

国 家 计 委
科研专项 95-01 成果

五台山地区条带状铁建造 金矿地质及成矿预测

天津地质矿产研究所
骆 辉 陈志宏 沈保丰

山西省地质科学研究所
田永清 余克忍

· 北 京 ·

内 容 简 介

五台山地区是我国较典型的绿岩带分布区，前寒武纪条带状铁建造比较发育，产有我国同类铁建造中罕见的条带状铁建造金矿，已知20余处金矿床（点）赋存于五台群金岗库组和柏枝岩组条带状铁建造之中。条带状铁建造有氧化物相、碳酸盐相、硅酸盐-氧化物混合相和碳酸盐-氧化物混合相之分，相应形成了碳酸盐相铁建造金矿、碳酸盐-氧化物混合相铁建造金矿、硅酸盐-氧化物混合相铁建造金矿和氧化物相铁建造金矿四种类型。矿床和矿体分布、形态和规模受条带状铁建造层位、沉积相和褶皱、剪切变形构造控制，矿体与条带状铁建造相整合，具明显层控性。成矿铁建造主要为贫铁薄层富含铁碳酸盐或富含铁硅酸盐。矿化以浸染型为主，矿石就是富金的组成铁建造的岩石或贫铁矿石，富硫贫砷。富金矿物自然金呈晶隙金和包裹金状态分布。载金矿物主要为黄铁矿和石英。

五台山条带状铁建造金矿的形成经历了火山-沉积作用和区域变质作用两大地质过程，包括成矿物质孕育、矿源形成和成矿三个阶段，以及变质热液活化、岩浆热液叠生和次生氧化三期成矿作用。成矿物质直接来自铁建造及其围岩，成矿流体多来源，主要为变质热液，主期成矿温度171~300℃，压力0.12~0.31GPa。成矿时间在区域变质峰期之后，同位素年龄为 $2416\text{Ma} \pm 64\text{Ma} \sim 2317\text{Ma} \pm 63\text{Ma}$ ，是迄今为止我国最早形成的前寒武条带状铁建造金矿。

本书可供从事地质找矿的生产、科研和教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

五台山地区条带状铁建造金矿地质及成矿预测/ 骆辉等著. -北京: 地质出版社, 2002.4
ISBN 7-116-03601-6

. 五... . 骆... . 金矿床-地质构造-五台山 金矿床-成矿预测-五台山 . P618.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 030799 号

责任编辑: 党顺行 王大军
责任校对: 田建茹
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话: (010) 82324508 (邮购部)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真: (010) 82310759
印 刷: 北京印刷学院实习工厂
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 10.25 图版: 4 页
字 数: 245 千字
印 数: 1—600 册
版 次: 2002 年 4 月北京第一版·第一次印刷
定 价: 30.00 元

ISBN 7-116-03601-6/ P·2269

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

前 言

前寒武纪条带状铁建造广泛分布于世界各地的早期地壳中，它不仅是世界铁矿的主要来源，也是黄金资源的重要产地。在津巴布韦、加拿大、澳大利亚、美国、印度、巴西、坦桑尼亚等国，条带状铁建造中都产出有一系列中小型金矿床，有的甚至产出超千吨的特大型金矿床。条带状铁建造具有不容忽视的重大经济意义和社会效益，因而引起普遍关注。

在条带状铁建造中微金含量普遍较高，条带状铁建造金矿又具有全球普遍性，显示金矿与条带状铁建造具有先天的内在的必然联系。然而，不是所有条带状铁建造都有金矿，产有金矿的条带状铁建造仅是条带状铁建造的极少部分，表明条带状铁建造金矿又受条带状铁建造后天的外在的特定地质因素影响，以致条带状铁建造金矿床赋存条件各异，矿化形式多样，因而增加了勘查的复杂程度。

我国前寒武纪条带状铁建造分布比较广泛。在太古宇五台群和元古宇东风山群的条带状铁建造中分别发现了金矿。在辽宁歪头山、江西赣州等处也有铁建造金矿显示。但是，我国目前所发现的条带状铁建造金矿，其数量、规模和品位与国外同类金矿相比相形见绌，寓意我国条带状铁建造金矿找矿尚有潜力，找矿有待突破。

1995年，国家计委设立科研专项“五台山地区太古宙铁建造金矿成矿规律及靶区预测”（专项编号95-01），主要任务是以五台山西部条带状铁建造金矿为重点，研究总结条带状铁建造金矿区域成矿规律、评价成矿远景。

五台山早前寒武纪地质研究历史已有100多年，积累了丰富的地质矿产资料。20世纪80年代以来，地质研究工作进入黄金时期，开展了广泛的基础地质和矿产地质研究工作，发表了大量文章，出版了许多专著，为本项目的研究提供了充分基础。20世纪80年代后期，山西省地勘局、山西省地质科学研究所、山西省冶金地质研究所和天津地质矿产研究所等单位开展了对五台山条带状铁建造金矿的研究，先后出版了与铁建造金矿有关的科学专著，如田永清主编的《五台山-恒山绿岩带地质及金矿成矿作用》、骆辉等著的《五台山绿岩带铁建造金矿》、陈平等著的《山西主要成矿区带成矿系列及成矿模式》和沈保丰等著的《五台山-恒山绿岩带金矿床地质》等。这些成果为本书的主要参考借鉴资料。

本书研究项目由天津地质矿产研究所和山西省地质科学研究所合作开展，由沈保丰研究员和陈平教授级高级工程师指导，骆辉、余克忍、陈志宏、田永清和沈保丰共同完成。在前人工作基础上，立足实践，开展了野外地质调查和室内研究，完成了大面积区域成矿地质背景调查，剖析金矿床（点）16处，基岩地球化学测量8.2 km²，鉴定光薄片870件，岩、矿石化学分析870件，同位素测试82件，成岩成矿年龄测定3件，获取了较为丰富的研究资料，主要研究新进展和认识如下。

1. 依据地质、岩石学及矿物学的研究资料，五台山地区条带状铁建造可划分为氧化物相、碳酸盐相、硅酸盐相和碳酸盐-硅酸盐-氧化物混合相四种类型。并通过地质、稀

土、微量元素、地球化学特征等的对比研究，论证了条带状铁建造为古海底热流沉积成因的特点，探讨了其形成环境、物质来源和金、银等成矿元素的分布特征，阐明了条带状铁建造金矿与条带状铁建造之间的成因联系。

