

西昆仑地区密西西比河谷型铅锌矿床
成矿地质条件分析与成矿远景预测

匡文龙 刘文伟 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

西昆仑地区是我国西部待开发的重要成矿区之一，将成为我国新的矿产资源（特别是铅锌资源）基地。

本书运用区域成矿学理论从沉积（变质）建造、岩浆活动、构造演化以及区域地球物理场和地球化学场特征等方面系统地阐述了西昆仑地区的成矿地质条件，对区内优势矿种——铅锌矿产进行了重点研究；从矿床的地质特征和微量元素、稳定同位素、稀土元素地球化学及流体包裹体物理化学性质等方面，论证了本区以塔木、卡兰古为代表的层控型铅锌矿床属于密西西比河谷型铅锌矿床。在此基础上，建立了该区密西西比河谷型铅锌矿床的成矿模式和找矿模型，进行了成矿远景预测。

本书内容丰富，思想新颖，论述清晰，不仅丰富了西昆仑地区成矿理论与成矿规律的研究，还将对该区正在进行的科研工作和找矿实践起到有益的指导作用，所提出的三个成矿远景区更为今后找矿工作指明了具体方向。本书可供地质学领域科研工作者、院校师生及野外地质工作者参考、借鉴。

图书在版编目（CIP）数据

西昆仑地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质条件分
析与成矿远景预测/匡文龙等编著. —北京：地质出版社，
2006.3

ISBN 7-116-04730-1

I. 西... II. 匡... III. ①铅锌矿床-成矿条件-
青海省②铅锌矿床-成矿预测-新疆 IV. P618.400.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第011829号

XI KUNLUN DIQU MIXIXIBI HEGUXING QIANXIN KUANGCHUANG
CHENGKUANG DIZHI TIAOJIAN FENXI YU CHENGKUANG YUANJING YUCE

责任编辑：祁向雷

责任校对：关风云

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）；(010)82324577（编辑室）

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 mm × 1092 mm 1/16

印 张：8 图版：3页

字 数：180千字

印 数：1—600册

版 次：2006年3月北京第一版·第一次印刷

定 价：25.00元

ISBN 7-116-04730-1/P·2653

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换）

序

西昆仑地区是我国西部待开发的重要成矿区之一，将成为我国新的矿产资源基地，如何针对该区众多的矿化现象，找准突破关键，严密成矿思路，从而为发现重大的成矿区（带）做出贡献，这是贯穿本书的主题。从本书所取得的研究成果来看，无论是区域成矿地质条件的新思路，还是铅锌矿床地球化学的新认识，成矿模式研究的新成果，以及找矿成果与成矿预测等方面均有重要的进展。

书中首先厘定了西昆仑地区的成矿地球动力学背景，运用板块构造学理论划分了研究区的构造单元并探讨了其演化，将成矿单元（奥依塔格-库尔良弧后裂隙盆地）的发生和发展置于板块构造演化格局之中，阐述了该弧后盆地形成于新元古代，在二叠纪闭合，与罗迪尼亚超大陆的演化有关，其大规模成矿作用是发生在中生代的陆内演化阶段，从而使对区域成矿地质条件的认识上升到一个新的高度；其次通过详细研究区内铅锌矿床的地质特征和地球化学特征及成矿流体的物理化学特征，探讨了铅锌矿床的形成机制，认为区内中、新生代大规模推覆和褶皱作用是深层卤水运移、循环以及铅锌等金属矿床成矿的主要动力，并根据区域构造特征指出了铅锌成矿的有利部位，丰富了该区成矿理论；同时还综合地质地球化学研究成果和成矿条件分析，认为区内铅锌矿床属于典型密西西比河谷型铅锌矿床，并建立了成矿模式，打破了传统的同生型 SEDEX 和岩浆热液脉状矿床的成因观点；最后在矿床地质研究的基础上，建立了“三带、三层、三异常”综合找矿模型，并据此对成矿远景区进行了预测，指出：塔木-卡拉牙斯卡克、阿尔巴勒克、卡兰古-卡拉塔什是三个铅锌成矿远景区。这些成果无疑将会对促进西昆仑地区铅锌矿床的找矿勘探具有重要的理论和实践意义。

读后有感，草以为序。

古德生 院士

2005年2月18日

前 言

西昆仑地区位于“地球第三极”的青藏高原西北部、塔里木盆地的西南缘，是印度板块与欧亚板块的结合部位。广义上，它包括西昆仑山、喀喇昆仑山和帕米尔山区，面积约 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。由于其所处的特殊大地构造位置，西昆仑地区的区域地质研究和地质找矿工作历来备受国内外地质学家的关注；然而，由于该区大部分处于中亚腹地的高寒缺氧地区，因此自然环境极其恶劣、交通状况极为不便、工作条件非常艰苦，致使野外地质调查十分困难。所以其整体研究程度仍然很低，属我国地质工作研究资料最少的地区之一。

本书根据西昆仑区内的沉积（变质）建造类型、岩浆岩演化特点，结合区域构造特征，将西昆仑及邻近地区划分为 5 个一级构造单元、6 个二级构造单元、7 个三级构造单元，并论证了各构造演化阶段的大地构造属性，探讨了各期板块构造运动对区内金属成矿作用的影响。通过对西昆仑地区自新元古代以来构造演化特征的分析，认为新元古代罗迪尼亚超大陆的离解、聚合，对西昆仑地区大地构造演化有着深刻的影响。西昆仑地区最主要的成矿单元（奥依塔格—库尔良弧后裂谷盆地）是在晚古生代开始形成，到二叠纪末闭合；其特殊构造位置和多期构造运动为区内成矿创造了良好条件。同时，理顺了西昆仑地区主要成矿区（奥依塔格—库尔良裂陷盆地）的地层层序及成矿控制因素；并从构造背景、沉积建造、火山建造、含矿建造等方面，论述了该区具有优越的成矿条件，是一个重要的铅锌成矿单元。

