

中条山胡篭型铜矿成矿 规律及勘查模型系统

THE MINERALIZATION REGULARITY
AND EXPLORATION MODEL SYSTEM
OF HU-BI TYPE COPPER MINERAL IN
ZHONGTIAO MOUNTAINS, SHANXI

岑博雄 李志德 王显达 熊鹏飞



矿产勘查与定量评价丛书
SERIES ON MINERAL
EXPLORATION AND
QUANTITATIVE
ASSESSMENT

中国地质大学出版社

国家自然科学基金资助项目

国家教委博士学科点基金资助项目

中条山胡篭型铜矿成矿 规律及勘查模型系统

岑博雄

李志德

王显达

熊鹏飞



矿产勘查与定量评价丛书

SERIES ON MINERAL
EXPLORATION AND
QUANTITATIVE
ASSESSMENT

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书是国家“七五”期间重点攻关项目的科研成果专著。本书著者是我国矿产勘查专业专家。本书汇集了 5 年研究成果集成, 主要围绕如何在地质构造十分复杂的中浅变质岩地区开展新一轮的矿产勘查及矿产预测等问题进行系统探索和研究。主要成果为: ①运用变质核杂岩及剥离断层等基础地质研究的最新成果, 阐述胡篁型铜矿床的地质构造背景; ②通过胡篁型几个典型矿床的系统地质调查和系统综合研究, 比较客观地揭示了该类矿床的热液矿化特征; ③在揭示矿床地质特征的基础上, 结合成矿物质来源、成矿物理化学条件、成矿机制等方面的分析研究, 提出了该类矿床成因的新观点; ④运用系统论的思想, 总结了该类矿床的时空分布规律和矿化显示规律, 为成矿规律研究探索了一条系统分析的新途径; ⑤建立了该类矿床的勘查模型系统。

本书可供矿床、勘探专业研究人员及师生参考。

③ 中条山胡篁型铜矿成矿规律及勘查模型系统

岑博雄 李志德 王显达 熊鹏飞 著

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 杨 勇 刘士东 责任校对 徐润英 版面设计

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 6 插页 1 字数 150 千字

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷 印数 1—300 册

ISBN 7-5625-0815-1/P·282 定价: 6.80 元

序

“矿产勘查的系统分析”是矿产普查与勘探学科的前沿课题。成矿规律研究将矿化对象划分为矿体、矿床、矿田、矿结、矿区、矿省及矿带等不同规模等级，这种谱系划分为在成矿预测及矿产勘查中使用系统分析理论和方法奠定了基础。一方面，它突出了不同规模成矿单元的不同地质结构特征；另一方面，它也突出了对于不同矿化对象进行勘查的特点和所应达到的目标。除此之外，对上述不同矿化对象开展工作的详细程度又与不同的地质勘查阶段相对应，例如在中、小比例尺的区域地质调查阶段，主要工作对象是矿区、矿省和矿带；在大比例尺区域地质调查及矿产普查或详查阶段，主要工作对象是矿结、矿田及矿床；而在勘探阶段，其主要对象则为矿床、矿体和矿柱。

勘查对象、勘查内容及勘查阶段成为矿产勘查系统分析的有机整体。它又与矿产开发、矿产经济、矿产环境等问题构成更大的系统。总之，系统分析为矿产勘查问题的最优解提供了重要途径，因而受到普遍的关注。

岑博雄等著的“中条山胡篦型铜矿成矿规律及勘查模型系统”一书以矿产预测理论为核心，以中条山胡篦型铜矿为实例，系统地介绍了如何将当代地质构造及成矿研究的最新成果用于成矿预测，运用系统分析的方法研究成矿规律并讨论了矿床勘查模型及其应用，以及有关矿产预测及评价等问题。本书主要的特色是作者结合一个具体地区，尤其是地质构造十分复杂的浅变质岩区，运用系统论及矿床成因论的最新成果研究成矿规律。本书取得的主要新进展和新认识是：

(1) 运用变质核杂岩及剥离断层等基础地质研究的最新成果，阐述胡篦型铜矿床的地质构造背景；

(2) 通过几个典型胡篦型铜矿床的系统地质调查和系统综合研究，比较客观地揭示了该类矿床的热液成矿特征；

(3) 在揭示矿床地质特征的基础上，以新的地质构造成矿观为指导，结合成矿物质来源、成矿物理化学条件、成矿机制等方面的分析，提出了该类矿床成因的新观点；

(4) 运用系统论的思想和系统分析方法，总结了该类矿床的时空分布规律和矿化显示规律，为成矿规律研究探索了一条系统分析的新途径；

(5) 在系统分析的基础上，建立了该类矿床的勘查模型系统，并在该区成矿预测工作中加以运用，取得了良好的勘查效果。

本书的出版，将有助于推进现代矿床勘查理论和方法的研究，是值得欢迎的。

赵鹏大

1993年3月8日

前 言

作为不可再生的矿产资源,由于其消耗量的猛增和勘查难度的日益增大,从而引起了越来越多的重视。从我国国情出发,大力开展有效的矿产勘查是解决矿产资源问题的根本途径。随着勘查工作的不断深入,勘查对象发生了很大的变化,从而增大了找矿的难度,使传统方法难于奏效。种种统计资料表明,近20年来,单纯依靠物、化探异常的技术找矿效果有限,而以深入研究成矿规律为基础的地质推断法或理论找矿则日益显示出其重要性。成矿规律已成为当代矿产勘查尤其是矿产预测的地质基础(赵鹏大等,1988),标志着矿产勘查工作已进入了一个科学找矿的新阶段。

赵鹏大教授(1990)提出的以理论找矿、综合找矿、立体找矿和定量找矿为基本内容,包括矿产预测基本理论、准则和方法的理论体系,为我们在新时期开展矿产勘查尤其是矿产预测工作提供了理论依据。作者撰写此书的目的在于强调科学找矿理论对矿产勘查工作的指导意义,并结合中条山铜矿的勘查实际,提供一个运用科学找矿理论进行铜矿勘查的实例。