2. 条带状铁建造金矿无一例外的都产在条带状铁建造之中，但不是所有条带状铁建造都一样成矿，80%的金矿床（点）产于柏枝岩组条带状铁建造之中，金岗库组条带状铁建造的金矿不足20%。柏枝岩组条带状铁建造中的金矿分别产于碳酸盐相、碳酸盐-氧化物混合相、硅酸盐-氧化物混合相中，氧化物相条带状铁建造中金矿化很弱。条带状铁建造金矿对条带状铁建造层位和沉积相的选择较为明显。

3. 条带状铁建造金矿具四种矿床类型：碳酸盐相铁建造型金矿床、碳酸盐-氧化物混合相铁建造型金矿床、硅酸盐-氧化物混合相铁建造型金矿床和氧化物相铁建型造金矿化。矿床类型之间差异明显。碳酸盐相铁建造型和碳酸盐-氧化物相铁建造型为主要矿床类型。

4. 根据矿石矿物组合研究，条带状铁建造金矿具五种矿石类型：“脉状”型矿石、浸染状碳酸盐磁铁矿石型矿石、浸染状碳酸盐贫磁铁矿石型矿石、浸染状碳酸盐石英岩型矿石和浸染状硅酸盐磁铁矿石型矿石，前四类为主要矿石类型。矿石矿物主要是黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、铁白云石、铁闪石等。黄铁矿为主要载金矿物，矿石中没有毒砂矿物。

5. 条带状铁建造金矿的成矿经历条带状铁建造形成过程的火山沉积作用和区域变质变形作用两大地质事件。成矿作用分为三类：变质热液活化成矿作用、岩浆热液叠加成矿作用和次生氧化成矿作用。变质热液活化成矿作用为主要成矿作用，经历成矿物质孕育、矿源形成和成矿三个阶段。

6. 成矿事件发生于变质作用峰期之后， $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素地质年代学的研究结果表明为 $2416\text{ Ma} \pm 64\text{ Ma} \sim 2317\text{ Ma} \pm 63\text{ Ma}$ ，也是迄今为止我国铁建造金矿的最早成矿年龄。

7. 成矿规律以鲜明的层控性为基本特征，主要控矿因素为条带状铁建造特征和多期成矿作用：成矿地层单元富含镁铁质火山岩和条带状铁建造，条带状铁建造含量越多成矿越好；成矿条带状铁建造主要为贫铁薄层铁建造，富铁中厚层条带状铁建造成矿不好；成矿条带状铁建造富含铁碳酸盐或富含铁硅酸盐，富含铁碳酸盐铁建造成矿最好；成矿条带状铁建造变形比较强烈，褶皱构造和剪切变形与成矿强度和矿体定位空间有关；成矿作用类型和叠加影响矿床规模和矿石品位。

8. 与国外条带状铁建造金矿相比，五台山条带状铁建造金矿有其共性和特殊性。共性：赋存于太古宙绿岩带；产于与镁铁质火山岩共生的阿尔戈马型条带状铁建造的多种沉积相之中；成矿时间早，成矿具多阶段性；矿化呈整合浸染型和非整合脉状型；矿石中富硫化物和碳酸盐；富金矿物为自然金；自然金成色高。特殊性：成矿条带状铁建造为贫铁薄层铁建造，以碳酸盐相、碳酸盐-氧化物、硅酸盐-氧化物混合相为主，没有硫化物相，成矿主要发生在碳酸盐相、碳酸盐-氧化物混合相条带状铁建造之中；矿石中硫化物主要是黄铁矿，没有毒砂，磁黄铁矿很少；矿石中碳酸盐主要是铁白云石，菱铁矿很少；条带状铁建造金矿规模不大。

9. 预测了5个成矿远景区（带），圈定了5个找矿靶区，提出了地球化学勘查最佳元素金、银、铜、铋、砷组合。

“五台山地区太古宙铁建造金矿成矿规律及靶区预测” 科研报告于1999年4月在北京

由国土资源部国际合作科技司主持进行了评审验收。评审委员会由李廷栋院士、叶天竺、陈平、朱裕生（研究员）、孙继源、赵国龙、赵云、曾广湘和黄太岭等教授级高工组成。评审委员会对该科研成果给予了很高的评价，提出了宝贵的修改意见。本书就是在上述科研报告基础上修改后撰写而成的。前言、第四章、第五章、第六章、第八章由骆辉执笔，第一章由余克忍执笔，第二章、第九章由陈志宏执笔，第三章由田永清、余克忍执笔，第七章由沈保丰执笔，第十章由田永清、骆辉执笔，英文摘要陈志宏，统编骆辉。在本书的科研工作过程中得到多方的帮助和支持，沈保丰研究员、陈平教授级高级工程师直接指导，山西地勘局 212 队毕卫东、216 队郝书清、山西省冶金地质勘查院曹国雄等高级工程师以及山西省地质科学研究所同行给予了大力支持，中国科学院地质所、中国地质科学院矿床所、山西省地勘局实验室、天津冶金地质研究院、天津地质矿产研究所测试室和同位素室分别承担了大量样品测试，在此，向他们表示衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 成矿地质背景	(1)
第一节 构造背景	(1)
一、大地构造分区	(1)
二、基本构造格架	(1)
三、拉伸盆地构造	(2)
四、挤压褶皱构造	(3)
五、剪切变形构造	(3)
第二节 地层	(4)
一、石咀亚群	(4)
二、高凡亚群	(6)
第三节 岩浆岩	(6)
一、超镁铁质侵入岩	(6)
二、镁铁质岩石	(7)
三、花岗质侵入岩	(7)
第四节 变质作用	(8)
第五节 热-构造事件	(8)
一、五台期热-构造事件	(8)
二、吕梁期热-构造事件	(9)
第二章 条带状铁建造对铁建造金矿的制约	(10)
第一节 五台山地区条带状铁建造 (BIF) 的层位及空间分布	(10)
第二节 五台山地区条带状铁建造类型及其一般地质特征	(11)
一、五台山地区条带状铁建造类型	(11)
二、五台山地区不同类型条带状铁建造一般地质特征	(13)
三、条带状铁建造的矽卡岩化及其一般特点	(14)
第三节 条带状铁建造岩石学和地球化学	(15)
一、条带状铁建造组构及主要矿物共生组合	(15)
二、条带状铁建造矿物学	(16)
三、条带状铁建造地球化学	(17)
第四节 条带状铁建造对金矿成矿的制约	(23)
第三章 条带状铁建造金矿床的构造地质	(26)
第一节 褶皱作用与条带状铁建造金矿	(26)
一、区域性褶皱与条带状铁建造金矿	(26)
二、褶皱转折端的条带状铁建造金矿特征	(28)
第二节 剪切变形作用与条带状铁建造金矿	(29)