通过同位素、微量元素、稀土元素、矿物包裹体气—液相成分及成矿流体温度、盐度等方面的研究表明：区内铅锌矿床的成矿物质主要来源于前泥盆纪基底，基本上没有地幔物质和岩浆成分的参与；成矿作用主要与油田卤水和深层卤水的混合作用有关；成矿金属元素主要以硫氢配合物形式迁移；成矿流体的驱动力为构造应力和重力。强调了西昆仑地区燕山—喜马拉雅期大规模推覆和褶皱作用所引发的大规模热卤水运移、循环，特别是油田卤水与深层流体的混合导致了矿质的沉淀。这一新思路不仅丰富了该区成矿理论的研究，还将对该区正在进行的科研工作和找矿实践起到一定的指导作用。由矿床地质研究和成矿构造分析表明：区域性断裂及次一级断裂对本区铅锌矿的控制作用十分明显。铅锌矿床（点）的分布，总体上受区域性深大断裂

控制；短轴背斜、穹窿构造的倾伏端、转折端是形成大而富矿体的有利构造部位；并对其中的典型矿床进行了详细的地质特征描述。这一认识不仅深化了区内铅锌矿床成矿机制的研究，而且还为今后的找矿工作指明了方向。

(1) 同位素研究表明：不同矿区不同矿石类型方铅矿的铅同位素组成相差很小， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.867 ~ 18.095， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.543 ~ 15.602， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.945 ~ 38.482， φ 值为 0.610 ~ 0.617， μ 值为 9.41 ~ 9.66，Th/U 为 3.77 ~ 3.95，计算出表面年龄为 461 ~ 481Ma（早于泥盆纪 438 ~ 410Ma）。可见成矿作用过程中的主要成矿物质可能来源于前泥盆纪地层。不同矿石类型方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -5.44‰ ~ 3.67‰ 之间。平均值为 -1.68‰ ($n=8$)，可见区内成矿作用过程中硫主要来源于海水（-7‰ ~ 20‰）中的硫酸盐。

(2) 稀土元素地球化学研究表明，在西昆仑地区的密西西比河谷型铅锌矿床中围岩和矿石均具有基本一致的稀土分配模式，均为富集轻稀土型的平缓阶梯曲线，具有微弱的 δEu 异常和较明显的负 Tm 异常，属于壳源型。说明成矿物质主要来自于地层建造之中，没有地幔物质的参与，与岩浆活动也没有明显的成因关系。

(3) 流体包裹体温度、盐度测试表明，这些矿床的成矿流体包裹体均一温度变化于 105 ~ 245℃ 之间，盐度变化于 1.7% ~ 19.2% 之间，以 10.2% ~ 19.2% 为主。与典型的密西西比河谷型铅锌矿床的成矿温度和盐度基本一致。

(4) 包裹体液相成分分析表明，流体包裹体溶液中除 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 之外，还含有少量的 Mg^{2+} 和 F^- ，反映了流体在组分上和密西西比河谷型矿床极其相似。同时，在流体中 K^+/Na^+ 比值变化于 0.256 ~ 2.623 之间，要比密西西比河谷型矿床（ K^+/Na^+ 比值为 0.025 ~ 0.05）高，这与均一温度的测试结果是吻合的。包裹体气相成分分析表明：成矿流体的气相成分中， H_2O 占绝对优势， CO_2 含量相对较高，在方解石矿物中尤其突出。同时，气相成分中还含有 CH_4 和 CO 。说明这些矿床的铅锌矿化发生在一种还原环境。

在成矿机制研究方面，根据所取得的大量测试结果，否定了本区铅锌矿床是与岩浆作用有关的“热液脉状成因”观点和“原生沉积”观点。认为塔木、卡兰古等矿床属典型的后生密西西比河谷型铅锌矿床，结合该区构造演化及成矿地质条件特征，建立起了成矿模式和找矿模型。在卡兰古矿区，新发现了“雪顶构造”（灰黑色的方铅矿之上为一层白色的白云石）、“条带状构造”（矿化角砾岩中由白云石、石英角砾、粘土、方铅矿等组成条带）等密西西比河谷型铅锌矿床证据。总结出了区内铅、锌矿化与岩性、岩相变化带及硅化、白云石化等围岩蚀变现象密切相关的规律。最后，在成矿预测方面，提出了 3 个成矿远景预测区：即塔木 - 卡拉牙斯卡克、阿尔巴勒克、卡兰古 - 卡拉塔什。认为在西昆仑地区至少可以找到 3 个大型的密西西比河谷型铅锌

矿床。

由于西昆仑地区大部分属高山无人区，受自然条件和交通状况的限制，生活及工作条件极其艰苦。从海拔近 5000m 的布伦口沙子沟铜矿，到连毛驴也无法派上用途的卡拉塔什铅锌矿点；从需经无数次涉水渡河才能到达，且还得克服齐腰深的冰凉刺骨的咆哮山洪冲击才能返回的特格里曼苏铜矿点，到沿途填路推车、在犹如搓衣板似的崎岖山谷道路上颠簸一整天才能抵达的恰尔隆、库斯拉甫等地；从方圆百余公里廖无人迹的上其汗矿点，到冒着寒风细雨、坚持在山谷中行进二十余公里才能开展工作的桑株塔格布琼矿点……整个考察工作历经艰辛，资料的取得来之不易；加之，中国地质大调查项目（200210200021）和“新疆重点成矿区（带）成矿条件与靶区优选”项目所涉及的点多面广，限于时间、经费和作者水平，书中难免存在一些缺陷甚或谬误，还请阅者不吝赐教。