中条山是我国重要的铜矿基地之一,其中赋存于下元古界中条群内的胡篦型铜矿床为该地区主要富矿石来源,在国内外也是一类在成因上有典型意义,在经济上效益较高的矿床。近40年来,山西地矿局214地质队及其它地质勘查部门进行了大量的地质勘查工作,获得了大量有价值的实际资料和丰硕的地质成果。针对矿山保有储量越来越少,勘查难度越来越大的现状,“七五”期间,不少生产、科研和教学部门组织联合攻关,在矿床产出的地质构造背景、形成条件、成矿作用、成矿过程、矿床成因等方面,不断有新发现并提出了许多新观点和见解。作者有幸参加了中条山地区联合攻关。主要围绕如何在地质构造十分复杂的中浅变质岩地区开展新一轮的矿产勘查及矿产预测等问题进行了系统探索和研究。

本书重点讨论了以下问题:

- (1) 变质核杂岩及剥离断层对胡篦型铜矿床的成矿控制;
- (2) 系统地质调查和系统综合研究解剖典型矿床,客观揭示胡篦型铜矿床的热液矿化特征;
- (3) 结合成矿物质来源、成矿物理化学条件、成矿机制等方面的分析研究,解决胡篦型铜矿床成因理论问题;
- (4) 如何运用系统论的思想和系统分析方法总结该类矿床的时空分布规律和矿化显示规律,为成矿规律研究探索一条系统分析的新途径;
- (5) 建立该类矿床的勘查模型系统。

本书是作者在参加国家“七五”科技攻关项目《中国东部隐伏矿床研究》和国家科委引导性项目《全国固体矿床成矿预测系统综合研究》的有关专题以及横向联合项目《山西省中条山地区胡篦型铜矿杨家池—上太平一带大比例尺成矿预测研究》研究的基础上,运用系统论撰写而成。我们的研究已引起了国内同行专家和有关部门以及生产单位的重视。为此,作者于1990年获得国家教委博士学科点基金资助项目——《中国主要类型铜矿床勘查模型研究》;1991年获得国家自然科学基金资助项目——《系统勘查途径及结构模型法研究——以中条山铜矿为例》。本书同时也是上述两个基金资助项目的中间性成果。

参加攻关的研究人员除中国地质大学(武汉)矿产系、地质系师生外,还有山西地矿局214队、山西省地质科学研究所的研究人员,并得到了中条山有色金属公司及各矿山领导及同行的支持和帮助。书中的许多工作和认识得到了傅昭仁、宋鸿林、冀树楷、李锡章、丁厚盛、王化龙等专家教授的指导;有赖于罗森桓、胡如权、王春增、杨勇、李先福、谭少华、孔东军等同志的专题研究和长期合作。特别值得一提的是攻关项目主要负责人王定域副教授因工作劳累患病逝世。书中的许多观点和认识都渗透着他的心血和汗水。本书的出版也是对他的最好怀念。本书是集体劳动成果。

本书编写分工如下:岑博雄编写前言、第四章和第五章;王显达编写第一章;李志德编写第二章;熊鹏飞编写第三章。最后由岑博雄统编全书。文丽丽同志清绘了全部图件。本文的出版得到了中国地质大学出版社领导的大力支持,责任编辑杨勇同志付出了大量的劳动,在此对有关单位和个人一并致谢!

限于作者水平,书中肯定还有不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

作者

1992年12月于武汉

目 录

第一章 成矿地质构造背景.....	(1)
第一节 区域地质背景.....	(1)
第二节 中条群地层及其变质作用.....	(4)
第三节 矿田构造基本特征与构造演化.....	(8)
第四节 岩浆岩	(14)
第二章 矿床基本地质特征	(16)
第一节 矿床一般地质特征	(16)
第二节 典型矿床地质特征	(24)
第三章 矿床成因探讨	(37)
第一节 矿床物质来源	(37)
第二节 成矿溶液的成分特征和性质	(43)
第三节 成矿机制分析	(46)
第四章 矿床成矿规律	(48)
第一节 概述	(48)
第二节 矿床的空间展布规律	(49)
第三节 矿床的时间演化规律	(64)
第四节 矿化信息显示规律	(68)
第五章 矿床勘查模型系统	(80)
第一节 概述	(80)
第二节 矿床的描述模型	(80)
第三节 矿床的成矿模型	(82)
第四节 矿床的准则模型	(83)
第五节 矿床的标志模型	(84)
第六节 矿床的勘查模型	(85)
主要参考文献	(88)

第一章 成矿地质构造背景

第一节 区域地质背景

中、新元古代中条山铜矿位于华北板块南部大陆内部三叉型裂谷带的顶端，绛县与古堆之间，其西界为绛县-三门峡-灵宝-华山断裂所限，东界为古堆-洛阳-确山断裂（图 1-1）。中条山铜矿分别产于古裂谷边缘的两条断裂带中及其附近。古裂谷及其西侧中条山多期复合变质核杂岩体的形成和演化直接控制了中条山铜矿的成矿及其演化。

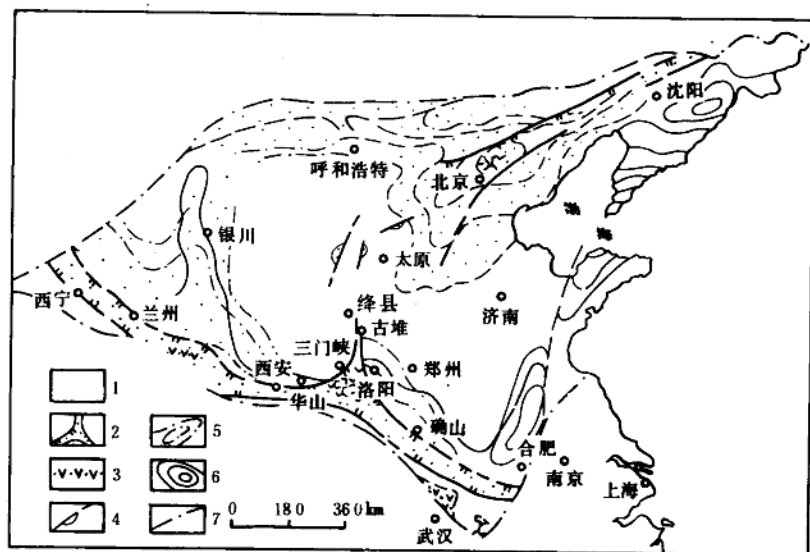


图 1-1 华北地台结晶基底中、新元古代再改造的基本特征（据马杏垣等，1987）

1. 前吕梁—中岳运动形成的基底；2. 中、新元古代裂陷槽；3. 中基性火山岩；4. 后造山的断陷盆地；5. 南口—蔚县沉积等厚线（1、2、4、6km）；6. 震旦纪沉积等厚线（同 5）；7. 推测的华北地台边界

