

杨振德 张秀棋 著

金成矿 地质条件分析

— 深洞成矿

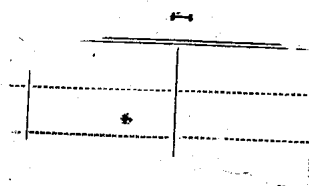
56.547
4752

冶金工业出版社

金成矿地质条件分析

——深洞成矿

杨振德 张秀棋 著



北京
冶金工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金成矿地质条件分析: 深洞成矿/杨振德, 张秀棋著.

北京: 冶金工业出版社, 1995. 10

ISBN 7-5024-1779-6

I. 金… I. ①杨… ②张… III. 金矿床-地质构造-分析 IV. P618.510.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 17065 号

出版人 卿启云 (北京沙滩后街 55 号, 邮编 100009)

北京万兴印刷厂印刷, 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 8.5 印张; 193 千字; 1-500 册

15 元

前 言

金成矿地质条件分析是与矿床寻找和矿业开发密切相关的综合性研究，在成矿理论上和国民经济中都具有重要意义。

黄金工业在金价持续上升和各国的扶植政策下，得到了高速发展。在寻找金矿床中，虽然可以通过采样化验发现矿床，但大多数矿床，尤其是大型金矿床和隐伏金矿床的寻找，最为高效和最为经济的途径，当是通过成矿地质条件的分析，正确选定目标区，准确而有效工作的结果。矿床开采、储量扩大、危矿能否得到拯救，亦都离不开成矿地质条件的分析研究。

随着找矿和黄金工业的发展，人们对成矿地质条件的研究逐渐深入，认识上产生了几次飞跃。50多年以前人们尚认为金、银主要产于火山岩中。此后，资料的增加带来了第二次认识上的飞跃，普遍认为成矿与侵入岩浆热源和大气降水更有关。人们按着板块构造俯冲模式将金的成矿作用概括为地表水下降被隐伏岩体加热再上升，在上升途中热液激化并熔解岩石中的成矿元素，运移至有利构造部位而成矿。近一二十年来这种浅层循环成矿模式被广泛利用。今天，资料的积累和技术的进步，已经提出成矿元素不是沉积岩层和固有矿化进入到俯冲带之后经热水流体作用再回升到地表，而是来自于地幔。地幔上涌或地幔底辟作用具有重要的成矿潜力。如果能较快地突破浅层循环成矿模式，将使与矿床寻找和矿业开发有关的基础地质研究和成矿理论研究再前进一步，并可有针对性地发现一批金矿床。为此，脚踏实地的调查和实事求是的研究成矿地质条件，是非常必要的。

写有材料、论有观点、读有所获、做有所依，我们遵守这样的原则，以新的材料，新的见解，写成此书。

全书共分六章。

前三章由杨振德执笔。从山海关隆起构造与演化，分析它在地质历史上出现的太古宙末—一早元古宙和中生代两大深源岩浆活动期和与此相应的两大金成矿期；分析了金成矿地质条件；提出了元古宙朱杖子群底砾岩中的金可与威特沃特斯兰德砾岩金矿对比；指出了深源岩浆活动、复合岩体、叠置火山口和引张构造发育区是成矿有利地区。并对该区变质岩和中生代安山岩地层为“矿源层”之说进行了分析。

第四、五章由张秀棋执笔。系统阐述了深源岩浆岩、复合岩体、复合岩墙、叠置火山口与金成矿的密切关系；论证了某些超大型和大型金矿床复合岩体的存在及其成矿的重要意义；同时也指出了推覆花岗岩的根带可为成矿有利地区。根据隐爆角砾岩型金成矿构造分析和岩筒内矿体产出状态的不同，指出了不同的找矿方向。

最后一章由杨振德执笔。阐述了对金成矿的新认识——深洞构造与深洞成矿及理论依据，尤其是深部构造资料表明的软流圈上涌、地幔上涌、深部构造异常与地表出露的深断裂、深源岩浆岩和重要金成矿区的良好对应关系，从深部地球物理资料上论证了金成矿与深部构造的密切关系，证明了金的深洞成矿。

最后，作者感谢中国科学院地质研究所刘秉光教授、金成伟教授，建昌县委、县政府

ABA41/10

刘宝珊书记、县黄金局刘绍银局长，以及王玉坤、高殿生、刘振刚、王天眷等工程师提供、协助搜集资料 and 介绍有关金矿山的地质资料，工作上给予的支持。

目 录

第一章 山海关隆起地质构造特征.....	(1)
第一节 基底构造层的组成与对比.....	(1)
一、基底构造层组成	(1)
二、山海关隆起、马兰峪复背斜、内蒙地轴基底构造层对比	(4)
第二节 基底构造层的构造特征.....	(5)
一、最早形成的 EW 向构造	(5)
二、褶皱构造	(8)
三、自西向东的逆冲和推覆	(9)
四、NNE、NE 向的韧性剪切带	(11)
五、构造置换	(13)
第二章 山海关隆起构造演化与金成矿背景分析	(16)
第一节 变质岩的原岩与金成矿	(16)
一、变质岩为矿源层应具备两个基本条件	(16)
二、变质岩的原岩	(19)
第二节 太古宙末期深成岩浆侵入—区域性首次大规模金矿成矿期	(19)
一、太古宙末期深成岩浆侵入	(20)
二、朱杖子群底部含金砾岩	(21)
三、被剥蚀了的太古宙金矿	(23)
第三节 中生代复合岩体和叠置火山口的岩浆活动—区域性第二次 大规模金矿成矿期	(24)
一、基底构造控制下的盖层发展阶段	(24)
二、复合岩体与金叠加成矿作用	(26)
三、叠置火山口	(28)
第三章 地壳引张与金成矿	(31)
第一节 伸展构造	(31)
一、辽西盆岭区与边缘的金成矿作用	(32)
二、山海关隆起伸展构造模式	(32)
三、柏杖子金矿的伸展构造成矿作用	(35)
第二节 球粒构造	(40)
一、球粒生长发育与构造应力场的关系	(41)
二、动态结晶的同心圆状球粒	(42)
三、构造应力场变化形成的变异与变形球粒	(44)
四、结论	(47)
第四章 深源岩浆岩与金成矿的关系	(48)
第一节 浅源花岗岩—陆壳改造型花岗岩类	(49)
一、陆壳改造型花岗岩侵入体分布及其特征	(49)