本书是匡文龙于 2001~2003 年通过参与由中南大学刘继顺教授（博士生导师）所主持的中国地质调查局国土资源大调查项目（200210200021）和“新疆重点成矿区（带）成矿条件与靶区优选”等科研项目，在刘继顺教授指导下所完成的博士学位论文基础上，吸收和丰富新的资料，由刘文伟博士（教授级高级工程师）协助进一步整理、完善和提炼而写成的。刘继顺教授严谨的治学作风、渊博的地学知识、求实的科学态度给予了我们非常有益的启迪。吉林大学地球科学部孙丰月教授、成都理工大学彭大钧教授、石油大学地球资源与信息学院陈世悦教授等为本书的完成提供了许多宝贵的意见。

中国科学院地质研究所岩矿测试中心、新疆有色 704 队、新疆有色测试中心、武汉综合岩矿测试中心和中国地质调查局中南地调中心、中南大学地质研究所样品加工室和测试中心等单位分别承担了本书中有关样品的加工、制片和测试工作。在新疆工作期间，与我们共同工作的中国地质调查局高珍权博士、项目合作单位——新疆鑫汇公司的总经理李明、副总经理兼总工程师邓功全，以及印建平博士、田培仁教授级高工、周志坚高工、胡剑辉高工、李丰收高工、王旭东高工、胡庆雯主任、朱红英工程师等都为整个的野外工作和有关资料的收集提供了大力支持和全力帮助。

本书的完成还得到了湖南科技大学领导的关怀和该校土木工程学院以及湖南娄底路桥建设有限责任公司领导和同事的鼓励。

谨此向上述个人和单位致以崇高的敬意和表示衷心的感谢！

匡文龙 刘文伟
2005 年 11 月于长沙

目 录

序 前 言

1 基本思路与研究方法	(1)
1.1 基本思路	(2)
1.2 理论基础	(3)
1.2.1 开合构造观点的提出及其主要论点	(3)
1.2.2 流体成矿学与矿床成矿模式	(4)
1.3 研究方法	(5)
2 流体成矿及密西西比河谷型铅锌矿床研究现状	(7)
2.1 成矿地质流体体系的主要类型	(7)
2.2 构造-流体-成矿作用	(8)
2.3 热卤水与成矿作用	(9)
2.3.1 热卤水的成因	(9)
2.3.2 油田卤水的成矿	(10)
2.3.3 油田卤水在形成密西西比型矿床中所起的作用	(11)
2.4 卤水系统硫化物沉淀的理论模型	(12)
2.5 密西西比河谷型铅锌矿床的研究现状	(13)
2.5.1 成矿金属的来源	(13)
2.5.2 硫酸盐的还原机制	(13)
2.5.3 成矿金属的迁移形式和沉淀机制	(14)
2.5.4 成矿流体的驱动力	(15)
2.5.5 成矿时代	(15)
3 西昆仑区域成矿地质条件	(16)
3.1 沉积(变质)建造特征	(16)
3.1.1 前寒武系	(16)
3.1.2 古生界	(16)
3.1.3 中生界	(19)
3.2 岩浆岩	(20)
3.2.1 中酸性侵入岩	(20)
3.2.2 基性-超基性岩	(21)
3.2.3 火山岩	(22)
3.3 区域地球物理场特征	(23)
3.3.1 区域重力场基本特征和地壳结构	(23)
3.3.2 大地电磁测深和深部结构	(25)
3.3.3 地震和深部结构	(25)

3.4	区域地球化学场特征	(27)
3.4.1	各元素在不同地层层位中的分布	(27)
3.4.2	各元素的区域、不同地质体中丰度值及与邻区比较	(30)
3.4.3	各元素在主要地层中的变化	(31)
3.5	区域构造特征及大地构造演化	(33)
3.5.1	主要断裂构造	(33)
3.5.2	大地构造格单元的划分	(35)
3.5.3	大地构造演化阶段	(36)
3.6	区域矿化特征	(44)
4	奥依塔格-库尔良晚古生代裂陷盆地的演化与成矿	(46)
4.1	奥依塔格-库尔良晚古生代裂陷盆地形成与演化的构造背景	(46)
4.2	区内沉积建造	(48)
4.2.1	奥依塔格地区	(48)
4.2.2	恰尔隆地区	(49)
4.2.3	盖孜特格里曼苏一带	(50)
4.2.4	塔木-卡兰古地区	(51)
4.2.5	库尔良地区	(52)
4.3	火山岩建造	(52)
4.3.1	昆盖山北坡双峰态火山岩系是裂谷型火山-沉积建造	(53)
4.3.2	克里阳双峰态火山岩系主要产于库尔良群上亚群	(54)
4.3.3	火山岩系形成的地质构造环境讨论	(54)
4.4	含矿建造	(56)
4.4.1	中泥盆统克孜勒陶上亚组 (D_2k^b)	(56)
4.4.2	下石炭统卡拉巴西塔克组 (C_1kl)	(56)
4.4.3	下石炭统和什拉甫组 (C_1h)	(57)
4.5	重要成矿带	(58)
5	典型铅锌矿床的地质地球化学特征	(61)
5.1	塔木铅锌矿	(61)
5.1.1	矿床地质特征	(61)
5.1.2	矿床地球化学特征	(65)
5.2	卡兰古铅锌矿	(66)
5.2.1	矿床地质特征	(67)
5.2.2	矿床地球化学特征	(70)
5.3	卡拉塔什铅锌矿	(73)
5.3.1	矿床地质特征	(73)
5.3.2	岩(矿)石地球化学特征	(74)
5.4	铁克列克铜铅锌矿床	(76)
5.4.1	矿床地质特征	(77)
5.4.2	矿床地球化学特征	(78)