一、区域地层

中条山铜矿区发育了太古代涑水杂岩，古元古代绛县群、中条群，中元古代担山石群、西洋河群地层。由于不同时代地层受变质变形改造程度的不同，因而对其研究程度和认识水平亦不同。太古代涑水杂岩变质程度达到高角闪岩相以上，内部组成复杂，以致无法进一步划分；绛县群和中条群具有相近的变质变质历史，均为高绿片岩相至低角闪岩相变质岩，并经

历了强烈的横向构造置换的改造，发育不同世代不同样式的构造变形，给绛县群和中条群地层内部的划分对比带来很大困难，因而而长期存在不同的认识。近年来对矿区变质构造的深入研究已进一步提高了对绛县群和中条群的认识。位于中条群上覆的担山石群和西洋河群岩石变形变质都较弱或基本未受区域变质改造，其地层划分较为简单，不易发生矛盾。但对担山石群底部的周家沟组砾岩的成因应予重新认识。根据野外的追索和观察发现，周家沟组砾岩沿走向分布极不稳定，砾岩本身具有明显的张性断层角砾岩特征。角砾成分复杂，以上上覆沙金河组石英岩为主。而且周家沟组砾岩还可呈砂岩墙出现于沙金河组中。因此，周家沟组砾岩实质上是一套同生断层角砾岩，不具地层建组的意义。综合近年来的研究成果，剔除构造对地层的影响，根据地层基本岩性组合特征，可在前人工作基础上将本区出露的前寒武纪地层划分为五个群十个组（表 1-1）。由于中条群以前的地层中褶皱层和低角度韧性剥离断层的发育，使地层原生沉积厚度无法确定，其变质地层厚度沿走向发生很大变化。

表 1-1 杨家池—上太平一带前寒武纪地层表

界	群	组	代号	主要岩性特征	铜矿化情况
中元古界	西洋河群		Pt _{1xy}	玄武岩、安山岩及少量流纹岩，夹集块岩以及凝灰岩、页岩、砂砾岩	含铜矿化脉
		砂金河组	Pt _{1s}	石英岩夹页岩，上部页岩	
	担山石群	西峰山组	Pt _{2x}	厚—中厚层石英岩	
下元古界	中条群	余家山组	Pt _{1yj}	下部含叠层石硅质条带大理岩，中、上部白云岩夹黑色片岩	热液型铜矿床
		篦子沟组	Pt _{1b}	上部黑色炭质片岩夹不纯大理岩，下部石榴石二云片岩	
		余元下组	Pt _{1y}	下部白云石大理岩，中部叠层石硅质条带大理岩，上部红色白云石大理岩	
		龙峪组	Pt _{1l}	下部钙质绢云片岩夹石英岩，中部钙质绢云片岩夹大理岩，上部大理岩夹钙质绢云片岩	
		界牌梁组	Pt _{1j}	含砾长石石英岩	
	绛县群	西井沟组	Pt _{1x}	变基性火山岩	主要含铜及铜矿化层位
		横岭关组	Pt _{1h}	绢英岩，十字绢云片岩，石榴方柱石云母片岩	
		平头岭组	Pt _{1p}	石英岩	
	流水杂岩		M	混合岩，片麻岩，变粒岩，石英岩，大理岩	局部铜矿化富集

二、中条古裂谷

位于华北板块南部陆内三叉型裂谷带顶端的中条古裂谷系平面上呈“人”字三叉型展布（图 1-2）。其构造属性为一陆内拗拉槽，裂谷带内主要发育西洋河安山玄武岩，其中夹有极少量流纹岩。因而，中条古裂谷系又称之为西洋河裂谷。该裂谷系控制了中条山铜矿成矿带的展布，使铜矿床的形成与西洋河裂谷在时空上存在密切联系。裂谷北支已为中元古代—古生代地层所覆盖，但航磁和重力资料均表明裂谷向北经襄汾塔儿山—二峰山向北延伸，并有金

属矿床沿其分布。裂谷南东支虽被西洋河安山玄武岩大面积覆盖,出露不明显。然而从构造剥蚀出的早元古代之前的基底已查明宋家山、虎坪、落家河等铜矿床沿该支分布。裂谷的南西支为铜矿峪型铜矿及胡篦型铜矿沿其分布。

中条古裂谷的南西支由一系列不同期次和不同层次的剥离断层所构成。其西侧为太古代涑水杂岩;东侧为西洋河期玄武安山岩。根据晋南西洋河群酸性火山岩中锆石铀-铅法所测定的同位素年龄为 $1829.1 \pm 1.2 \text{ Ma}$,而根据胡篦矿田井下容矿岩石的 Rb-Sr 同位素测定的成矿期年龄为 $1832.14 \pm 26.12 \text{ Ma}$ 。表明胡篦型铜矿与中

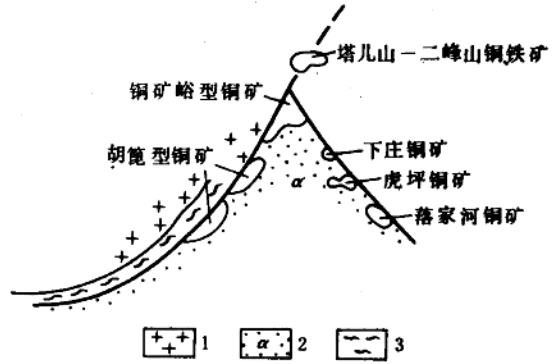


图 1-2 中条中元古代三叉型裂谷系示意图

1. 太古宙涑水花岗岩变质核; 2. 中元古代西洋河玄武安山岩;
3. 构造滑脱片理化带

条西洋河期的裂谷活动具有时间上的一致性。反映西洋河裂谷是成矿期区域伸展构造的产物。而且,从二者时空上的密切联系可以推断胡篦型铜矿与西洋河裂谷的发育很可能具有紧密的成因联系。