二、地质特征	(49)
三、主要造岩矿物特征	(50)
四、岩石化学特征	(52)
五、稀土元素特征	(53)
六、陆壳改造型花岗岩类时代	(55)
第二节 深源岩浆复合岩体——白庙子复合岩体及其与金成矿关系	(56)
一、白庙子复合岩体的组成	(56)
二、复合岩体的时代	(58)
三、主要造岩矿物特征	(61)
四、岩石化学特征	(64)
五、稀土元素特征	(66)
六、白庙子复合岩体与金成矿关系	(68)
第三节 全国重要大型金矿区复合岩体	(68)
一、医巫闾山复合岩体与金成矿	(68)
二、玲珑复合岩体与金成矿	(70)
三、文峪复合岩体与金成矿	(72)
四、大南山复合岩体与金成矿	(73)
五、二道沟复合岩体与金成矿	(73)
六、中川复合岩体与金成矿	(74)
第四节 推覆的岩浆岩带与金成矿	(75)
一、逆冲推覆的花岗岩带——临沧花岗岩构造特征	(75)
二、推覆花岗岩带金成矿作用分析	(77)
三、推覆岩浆岩的根带为成矿有利地带	(80)
第五节 岩脉与金成矿密切相关	(82)
一、岩脉、矿脉同是岩浆活动产物	(82)
二、复合岩脉与金成矿关系密切	(84)
三、岩脉主要为深部来源	(85)
第五章 火山活动与金成矿	(87)
第一节 火山岩层与金成矿	(87)
第二节 异位叠置火山口与金成矿	(89)
一、异位叠置火山口及其特征	(89)
二、永安叠置火山口	(90)
三、异位叠置火山口的成矿作用	(92)
第三节 原位叠置火山口与金成矿	(92)
一、原位叠置火山口及其特征	(92)
二、大青山原位叠置火山口	(93)
三、原位叠置火山口与金成矿	(94)
第四节 隐爆角砾岩金矿——深源岩浆有关的含矿气液成矿作用	(97)
一、隐爆角砾岩金矿的一般特征	(98)
二、隐爆角砾岩金矿成矿特征与找矿方向	(100)
第六章 深洞构造与深洞成矿	(104)
第一节 概念与意义	(104)

一、构造与成矿作用认识的不断深化	(104)
二、深洞构造与深洞成矿的概念与实例	(105)
三、深洞构造与深洞成矿研究的意义	(106)
第二节 深洞构造的论据	(106)
一、复合岩体的下面存在着岩浆上升共用通道	(106)
二、叠置火山口是岩浆长期上升的遗迹	(108)
三、隆起区是地幔上升区,亦是岩浆长期活动区	(108)
四、地震资料揭示的深部物质运动	(109)
第三节 深洞成矿论据	(110)
一、慎定变质岩为矿源层	(110)
二、金成矿与深源岩浆有关	(112)
三、复合岩体与叠置火山口下部的深洞构造有利于含矿气液的上升	(113)
四、硫同位素资料表明成矿物质源于深部	(114)
五、地核乃巨大金库,系金的初始矿源	(114)
第四节 关于金成矿与深部构造岩浆活动的地球物理资料	(117)
一、滇西川西地区金成矿区、岩浆活动、深断裂概况	(117)
二、地震层析剖面所反映的深部构造	(117)
三、重磁力异常对深断裂的反映	(121)
参考文献	(123)

第一章 山海关隆起地质构造特征

山海关隆起自太古宙末期陆壳固结之后,在地质历史上长期为一正向构造单元,出露有中国大陆地壳最古老的曹庄杂岩,集中分布着近百处岩金矿床。随着成矿地质条件研究工作的深入,大型矿床的比例正与日俱增,因此山海关隆起在中国大陆地壳发展演化研究上和成矿地质构造背景研究上均据重要地位。长期以来对于山海关隆起的范围、归属和性质等方面的认识尚未统一。近年来,该隆起的研究逐渐深入。钱祥麟等(1985、1986)根据震旦亚代地质构造演化研究,首先明确提出“山海关隆起为一NE-NNE向巨型隆起构造单元。它的西界应为青龙河断裂,而东界是郑庐断裂及其在辽宁的延续部分,故震旦亚代的山海关隆起应由下辽河平原的南端起,经冀东东部及渤海,一直延至鲁西、豫东地区”。赵宗溥等(1993)从岩石学方面详细研究了前寒武地质演化和变质岩分区,称“山海关复杂混合花岗岩深成杂岩为晚太古代末期内壳组合,分布于青龙东部至渤海沿岸。”所指的山海关复杂混合花岗岩包括安子岭片麻混合岩、界岭口石英闪长岩、山海关钾质花岗岩,并且认为“山海关复杂混合花岗岩—深成岩杂岩体及其延展部分(绥中、锦西地区)构成著名的山海关隆起。”任纪舜等(1980)和辽宁省地质矿产局(1989)将山海关隆起的地区划为燕山台褶带,称为胶辽台隆或山海关台拱。丁国瑜(1991)将山海关隆起的地区划为黄淮海拗陷。根据我们近年来的研究,山海关隆起在中生代和新生代仍然是一个正向构造单元,呈明显上升之势。钱祥麟等(1985)所确定的山海关隆起范围属巨型隆起范围,赵宗溥等所述的山海关隆起范围属于巨型山海关隆起的中段,系小型山海关隆起,金矿化主要集中在后者范围之中。以往,前寒武纪变质岩系的研究,山海关隆起基底构造特征的研究,岩浆岩演化的研究和成矿地质条件的研究均都集中于小型山海关隆起。本书涉及的山海关隆起的地质构造和成矿背景的研究也主要在这个范围内。

