

国家计委科研专项 95-01 成果

THE GEOLOGY AND METALLOGENIC PROGNOSIS OF
BIF-HOSTED GOLD DEPOSITS IN WUTAISHAN AREA

五台山地区条带状铁建造 金矿地质及成矿预测

骆 辉 余克忍 陈志宏 田永清 沈保丰 著

地质出版社

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

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

五台山地区是我国较典型的绿帘带分布区,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2416Ma±64Ma~2317Ma±63Ma,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

I. 五… II. 骆… III. ①金矿床-地质构造-五台山②金矿床-成矿预测-五台山 IV. 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:北京印刷学院实习厂
开 本:787×1092 1/32
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英岩型矿石、浸染状碳酸盐贫磁铁矿石英岩型矿石、浸染状碳酸盐石英岩型矿石和浸染状硅酸盐磁铁矿石英岩型矿石,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}Ar - ^{39}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 and 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)

CONTENTS

PREFACE

CHAPTER 1 GEOLOGICAL BACKGROUND OF MINERALIZATION	(1)
1.1 Tectonic background	(1)
1.1.1 Geotectonic division	(1)
1.1.2 The basic tectonic framework	(1)
1.1.3 Tensional basin structure	(2)
1.1.4 Compressive fold structure	(3)
1.1.5 Shear-deformed structure	(3)
1.2 Regional strata	(4)
1.2.1 Shizui subgroup	(4)
1.2.2 Gaofan subgroup	(6)
1.3 Igneous rocks	(6)
1.3.1 Ultramafic intrusive rocks	(6)
1.3.2 Mafic rocks	(7)
1.3.3 Granitic intrusions	(7)
1.4 Metamorphic processes	(8)
1.5 Thermal-tectonic events	(8)
1.5.1 Thermal-tectonic events in Wutai period	(8)
1.5.2 Thermal-tectonic events in Luliang period	(9)
CHAPTER 2 CONSTRAINTS OF BANDED IRON FORMATIONS ON BIF-HOSTED GOLD DEPOSITS	(10)
2.1 Distribution of banded iron formations	(10)
2.2 Type and their general features of banded-iron formations in Wutaishan areas	(10)
2.2.1 Types of banded iron formations	(11)
2.2.2 General features of banded iron formations	(13)
2.2.3 Skarnization of banded iron formation and its general characteristics	(14)
2.3 Petrology and geochemistry of banded iron formations	(15)
2.3.1 Structural element and mineral association of banded iron formations	(15)
2.3.2 Mineralogy of banded iron formations	(16)
2.3.3 Geochemistry of banded iron formations	(17)
2.4 Constraints of banded iron formations on gold mineralization	(23)
CHAPTER 3 STRUCTURAL GEOLOGY OF BIF-HOSTED GOLD DEPOSIT	(26)
3.1 Relationship between folding and BIF-hosted gold deposit	(26)
3.1.1 Regional fold and BIF-hosted gold deposit	(26)
3.1.2 Characteristics of BIF-hosted gold deposit occurred in curve of fold	(28)