三、中条多期复合变质核杂岩体

中条多期复合变质核杂岩体位于西洋河裂谷的西侧,由太古代变质杂岩核、中条多期变形变质带和弱变形变质盖层三部分组成,三者间均以剥离断层接触。

(一) 中条多期复合变质核杂岩体的基本结构

中条多期复合变质核杂岩体在平面上自西向东表现为三个不同岩类组成的构造带(图 1-3):西部是由花岗岩质岩石为主体的涑水变质杂岩核,中间是绛县-中条多期变形变质带,东部则为西洋河-靖家山不变质或弱变质盖层。

构成涑水变质杂岩核的岩石组成颇为复杂。由太古代高角闪岩相-麻粒岩相变质岩石以及不同时期侵位的花岗岩体和基性-超基性岩墙群所组成。其中以不同时期花岗岩经变形变质改造形成的“灰色片麻岩”为主体,约占涑水杂岩核总体岩石组成的 60% 以上。杂岩核边缘具有强

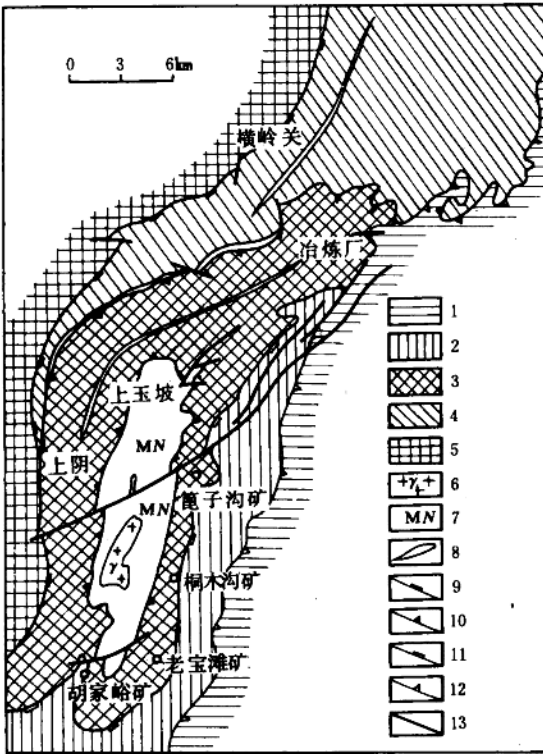


图 1-3 中条山北段地质构造简图

1. 中元古代西洋河-靖家山弱变质盖层; 2. 上中条构造增生楔; 3. 下中条构造增生楔; 4. 绛县构造增生楔; 5. 涑水变质杂岩核; 6. 北峪花岗岩体; 7. 变基性岩; 8. 基性岩脉; 9. 中条基底剥离断层; 10. 界牌梁剥离断层; 11. 余家山剥离断层; 12. 担山石剥离断层; 13. 断层线

烈的韧性剪切变形特征,发育典型的变晶糜棱岩。

位于多期复合变质核岩体中间的绛县—中条多期变形变质带分布于横岭关—上阴—庞家庄以东。从北西到南东表现为绛县、下中条、上中条三个构造增生楔状体,由老到新依次呈斜列叠覆关系,其间为剥离断层接触(图1-3)。本区的铜矿床均产于该多期变形变质带中。

位于中条多期复合变质核杂岩体最上部的是西洋河—靖家山不变质或弱变质盖层,由担山石群厚层石英岩和西洋河安山玄武岩组成。二者为中新元古代裂谷及其边缘的产物。

(二) 中条剥离断层系统的基本特征

1. 中条剥离断层系统的几何特征

中条剥离断层系统作为中条变质核杂岩体的基本构造要素,以一系列低角度正断层发育于杂岩核顶部至盖层之间。虽然它们形成于不同变形世代和不同构造层次,但都具剥离断层的一般特征。平面上不同层位新岩层以低角度直接与较老岩层接触;剖面上表现为地层柱的缺失,沿剥离带的构造剥蚀作用和构造拆离作用。从下至上由基底剥离断层系、界牌梁剥离断层系、余家山剥离断层系、担山石剥离断层系所组成(图1-3)。

中条剥离断层系统总体走向均呈NE—SW向延伸,其基底剥离断层分布于横岭关—上阴—泗交一线。下盘是涑水杂岩顶部花岗片麻岩,上盘是绛县、下中条、上中条多期变形变质带构造增生楔。断层的构造剥蚀使下盘涑水杂岩由北往南依次与绛县、下中条、上中条构造增生楔直接接触;各剥离断层系依次与基底剥离断层联合。

2. 剥离断层系统的运动学特征

通过对断层构造岩伴生岩浆活动及运动学标志研究表明,中条剥离断层系统具有下列发展特征:

(1) 断层及其两盘拉伸线理、鞘褶皱、旋转透镜体发育,断层总体由NW向SE方向作正向分层剪切。

(2) 在下部剥离断层系中发育典型的变晶糜棱岩,上部则发育张性构造角砾岩。下部的韧性变形岩石常叠加脆性变形改造。表明剥离断层系统经历了由深层次韧性变形到浅层次脆性变形的发展过程,而且具有多次继承性拆离的特点。

(3) 沿各剥离断层普遍发育基性、中基性侵入岩席或岩墙,表明中条剥离断层的活动与深部地幔物质均衡上隆之间具有内在联系。

第二节 中条群地层及其变质作用

胡篚铜矿田内出露的地层均为中条群地层,它不仅是最重要的含矿地层,并且记录了区内长期、多期的变形变质历史。

一、中条群地层基本特征

中条群分布于本区中部,呈NNE—SWW向的“S”型展布(图1-3),构成了中条变质核杂岩体多期变形变质壳的主体,组成鲁家沟复向斜、西沟向形以及上玉坡复式背形的两翼。由于遭受强烈的变形变质改造,中条群各组无论在剖面上还是沿走向上均发生大量缺失或不同组之间的重复,使其岩性变化复杂。通过对转山—杨家池—冶炼厂一带构造较为简单的中条群地层剖面的研究,比较全面地归纳出中条群各组变质岩层的下列基本组合特征(图1-4)。