山海关隆起的基底构造层广泛出露,前寒武纪变质杂岩和侵入岩发育,构造变形复杂,在前寒武纪遭受过多次的构造变动和改造。研究表明基底构造层在前寒武纪最早为EW向构造线和复杂的EW向褶皱,后经自西向东的逆冲推覆,EW向构造大部被改造为NE向构造,形成基底的叠瓦状构造型式。伴随这一构造运动,发生了大规模的深源岩浆侵入。在太古宙末—早元古宙期间发生了大规模的NE向韧性剪切作用,最后发生了NW-SE方向的挤压,进一步增强了NE向的隆拗构造,并产生了NW向的张裂,沿NW向张裂有辉绿岩贯入,形成NW向的辉绿岩岩墙。基底构造层普遍的多阶段的熔融形成广泛发育的S型花岗岩,并使前寒武纪变质岩系呈浮云状零星出露,此系山海关隆起基底构造层的重要特征。研究资料表明山海关隆起的金矿化,与深源岩浆侵入活动有关,成矿时代主要发生在太古宙末和中生代。

第一节 基底构造层的组成与对比

一、基底构造层组成

山海关隆起基底构造层由太古宙单塔子群和朱杖子群组成。下部单塔子群自下而上分为三屯营组、白庙子组、凤凰嘴组和南店子组,上部朱杖子群自下而上分为老爷庙组、上

白城子组、老李洞组、桦罗台组和褚杖子组。基底构造层以山海关隆起中央部位的中生代永安巨型火山机构为中心，并围绕该火山机构呈环状由老到新依次向外分布。单塔子群分布最广，朱杖子群仅出露于隆起西缘青龙河断裂附近（图1-1）。

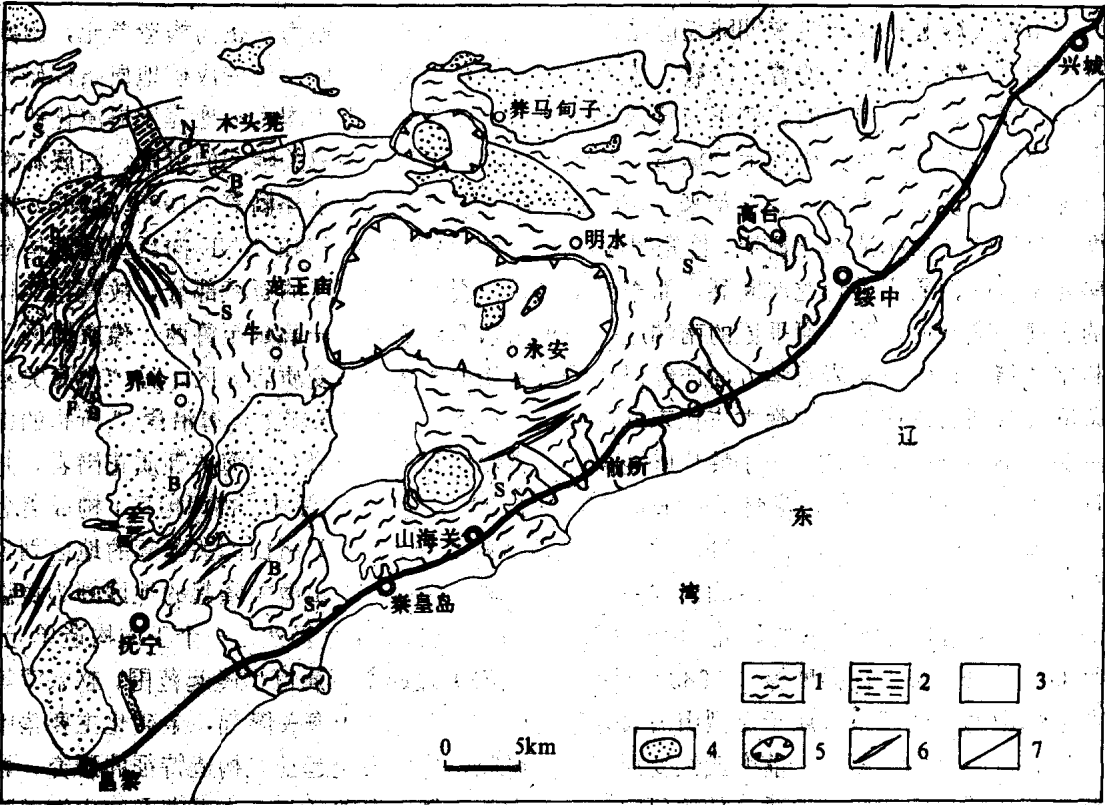


图 1-1 山海关隆起基底构造层分布

1—太古宙单塔子群；S—三屯营组；B—白庙子组；F—凤凰嘴组；N—南店子组；2—元古宙朱杖子群；1—老爷庙组；Sa—上白城子组；lo—老李洞组；b—桦罗台组；C—褚杖子组；3—中元古界-第四系；4—花岗岩类岩石；5—火山机构；6—岩墙群；7—断裂

