HREE)有明显的亏损。这种特征类似于阿尔卑斯型超基性岩中的石榴辉石岩(Frey, 1984),与太古宙橄榄质科马

①郭进京, 1988, 五台群石咀亚群中韧性剪切带的变形特征, 中国地质科学院研究生毕业论文