一、区域性剪切变形带	(29)
二、剪切变形特征	(31)
三、剪切变形对条带状铁建造金矿的制约	(33)
第四章 条带状铁建造金矿矿床实例	(37)
第一节 殿头金矿床	(37)
一、区域地质概况	(37)
二、矿床地质	(38)
第二节 柏枝岩金矿	(42)
一、矿区地质	(42)
二、矿床地质	(44)
第三节 小板峪金矿床	(46)
一、矿区地质	(46)
二、矿床地质	(46)
第四节 康家沟金矿床	(48)
一、矿区地质	(48)
二、矿体产状、形态和规模	(51)
第五节 舜王寺金矿点	(52)
第五章 条带状铁建造金矿的矿石和矿物	(54)
第一节 矿石类型和特征	(54)
一、“脉状”型矿石及特征	(54)
二、浸染状碳酸盐磁铁石英岩型矿石及特征	(55)
三、浸染状碳酸盐贫磁铁石英岩型矿石及特征	(55)
四、浸染状硅酸盐磁铁石英岩型矿石及特征	(56)
五、浸染状碳酸盐石英岩型矿石及特征	(57)
第二节 主要矿物和特征	(57)
一、磁铁矿	(58)
二、黄铁矿	(58)
三、黄铜矿	(63)
四、磁黄铁矿	(63)
五、碳酸盐矿物	(64)
六、镁铁闪石	(65)
第三节 自然金的赋存状态和成分	(66)
一、自然金的赋存状态	(66)
二、自然金的形态和粒度	(67)
三、自然金的化学成分	(67)
第四节 矿石的化学成分	(69)
第五节 矿石的氧化作用	(72)
第六章 流体包裹体和稳定同位素	(73)
第一节 流体包裹体	(73)
一、流体包裹体特征	(73)
二、流体包裹体的物理参数	(74)

三、流体包裹体的地球化学特征	(76)
四、流体的成因分析	(81)
第二节 稳定同位素	(82)
一、硫同位素	(82)
二、硅同位素	(83)
三、碳同位素	(84)
四、铅同位素	(84)
第七章 五台山地区条带状铁建造金矿床的特色	(89)
第一节 国外条带状铁建造金矿床的地质特征	(89)
一、分布和概述	(89)
二、美国霍姆斯塔克金矿床	(89)
三、津巴布韦武巴奇奎金矿床	(92)
四、巴西莫罗韦洛金矿床	(96)
第二节 国内条带状铁建造金矿床(化)分布和地质特征	(97)
一、华北地块南龙王庙金矿床	(97)
二、扬子地块赣中铁建造金矿化点	(98)
三、塔里木地块铁建造金矿化点	(99)
四、秦岭造山带铁建造金矿化点	(99)
五、华夏地块铁建造金矿床	(99)
六、佳木斯地块东风山金矿床	(99)
第三节 五台山地区条带状铁建造金矿床与同类型金矿床的对比	(103)
一、共性和相似性	(103)
二、特色和差异性	(103)
第八章 成矿作用、成矿时间、成矿规律和区域成矿模式	(104)
第一节 成矿作用	(104)
一、成矿作用类型	(104)
二、成矿物质来源	(105)
三、成矿流体	(106)
四、金的运移和沉淀	(106)
五、成矿温压条件	(106)
第二节 成矿时间	(107)
一、 $n(^{40}\text{Ar}) / n(^{39}\text{Ar})$ 同位素年龄	(107)
二、同位素年龄的地质解释	(110)
第三节 成矿规律	(111)
一、地层岩性对条带状铁建造金矿的控制	(111)
二、贫铁薄层条带状铁建造对条带状铁建造金矿的控制	(111)
三、富含铁碳酸盐或铁硅酸盐对条带状铁建造金矿的控制	(112)
四、褶皱构造和剪切变形对条带状铁建造金矿的控制	(113)
五、多期成矿作用对条带状铁建造金矿的影响	(113)
第四节 区域成矿模式	(113)
一、成矿模式综述	(113)
二、区域成矿模式概述	(114)

三、区域成矿模式图示	(115)
第九章 基岩地球化学测量及异常特征研究	(116)
第一节 基岩地球化学测量方法简介及测区选择	(116)
第二节 基岩地球化学测量具体实施方案	(117)
一、工作图件.....	(117)
二、采样布局和采样密度.....	(117)
三、采样介质及采样记录	(117)
第三节 照山一带基岩地球化学测量数据的分析和处理方法	(119)
第四节 照山一带基岩地球化学测量结果及异常特征综合分析	(119)
第十章 远景预测、靶区圈定和勘查模式	(127)
第一节 远景预测	(127)
一、远景预测的前提.....	(127)
二、远景区(带)选取的准则.....	(128)
三、远景区(带)的划分	(128)
第二节 靶区圈定	(130)
一、靶区圈定的原则.....	(130)
二、靶区圈定和特征	(130)
第三节 综合信息勘查模式	(131)
一、找矿信息.....	(131)
二、勘查方法.....	(132)
三、综合信息勘查模式	(132)
参考文献	(133)
英文摘要	(136)
图版说明及图版	(145)

第一章 成矿地质背景

五台山地区前寒武纪条带状铁建造，是五台山花岗岩-绿岩带的重要组成部分，在整个五台山地区都有分布，尤以中、西部地区的中、浅变质绿岩层分布较广，其形成、演化、现今的分布状态以及赋存金矿的形式、控矿特征都与五台山地区绿岩带本身的演化有关，它们在不同层次上构成了条带状铁建造金矿成矿的地质背景。