(一) 界牌梁组(Pt_{1j})

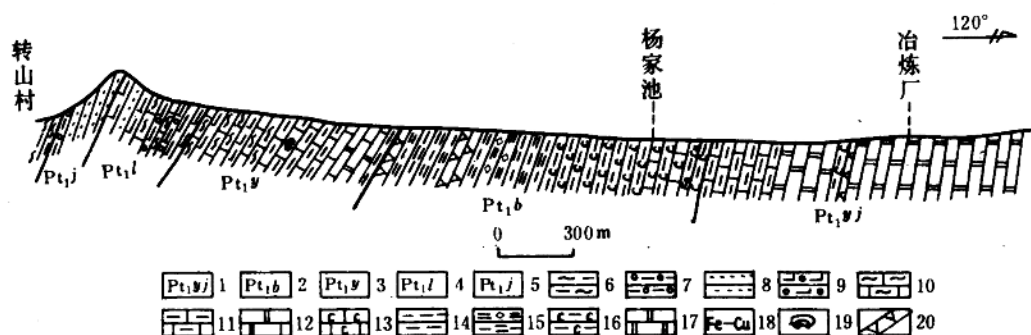


图 1-4 转山村—冶炼厂地层剖面

1. 余家山组; 2. 篦子沟组; 3. 余元下组; 4. 龙峪组; 5. 界牌梁组; 6. 夹角闪岩透镜体黑云片岩; 7. 变质底砾岩; 8. 石英岩; 9. 钙质绢片岩或含变质斑状钙质绢片岩; 10. 黑云母大理岩或白云质纹带大理岩; 11. 硅质条带大理岩; 12. 白云石大理岩; 13. 不纯大理岩; 14. 片岩; 15. 二云片岩; 16. 炭质黑片岩; 17. 白云岩; 18. 褐铁矿化、铜矿化; 19. 叠层石; 20. 断层破碎带

为一套灰白色、浅肉红色厚层长石石英岩。其底部为厚约几十厘米的变质底砾岩，砾石呈椭圆形，砾径约为 8~10cm 左右。界牌梁组总体上从下至上粒度逐渐变小，长石含量逐渐减少，至顶部其岩性与上覆龙峪组呈渐变过渡关系。二组接触带附近，长石含量又逐渐增加，界牌梁组的成分成熟度较低。与下伏绥化群为剥离断层接触。围绕上玉坡背形核部的界牌梁组，石英岩由于构造透镜化而遭受不同程度的缺失。而在篦子沟斜断层以南的上玉坡背形东翼及其南倾伏端，由于逆冲叠覆可使界牌梁组石英岩重复出现。

(二) 龙峪组 (Pt_l)

龙峪组从下至上岩性也具有较规律性的变化特征，其下部是一套与界牌梁组长石石英岩呈渐变过渡的中厚层长石石英岩夹含钙绢英片岩；中部为浅灰色含钙绢英片岩夹中厚层白云质大理岩，偶夹石英岩，上部则为白云质大理岩夹含钙绢英片岩和薄层云母石英大理岩，该组从下到上具有颗粒变细，石英质渐少，钙质增多的变化规律。在龙峪组片岩中经常见其直径约为 0.8cm 左右的椭圆形变质斑点，它是鉴别该组地层的重要标志。沿走向龙峪组常为剥离断层所切失而出露不全。特别是桐木沟至店头一带，龙峪组仅存其中上部地层。

(三) 余元下组 (Pt_y)

该组下部为灰白色中—厚层状白云质大理岩夹钙质绢英片岩，与下伏龙峪组之间亦为渐变过渡关系。其中部为青灰色中—厚层状硅质条带大理岩，偶夹灰白色白云质大理岩。上部为厚—巨厚层状红色白云质大理岩。顶部为绿—灰色含钙绢英片岩，中部的青灰色硅质大理岩中发育叠层石，顶部片岩中波痕等原生构造发育，表明余元下组形成于滨海浅水环境。余元下组的出露也很不全，沿走向常为次级剥离断层切失，造成不同程度的缺失。

(四) 篦子沟组 (Pt_b)

下部由灰黄色—黄绿色绢云片岩、云英岩和二云片岩组成。有时局部可含石榴云片岩。篦子沟组上部为黑色炭质片岩夹不纯大理岩。黑色炭质片岩在区域上虽不同程度地遭受剥离断层影响而变薄或缺失，但总体沿走向分布仍较稳定，下部绢片岩和二云片岩则为剥离断层剥蚀，分布不稳定，在篦子沟矿区，其下部片岩可全部缺失。

(五) 余家山组 (Pt_{yj})

该组下部为含叠层石的青灰色纹带或硅质条带大理岩,其主体为一套青灰色与灰白色巨厚层白云质大理岩和白云岩互层,中部夹两层厚约1m左右的黑色炭质片岩。其上部常可见大型不对称波痕及小型波痕,表明余家山组原岩主要为浅水环境下形成的碳酸盐岩。

上述中条群各组之间,除龙峪组和余元下组之间为正常沉积接触关系外,其余各组现均为剥离断层接触。根据岩性组合分析表明,各组之间的原岩岩性均具有渐变过渡的特点,而且以滨海浅水环境沉积为主。

二、中条群变质岩及其变质作用

(一) 中条群变质岩石基本类型

根据上述中条群各组地层的岩性特征以及物质成分、结构构造特点可将中条群地层岩性划分为片岩类、大理岩类和长英质岩石三种基本变质岩石类型。

1. 片岩类岩石

主要由二云片岩、绢云母片岩、钙质绢云母片岩、炭质黑片岩等组成。原岩为泥质一半泥质岩。岩石具千枚状一片状构造,似斑状磷片变晶结构。除炭质黑片岩含一定数量炭质外,片岩中的主要矿物为:黑云母、绢云母、绿泥石、石英,其次为硬绿泥石、石榴石、钠长石等,还可有少量十字石、堇青石等。其中部分黑云母、石榴石、硬绿泥石、十字石以变斑晶形式产出。有时还具有后期蚀变的方柱石变斑晶。