5.5	托库孜阿特铅锌矿床	(79)
5.6	其他矿点简介	(81)
5.6.1	乌苏里克铅锌矿	(81)
5.6.2	卡拉牙斯卡克铅矿	(82)
5.7	密西西比河谷型铅锌矿床的厘定依据	(83)
5.7.1	密西西比河谷型铅锌矿床的特征	(83)
5.7.2	西昆仑地区铅锌矿床的有关特征	(84)
6	密西西比河谷型铅锌矿床的成矿机制和成矿模式	(87)
6.1	成矿机制的研究	(87)
6.1.1	矿物流体包裹体研究	(87)
6.1.2	稳定同位素研究	(93)
6.1.3	稀土元素地球化学研究	(97)
6.1.4	围岩蚀变作用研究	(97)
6.2	成矿模式	(99)
6.2.1	成矿的大地构造环境	(99)
6.2.2	成矿流体的来源	(100)
6.2.3	成矿流体的驱动	(100)
6.2.4	金属组分的迁移和沉淀	(101)
6.2.5	成矿作用过程	(102)
6.3	找矿模型	(104)
7	密西西比河谷型铅锌矿床区域成矿规律及找矿远景评价	(106)
7.1	区域成矿规律	(106)
7.2	找矿远景评价	(107)
7.2.1	远景评价准则	(107)
7.2.2	成矿远景预测区	(109)
7.2.3	对成矿远景区今后工作的几点建议	(113)
	主要参考文献	(114)
	图版说明和图版	(119)

1 基本思路与研究方法

西昆仑地区，由于其所处的独特大地构造位置和具有研究古洋-陆演化、大陆构造演化及大陆动力学丰富的地质记录特征，因而一直是中、外地质学家所瞩目的地方。它位于我国新疆维吾尔自治区境内，总面积约 $27 \times 10^4 \text{km}^2$ 。由于受自然条件的限制，区内矿产勘查工作程度在总体上仍然很低。

随着我国社会主义现代化建设对矿产资源需求的日益增长，尤其是近年来为满足经济建设对矿产资源急剧增长的需求，国家制定了“西部大开发”的经济战略重点西移政策，从而使西昆仑地区成为了我国地学工作者运用当代先进的地学理论和开发成果来进行科研和找矿工作的热点。本文研究区范围：东到阿龙断裂（又称苦牙克断裂），西至与邻国阿富汗、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦接壤的边境，南接西藏和巴基斯坦控制的克什米尔地区，北界塔里木盆地。

纵观前人已有的研究成果，关于西昆仑地区大地构造格局与地质演化的认识，基本上可分为这么三个主要阶段。

(1) 槽台理论为指导的研究阶段：苏联地质学家西尼林（1951）是最早系统阐述昆仑山地质构造特征的学者之一，他将昆仑分为北昆仑晚古生代地槽、中昆仑结晶轴、南昆仑加里东地槽褶皱带3个构造单位。我国学者任纪舜等（1980）在编制1:400万中国大地构造制图时，将昆仑山划定为海西期地槽褶皱系，并将昆仑山分为北昆仑地向斜、中昆仑地背斜、南昆仑地向斜。

(2) 槽台理论与板块理论结合的研究阶段：姜春发等（1992）根据多旋回理论，结合板块构造学说，提出了昆仑山的多旋回开合构造学，并将昆仑山划为北、中、南3个构造带和2个离合带以及2个扩张带。认为西昆仑北离合带的洋盆形成是在早石炭世，到石炭纪末期闭合；东昆仑离合带的洋盆是在海西末期和印支初期形成的，经印支晚期俯冲碰撞闭合；并将昆仑造山带的演化分为三个阶段：基底（克拉通）形成阶段、洋陆（槽台）转化阶段、陆内（板内）演化阶段。

(3) 板块构造理论为指导的研究阶段：潘裕生在《喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化》中将西昆仑自北而南划分为北昆仑地体、奥依塔格-库地缝合带、中昆仑地体、南昆仑缝合带、塔什库尔干-甜水海地体、塔阿西-乔尔天山-红山湖缝合带、喀喇昆仑地体；认为西昆仑演化经历了，前震旦纪晚期的昆仑山基底岩系形成阶段、震旦纪时期的昆仑北带与昆仑中带分裂阶段、寒武-奥陶纪时期昆仑中带第一期岛弧形成阶段、奥陶-志留纪昆仑北带与昆仑中带重新拼合阶段、石炭-二叠纪时期的古特提斯形成阶段、二叠-三叠纪时期古特提斯消亡阶段、侏罗纪时期昆仑中带和昆仑南带拼合、新特提斯向南迁移阶段等。它将昆仑山的演化历史与青藏高原的地质演化联系在一起，认为库地蛇绿岩是在震旦纪-早古生代早期形成，并在早古生代中期闭合，从而将西昆仑地区的两套蛇绿混杂岩分别划归为青藏高原的第四和第五缝合带。