第一节 构造背景

一、大地构造分区

五台山绿岩带位于华北陆台中部，地理上属于山西省东部地区，在其东南部以北东方向展布的龙泉关韧性剪切带与以阜平群变质沉积表壳岩为特征的太古宙穹隆分开，西北部则以滹沱河为界，与恒山以变质杂岩为特征的高级变质地体相邻，总体上呈现出一个向北东收敛、南西撒开的楔状体嵌入这些古老变质岩石之中。其东西延伸约 70 余公里，南北宽约 30 余公里，具有绿岩带典型的线状分布特征（图 1-1）。

恒山杂岩以广泛分布灰色片麻岩即 TTG 岩套而著名，呈现穹状的构造特征，阜平片麻岩则表现为高变质的火山-沉积表壳岩，其构造特征与恒山相类似。二者虽然在物质组成上存在明显差异，其构造演化却是大体相同的。同位素资料揭示二者的形成年龄均大于 2500 Ma。

作为五台山绿岩带主体地层的五台群，是一套中-浅变质程度的火山-沉积岩系，厚度大于 6500 m、含铁岩系是它的主要组成部分。通过对它的沉积特征、岩石组合、变形强度、变质程度以及与下伏古老结晶基底的接触关系的研究，充分提示出它们是在五台山地区晚太古宙克拉通化之后，在拉伸机制下大陆裂谷的产物（白瑾，1996；田永清，1991），与阜平群及恒山杂岩为上、下新老关系。根据沈保丰等的最新研究，认为五台山群的形成年龄大致在 2500 ~ 2800 Ma，顶界年龄为 2500 ~ 2600 Ma，底界年龄可能为 2800 Ma（沈保丰等，1998）。

二、基本构造格架

对于五台群的构造轮廓，前人曾进行了大量的研究并作过详细的讨论，虽然在叙述上有些差异，但总体上具有相同的结论。一般而言，五台群的总体构造格架是一个长轴为 60°~70° 方向呈“之”字型展布的复式倒转向斜。岩层片理同区域性倒转褶皱轴面面理一致，均向北西倾斜。其后又被一系列成因上同褶皱变形，但形成较晚的韧性-脆韧性剪切变形带所肢解。这一构造背景直接反映的是五台变形期与吕梁变形期叠加变形、改造，而以吕梁变形为主的构造特征。从变形机制上看，则反映出是以褶皱变形为主，其形成的面理为全区透入组构；剪切变形叠加在褶皱变形之上，面理组构具有非透入性的线状分布特征。因此从这个意义上讲，五台群的构造轮廓亦可以理解为以一系列韧性剪切为构造边界

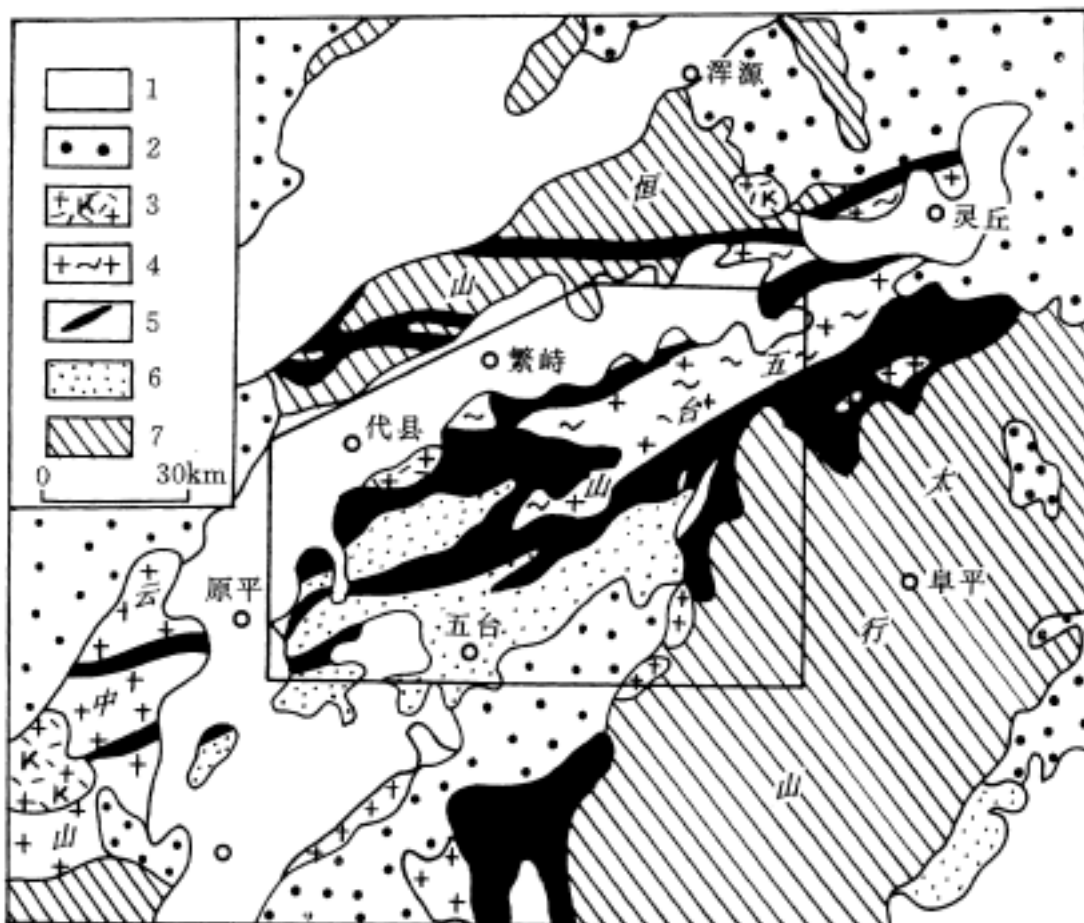


图 1-1 五台山-恒山花岗岩-绿岩地体的区域构造位置图

1—第四系沉积物；2—显生宙沉积盖层；3—太古宙钾质花岗岩；4—太古宙 TTG 片麻岩；
5—花岗岩-绿岩；6—变质沉积岩；7—基底高级变质杂岩

的褶皱片体组合（田永清，1991，1996）。

但是从五台群中以条带状铁建造容矿的金的成矿角度出发，其成矿地质背景应该具有不同的内涵。以上的讨论只是反映了五台山区最晚期次变形，也即矿化形成之后新显示出的构造轮廓。从成矿的角度出发，考虑到条带状铁建造（BIF）型金矿化具有同生、后生复合成矿的特征，成矿构造背景应该包括作为初始矿源层绿岩带，主体的五台群形成时的构造轮廓以后及后期构造变形形成的构造轮廓。前者以拉张冲填式为代表，以反映控制物质成分变化的裂谷盆地为特征，后者则以挤压闭合的造山形式，反映物质成分经褶皱以及韧性剪切的变形、变质改造。二者一致地揭示了五台山地区新太古代时期地壳由开（裂谷沉积）—合（褶皱隆起）的过程，已经掌握的大量金矿化资料以及本次研究成果均显示金矿化始终贯穿于这一过程之中。因而从这个意义上讲，矿化的构造背景应该具有动态的概念。

