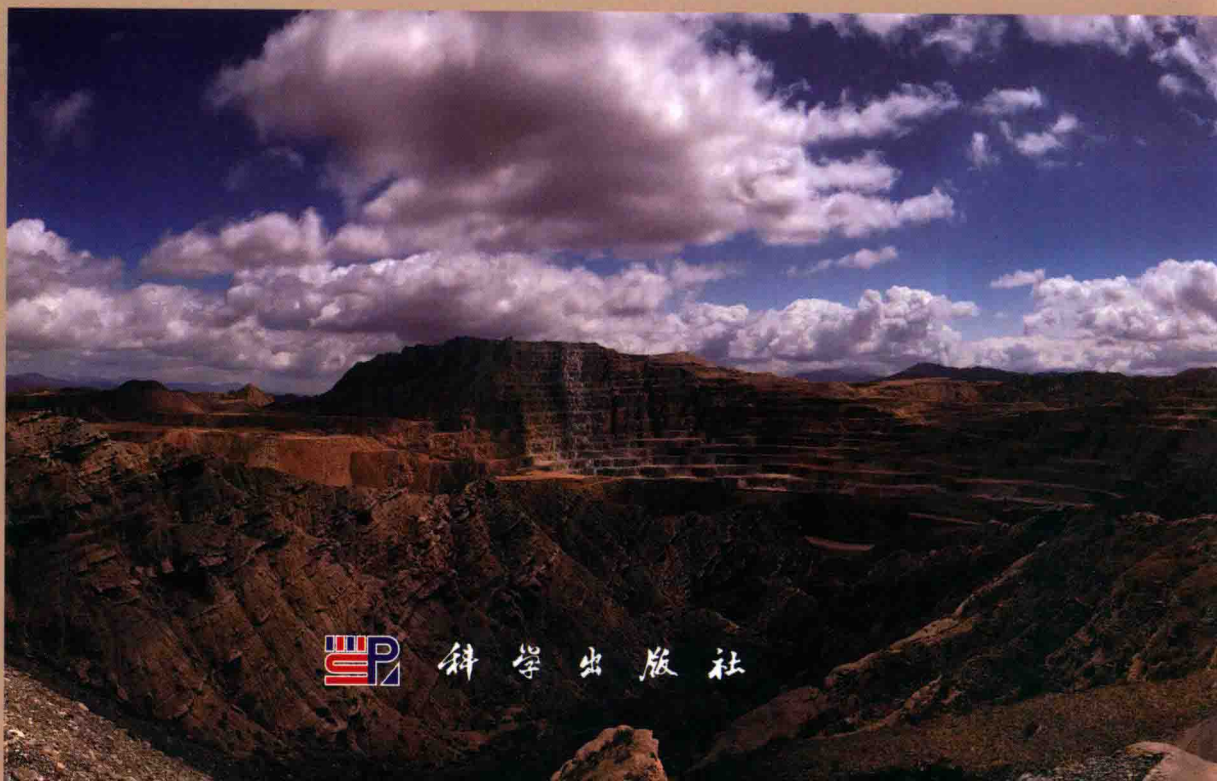


构造岩相学理论、找矿预测与示范应用系列丛书

Metallogenic Regularity and Prospecting Forecast of
the Western Tarim Basin Glutenite Cu-Pb-Zn Deposit

塔西砂砾岩型铜铅锌矿床 成矿规律与找矿预测

方维萱 王 磊 王寿成 李天成 贾润幸 杜玉龙 等 著



科学出版社

内 容 简 介

塔西地区中-新生代盆山原镶嵌构造区具有铜铅锌-天青石-铀-石膏-煤-天然气等多矿种同盆共存富集特点。本书在深入解剖研究萨热克砂砾岩型铜矿床、乌拉根砂砾岩型铅锌矿床成矿规律和主控因素基础上,从深部地质作用、沉积盆地-造山带-构造高原耦合与转换角度入手,研究还原性成矿流体、盆地热卤水和中新代深源流体与砂砾岩型铜铅锌矿床成岩成矿关系。在构造岩相学及地球化学岩相学解剖研究基础上,创建了塔西盆山原镶嵌构造区砂砾岩型铜铅锌成矿系统。总结塔西砂砾岩型铜铅锌矿床的区域构造-成矿演化规律,对同类型矿床的勘查与研究具有借鉴意义。

本书可为找矿勘探人员提供参考,也可供地质院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律与找矿预测 / 方维萱等著. —北京: 科学出版社, 2019. 10

(构造岩相学理论、找矿预测与示范应用系列丛书)