马瑞士等(1995)认为,西昆仑是早生代塔里木南缘形成的库地沟-弧-盆体系及晚古生代形成的康西瓦沟-弧体系演化而成的古昆仑造山带;在地质演化过程中形成了3个构造带:西昆仑构造带、塔里木前陆冲断带、甜水海前陆冲断带,并在第三纪重新复活形成山系。将西昆仑的演化归纳为:震旦-寒武纪时期的昆仑洋形成阶段、寒武-奥陶纪时期的洋壳俯冲阶段、中-晚志留世到泥盆纪时期的西昆仑早古生代火山弧与塔里木大陆碰撞拼合及塔里木前陆冲断带和泥盆纪前陆盆地发育阶段、石炭纪的被动大陆边缘发育阶段、二叠纪时期的塔什库尔干-康西瓦-玉树俯冲带和西昆仑晚古生代火山岩浆弧发育阶段、晚二叠世-三叠纪时期的羌塘-甜水海陆块与西昆仑晚古生代火山岩浆弧碰撞及塔什库尔干-康西瓦缝合带和甜水海前陆冲断带形成阶段、侏罗纪-早第三纪时期的伸展作用阶段、晚第三纪以来的塔里木大陆“A”型俯冲和塔西南再生前陆盆地形成阶段等。

丁道桂等(1996)认为:以库地南-盖孜西韧性剪切带和西金乌兰湖-空喀山口-乔戈里断裂带为界,西昆仑造山带可以划分为3个基本构造单元:西昆仑山北带、西昆仑山中带、西昆仑山南带。

姚永耘和许靖华(1994),提出昆仑山脉的“弧-弧”,“弧-陆”碰撞模式,认为中昆仑是欧亚板块的外火山弧,而北昆仑是自古生代以来的一个残留弧,中昆仑和北昆仑之间的弧后盆地消亡后形成了库地混杂岩,中昆仑弧和羌塘地块的碰撞形成了麻扎混杂岩,碰撞时间是在三叠纪。

李继亮等(2000),提出了昆仑增生楔-陆碰撞造山模型,并依据昆仑造山带地层的时代格局、多蛇绿岩带、多增生弧岩浆带和构造样式的空间变化以及缝合带的延伸特点,将昆仑造山带的构造演化划分为7个阶段:中-新元古代前缘弧与弧后盆地形成阶段、早古生代增生楔发育和蛇绿岩就位阶段、泥盆纪增生弧活动与第二蛇绿岩就位阶段、石炭-二叠纪持续增生阶段、三叠纪初始碰撞阶段、晚中生代持续变形前陆盆地发育阶段、新生代喜马拉雅造山作用的远程影响阶段。

由此可见,西昆仑地区地质构造十分复杂,存在着多个地体,它们经历了多期构造运动及变形;特别是由于各地体和缝合带都有着各自自身的特点,所处环境不一、构造样式不同、所经历的历史各异,使它们具有不同的地质构造特征,须进行分区描述。

1.1 基本思路

本区矿产地质调查始于20世纪50年代的中苏合作时期,发现了大量铅锌、铜、铁及金矿床(点),如塔木、卡兰古等中型铅锌矿床及铁克列克、阿尔巴列克、乌苏里克和卡拉牙斯克等四处小型铅锌矿点,总计探明(Pb+Zn)储量约45.5万吨。除布伦口地区的铜、铁矿床在上个世纪50年代进行过普查或勘探外,区内主要的普查和勘探工作都是针对铅锌矿的,在当时认为它们是属于与岩浆活动有关的岩浆期后中低温热液充填交代矿床,或称远岩浆源的中低温热液充填矿床(新疆冶金702队,1959)。

此后,该区的矿产地质调查基本上处于停滞阶段,直至20世纪80年代以后,在全国性的找金热潮中,才又发现了一些金矿床(点),如木吉金矿、库斯拉甫金矿等。

近年来,由于国内有色(贵)金属及油气资源的紧缺,西昆仑地区优势的成矿条件,特别是“西部大开发”计划的实施,使本区成为了矿产地质研究和勘探的重点地区。

1995~1996年新疆鑫汇地质矿业有限责任公司开展了“西昆仑库斯拉甫-大同地区4000平方千米的分散流普查”、“西昆仑库斯拉甫-大同地区金铜重点异常查证”、“新疆西昆仑地区金铜成矿地质条件调研及靶区优选”等工作；2000~2002年，中南大学与鑫汇公司开展了“西昆仑地区有色（贵）金属成矿地质条件及靶区优选研究”；1996~2000年，北京有色地质研究所开展了“塔木-卡兰古铅锌矿带成矿条件及评价研究”；中国地质科学院矿产资源研究所开展了“西昆仑贵金属、有色金属大型矿床成矿远景及靶区预测”；贾群子等（1999）完成了“西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测”研究。然而，由于自然条件的限制，西昆仑地区矿产勘查工作程度在总体上仍然很低，已有工作也基本上是就点论点，对区内各矿床的成矿条件及找矿远景的认识也很局限。

西昆仑地区属于秦-祁-昆成矿域（翟裕生，1999），在其周边国家内，已发现许多大型、超大型铅锌、铜、金、汞锑、铁、铬和稀有金属等多种金属矿田。如：乌兹别克斯坦穆龙套金矿、哈萨克斯坦巴尔喀什地区以科翁拉德为代表的斑岩铜矿。东延地段在我国甘肃境内也有超大型金川铜（镍）矿床和镜铁山铁铜矿、新金厂金矿等大型矿床产出。