三、拉伸盆地构造

大量的研究证实，五台山地区乃至整个华北陆台的克拉通化是以太古宙末的阜平运动（铁堡运动）为标志的，当时的地壳为一薄的硅铝质结晶陆壳。由于下地壳的塑性流动、上地壳的脆性破裂，导致当时的地壳被迅速拉伸、变薄产生裂谷盆地，沉积充填了五台群的绿岩地层（田永清，1991）。条带状铁建造正是在这种构造背景下就位于绿岩盆地之内。根据李江梅（1991）年研究，龙泉关剪切变形带即是一个位于沉积盆地南缘、沿 NW—NWW 方向运动的拉张伸展性韧性剪切带，该剪切带在某种意义上控制了裂谷盆地的产生

及绿岩地层的形成。地壳脉动的性质导致绿岩地层具有旋回沉积的特征，产生了五台群上、下两个火山-沉积旋回，并伴生有大量的岩浆活动。条带状铁建造的初始同生金矿化正是在这种拉伸盆地之内，由于海底火山喷气作用而形成，这一点将在以后的章节中详细讨论。

四、挤压褶皱构造

如上所述，五台山地区绿岩带的演化同世界上其他地区一样，同样遵循开-合的演化历史。根据已经掌握的大量基础地质资料，可以判断五台山绿岩带的变形总体上以褶皱变形为主，可分为两个大的变形旋回，即五台旋回和吕梁旋回，分别对应于五台、吕梁两次造山运动。第一个变形旋回以大量发育不同尺度的紧闭同斜褶皱为特征，褶皱形态均表现为相似褶皱，构造线方向从 NW—SN—NE，具有递进变形的特征，其轴面面理 S_1 一般走向为 NE、NEE，向 NW 倾斜，已强烈地置换 S_0 ，形成区域上透入性面理组构，该面理构成五台山区主要的构造面理，并成为控制以后绿岩地层变形的主界面。而第二个变形旋回，即吕梁旋回，尽管褶皱尺度以小型（露头尺度）到中型（矿区规模）、再到大型（区域规模）都有分布，但褶皱形态却都是相同的，以等斜倒转褶皱（ F_2 ）为主，并以发育大型褶皱为其特点，五台山地区现今所观察到的大部分大型褶皱构造都是吕梁期褶皱变形的产物，其褶皱形态以及形成的轴面面理一般都有继承了 F_1 褶皱及 S_1 面理的特点。

因此，作为赋存含条带状铁建造的五台群，至少经历了两次大的褶皱变形作用。前者（五台山）制约、控制了后期（吕梁期）的褶皱变形，而后者则具有继承前者的变形特征。这就是二者具有大致相似的变形形迹和构造线方位的原因。

五、剪切变形构造

剪切变形带作为花岗岩-绿岩带的深层次构造变形，近年来受到人们的广泛关注，尤其是在金矿化的构造控制方面，更是起着十分重要的作用。从表 1-1 可以看出，从五台山区绿岩地层的形成到主构造变形期的褶皱造山；从早期五台旋回，到后期吕梁旋回的叠加改造，剪切变形作用均贯穿其中，但其规模、性质、影响范围以及对金矿化的作用有所不同。以伸展作用为代表的韧性剪切带规模较大，是早期结晶基底发生构造拆离的产物。代表性的有龙泉关剪切变形带、北台岩体与绿岩地层之间的剪切变形带。它们对于裂谷盆地的形成、绿岩地层的沉积可能起着十分重要作用。这一类剪切变形带随着裂谷盆地的演化以及随后的多次构造变形而变得模糊不清，难以辨认。而大量发育、保存较好、规模小易于辨认的层间剪切变形带则是五台期及吕梁期褶皱变形的递进产物，其特征主要表现为规模较小，一般沿紧闭褶皱的倒转翼产出，剪切褶皱及剪切面理组构、拉伸线理发育，变形岩石常常为强、弱相间产出的条带状铁建造。剪切作用是在区域性挤压褶皱变形过程中，由于应变分解而产生，因而在一定的研究尺度上反映的是平面应变特征，而在更大的尺度上，则具有挤压变形的性质。剪切变形作用通过以各类构造岩为代表的岩石变形、流体沿剪切构造通道的运移以及在差异应力作用下流体与岩石的相互作用而反映出来，因此这一类的剪切变形带与区域性的金矿化最为密切。

需要指出的是，迄今为止，不论是野外宏观地质调查，还是微观显微构造研究，均没有发现规模更大，切穿多个构造层次的更深的所谓穿壳型韧性剪切变形带，而更多的剪切变形带则仅限于同一构造层内，这一点可能与剪切变形带的剪切机制有关。前者可能反映了区域性地壳变形的单剪机制，而后者则是挤压褶皱变形的递进产物，代表一种挤压-剪

切作用，岩石的应变测量提示出变形岩石位于压扁域，弗林指数 K 值一般小于 1。这就在一定程度上说明由于变形机制的不同，造成变形带的规模以及由此而导致的流体规模的差异，最终决定了区内金矿化的规模往往较小。

表 1-1 五台花岗岩-绿岩带构造变形特征

变形旋回	变形带	变形时间	物质演化	变形特征		性质
				褶皱	断裂	
五台旋回	D ₁	五台早期	充填	剪切褶皱	韧性剪切带 剥离断层	伸展（开）
	D ₂	五台晚期	变质	同斜倒转-平卧以 褶皱为主	层间剪切	挤压（合）
吕梁旋回	D ₃	吕梁早期	充填	剪切褶皱	剥离断层 韧性剪切带	伸展（开）
	D ₄	吕梁晚期	变质	同斜倒转—叠加	脆-韧性剪 切带	挤压-剪切 （合）