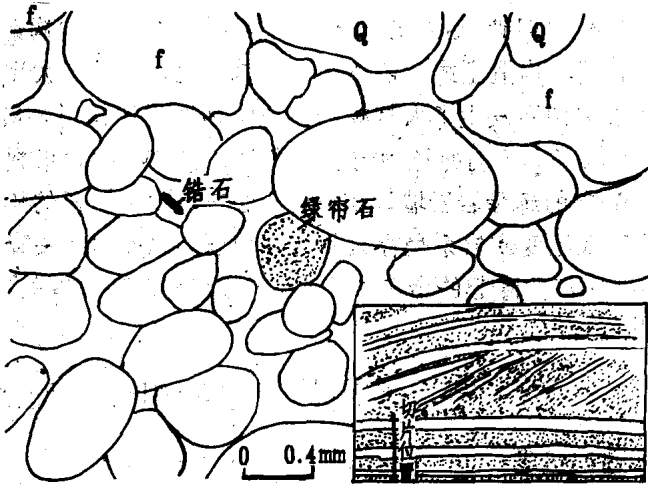


图 1-2 磁铁矿长石英砂岩砂状结构和沉积层理显微照片素描图（葫芦岛）
右下角为切片标本素描

图内圆形空白部分为磁铁矿 f—长石，Q—石英

太古宙末，基底构造层受到多次强烈构造变动和混合岩化作用。下部岩石变质较深，沉积层理几经改造，岩石改变了原来面貌；上部岩石变质较浅，原岩结构尚存。原岩主要为一套细碎屑沉积，包括泥钙质砂岩、含铁石英砂岩、页岩、碳酸盐，偶夹薄层火山岩。岩石类型在下部为各种片麻岩、变粒岩，夹磁铁石英岩和大理岩，上部为各种片岩。各组岩石类型详见表（表1-1）。

表 1-1 山海关隆起基底构造层组成简表

地质时代	同位素年龄 (Ma)	岩石地层单位		主要岩石类型	地质事件
		群	组		
早元古宙		朱杖子群	褚杖子组	黑云石英片岩、黑云变粒岩角闪片岩、磁铁石英岩	中朝准地台形成
			棒罗台组	二云变粒岩夹石榴子石二云片岩、磁铁石英岩，底部不稳定的变质砾岩及变质含砾长石石英砂岩	
			老李洞组	绢云千枚岩、绢云母砂岩夹二云片岩	山海关隆起周围陆坡沉积
			上白城子组	二云变粒岩夹黑云角闪片岩黑云变粒岩、绢云长石石英砂岩	
			老爷庙组	变质砾岩、含电气石黑云母石英片岩	
太古宙	2450	角度不整合			山海关隆起形成深成岩浆侵入
		单塔子群	南店子组	绿泥片岩夹角闪片岩、黑云石英片岩	砂泥质碎屑沉积间有少量火山喷发
			凤凰嘴组	黑云（角闪）斜长片麻岩绿泥角闪片岩、绢云绿泥片岩、黑云石英片岩	
			白庙子组	黑云二长变粒岩、二云变粒岩	
			三屯营组	黑云（角闪）斜长片麻岩夹斜长角闪岩、磁铁石英岩石榴子石浅粒岩、大理岩	
	2600				

在山海关隆起东北部，即辽西南地区出露的基底构造层以往资料全部归属单塔子群三屯营组，大部已受到熔融改造成为二长花岗岩和钾长花岗岩，在一些地区基底构造层的残余露头，岩石主要为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩，夹有大理岩和薄层状或透镜状磁铁石英岩，偶夹薄层斜长角闪岩和角闪石岩透镜体。我们发现葫芦岛前人所定的混合岩中，其中有的岩石类型为石英砂岩、长石石英砂岩、绢云母石英砂岩、磁铁石英砂岩。岩层的层面清楚，呈陡立产状。我们认为在岩石类型与变质程度上似与朱杖子群的岩石相当，唯无磁铁石英岩而是磁铁矿长石石英砂岩。磁铁矿呈滚圆状铁砂，呈层状平行层面分布，在磁铁矿层中有磨圆的锆石和绿帘石矿物残晶，表现了原始沉积层理和矿物的分选（图1-2）。沿陡立的层间界面发育有辉绿岩岩墙。砂岩熔融现象较普遍而且熔融程度不均匀，可能受到了深部岩浆热源作用。在山海关隆起的东北边缘存在着与朱杖子群相当的沉积变质岩，是很有意义的。它表明太古宙单塔子群形成之后，曾经有长期的沉积间断，老基底构造层受到风化、剥蚀和沉积。形成了含有多种基底岩石砾石的巨厚砾岩层，形成磁铁矿长石石

英砂岩。它还表明在单塔子群形成之后,曾发生过强烈的构造运动,相当于五台运动。这次运动使山海关隆起形成,因此在该隆起的西侧和东北侧形成以朱杖子群为代表的大陆坡下冲洪积沉积物。伴随五台运动有深源岩浆侵入,以柳各庄(界岭口)石英闪长岩为代表。

二、山海关隆起、马兰峪复背斜、内蒙地轴基底构造层对比

已知中国最古老的基底变质岩系为曹庄群,出露于马兰峪复背斜。其上为迁西群、遵化群、单塔子群、朱杖子群,是出露的早前寒武纪完整的变质岩系。内蒙地轴内在辽西出露的变质基底为建平群,在时间上与迁西群、遵化群与单塔子群形成的时间可相对应,缺失早元古宙的沉积(表1-2)。