尤其是“305项目”实施以来，尽管西昆仑地区的成岩成矿理论、成矿规律及成矿预测、成矿模式和找矿模型等研究虽然也取得了一定的进展，但与东、西两端的相邻区域相比较，本区内所发现的矿床与其广阔的疆域、良好的成矿环境仍是极不相称的。到目前为止，该区尚未发现一个超大型矿床，大中型矿床也屈指可数，找矿工作至今仍未取得突破性进展。为满足我国现代化建设对矿产资源的需求，从区域出发，系统地研究该区区域成矿的时空结构和矿床的形成及分布规律，建立起区域成矿模式和找矿模型等问题亟待解决。这是本书研究西昆仑地区铅锌矿产成矿地质条件与密西西比河谷型铅锌矿床成矿模式及成矿远景的基本思路和总体构想。

1.2 理论基础

1.2.1 开合构造观点的提出及其主要论点

“开合构造”是在20世纪80年代中期由杨巍然、郭铁鹰等正式提出的，该观点认为如果将地壳运动概括为升、降、开、合、扭，其中开与合是基本的。区域大地构造的演化，实质上就是洋壳与陆壳的相互转化，其演化的基本特征是开裂与聚合有规律地出现。大陆开裂可形成盆地、裂谷、裂陷槽、地槽、大洋等；大陆聚合则褶皱成山、隆起成陆。开裂的最终产物是大洋的出现，聚合的最终结果是大陆的固结（克拉通化）。

开合构造的主要论点可概括如下：

（1）开合是地壳-岩石圈演化的重要表现形式，在太古宙就存在有大陆壳的开合演化。相当庞大的太古宙-元古宙陆壳区，经历多次的开合，在新元古代（震旦纪）形成一个统一的拼合大陆区。显生宙以来，古生代经历了一个开合旋回，地台-地槽说中的绝大部分地槽区就是在这个原始地台基础上分裂而发育的。

（2）中生代亚洲大陆处于新的开合旋回中，东亚新生代以拉张为主要趋势。中生代可以看成是一个经历了多期发育而完成的开合旋回，每一阶段都形成一批陆内或陆间裂谷系，这些裂谷的多数在闭合时或闭合后可形成较明显的构造形变。

(3) 地壳 - 岩石圈的拉张分裂是通过若干扩张中心实现的, 扩张中心可以迁移并有发育集中化的趋势。

(4) 泛华夏大陆群分裂时, 各大型陆块间以边缘海和多岛洋为主要形式。

(5) 地壳 - 岩石圈块体的“合”是一个形式多样多阶段的发育过程, 可能经历过(或存在着)不同程度的联合、拼合、融合及软、硬碰撞。

(6) 地壳 - 岩石圈块体是多级多类型构造单元的镶嵌拼合体, 具有复杂镶嵌结构的大陆地壳 - 岩石圈本身就具有扩张、分裂、离的性质, 这可以看作是其具有变化的“内因”, 而某些“外因”的作用往往加剧了它的这一趋势。

(7) 在时间序列上, “开合”多旋回、多级次的叠加, 造成地壳 - 岩石圈复杂的递进发展。

(8) 在空间关系上, 地壳 - 岩石圈块体开合具多层次性、多样性和非封闭性。开合过程并不是简单的原有块体间的分开和联合, 它可以是非封闭性的。

(9) 地壳 - 岩石圈的开合, 在不同的圈层和构造位上可有不同的表现。它们的直接表现是地震波速随深度增加而增加背景上出现跃变性和相对低速带(层)。

(10) 地壳 - 岩石圈的开合受控于深部过程。深部物质不但有三维空间上的移动, 更重要的是其组成和性质上的变化。开合过程中不仅有地质体相对位置的变化, 更重要的是它发生着大陆化和大洋化的过程。

1.2.2 流体成矿学与矿床成矿模式

流体成矿学 成矿流体是指既能汲取、溶解、包含各类成矿物质, 又能将其运移、输导到有利的构造 - 岩石空间而富集形成矿床的流体。流体无处不在, 是地质作用中最为活跃的因素。流体的大规模运动, 造成地壳乃至地幔物质和能量的转换及迁移, 因此也就直接导致地球内部化学元素的显著活动和成岩、成矿作用的发生。

20 世纪 70 年代初化学动力学开始被应用于地质过程的研究, 而流体动力学则直到 70 年代末才被引入地质科学。虽然引入的时间不长, 但是由于动力学与地质学的互相渗透与交叉, 开辟了许多动力学研究的新领域, 发现了不少动力学新现象, 并且提出了动力学方面的一些新概念。如地球动力学、地质化学动力学和地质流体动力学等。

近 20 多年来, 地质流体成矿的研究取得了许多重要的发现和新认识, 特别是 80 年代中期对北美大陆内部的地质 - 地球物理 - 地球化学 - 钻探等综合研究认为, 大型矿集区和油气田的形成和分布主要受益 - 山转换系统、地壳流体远距离运移等的控制, 著名的密西西比河谷型 (MVT 型) 铅 - 锌矿床以及大部分油气藏就是由横穿北美克拉通的活动热卤水大规模运移形成的。这标志着成矿学的研究已注意到了探索金属矿床和油气形成的地壳规模控制因素。

矿床成矿模式 即矿床形成过程的模式。它是对矿床赋存的地质环境、矿化作用随时间 - 空间变化显示的各类特征 (包括地质地球物理、地球化学和遥感地质) 以及成矿物质来源、迁移富集机理等矿床要素进行概括、描述和解释, 是成矿规律的表达形式。其内容包括: 区域地质背景 (大地构造单元、所在区域的地质特征)、成矿环境 (赋矿地层、岩石组合、岩性特征等及控矿构造)、矿体的分布及产状、矿石类型及矿物组合、矿石结构构造、矿化阶段及分带性、蚀变类型及分布、成矿物理化学条件 (温度、压力等)、矿