第二节 地 层

五台山花岗岩-绿岩带以发育五台群浅变质绿岩地层而著称，对它的地层划分研究主要集中于 20 世纪 80 年代；以晋北铁矿研究队（1980）的二分、白瑾和徐朝雷（1980）的三分、再到田永清（1998）的二分，经历了一个螺旋式的认识过程，对此本书不予评论。考虑到含铁岩系作为火山-沉积的地层整体，尽管存在着两个大的旋回，但从变形、变质的角度来看。二者之间具有密切的内在联系，为了叙述的方便，本书沿用田永清（1988）的分类方案，把五台群分为上、下两个亚群，下亚群为石咀亚群，为绿岩地层主体，由两个大的旋回组成。上亚群称之为高凡亚群，为一套碎屑沉积建造，而在时代归属上，却归之为新太古界，这一点与田永清的划分不同，由于本书侧重于条带状铁建造金矿的成矿作用，因此对时代归属的认识上差异并不妨碍对条带状铁建造金矿成矿作用及规律的研究。

一、石咀亚群

纵观五台山区含铁岩系分布图（图 1-2），可以明显看出，构成五台山绿岩地层主体的五台群下亚群——石咀亚群，在全区呈 NEE—SWW 条带状展布，分布面积大于 2500 km²。

该亚群自下而上由板峪口组、金岗库组、庄旺组、文溪组/柏枝岩组和鸿门岩组组成。其中金岗库组和柏枝岩组是两个主要含铁层位，反映在岩性组合上，底部（板峪口组）为陆源碎屑沉积岩，主要由长石石英岩、黑云变粒岩、透闪大理岩等组成，主体则为旋回性明显的基性、中基性以及部分中酸性火山熔岩及火山碎屑岩，含有多层条带状铁建造，其相应的变质岩为斜长角闪岩、角闪变粒岩、黑云变粒岩、绿泥片岩、钠长绿泥片岩、绢英片岩及磁铁石英岩等，反映出低绿片岩相至低角闪岩相的变质岩石组合特征，地层总厚大于 5000 m，其岩石组合与分布特征如下。

1. 板峪口组

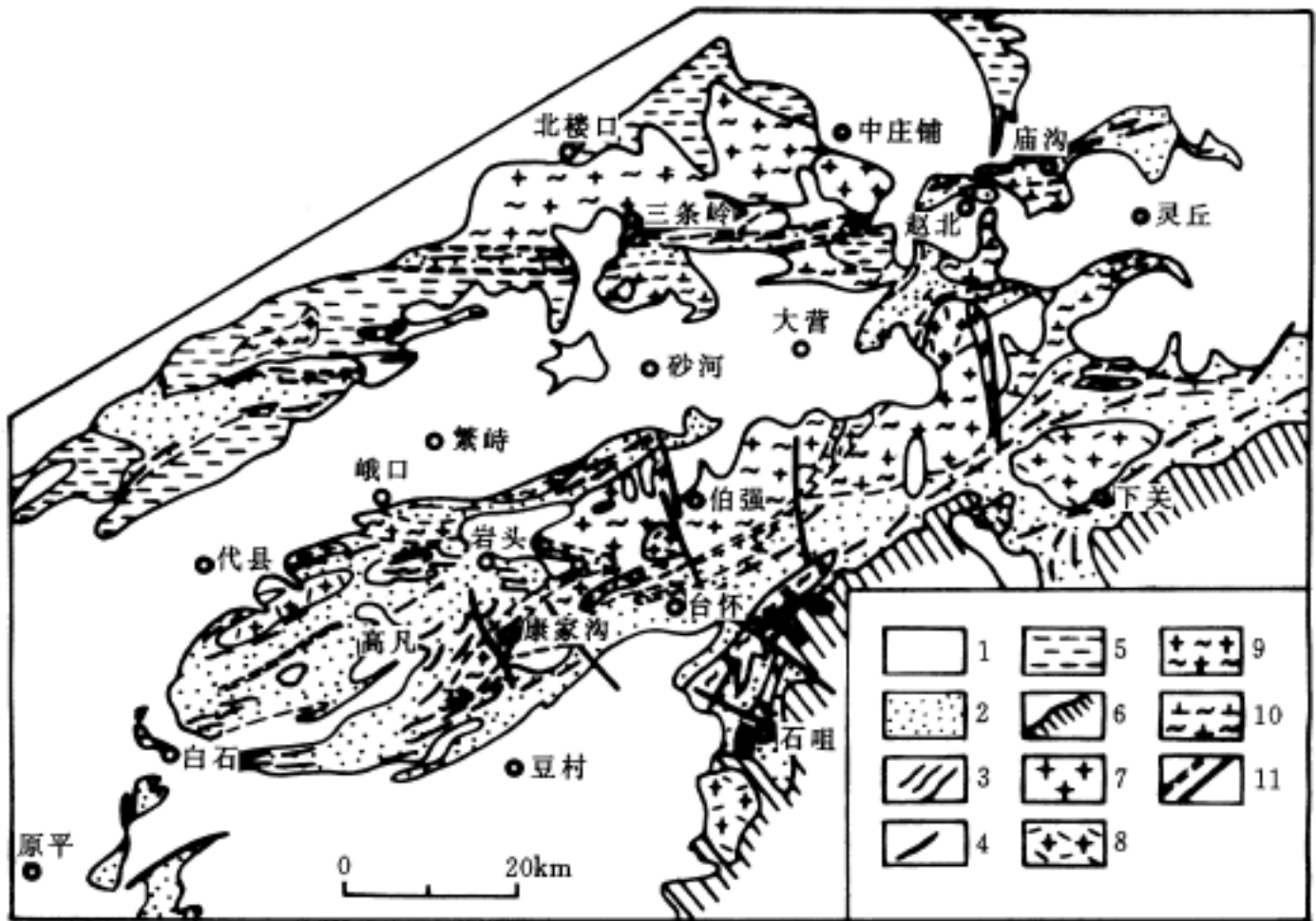


图 1-2 五台山区花岗岩-绿岩带及条带状铁建造地质分布图

1—后太古宇；2—五台群；3—柏枝岩组 BIF；4—金岗库组 BIF；5—恒山杂岩中的表壳岩；6—阜平群；7—中生代侵入岩；8—太古宙钾质花岗岩；9—太古宙 TTG 质片麻岩；10—太古宙片麻状石英闪长岩；11—剪切带/断层