表 1-2 冀东辽西地区基底构造层组成对比

地质时代		同位素年龄 (Ma)	马兰峪背斜 (冀东)		山海关隆起 (冀东辽西)		内蒙地轴 (辽西)		地质事件
元古宙	Pt ₂	1850 2200	长城系	常州沟组	长城群	常州沟组			吕梁运动,中朝准地台形成
	Pt ₁		朱杖子群	梓罗台组 张家湾组	朱杖子群	褚杖子组 梓罗台组 老李洞组 上白城子组 老爷庙组			
		-2450-							五台运动,山海关隆起形成,深成岩浆侵入
太古宙			单塔子群 (双山子群、滦县群)	下白城组 鲁杖子组 司家营组 阳山组	单塔子群	南店子组 凤凰嘴组 白庙子组 三屯营组	建平群	瓦子峪组 大营子组 小塔子沟组 上部	遵化灰色片麻岩
	Ar ₃	-2600-	遵化群	滦阳组 王厂组				小塔子沟组 下部	
		-2800-	迁西群	水厂组 上川组					迁西运动,三屯营灰色片麻岩
	Ar ₂	-3200-	曹庄群						令支运动,黄柏峪灰色片麻岩

三屯营组在山海关隆起分布很广,但尚未发现深成变质杂岩,三屯营组的岩石受到热力作用较强,在地质历史上,至少有三次较强的岩浆活动对其有较大的影响。其中二次发生在太古宙末和早元古宙,在24亿年前后有来自深部的柳各庄(界岭口)石英闪长岩体为代表的岩浆侵入,山海关隆起的形成可能与此时的深部岩浆底辟作用有关。早元古宙在

区域上发生了基性-超基性岩浆侵入。在辽西地区有数百个基性-超基性岩体成群成带分布,在冀东地区亦颇发育,可能指示在山海关隆起中和中朝准地台形成中深部岩浆的托垫作用。第三次深部岩浆活动的高潮发生在中生代,有大规模中酸性和碱性岩浆侵入和长期的火山喷发。这些深部岩浆活动的结果使基底构造层下部的三屯营组岩石发生了较强的熔融,形成由重结晶作用产生的二长花岗岩和钾长花岗岩,现存的三屯营组岩石多呈浮云状飘于花岗质岩石之上,并且多属残余出露。因此,在三屯营组之下的岩石地层即使原先可能存在,经过强烈热力作用改造也会荡然无存。

建平群小塔子沟组由上下两部分岩石组成。下部为含石榴石紫苏透辉黑云斜长片麻岩、含透辉角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩夹磁铁二辉麻粒岩、磁铁石英岩、石榴角闪辉石岩;上部为角闪黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩夹斜长角闪岩及磁铁石英岩。上下两部分不仅岩石组合不同,变质程度亦有差别。根据岩石组合和变质程度对比,小塔子沟组下部岩石地层可能与遵化群相当,上部岩石地层与三屯营组相当,分属不同的时代。

在基底构造层中,太古宙末期的侵入岩和早元古宙的岩浆岩,是重要的组成部分。除了在地质发展上热力作用,还在成矿上具有重要的意义。

第二节 基底构造层的构造特征

基底的构造形式往往受到忽略,然而基底构造形式的研究是很有意义的。由于岩石的变质、原始构造线理受到改造和后期构造的叠加,给基底构造形式的研究带来一定的难度。构造形式是地壳运动的结果,构造形式的改变反映了区域构造应力场的变化,而且构造形式在区域上的叠加方式和次数,可以做为识别基底变质岩系的构造标志。在山海关隆起,即冀东辽西地区的基底构造层中,单塔子群和朱杖子群的构造形式有着明显的差别。如果结合这两个不同的岩石地层单位的组成、结构构造和变质程度上的明显差别,进行分析,可以肯定朱杖子群与单塔子群在形成时间上相差很远,两群之间存在着长时间的间断。正是在这个间断的时期,单塔子群发生了EW向复杂褶皱,而后是自北西向南东的逆冲推覆,形成NE向的叠瓦状构造型式,NE向的韧性剪切和构造置换。朱杖子群形成之后区域构造应力场为NW—SE向的挤压,增强了NE向的构造和NW向的张性断裂。

一、最早形成的EW向构造

(一) EW向构造的普遍性

对于基底构造层在太古宙产生的构造过去被人忽略了,无论是迁西群、单塔子群,还是建平群,都被看做单斜岩层,由于矿床地质的研究,人们发现了EW向构造的存在。目前,EW向构造的研究虽然主要限于矿区和某些局部地段,但已充分表明EW向构造的普遍性、复杂性。

在辽西地区于山海关隆起的北部和内蒙地轴,均发现了基底变质岩系最古老的构造为EW向褶皱。养马甸子地区单塔子群近EW的褶皱由黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、云母石英片岩和磁铁石英岩组成。磁铁石英岩有的出现在褶皱的转折端,表现了基底构造层的强烈形变,同时也表明在EW褶皱形成时期处在地壳深部的磁铁石英岩具有较高的塑性。在养马甸子发生自西向东逆冲并形成NE向倒转褶皱的地区,EW向的褶皱被改造为NE向。大庙金矿于EW向糜棱岩带之北,在小塔子沟群内发育了一组NE向和近EW向的矿脉,矿区东北面和尚杖子东面发育了近SN向锯齿状闪长玢岩岩墙。按其形态和组合特