ISBN 978-7-03-060957-1

I. ①塔… II. ①方… III. ①塔里木盆地-砂岩储集层-铜矿床-成矿规律-研究 ②塔里木盆地-砂岩储集层-铜矿床-找矿-预测-研究 ③塔里木盆地-砂岩储集层-铅锌矿床-成矿规律-研究 ④塔里木盆地-砂岩储集层-铅锌矿床-找矿-预测-研究 IV. ①P618.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 058069 号

责任编辑: 王 运 李 静 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 10 月第一次印刷 印张: 28 插页: 12

字数: 650 000

定价: 278.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

在塔里木盆地西缘和北缘广泛发育有新生代盆地，并含有丰富的沉积岩型铜铅锌、铀、膏盐类等矿产资源。深入探讨其成矿规律，开展找矿预测，具有重要的科学意义和应用价值。《塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律与找矿预测》以盆山镶嵌构造理论和成矿系统理论为指导，应用并进一步发展了方维萱科研团队提出的构造岩相学和地球化学岩相等综合创新性研究方法，从构造-流体-岩相多重耦合与金属大规模成矿角度，对塔西地区十个不同含矿层位，萨热克巴依、乌拉根、拜城和托云等四个含铜铅锌次级盆地，萨热克和乌拉根等八个典型砂砾岩型铜铅锌矿床进行系统研究和对比。创新性构建了塔西盆山原镶嵌构造区砂砾岩型铜铅锌成矿系统及其物质-时间-空间演化结构，划分为三个成矿亚系统：①燕山期（ J_{2+3} - K_1 ）铜多金属-煤（铀）成矿亚系统；②燕山晚期-喜马拉雅早期（ K_2 - E ）铅锌-天青石-铀成矿亚系统；③喜马拉雅晚期（ N_{1-2} ）铜铀成矿亚系统。

该书系统地探讨了在帕米尔高原-塔里木叠合盆地-南天山造山带中新世代陆内盆山镶嵌构造区形成演化过程，区域构造-流体-成矿与金属矿产-天青石-煤-铀-油气资源同盆富集成矿规律与陆内特色成矿单元关系。阐明了塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床的盆地基底构造层、主成矿期构造样式、区域构造配置、构造样式和构造组合、盆地隐蔽构造类型，揭示了盆地构造反转事件、构造热事件生排烃与砂砾岩型铜铅锌矿床富集成矿的物质-时间-空间耦合关系，为深部隐伏矿体探测提供了相关理论依据。对塔西盆山原耦合转换不同期次的构造岩相学序列、构造岩相学组合类型、原型盆地和盆地动力学，结合沉积盆地内部构造样式、深部隐蔽构造样式和构造组合等进行了深入的综合研究，厘定了砂砾岩型铜铅锌成矿系统的物质-时间-空间分布规律，认为受塔西地区盆山原镶嵌构造区挤压-伸展转换过程的控制显著。

从构造岩相学和地球化学岩相等综合方法角度，采用八个成岩成矿要素“源、生、气-卤-烃、运-聚-时、耦、存、叠、表”，阐明了塔西地区砂砾岩型铜铅锌-天青石-铀成矿系统的成矿规律和成矿演化模式。在厘定成矿时代的基础上，建立了塔西砂砾岩型铜铅锌成矿系统内三个成矿亚系统区域构造-成矿演化模式，阐明了砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律。基于构造岩相学和地球化学岩相学创新技术方法，创建1:5万区域找矿预测和1:1万矿区深部和外围找矿预测方法系列，经工程验证，提交了两处具有大中型找矿潜力的示范区。

该书将理论创新研究、找矿预测技术研发和矿产勘查实践紧密结合，为砂砾岩型铜铅锌矿找矿预测提供了新理论指导和新技术方法的支撑。该书的出版发行将有力地推进地质矿产行业科学技术进步。该书可供研究院所、大专院校师生和矿山企业专业技术人员等在解决科研和生产实际问题时参考使用。