床成因机理（成矿物质来源、成矿物质的时间变化原因）、成矿类型、控矿因素和找矿标志等。

1.3 研究方法

当前，国际成矿学的研究正处于新的突破边缘。其主要特征是基于地球动力学、流体地质学和非线性科学的前沿科学新思路，探索巨量金属元素堆积的机理和环境，发展探寻大型矿区的新理论和新方法。国际矿床学界也在开展“岩石圈过程与巨量金属堆积”对比研究；自从 20 世纪 90 年代以来，国际矿床成因协会钨锡成矿委员会先后在中欧和中亚开展海西期碰撞造山与钨锡矿巨量生成研究；美国地质调查所在新推出的“国家矿产资源调查计划”中也把特大型矿床与小型矿床关系、成矿过程和改造过程时间、水/岩相互作用的热力学和动力学以及矿床与地壳演化关系列为矿产资源评估和勘查的基础（毛景文等，1999）。这些研究计划或项目都是旨在动态认识地球时空演化过程中金属元素巨量富集的规律性，为新一轮矿产资源勘查和评价提供理论基础。

西昆仑山前地区铅锌矿化遍布，西从乌恰，经喀什、叶城到民丰，绵延 1500 千米以上，极为醒目，但大部分为矿点，只有卡兰古和塔木可达中型。在成因认识上，早期认为它们属于脉状矿（新疆 702 地质大队，1959），后来发现具层控特征，近年来有人认为它们可与密西西比河谷型铅锌矿对比（新疆地质矿产局第一区调队，1993；祝新友、汪东坡等，1999）。如果本区铅锌矿属于密西西比河谷型，那么就有可能发现一系列的中大型矿床，从而在塔里木盆地的西缘形成一个新的资源基地。本书结合“新疆西昆文库斯拉甫-他龙一带铅锌铜矿资源调查评价”和“新疆重点成矿区（带）成矿条件与靶区优选”等科研成果，针对制约西昆仑地区重点成矿区（带）找矿突破的关键问题，在 2001 年度、2002 年度两次共计长达 155 天的野外工作和研究已有资料的基础上，通过对有关矿床（点）的系统取样测试，以构造流体成矿作用、区域成矿学特征为主线，立足西昆仑全域来研究该区成矿地质条件，从区域成矿学角度，全面系统地阐述西昆仑地区密西西比河谷型铅锌矿的成矿大地构造背景、成矿条件、控矿因素、区域成矿规律；在此基础上，建立成矿模式，进行成矿预测。

研究工作过程中，通过系统收集西昆仑地区现有研究资料和有关的文献、专著，在充分熟悉和全面把握各成矿区带的区域成矿地质条件和区域成矿学特征的基础上，运用区域成矿学理论和关于密西西比河谷型铅锌矿的最新成矿理论，通过矿物岩石学、成矿构造学、矿床地球化学（常量元素、微量元素、稀土元素和流体包裹体地球化学）、同位素地球化学等方面的综合研究，试图阐明西昆仑地区的成矿地质条件，建立该区密西西比河谷型铅锌矿床的成矿模式，指导本区的矿产勘查工作。在野外考察工作期间，先后于 2001 年度实地调查研究了乌恰县境内的乌拉根铅锌矿区、阿克陶县布伦口、盖孜、恰尔隆、克孜勒陶、库斯拉甫等乡境内的铅锌、铜、铁、金矿床（点）以及民丰县上其汗地区块状硫化物矿点等；2002 年度调查研究了以库斯拉甫-他龙铅锌铜（金）成矿带的南延地段，以及莎车、叶城、皮山等县境内的铅锌、铜铁矿点。

具体考察的矿床（点）有乌拉根铅锌矿、塔木铅锌矿、卡兰古铅锌矿、铁克列克铅

锌铜矿、特格里曼苏铜矿、库斯拉甫金矿点、沙子沟铜矿、卡拉库里铜矿、切列克其菱铁矿床、卡拉牙斯卡克铅锌矿、乌苏里克铅锌矿、卡拉塔什铅锌矿、托库孜阿特铅锌矿、杜瓦阿其克苏达格铜矿点、库地含铜磁铁矿点、布琼铜（铅）矿点等。

重点研究的铅锌矿床有塔木、卡兰古、铁克里克、卡拉塔什、托库孜阿特等。

2 流体成矿及密西西比河谷型铅锌矿床研究现状

流体在金属成矿过程中扮演着十分重要的角色，它既是能量传递的载体，也是成矿物质输送和交换的重要介质。现代研究成果表明，地球中流体几乎无处不在，如在俄罗斯科拉半岛超深钻在 12km 处仍然发现有富含金属元素的流体在运动。现代盆地的研究还发现流体通常大规模运动，其范围可达几百至上千公里。现代海底和湖底成矿作用更清楚地显示了流体与成矿的关系。成矿热卤水常沿着断裂成行成群分布。由于受下部热力的驱动，海底和湖底热水发生对流循环，从海底或湖底岩石中萃取金属元素，然后于海底或湖底卸载成矿。正是对现代成矿作用的观察和研究，在 20 世纪 70 ~ 80 年代引发了成矿学的一场革命，即层控矿床（包括 VHMS 型、SEDEX 型和密西西比河谷型）的确认和深入研究。