征，它可能是追踪X型剪切断层而形成的张裂，近EW向的闪长玢岩岩墙呈不规则弯曲，具有纵张断裂的特点，在金矿的东西两侧还出露了近SN向的闪长岩岩株。上述的矿脉岩墙组合特点，加之南部出现的巨大的糜棱岩带，从构造上分析大庙金矿可能存在EW向背斜，甚至是倒转背斜（图1—3）。这一背斜构造分析，应该已经得到矿脉和岩脉发育状况的证实（图1—4），并由此可判断大庙金矿的找矿方向和采矿前景。

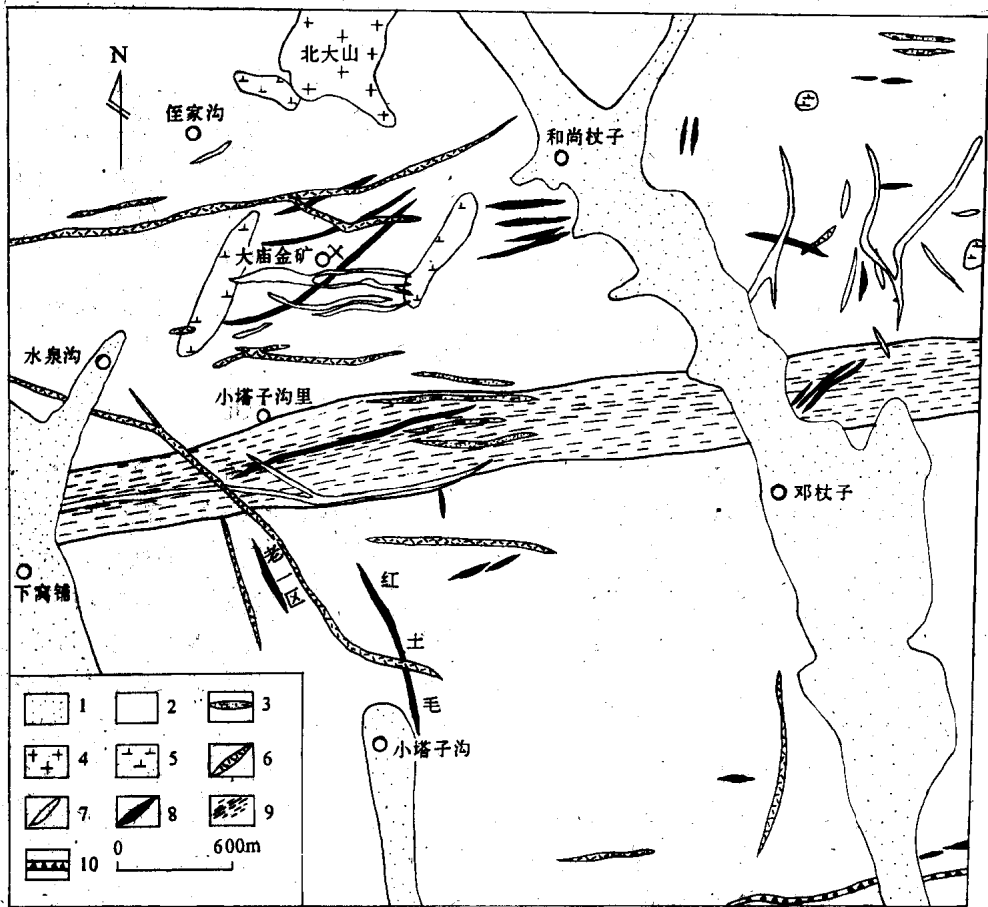


图 1—3 朝阳大庙金矿地质简图

1—第四系；2—小塔子沟组；3—磁铁石英岩；4—花岗岩；5—闪长岩；6—正长斑岩岩墙；
7—闪长玢岩岩墙；8—金矿体；9—糜棱岩；10—断层角砾岩

阿拉善断块地处内蒙西部和甘肃北部，四周被著名的腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和乌兰布和沙漠包围，地质研究程度较低。然而我们发现那里存在典型的花岗岩-绿岩区，位于大面积花岗岩之上的太古宙阿拉善群普遍发育了EW向褶皱，尤其在花岗岩大岩基中发育有EW向塑性褶皱和脆性褶皱。这些在深部形成的褶皱，现已出露，塑性褶皱的转折端圆滑，定向排列的矿物随褶皱的岩层弯曲。在转折端处未产生张裂和其它脆性破裂，亦无岩脉贯入现象（杨振德等，1986）。花岗岩中的EW向褶皱表明，在地壳深部花岗质岩石处在熔融—重结晶时期，在SN向挤压作用下，产生了花岗岩的褶皱。它与其上覆的阿拉善群EW向褶皱产生时期可能大致同期，是阿拉善断块上最早产生的褶皱。