中国工程院院士

2019年9月

前 言

塔西地区塔里木盆地西缘中-新生代盆山原镶嵌构造区具有铜铅锌-天青石-铀-石膏-煤-天然气等多矿种同盆共存富集成藏成矿特征,是我国陆内特色成矿单元。本书在深入解剖研究萨热克式砂砾岩型铜矿床、乌拉根式砂砾岩型铅锌矿床成矿规律和主控因素基础上,从深部地质作用(辉绿岩-辉绿辉长岩侵位事件)和盆地流体大规模运移、造山带-前陆盆地与冲断褶皱带耦合与转换角度入手,研究还原性盆地流体、盆地热卤水(含钾石膏岩系)和中新生代深源流体与砂砾岩型铜铅锌矿床成岩成矿关系,探索塔西砂砾岩型铜铅锌矿床的区域构造-成矿演化规律。研发塔西中高山区砂砾岩型铜铅锌矿床的勘查评价与找矿预测技术集成体系,开展砂砾岩型铜铅锌矿床成矿远景区、找矿预测和勘查靶位圈定,总结塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律,进行找矿预测示范研究。

区内砂砾岩型铜矿床与砂砾岩型铅锌矿床共生分异与叠加成矿规律,盆-山耦合转换与冲断褶皱带形成的时-空结构,以及区域构造-成矿演化模型是砂砾岩型铜铅锌矿研究的理论创新点。含矿盆地流体(盆地低温热卤水和还原性烃类油气流体等)大规模运移路径、盆内构造-岩相-流体多重耦合、大规模水-岩反应(低温蚀变带)与矿质巨量沉淀-富集反应机制和时空演化结构,以及找矿预测与靶区快速优选评价是找矿的关键。本书紧密围绕以上科学问题和关键技术,开展了以下三个方面的研究。

(1) 塔西砂砾岩型铜矿床成矿特征与成矿模式。①以萨热克大型铜多金属矿床、花园和拜城滴水中型铜矿床等典型矿床为研究对象,确定主要控制因素、成矿特征和成矿时代,建立砂砾岩型铜矿床的成矿模式;②对上侏罗统库孜苏组(萨热克式铜矿)、下白垩统克孜勒苏群下段Cu-Pb-Zn-Mo含矿层(与辉绿辉长岩脉群有关的萨热克南矿带铜铅锌矿体)、古近系含铜膏盐岩(蒸发岩系)-含铜泥岩-含铜灰岩、新近系中新统安居安组(花园式铜银矿床)进行区域铜含矿层位对比研究,总结成矿特征;③建立了萨热克复式向斜内隐蔽构造、对冲式逆冲推覆构造和辉绿辉长岩侵入构造、秋里塔格冲断褶皱带-拜城储矿向斜-北部线性冲断褶皱带等不同构造组合、构造样式、构造配置与砂砾岩型铜铅锌矿床之间的关系;④研发了次级含矿盆地分析的构造岩相学-物探深部探测-岩石地球化学等综合方法技术;⑤以矿物地球化学填图与找矿预测新技术研发为主导,深入研究了富铜矿体的形成机制、赋存规律与找矿预测标志。

(2) 塔西砂砾岩型铅锌矿床成矿特征与成矿模式。①以乌拉根、康西、托帕等典型铅锌矿床为研究对象,确定主要控制因素、成矿特征和成矿时代,建立了砂砾岩型铅锌矿床的成矿模式;②对下白垩统克孜勒苏群第五岩性段灰白色砂砾岩(乌拉根式铅锌矿)和古近系含铅锌天青石白云石角砾岩进行了研究,与区域含矿层位进行对比研究,厘定成矿时代,研究成矿规律;③研究了乌拉根和托帕两个次级盆地的基底背斜-储矿向斜-同生断裂,以及不同构造组合、构造样式、构造配置与砂砾岩型铅锌矿床之间的关系,以矿物地球化学填图与找矿预测新技术为主导,深入研究了铅锌富矿体形成机制、赋存规律与找矿

预测标志。

(3) 塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿系统、找矿预测技术集成与靶区圈定。以萨热克巴依、乌拉根、拜城和托云等四个含铜铅锌次级盆地为重点,开展了陆内盆地形成演化与区域成矿规律和成矿系统研究。①从陆内盆地形成期的深部地质作用(碱性辉绿岩-辉绿辉长岩群和白垩纪碱性火山岩)、盆-山耦合(造山带提供成矿物质可能性)、前陆盆地流体大规模运移、构造-流体-岩相多重耦合与金属大规模成矿角度,对塔西地区不同含矿层位进行对比研究,建立了次级盆地中砂砾岩型铜-铜银-铜铅锌矿床的成矿序列;②从古近纪造山期和盆-山转换期深部地质作用(古近纪辉绿岩-辉绿辉长岩侵位事件)叠加、盆-山转换与盆地流体叠加、前陆冲断褶皱带与盆地变形样式、构造组合和构造配置关系等角度入手,研究建立了砂砾岩型铜铅锌矿床的区域构造-成矿演化模式;③揭示了砂砾岩型铜铅锌矿成矿系统的内部时-空结构、多重耦合特征、子系统组成,建立了区域找矿预测指标体系;④建立了塔西地区遥感色彩异常-区域找矿预测模型,研发了次级含矿盆地的构造岩相学-物探深部探测-岩石地球化学等综合方法技术,以及含铜铅锌次级盆地分析与找矿预测技术,在探矿验证工程基础上完善修改,最终形成了砂砾岩型铜铅锌矿床勘查评价与找矿预测有效方法技术集成体系。