2. 大理岩类岩石

岩石为粗一中细粒状变晶结构,块状构造。主要成分为白云石和方解石,其次为石英、黑云母、透闪石、阳起石、绿帘石、钠长石、方柱石等。含炭质、铁锰质等成分。大多数大理岩成分都比较复杂,特别是 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量普遍较高。根据黑云母、石英、钠长石等矿物含量不同可进一步划分为黑云母大理岩、石英大理岩等。

3. 长英质岩石

为中粒变晶结构,与上述两类变质岩相比,其成分较简单,主要成分为石英,其次为钾长石和更中长石。含少量黑云母、白云母以及赤铁矿、镜铁矿等。

(二) 中条群的变质作用

中条群的三类变质岩中,泥质变质岩的变质矿物最为发育,而且不同世代共生矿物组合关系比较清楚。而大理岩类和长英质岩类的不同世代变质矿物组合则不易确定。所以深入研究中条群泥质变质岩矿物成分是确定中条群变质作用的关键。根据中条群泥质变质岩系中共生矿物及其与变形的穿切关系可以确定中条群至少经历了两期区域变质作用和一次热变质作用,并形成了相应的变质矿物组合。它们分别为高绿片岩相矿物组合、低角闪岩相矿物组合和热变质矿物组合。

中条群第一期区域变质作用形成的高绿片岩相的代表性矿物组合为:

黑云母+石榴石+硬绿泥石+石英+绿泥石+白云母

其中片状矿物平行早期连续劈理面分布,石榴石和硬绿泥石变斑晶虽可切过早期劈理,但又被晚期褶劈理切过,并发生旋转。中条群的高绿片岩相矿物组合相当于黑云母-绿泥石亚相,形成温度约为450~480℃左右。其中硬绿泥石的生成反应可能为:

绿泥石+白云母=硬绿泥石+黑云母+石英+水

该反应温度可达450℃,压力约为 $4 \times 10^8 \text{Pa}$ (据Hoschek, 1969)再结合考虑铁铝石榴石的发育,可以推测早期高绿片岩相的区域变质作用是在温度约为480℃,压力为 $4 \times 10^8 \text{Pa}$ 条

件下形成的。

叠加于高绿片岩相之上的第二期低角闪岩相的主要矿物共生组合是：

十字石+黑云母+石榴石+石英

该矿物组合除石英外，其它矿物常呈斑晶切割晚期褶皱理，而且可看到第一期的硬绿泥石或黑云母等转变为代表低角闪岩相的典型矿物——十字石。表明低角闪岩相矿物组合形成于高绿片岩相之后，二者呈叠加关系。

中条群低角闪岩相矿物组合相当于十字石-铁铝榴石-白云母亚相（图1-5）。它所反映的形成温度约为550℃左右。其中硬绿泥石转变为十字石的反应式为：

23 硬绿泥石+8 石英=4 十字石+5 铁铝榴石+2 水

在围压为 4×10^8 Pa条件下，该反应温度约为560℃。Ganguly (1969) 曾认为硬绿泥石转变为十字石的压力约为 $4 \times 10^8 \sim 8 \times 10^8$ Pa，温度为500~575℃。基本与变质相及反应式的结果相吻合。大体反映了中条群低角闪岩相的区域变质条件。

在本区广泛发育的热变质作用是最晚期、有代表性的变质改造。热变质矿物基本未受变形改造并切割早期片理和线理而不具定向性。

泥质变质岩中的热变质矿物主要为堇青石、方柱石及绿帘石等，根据堇青石的出现，可推测热变质作用的最高温度可达500℃以上，压力约为 $2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8$ Pa。另外，大理岩中形成的透闪石角闪岩也佐证了上述结论。

三、中条群变质地层与成矿的若干基本问题

由于长期未能认识在地壳早期伸展和收缩过程中中条群内发育的复杂韧性变形，致使对中条群岩性在不同地段剖面上或沿走向上的复杂变化无法解释，只能牵强解释为沉积相变。深入的构造地层研究，已揭示中条群构造地层与铜矿床的成矿之间存在下列关系。

(1) 中条群各组在区域上存在大量地层柱缺失的现象。沿地层走向追索，常可发现在几公里范围内某些在区域上分布较稳定的地层大量缺失。特别在篦子沟—桐木沟—胡家峪一带地层缺失现象表现最为突出，往往难以用沉积相变解释，深入的构造研究表明早期韧性剥离断层的构造剥蚀作用是地层缺失的根本原因。中条群内部地层的缺失导致篦子沟组黑色炭质片岩与其它组大理岩直接接触，从而提供了有利的成矿岩性组合。

(2) 转山标准剖面研究表明，中条群各组岩性变化并不复杂，而且具有渐变过渡的特点。与转山标准剖面相比，区域上其它许多地方中条群岩性变化显得比较复杂，特别是篦子沟斜断层以南原定篦子沟组含矿地层，除炭质黑片岩外还重复出现二云片岩、钙质绢云母片岩、大套大理岩和石英岩。其中的钙质绢云母片岩中含变质椭球斑点可与龙峪组对比，石英岩不仅可与界牌梁组对比，而且还发育指示地层倒转的斜层理，这些都说明有部分岩层并非篦子沟组沉积相变的产物。构造研究表明，由于低角度面理褶皱-冲断构造作用使篦子沟组黑色炭质片岩之上重复出现了其它中条群更老地层。所谓原篦子沟组含矿地层实际是包括界牌梁组、龙峪组和余元下组地层的褶皱-推覆体层序。构造地层序的形成使有利成矿岩性组合在剖面上多次重复，构成工业矿床形成的一个重要条件。

因此，含矿地层已具有新的含意。由于原篦子沟组含矿地层的解体，整个中条群都可能成为含矿地层，实际上，胡篦型铜矿是产于中条群中，而不局限于哪一个组，这对于拓宽胡篦型铜矿的找矿思路具有重要意义。