3.2	Shear deformation and BIF-hosted gold deposit	(29)
3.2.1	Regional shear deformation zone	(29)
3.2.2	Features of shear deformation	(31)
3.2.3	Constraints of shear deformation on mineralization of BIF-hosted gold deposit	(33)
CHAPTER 4	SOME EXAMPLES OF BIF-HOSTED GOLD DEPOSIT	(37)
4.1	Diantou BIF-hosted gold deposit	(37)
4.1.1	Sketch description of regional geology	(37)
4.1.2	Geology of ore deposit	(38)
4.2	Baizhiyan BIF-hosted gold deposit	(42)
4.2.1	Geology of mining district	(42)
4.2.2	Geology of ore deposit	(44)
4.3	Xiaobanyu BIF-hosted gold deposit	(46)
4.3.1	Geology of mining district	(46)
4.3.2	Geology of ore deposit	(46)
4.4	Kangjiagou gold deposit	(48)
4.4.1	Geology of mining district	(48)
4.4.2	Attitude, shape and scale of ore body	(51)
4.5	Shuiwangsi gold occurrence	(52)
CHAPTER 5	ORE AND MINERAL OF BIF-HOSTED GOLD DEPOSIT	(54)
5.1	Types and features of gold ores	(54)
5.1.1	Vein-type ore and its characteristics	(54)
5.1.2	Disseminated carbonate-magnetite-quartzite-type ore and its characteristics	(55)
5.1.3	Disseminated carbonate-magnetite-poor-quartzite-type ore and its characteristics	(55)
5.1.4	Disseminated silicate-magnetite-quartzite-type ore and its characteristics	(56)
5.1.5	Disseminated carbonate-quartzite-type ore and its characteristics	(57)
5.2	Minerals and their characteristics	(57)
5.2.1	Magnetite	(58)
5.2.2	Pyrite	(58)
5.2.3	Chalcopyrite	(63)
5.2.4	Pyrrhotite	(63)
5.2.5	Carbonate	(64)
5.2.6	Cummingtonite	(65)
5.3	Hosted state and its composition of native gold	(66)
5.3.1	Hosted state of native gold	(66)
5.3.2	Shape and dimension of native gold	(67)
5.3.3	Chemical composition of native gold	(67)
5.4	Chemical composition of gold ore	(69)
5.5	Oxidation of gold ore	(72)

CHAPTER 6 FLUID INCLUSION AND STABLE ISOTOPE	(73)
6.1 Fluid inclusion	(73)
6.1.1 General features of fluid inclusion	(73)
6.1.2 Physical parameters of fluid inclusion	(74)
6.1.3 Geochemical characteristics of fluid inclusion	(76)
6.1.4 Genetic analysis of mineralized fluid	(81)
6.2 Stable isotope	(82)
6.2.1 Sulphur isotope	(82)
6.2.2 Silicon isotope	(83)
6.2.3 Carbon isotope	(84)
6.2.4 Lead isotope	(84)
CHAPTER 7 THE SPECIFIC CHARACTERISTICS OF BIF-HOSTED GOLD DEPOSIT IN WUTAISHAN AREA	(89)
7.1 Geological features of BIF-hosted gold deposits abroad	(89)
7.1.1 Distribution and general discription	(89)
7.1.2 Homestake gold deposit of the United States	(92)
7.1.3 Vubachikwe gold deposit of Zimbabwe	(96)
7.1.4 Morro Vehlo gold deposit of Brazil	(96)
7.2 Distribution and geological features of BIF-hosted gold deposits (mineralization) in China	(97)
7.2.1 Nanlongwangmiao gold deposit in North China plate	(97)
7.2.2 Gold occurrences in South China block, central Jiangxi province	(98)
7.2.3 Gold occurrences in Talimu block	(99)
7.2.4 Gold occurrences in Qinling orogen	(99)
7.2.5 Gold deposit in Cathaysia block	(99)
7.2.6 Dongfengshan gold deposit in Jiamusi block	(99)
7.3 Comparison between BIF-hosted gold deposits in Wutaishan area and other similar gold deposits	(103)
7.3.1 Common characteristics and similarities	(103)
7.3.2 Specific characteristics and differences	(103)
CHAPTER 8 MINERALIZED PROCESS, METALLOGENETIC EPOCH, METALLOGENY AND METALLOGENIC MODEL	(104)
8.1 Mineralized process	(104)
8.1.1 Types of mineralized process	(104)
8.1.2 Source of ore-forming materials	(105)
8.1.3 Ore-forming fluids	(106)
8.1.4 Migration and precipitation of gold	(106)
8.1.5 Temperature and pressure of ore-forming process	(106)
8.2 Metallogenetic epoch	(107)
8.2.1 $n(^{40}\text{Ar})/n(^{39}\text{Ar})$ isotope age	(107)
8.2.2 Geological interpretation of isotope age	(110)