本书是在有色金属矿产地质调查中心负责的“塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿系统、找矿预测技术集成与靶区圈定”课题研究(201511016-1)基础上撰写而成。课题研究成果和新创建的1:5万区域找矿预测和1:1万矿区大比例尺找矿预测两类技术系列,以及有色金属矿产地质调查中心承担和完成的中国地质调查局相关项目,作为单位匹配项目进行了示范推广应用,包括新疆萨热克铜矿整装勘查区专项填图与技术应用示范项目(12120114081501)(2014~2016年)、新疆萨热克铜矿整装勘查区矿产调查与找矿预测项目(1212010040000150017-47;1212010040000160901-67)、新疆乌恰县乌拉根-萨热克地区1:5万资源环境综合调查(DD20160001-[2017]0418-11和DD20160001-[2018]0418-1)。相关研究工作是在有色金属矿产地质调查中心(北京矿产地质研究院)、自然资源部科技发展司和项目办、中国地质调查局西安地质调查中心、中国地质调查局发展研究中心等领导的支持和关怀下完成的。在研究工作中,得到了国土资源部行业基金项目、中国地质调查局公益性地质项目、新疆汇祥永金矿业有限公司(萨热克铜矿)、新疆紫金锌业有限公司(乌拉根铅锌矿)和新疆拜城县滴水铜矿开发有限责任公司(滴水铜矿)等单位 and 领导的大力支持和帮助。特此致谢!

全书共分7章,由方维萱执笔撰写,参加编写人员还有王磊、王寿成、贾润幸、李天成和杜玉龙。鲁佳、郭玉乾和胡玉平等参加了图件制作和资料综合研究。张建国等完成了遥感色彩异常图像处理和解译。参加课题研究工作的人员有:方维萱、贾润幸、王磊、李天成、杜玉龙、鲁佳、郭玉乾、俞望杰、韩文华、于志远、范玉须、曹经纬、郝贵宝、郑宁、郭海丽、胡玉平、李艳艳、蒋智颖等。全书由方维萱、王寿成和王磊统稿并审定。

由于时间短促,本书在某些方面研究还不够深入,认识也不尽全面系统,真诚欢迎地学界同行们批评指正。

目 录

序

前言

第1章 研究思路与方法技术	1
1.1 研究现状与存在问题	1
1.2 沉积盆地与金属成矿的研究思路与方法技术	8
1.3 构造岩相学填图相关基础理论与沉积盆地和金属成矿	18
1.4 地球化学岩相学相关基础理论与沉积盆地和金属成矿	29
第2章 区域地质构造岩相特征与演化规律	48
2.1 区域构造层划分与构造岩相学演化规律	48
2.2 区域构造特征	59
2.3 区域岩浆岩特征	63
2.4 区域地球物理特征与深部构造	64
2.5 塔西-塔北地区砂砾岩型铜铅锌矿床分布规律	66
2.6 区域赋矿层位与盆地构造岩相学特征	68
第3章 萨热克式砂砾岩型铜矿床与萨热克巴依次级盆地演化	71
3.1 萨热克巴依盆地形成演化与盆地动力学	72
3.2 萨热克巴依矿田构造样式、构造组合与成矿构造动力学	80
3.3 萨热克砂砾岩型铜多金属矿床成矿作用	94
3.4 萨热克式砂砾岩型铜多金属矿床成矿规律与成矿机制	111
3.5 萨热克铜矿床的矿物地球化学岩相学研究及分带规律	126
3.6 萨热克式砂砾岩型铜矿床勘查技术集成与综合找矿预测模型	135
第4章 乌拉根式砂砾岩型铅锌矿床与挤压-伸展转换盆地演化	149
4.1 乌拉根构造岩相学垂向相序列结构与盆地演化	149
4.2 乌拉根沉积盆地演化序列、盆内同生构造样式与构造组合	157
4.3 盆内构造变形样式、构造组合与成矿流体大规模运移	168
4.4 乌拉根式砂砾岩型铅锌-天青石矿床的成矿作用与成矿规律	172
4.5 乌拉根式砂砾岩型铅锌矿床勘查技术集成与综合找矿预测模型	192
第5章 塔西地区中-新生代沉积盆地综合分析及成矿规律	203
5.1 盆地物源分析、蚀源岩区示踪与盆山耦合关系	203
5.2 沉积盆地古盐度恢复	218
5.3 烃源岩系、热演化与盆地构造变形	222
5.4 绿泥石化蚀变相与构造-岩浆-古地热事件和热通量恢复	228