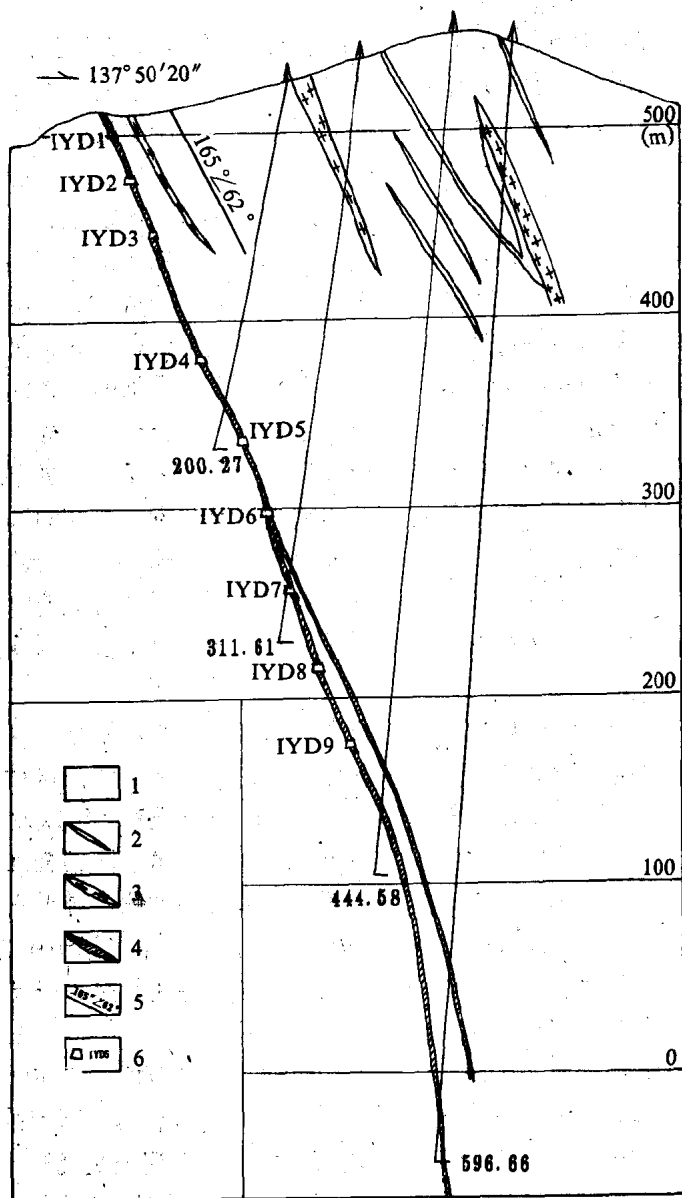


图 1-4 朝阳大庙金矿 1 号脉 3 线地质剖面图

1—黑云斜长片麻岩；2—闪长玢岩；3—石英二长斑岩；
4—矿脉；5—岩层产状；6—平巷与编号

太古宙基底最早形成的褶皱构造普遍为 EW 向，可能与地壳固结初期，地热流较高，是现今地热流的 3 倍，地壳的塑性程度较大有关。而且当时的地球旋转速度要快得多，所产生的由高纬度向低纬度的挤压力则较之后来要大的多，因而在较低的纬度区形成了具有普遍性的 EW 向构造。

(二) 变质岩系强烈变形区褶皱和褶皱叠加的找寻和判别标志

在岩石深度变质和强烈变形的区域，欲查明褶皱期次和鉴别褶皱的叠加关系，确实存在着一定的困难。然而注意在野外寻找和注意研究下列的标志，褶皱的形态和先后关系是

可以查明的。这里关键在于重视下列构造特征的研究。

(1) 褶皱转折端或轴部构造特征的调查在变质岩区和褶皱强烈的地区是非常重要的。以往人们可能由于这些地区的强烈的构造变动而忽视对褶皱转折端的寻找和研究。其实,在构造变动中褶皱转折端或轴部是相对稳定的构造部位,在后来的构造变形中,转折端很难彻底改造。褶皱无论如何复杂,也仅仅改变岩层的产状而不改变岩石本身。对岩层破坏最大的莫过于劈理对层理的置换,而在褶皱转折端处劈理或微劈理往往是绕过转折端处的强硬岩层,或者接近转折端时减弱或者中止于强硬岩层附近,在转折端弯曲最强的部位往往出现无劈理的区域。Ramsay 等(1987)称此为中和点。因此转折端的岩层较少受到破坏而得以保持其形态。我们在滇西特提斯带调查时,对澜沧群中所存在的 8 次褶皱找到了 7 次褶皱转折端,并在转折端处查明了褶皱的方位、类型和它们叠加的关系。

(2) 岩脉的变形特征是寻找褶皱转折端的标志和研究褶皱形态的标志。在变质岩褶皱区,因劈理发育,层理被置换以及灰暗的岩石颜色,何处去寻褶皱的转折端? 转折端常处于岩脉尤其是长英质岩脉发育处。即岩脉发育处常常为褶皱转折端所在的部位。如果变质岩内突然出现了较多的长英质岩脉(石英脉),寻找褶皱的转折端的努力一般会如愿以偿。在转折端处常有长英质脉(石英脉)充填,并且岩脉一旦出现就具有成群性特点,在片理发育的深灰色岩石中,这些浅色岩脉显得十分醒目,在这些部位不但可以找到转折端而且可以测量其各种产状要素。

(3) 轴部显微构造的观察会发现野外不易察觉的多余型叠加褶皱。紧闭近直立倒转褶皱,虽然在强烈挤压并劈理发育的变质岩中发现了它的转折端,然而这种褶皱是如何形成的? 是由递进挤压形成的还是阶段性挤压形成的? 通过镜下观察,可以发现这种同斜紧闭褶皱一般并非由递进挤压形成而是多次挤压结果。其中主要属于同轴叠加。其标志常为变形各异的方解石脉。这些方解石脉都垂直于轴面,但最早的方解石脉受到第二次褶皱时的挤压,并与褶皱翼角的变小相协调而成为肠状褶曲,而且受到第二褶皱中方解石脉的切穿。第三次挤压可能产生轴面劈理切过第二次充填的方解石脉并使其呈香肠状。热液脉的充填和变形及其切割关系清楚地表现了多阶段性挤压的褶皱。