8.3	Metallogeny	(111)
8.3.1	Controls of strata on BIF-hosted gold deposit	(111)
8.3.2	Controls of iron-poor, thin BIF on BIF-hosted gold deposit	(111)
8.3.3	Controls of iron-bearing carbonate-rich/silicate-rich BIF on BIF-hosted gold deposit	(112)
8.3.4	Controls of fold structure and shear deformation on BIF-hosted gold deposit	(113)
8.3.5	Influence of multiphase mineralization on the formation of BIF-hosted gold deposit	(113)
8.4	Regional metallogenetic model	(113)
8.4.1	Comprehensive description of metallogenetic model	(113)
8.4.2	General description of regional metallogenetic model	(114)
8.4.3	Diagram of regional metallogenetic model	(115)
CHAPTER 9	BEDROCK GEOCHEMICAL SURVEY AND THE FEATURES OF GEOCHEMICAL ANOMALY	(116)
9.1	Method of geochemical survey and selection of research area	(116)
9.2	Detailed projector of geochemical survey	(117)
9.2.1	Geological map used in geochemical survey	(117)
9.2.2	Distribution and density of geochemical sample	(117)
9.2.3	Sample type and register corresponding to sample	(117)
9.3	Analyzing method and processing of data related to geochemical survey in Zhaoshan area	(119)
9.4	Result and comprehensive analyzing of geochemical anomaly in Zhaoshan area	(119)
CHAPTER 10	PROSPECTIVE PROGNOSIS, SELECTION OF TARGET AREA AND PROSPECTING MODEL	(127)
10.1	Prospective prognose	(127)
10.1.1	Premiss of prospective prognose	(127)
10.1.2	Selective criterion of prospective area(zone)	(128)
10.1.3	Division of prospective area(zone)	(128)
10.2	Selection of target area	(130)
10.2.1	Principle of selection of target area	(130)
10.2.2	Selection of target area and its features	(130)
10.3	Comprehensive prospecting model	(131)
10.3.1	Information for ore prospecting	(131)
10.3.2	Prospecting method	(132)
10.3.3	Prospecting model for comprehensive information	(132)
REFERENCES		(133)
ENGLISH SUMMARY		(136)
PLATES AND ILLUSTRATION		(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东北收敛、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

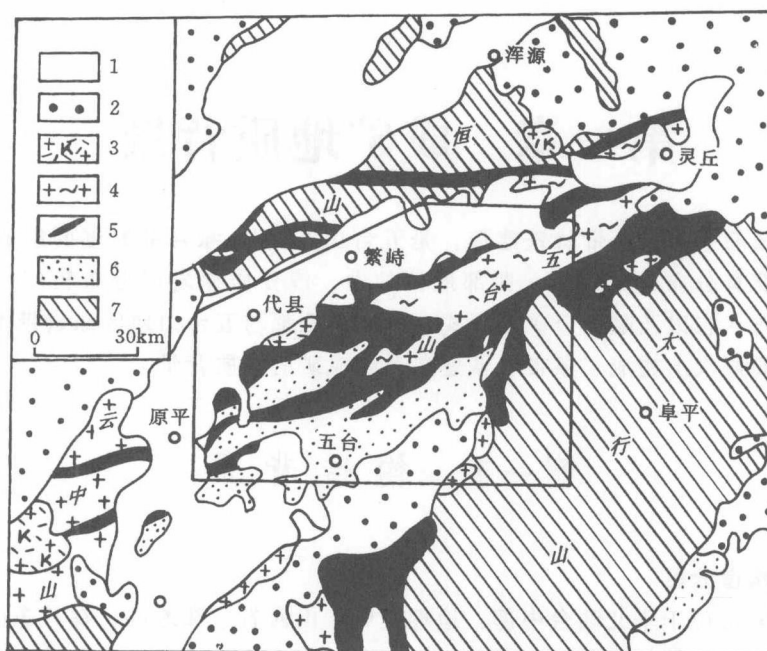


图 1-1 五台山-恒山花岗岩-绿岩地体的区域构造位置图

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，从五台山地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