发育于五台山区东南部，为一套复理石建造的陆源碎屑岩，厚 190 ~ 620 m，总体上由长石石英岩、黑云变粒岩、透闪大理岩、金云大理岩组成，交错层、波痕等原生沉积构造发育，为裂谷形成早期的沉积底层。

2. 金岗库组

主要分布于五台山东南部及北坡，总厚约 1000 余米，由上、下两部分组成。下部为含铁岩系，以斜长角闪岩、黑云变粒岩为主，夹数层 BIF，反映出基性火山熔岩、基性-中性火山凝灰岩的火山沉积特征。上部则为富铝岩段，主要由二云片岩、白云母石英片岩和变粒岩组成，以富含蓝晶石、十字石和石榴子石为特征，其原岩为粘土质沉积岩及中-基性火山沉积岩，属于典型的火山沉积铁铝建造。

3. 庄旺组

主要分布在五台山西段的北坡及五台山南麓，厚度变化较大，以 1000 ~ 2000 m 不等，岩性以黑云变粒岩为主，夹少量斜长角闪岩，岩性较为单一，以富铝（含蓝晶石、直闪石，十字石不等）不含 BIF 为其特征，其原岩大部分为中酸性火山凝灰岩，并保留有晶屑凝灰岩的结构。

本组变质程度一般为低角闪岩相，但向东有逐渐加深的趋势。

4. 文溪组/柏枝岩组

为层位相当、变质程度有明显差异的两个组，其地理分布也不一致，文溪组主要分布

在五台山东部，是一套角闪岩相变质的火山岩建造，主要由斜长角闪岩、角闪片岩、BIF及黑云变粒岩组成；而柏枝岩组仅分布于五台山中、西部。沿复式倒转向斜的两翼展布，为一套绿片岩相变质的火山岩建造，主要为绿泥片岩、钠长绿泥片岩、绿泥绢云斜长片岩、夹绢云片岩及多层BIF，为绿岩带的含铁岩系主体，原岩主要为基性、中基性到中酸性的火山熔岩及凝灰岩，具有典型的双峰式火山沉积组合，是绿岩地层的主要含金层位，已发现的大部分条带状铁建造型金矿都与该组地层有关。其地层厚度在1000 m以上，总体以条带状铁建造发育、火山沉积原生构造保存较好，水下火山喷发相齐全而著称，是本次研究工作的主要对象。

5. 鸿门岩组

位于石咀亚群最上部，区域上呈“之”字型沿复式向斜的核部展布，因而主要出露于五台山中、西部。地层总厚约千米，主要由绿泥片岩、绿泥钠长片岩、绿泥绢云片岩、绢英片岩等组成，其原岩主要是一套中、基性火山岩建造，底部及顶部均发育厚度不等的碎屑沉积岩，沉积旋回明显。

二、高凡亚群

位于石咀亚群之上的高凡亚群，是一套浅变质的沉积岩系，主要分布于五台山西部，与下伏石咀亚群为不整合接触，其上又不整合覆盖有滹沱群变沉积砾岩。该亚群的底部、中部主要由细粒石英岩、变粉砂岩、细砂岩、千枚岩、碳质板岩组成（张仙堡组和磨河组），变质程度达次绿片岩相，并保存有波痕、交错层、粒级层等原生沉积构造，厚700~1000 m，沉积旋回特征明显。顶部则为一套厚仅百余米的基性火山岩建造（鹞口前组），其岩性主要为钠长绿帘阳起片岩、绿帘阳起片岩、钠长绿泥片岩及绿帘角闪片岩，夹少量的碎屑沉积岩。可以看出，高凡亚群总体上是一套陆源碎屑建造，自成一个完整的沉积旋回。

根据以上五台群绿岩地层的岩性组合特征可以看出，五台群上、下两个亚群分属于两个大的沉积旋回，其中下亚群又可分出上、下两个次一级的火山-沉积旋回，构成五台山的绿岩主体。上亚群主要为一套浅海沉积相的陆源碎屑岩系，为绿岩盖层，二个亚群之间以不整合相接触。石咀亚群的两个火山-沉积旋回具有不同的地质特征和分布特点，下旋回位于石咀亚群下部，由板峪口组、金岗库组、庄旺组组成，变质程度为高绿片岩相—角闪岩相，含铁岩系以金岗库组为代表，主要分布于五台山东段及中、西部复向斜构造的边缘；上旋回则由文溪组/柏枝岩组、鸿门岩组组成，为绿岩带的主要含铁层位，以双峰式火山喷发组合、多层BIF、强烈的构造变形及浅变质程度为主要特征，主要分布于五台山中部，沿复式向斜的核部展布，是区内金矿化最集中、最常见的赋存层位。

第三节 岩 浆 岩

一、超镁铁质侵入岩

呈岩床、岩盆、岩盘、透镜体及似层状，沿五台山北坡及南麓侵位于石咀亚群金岗库组和柏枝岩组之中，总体上这些超基性岩体沿北东方向，呈条带状断续出露，其产出规模大者如黑豆崖、绿青岩体，长度可达数公里，小者仅数百米，但出露宽度都较小。岩体形态具有大的长宽比，宏观上其长轴与围岩的片理产状一致，具有相同的透入性片理，与围

岩的界线较为清晰，岩体内部大都具有明显的岩相分带，以纯橄榄岩相、辉橄岩相、橄榄岩相，橄榄辉石岩相、角闪岩相都有分布，尽管由于遭受后期变形、变质改造，已大部分蚀变为蛇纹岩、透闪蛇纹岩、辉石透闪蛇纹岩、透闪岩、阳起透闪岩、阳起石岩及滑石绿泥片岩等，但个别岩体的局部地段仍可见到橄榄石和辉石的残晶。