第三节 矿田构造基本特征与构造演化

本区曾经历了多期复杂的构造变形。中条主期造山运动形成的近 SN 向上玉坡褶皱系统构成了本区主体构造格架。主期造山运动之前的早期韧性伸展构造以及低角度褶皱-冲断构造均遭受主期变形改造使其轴面发生褶皱变形,但其构造线仍保持 NE—SW 向延伸。晚期 NNE—SSW 向的脆性断裂以及 NE 向的褶曲构造叠加在主期上玉坡褶皱系统之上,使不同期构造相互复合,交织在一起,总体上形成了“S”型的变形形迹(图 1-3)。

一、NE 向构造体系

区内的 NE 向构造体系由早期轴面近水平的韧性伸展构造和中期褶皱-冲断构造及晚期轴面近于直立的褶曲构造组成。NE 向构造的规模均不大,以中、小尺度构造为主,但对成矿具有重要控制作用。

(一) 早期近水平的韧性伸展构造

该期构造是在区域性地壳伸展作用下,由 NW—SE 向的水平剪切作用形成的。以中条群中广泛发育的轴面近水平、轴向为 NE 向的褶皱层构造以及走向 NE 的层间韧性剥离断层系为代表,是深层次的顺层固态流变构造。

1. 中条群褶皱层

由于中条群各组地层岩性不一,能干性差异大,因而形成各具特色又相互组合的褶皱层。

界牌梁组石英岩能干性强,层间能干性差异小,常形成石香肠构造或呈构造透镜体产出;龙峪组岩性以泥质、钙泥质和钙质岩石互层为主,各层之间能干性差异明显,岩石总体平均韧性高,因而以形成褶皱形态为 I—II 型的顺层掩卧褶皱为主;余元下组主要由成分较均一的中厚层大理岩和含硅质白云质条带的厚层大理岩组成。前者能干性差异小,以发育褶皱形态为 I—II 型的协调顺层褶皱为特征;后者能干性差异大,因而形成极不协调的准弯曲褶皱。篦子沟组由于原岩为能干性极低的泥质岩石,因而发育透入性很强的顺层流劈理,其下部的二云片岩中,轴面流劈理可强烈置换顺层平卧褶皱;其上部的炭质黑片岩则形成透入性很强的呈千枚状产出的流劈理。余家山组厚层白云岩相对变形较弱,但沿其所夹的二层黑片岩形成分划性顺层韧性剪切带。

2. 层间剥离断层系

层间剥离断层主要沿各组之间的差异岩性界面发育,致使除龙峪组与余元下组为正常沉积接触外,其余各组均为剥离断层接触。剥离断层的构造剥蚀作用使地层大量缺失,是篦子沟组炭质片岩与其它组大理岩接触形成有利成矿岩性组合的重要因素。

(二) 面理同斜褶皱-冲断构造

同斜面理褶皱-冲断构造主要发育于篦子沟斜断层南边上玉坡背形的东南翼及转折端下中条群褶皱层中,分布在篦子沟至胡家峪一带。长期以来人们认为上玉坡背形的东南翼是地层层序正常的简单单斜构造,通过一系列构造剖面研究可以发现地层具有对称重复分布的特征,而且在篦子沟组之上出现斜层理和波浪都指示岩层倒转的界牌梁组石英岩,甚至在篦子沟矿区井下可以看到龙峪组的地层直接覆于篦子沟组黑片岩之上。这些现象表明上玉坡背形的东南翼不是简单的单斜构造,其内部发育一系列同斜褶皱-冲断构造。

下中条群的褶皱-冲断构造是一个位于余家山组之下的中型尺度隐伏双重构造系统,其底

板断面和顶板断面分别利用了先存界牌梁剥离断层和余家山剥离断层的主断面。下中条群各组地层均卷入了变形。其变形面为残余原生层理和 D_1 期韧性伸展构造形成的所有新生面状构造要素。

在平面上，褶皱-冲断构造表现为一系列分布于篦子沟斜断层以南上玉坡背形东南翼的中型尺度同斜褶皱构造，褶皱两翼紧闭同斜，轴面向东倾，倾角约 $40^\circ \sim 60^\circ$ 左右，轴面迹线延伸 $1 \sim 2\text{km}$ ，枢纽陡倾，向东 40° 左右倾伏，倾角约 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。在胡家峪，上玉坡背形倾伏端同斜褶皱枢纽近于直立。总体位态呈斜卧褶皱。沿垂直底、顶板断层面方向，若干斜卧褶皱平行叠置，特别在篦子沟和胡家峪，斜卧褶皱最发育，多个褶皱互相平行叠置使下中条群地层出露宽度大大增加，可能是逆冲的前锋带所造成的褶皱强烈叠覆。

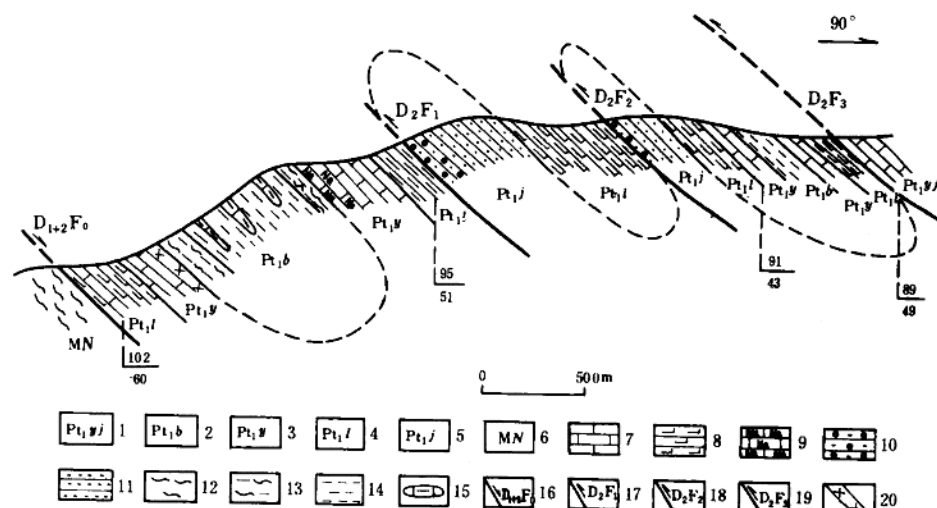


图 1-5 桐木沟上玉坡背形东翼信手地质剖面图

1. 余家山组；2. 篦子沟组；3. 余元下组；4. 龙峪组；5. 界牌梁组；6. 变基性岩；7. 大理岩；8. 钙质绢云片岩；9. 钠化大理岩；10. 含砾石英岩；11. 石英岩；12. 黑云片岩；13. 二云片岩；14. 炭质黑片岩；15. 不纯大理岩透镜体；16. 底板断层；17. 次级逆冲断层 1；18. 次级逆冲断层 2；19. 顶板断层；20. 辉绿岩脉