大陆边缘是流体最活跃的地区，一方面，板块俯冲将大量海水携入地幔；另一方面，地幔拆沉作用也把大量富水的地壳物质带至深部。由于裂谷是在基底上拉张而形成的断陷谷地。因此，当在拉张深陷的谷底形成海相基性—中酸性火山沉积岩系时，由于火山喷溢、喷气热泉等活动常导致成矿元素富集，并形成工业矿体；其次，在裂谷中的相对隆起区，稳定的浅海—滨海沉积环境也是形成矿床的有利场所。如西昆仑地区的奥依塔格—库尔良裂陷盆地，是位于塔里木陆块边缘的拉张深陷盆地，其中流体作用十分活跃，成矿热卤水所形成的铅锌矿床常成群成带分布，如塔木、卡兰古、卡拉塔什、铁克列克等矿床（点）。因此，研究西昆仑地区铅锌矿床的成矿机制和成矿模式，首先必须了解区内成矿流体的作用。

2.1 成矿地质流体体系的主要类型

“地质流体”是指存在并活跃于岩石圈中的由 H_2O 、 CO_2 、烃类，以及卤素、S、N 等挥发组分及其中的溶解组分共同构成的复杂流体相。它在时间—空间演化上的动力学轨迹，实际上就是矿床的相继定位以及有关的矿床系列不断被完善的过程，包括矿床的内部结构、矿床组合和矿床系列、成矿时代、矿床的区域分布、矿床密集区和成矿区带等。因此，通过研究流体体系的行为及其与固体岩石的相互作用机制来理解有关矿石和岩石的形成机制，并从流体体系的时间—空间演化的动力学轨迹来阐明有关矿床的成矿规律等，正在成为矿床学研究的发展趋势。

地质流体在地球演化过程中的作用可大致归纳为 3 个方面：①流体自身的流动，就是实现物质和能量迁移的直接过程；②通过与固体岩石以及岩浆熔体的化学反应不断改变着它们的化学组成（主、微量元素以及同位素组成等）；③通过与固体岩石以及岩浆熔体的物理作用不断改变着它们的各项物性参数（如力学性质、流变特性、岩浆的黏度等）。由此，根据流体活动的地质—构造背景、与流体活动耦合的主要地质作用过程、流体活动的

主要成岩成矿效应等原则，地壳中可划分出五大类不同的成矿地质流体体系：①与大陆地壳中 - 酸性岩浆热事件有关的热液流体体系；②与海底基性火山活动有关的热液喷流流体体系；③与海相沉积盆地演化有关的盆地流体体系；④与区域变质作用有关（含与大型剪切带有关）的变质流体体系；⑤与地幔排气过程有关的深部流体体系。

其中，与海相沉积盆地演化有关的盆地流体体系中，流体广泛参与了沉积物的成岩、后生、成油、成气和成矿过程。沉积体系的空间分布（不均匀介质）、同沉积断裂体系、欠压实异常高压地层以及古地形联合控制着盆地流体的流动迁移和汇聚成矿。当同沉积期的断裂 - 地震活动或者欠压实异常高压系统自身的水热压裂、穿透上覆的隔水屏蔽层时，储水层中的热卤水将迅速涌向海底形成热液喷流区，最有利于产生这种热液的环境是具泥质盖层的砂质岩系，这种结构常出现在浊流沉积或海侵岩系的下部；而与水下地震和滑塌堆积相联系的同沉积断裂活动，则是促使这种盆地成因的成矿流体大量释放且聚流到一定部位集中成矿的重要诱因。有关的矿床类型主要包括：沉积喷流型（SEDEX 型）矿床、密西西比河谷型（MVT）铅锌矿床、大陆砂页岩型矿床以及沉积岩容矿的微细浸染型金矿床等。在西昆仑地区的奥依塔格 - 库尔良裂陷盆地，即形成有成群成带广泛分布的密西西比河谷型铅锌矿床（点），具有较大找矿前景的特格里曼苏砂页岩型铜矿床以及一些沉积岩容矿的微细浸染型金矿床等。

2.2 构造 - 流体 - 成矿作用

在主动大陆边缘的大洋板块俯冲过程中，洋壳堆积物组成部分的陆缘增生楔中流体受到强烈侧向挤压，向前陆盆地内排出，以地下径流方式作长距离的运动。在这个过程中，流体与沿途的某些地层岩石发生广泛的水 - 岩作用，汲取了岩石中的某些金属和挥发分，并在有利的地段形成矿床（图 2-1）。

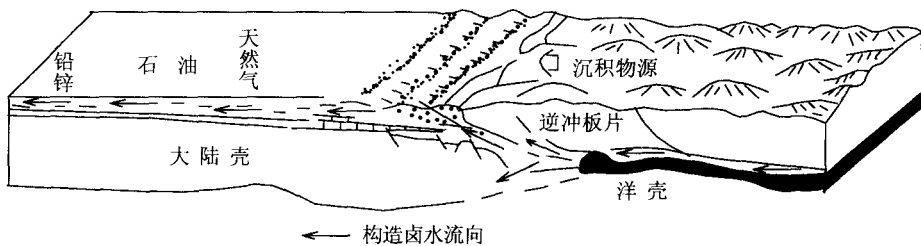


图 2-1 造山带构造流体（卤水）的迁移方向和某些矿床可能在前陆盆地建造形成的位置
（据 Oliver, 1986）

根据流体运动的驱动力可将盆地成矿流体系统划分为 3 种基本类型：

(1) 压实流体系统。发生在沉积 - 压实阶段，流体运动的驱动力是压实作用力。流体主要来源于因沉积物随埋深增大、孔隙度衰减而被挤出的地层水或建造水，流体作用的范围几乎遍布整个盆地。

(2) 重力流体系统。发生在盆地隆起或局部和周边隆升时期，流体运动的驱动力是其自身的重力。流体主要来源于在重力作用下渗入地层或岩石的大气降水，流体作用的范围在补给区和排泄区之间。