(4) 沿褶皱中某个滑动面产生较大的滑动,使轴面突然转折,并在转折端形成尖角褶皱,尖角是由两翼同向滑移造成的。Spencer (1977) 曾提出“如果滑动面褶皱成棱角状(即尖棱褶皱),棱角褶皱是较新的”。因此,轴面转折后尖角褶皱是晚期形成的。根据轴面滑移和转折,滑移后的褶皱转折端为尖棱褶皱,可以确定基底构造层内平卧褶皱的多余型叠加褶皱。

(5) 褶皱轴面的叠加是叠加褶皱的最直观最可靠的标志。在褶皱研究中之所以强调寻找并观察转折端,就在于获得最可靠的褶皱叠加的证据。Ramsay 和 Huber (1987) 对叠加褶皱强调了轴面的叠加,并据此划分了四个叠加褶皱类型。

二、褶皱构造

基底构造层 EW 向褶皱形态主要为同斜直立褶皱、倒转褶皱、反卷褶皱、平卧褶皱(图 1—5)。EW 褶皱是在多阶段的同方向挤压下形成的,因而主要为同轴叠加。按 EW 向褶皱的发展阶段和叠加阶段,开始为 EW 向直立褶皱,继而改变为紧闭直立褶皱、倒转褶皱。倒转褶皱与直立褶皱同轴叠加的结果,则形成翻卷褶皱和局部新月型褶皱、无根褶皱。

EW 向的褶皱在形成之后受到了太古宙末期自西向东的逆冲推覆作用而受到改造,并

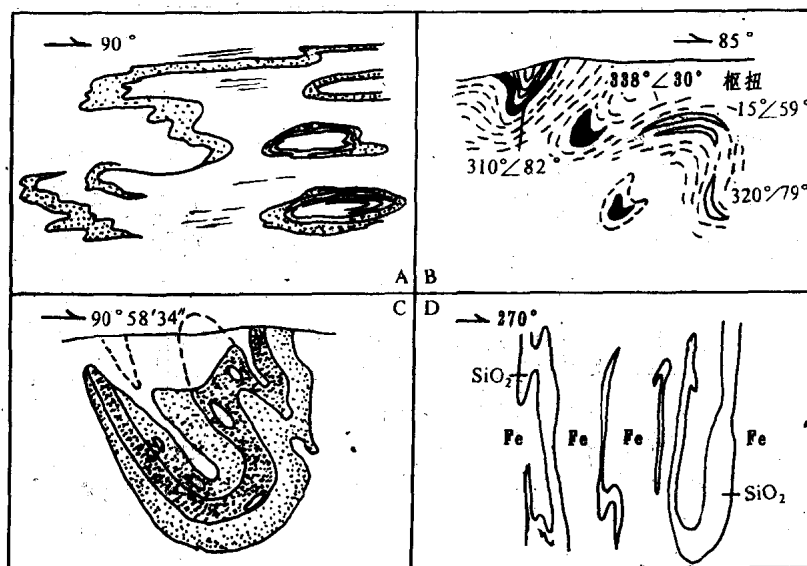


图 1-5 EW 向褶皱形态

A—单塔子群平卧褶皱形态；B—曹庄杂岩中的片内无根褶皱；C—司家营铁矿体形态；
D—司家营铁矿太古宙早期褶皱（赵宗溥等，1993；钱祥麟等，1985）

且产生叠加褶皱。在 NE 向断裂发育的地方，可以见到 EW 向直立褶皱与 NE 向倒转褶皱叠加产生的穹窿状—新月形—磨菇状形式和收敛—离散形式的褶皱。

三、自西向东的逆冲和推覆

基底构造层在太古宙末期经历了多次的构造变动，在 EW 向褶皱之后继而发生了自西向东的逆冲和推覆，虽然逆冲和推覆的构造形迹在后来的构造运动中被改造，但在辽西养马甸子和其它的地区仍然保存着一些逆冲推覆的构造。养马甸子北面出露单塔子群的残余露头中发育有缓倾与陡倾两组糜棱岩带。缓倾的一组糜棱岩带走向 NE40°，糜棱岩面理倾向 310°，倾角 28°；陡倾的一组糜棱岩带走向与缓倾的基本平行，糜棱岩面理倾向 320°，倾角为 85°。陡倾糜棱岩带切割缓倾糜棱岩带。通过实地调查和研究发现，陡倾糜棱岩带属韧性剪切带，缓倾糜棱岩带系逆冲推覆构造形成。养马甸子铜金矿点之东于钾长花岗岩中还见有黑云斜长片麻岩的紧闭线状褶皱，形态为向斜，系褶曲的转折端（图 1-6）。

逆冲推覆时代的确定系根据太古宙末期产生的各期构造形变之间的先后关系和同位素年龄测定。养马甸子陡倾韧性剪切带切割了缓倾糜棱岩带而它本身又受到变辉绿岩岩墙的切割。变辉绿岩岩墙厚数十米，延长达 3km。普遍发生了变质作用，但变质程度不均匀，大部已变质为细粒斜长角闪岩，少部分变质较浅，仍保留有辉绿结构和辉长辉绿结构，局部甚至保留有辉绿岩岩石面貌。变辉绿岩岩墙的 Rb—Sr 等时线样品经中国科学院地质研究所同位素年代学实验室协助测试，其年龄为 $1583.7 \pm 76.5 \text{ Ma}$ （图 1-7）。关键在于该辉绿岩岩墙切割了韧性剪切带而没有受到韧性剪切带的切割，辉绿岩在糜棱岩带应通过的位置并没有发生糜棱岩化，而仅仅受到了中生代叠加在韧性剪切带上的脆性剪切断裂的破坏，因