在剖面上，褶皱-冲断构造为 D_2F_1 、 D_2F_2 、 D_2F_3 等次级逆断层依次向东倾斜，组成叠瓦式冲断构造，使若干推覆体相互叠置，构成复叠式推覆（图 1-5）。各次级断层的断面平直，产状与片理产状近于一致，视倾角约为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，往下以低角度与底板断层相交。龙峪组和余元下组褶皱地层沿各次级冲断面依次逆冲叠覆于篦子沟组片岩之上，并发生强烈褶皱变形。距推覆前缘越近，岩石变形越强烈，甚至被拉成岩片乃至拉断成不连续的透镜体顺层分布。断夹片内的岩石形成不对称紧闭同斜褶皱，轴面东倾，与断层面近于平行。顺岩层倾斜往深部，冲断构造有逐渐变为断滑褶皱构造的趋势。顺推覆体的垂向，复叠式推覆体构成推覆体层垛，导致下中条群各构造地层组在推覆前锋叠覆。

若将褶皱-冲断构造恢复到上玉坡褶皱变形改造前的原始水平状态，其顶、底板断层产状则近于水平。各次级冲断层呈低角度向 SE 缓倾，断层线走向近于 NE—SW 向，组成向 NW 呈低角度逆冲的复叠式推覆。断夹片内的褶皱枢纽走向与断层线走向平行，为轴面近于水平的中尺度平卧褶皱。褶皱总体倒向 NW，平行轴面，发育强烈的褶皱理。与褶皱理相伴生的旋

转变斑晶,不连续分布于剪切带两侧的石英条带等显微构造运动标志均指示断层上盘向 NW 剪切。根据褶皱倒向,显微构造特征以及其它伴生小构造证据可以确定褶皱-冲断构造的运动方向为由 SE 向 NW。其初始位态和伴生褶皱理的强烈剪切变形特征表明,褶皱-冲断构造是在上盘向 NW 近水平剪切为主导变形机制的作用下形成的,并兼具派生的挤压作用。

上玉坡背形的褶皱变形使原始位态近水平的褶皱-冲断构造形成环绕背形东南翼及其南倾伏端分布的紧闭斜卧褶皱构造。

(三) NE 向褶曲构造

发育于本区的 NE 向褶曲构造形成于主期上玉坡褶皱之后,因而其空间分布、发育程度、规模以及枢纽倾向均受到先存构造的控制,主要呈中型尺度构造出露于柳林、篦子沟、秦家沟、桐木沟、老宝滩以及上玉坡背形南倾伏端胡家峪、尾矿坝等地。大致呈等间距分布。卷入褶曲构造的变形面主要为早期变质固态流变构造和褶皱-冲断构造形成的一系列新生面状构造以及剥离断层面和冲断面,其次为残余原生层理。

在上玉坡背形的东翼和南倾伏端,褶曲均向 NE 倾伏,由于受先存构造的影响,其枢纽倾向向稳定性差,倾向向变化为 NE30°至 E90°之间。枢纽倾伏角为 30°~60°,轴面近于直立。在柳林、篦子沟和尾矿坝等处,褶曲发育程度较好,平面上表现为较宽缓的箱状向形和紧闭的背形构造,最大波长不超过 1km。

与褶曲伴生的一组膝折近 NE—SW 向延伸,主要发育于胡家峪一带的片岩中。在褶曲构造的向形核部常形成一组近 NEE 向的辉绿岩脉,可能为褶曲发育晚期的伴生产物,辉绿岩脉基本未受变质改造。在篦子沟斜断层以南,褶曲以 NE 向直立褶皱叠加于向 NE 倾伏的早期褶皱-冲断构造的斜卧褶皱之上,二者呈共轴叠加关系,在平面上表现为 I 型叠加的干涉图象(图 1-6)。

从 NE 向褶曲构造的几何形态和变形特征分析可以厘定,NE 向褶曲构造是建立在上玉坡褶皱基础之上,在中条主期造山运动之后,位于地壳中浅层次发育起来的弯褶皱。

二、近 SN 向构造体系

近 SN 向的构造体系决定了本区构造线的展布特征。主要由形成于主期造山运动的上玉坡叠加褶皱系统与余家山剥离断层和晚期近 SN 向的脆性伸展构造所组成。

(一) 上玉坡叠加褶皱系统

上玉坡褶皱系统是中条主期造山运动的产物。整个变质杂岩体的多期变形变质带都卷入了褶皱,构成了矿区的主体构造格架,控制了各矿床的空间展布。其总体构造线呈 SN 延伸的“S”型,为一斜跨叠加于早期 NE 向中小尺度平卧褶皱之上的直立的大尺度褶皱。上玉坡褶皱系统由下列三个褶皱构造组成。

1. 上玉坡背形

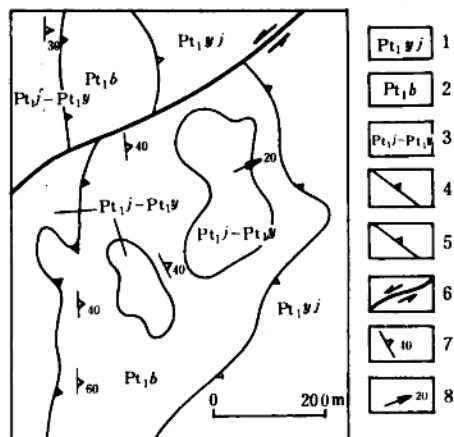


图 1-6 篦子沟矿区地层简图

1. 余家山组; 2. 篦子沟组; 3. 余元下组, 龙峪组, 界牌梁组; 4. 界牌梁剥离断层线; 5. 余家山剥离断层线; 6. 篦子沟斜向平移断层; 7. 片理产状; 8. 线理产状