这些超基性岩石一般具有纤维状、网状、菊花状、斑状的结构，反映出与围岩交代蚀变之特征，个别蚀变较弱者仍保留自形粒状结构及块状构造。

二、镁铁质岩石

呈岩床（株）和岩墙（脉）两种形式产出，前者顺层侵入于绿岩地层之中，与地层呈整合侵入关系，主要在中西部多见，其展布方向与区域片理一致，为 NE 向，规模大小不等，大者延伸数公里、小者数百米。岩体中常见有围岩捕虏体，并具有冷凝边结构，而更常见的则是变余辉长辉绿结构。组成岩石的主要矿物主要为斜长石、角闪石，为后期蚀变的产物。而后者更多的是以岩墙形式产出，区域上具有规模较小但广泛分布之特征，根据其形成次序又可分为早期镁铁质岩脉和晚期基性岩墙。早期脉体一般呈似层状、透镜状顺层侵入于绿岩地层之内，并具有与其相同的片理特征，为五台期产物，晚期的基性脉岩属吕梁期，一般呈 NW 向高角度侵入于绿岩地层之内，规模较小但区内广布，以东部较为发育，往往成群成带展布，显示张性开放裂隙的性质，它是五台群结晶基底刚性化之后的构造产物。

以上无论是超镁铁质侵入岩，还是镁铁质侵入岩，都不同程度地与围岩发生过交代蚀变，但规模、影响范围均较小，不足以改造绿岩地层的整体展布。

三、花岗质侵入岩

展示五台山地区地质图，不难看出，其中的花岗质岩石广泛分布，占了全区面积的三分之一还多，但其中的绝大部分花岗质岩体。如北台一车厂岩体、峨口、石佛、兰芝山岩体，貌似侵入接触，但前人的研究成果（白瑾，1986；田永清，1991）均给出了一致的结论，它们是绿岩前或同绿岩期的深成岩体，与绿岩层为断层接触。但在阳坡道地区，可见北台一车厂岩体的岩枝侵入柏枝岩组地层，并有矽卡岩化现象。因此，岩体与地层之间的关系值得进一步研究。

而作为同构造期或构造期后的花岗质侵入岩，区内代表性的有王家会片麻状花岗岩体、独峪花岗岩体、光明寺斜长花岗岩体，其岩体形态或呈长的椭圆状（王家会岩体），或呈长的条带状（光明寺岩体），长轴与区域构造线方向一致。其与围岩的侵入接触关系明显，常常可以见到围岩捕虏体存在。此外还有一些大的花岗岩体如莲花山岩体、凤凰山岩体、大洼梁岩体等，往往呈岩株产出，为构造期后的深成岩体，属于吕梁期的产物，其形态往往为等轴状，与围岩侵入接触关系清楚。

需要指出的是近年来大量的野外地质调查及综合研究表明，对于绿岩带金矿化来说，以上所谓的超镁铁质、镁铁质、花岗质侵入岩，在五台山区并未显示出与区域金矿化的密切相关性，这一点与国外绿岩带相类似，而往往为人们所熟知的晚期长英质浅成相侵入岩对金矿的重要控制作用，由于在区内所识别出的这类侵入体很少，且控矿特征不显著而显得苍白无力。这一点正是五台山区绿岩带以及它的金矿化的区域特征之一。至于燕山期超浅成相侵入体与金的关系，在区内则是有目共睹，但它属于后期岩浆成矿阶段，对于条带状铁建造型金矿来说，其影响力则微乎其微。

第四节 变质作用

变质作用作为基础地质问题，在分析早期地壳演化，物质转化以及区域造山运动方向有着极为重要的研究意义。对于五台山绿岩地层的变质作用，早期的研究人员已经给予了充分的关注和详细的讨论，尽管在变质作用期次的划分及变质作用类型的判别等方面存在着明显的差异（李树勋等，1986；白瑾，1986；田永清，1991），但在五台山区不同变质相带的存在及相应的变质矿物组合特征方面，认识却是一致的。总的来说，五台山区在纵向上存在着两套遭受不同程度区域变质的岩层，即新太古代以绿片岩相变质为主、局部达角闪岩相的五台群和古元古代为次绿片岩相的滹沱群。横向上则表现为东段变质程度较深，向西部变浅的特征。同时局部存在构造变质和接触变质的叠加改造。但总的为两期：五台期和吕梁期。

五台群作为绿岩地层主体，客观上经历了两期变质作用，现在岩石记录下的主要是早期五台期区域动力热流变质。之所以认为它属于这一变质作用类型，主要基于以下地质依据：变质与变形关系密切，变质相带的展布与区域构造线方向一致，变质矿物往往沿区域性构造面理定向排列；五台群具多相变质，以次绿片岩相递增到高角闪岩相，这一点在区内这样大的范围，绿岩地层沉积厚度达数千米的深度内用埋深变质难以解释，显然与地壳深部热流沿一定构造通道上升对绿岩地层“加热”有关。根据田永清（1991）的研究成果，采用黑云母-石榴子石矿物对测温及压力估算，求得五台群最大变质温压为，温度一般 $600 \sim 650$ ，压力 $(5.5 \sim 8.0) \times 10^8$ Pa，大致相当于地壳 $15 \sim 20$ km 的深度。

关于吕梁期对五台群地层的叠加变质作用，由于吕梁期的变质作用是浅层次区域低温动力变质，在滹沱群发生变质作用时，五台群已成为结晶的基底，况且该期变质仅达低绿片岩相，温压条件较低，因此对五台群绿岩地层未产生大的影响，仅在吕梁期构造变形对五台群叠加变形强烈的局部地方有所反映，绿岩地层内偶见之帘石化、绿泥石化即是例证。

第五节 热-构造事件

有关五台山花岗岩-绿岩带地质演化过程中所经历的热-构造事件，许多研究者已经从绿岩带的产生、变形、变质以及岩浆活动诸方面给出了较为全面的总结，并提出了各自不同的构造演化模式（白瑾，1986；田永清，1991；李继亮，1995），但均是建立在五台期和吕梁期这两期主要的热-构造事件之上，其中对于五台群的热-构造事件，由于在构造层次的划分、变质作用期次划分等方面存在不同意见，因而导致了对五台期构造旋回认识上的差异，考虑到五台群绿岩地层即石咀亚群在火山-沉积绿岩建造、变形变质诸方面有着密切的联系，我们把五台期作为一个大的构造旋回来看待，整个五台群绿岩地层大体经历了如下的热-构造事件。

一、五台期热-构造事件

这一热-构造事件贯穿于五台裂谷盆地演化的全过程，早期为盆地裂隙阶段，构造性质以拉伸为主，在形成以镁铁质-长英质火山岩为主体的绿岩建造的同时，伴随着超镁铁