5.5	变碱性超基性岩-基性岩的岩相地球化学与构造背景分析	245
5.6	杨叶-花园和滴水砂岩型铜矿床与新生代陆内咸化湖盆	269
5.7	塔西-塔北地区的盆地流体类型与成矿流体	294
5.8	区域成矿特征对比	333
第6章	塔西砂砾岩型铜铅锌成矿系统、找矿预测和验证效果	338
6.1	塔西砂砾岩型铜铅锌区域成矿系统时空结构与演化模型	338
6.2	萨热克式砂砾岩型铜矿区1:5万找矿预测靶区圈定与验证效果	372
6.3	萨热克式砂砾岩型铜矿隐蔽构造圈定与1:1万深部找矿预测	386
第7章	主要结论与新认识	412
参考文献		422
图版		

第1章 研究思路与方法技术

1.1 研究现状与存在问题

1.1.1 现状与进展

沉积岩型铜矿床(砂砾岩型、砂岩型、页岩型和白云岩型等)是全球主要铜矿床类型之一,约占全球铜矿床的30%,仅次于斑岩型铜矿床,深受地学界和矿业界关注并被深入研究。塔西地区沉积岩型铜铅锌矿床在全球独具特色。①在塔里木周缘古近系和新近系中发育砂岩型铜矿床,而萨热克大型砂砾岩型铜矿床赋矿层位为上侏罗统,它们与造山带-沉积盆地耦合转换构造系统有密切关系,以大陆挤压体系为特点,在全球十分特殊。沉积岩型铜矿床主要分布在中西部,如塔里木周缘古近-新近系和侏罗系砂砾岩型铜矿床、云南滥泥坪震旦系砂砾岩-白云岩型铜矿床、康滇元古宙隆起周缘中生界含铜砂页岩型铜矿床、湖南麻阳白垩系和古近系砂岩型铜矿床、六盘山-贺兰山泥盆系砂页岩型和白垩系砂砾岩型铜矿床、玉门-肃南志留系砂岩型铜矿床,但从单个铜矿床规模上看,萨热克砂砾岩型铜矿床规模最大,且其外围具有巨大的找矿潜力;②沉积岩型铅锌矿床是全球主要铅锌矿床类型之一,从赋矿层位上看,大型规模砂砾岩型铅锌矿床主要产于元古宇(如加拿大乔治湖铅锌矿床)、寒武系(如瑞典拉伊斯瓦尔铅锌矿床,铅锌资源储量为392万t)、石炭系(如加拿大亚瓦铅锌矿床,铅锌资源储量为142.4万t)、三叠系(如德国Mechernich铅锌矿床,铅锌资源储量为405万t, Maubach铅锌矿床,铅锌资源储量为249.6万t)、侏罗系(摩洛哥泽迪铅锌矿床)、古近系(如云南兰坪砂砾岩型铅锌矿床),铅锌资源储量为1500万t。在乌拉根中-新生代前陆盆地中,下白垩统顶部-古近系底部产出超大型砂砾岩型铅锌矿床,其铅锌资源量远景达1000万t,乌拉根砂砾岩型铅锌矿床与天青石矿床共生,与花园-杨叶新近系中砂岩型铜矿带在空间上同盆共存;③在塔里木叠合盆地周缘沉积岩型铜铅锌矿集区,塔西-塔北地区沉积岩型铜铅锌矿床与铀矿床、石膏岩盐类、煤炭、天然气和油气田等多种金属矿产、非金属矿产和多种能源矿产具有同盆富集成矿规律。

在砂砾岩型铜铅锌矿床找矿勘查与综合研究上,国内外研究现状和发展趋势可以归纳为如下四个方面。

(1)砂砾岩型铜铅锌矿床是全球主要铜矿床和铅锌矿床类型之一。萨热克砂砾岩型铜矿床和乌拉根砂砾岩型铅锌矿床在全球位置十分特殊,但其成矿时代、成矿规律和成矿模式尚需深入研究。

第一,萨热克砂砾岩型铜矿床主要赋矿层位为上侏罗统库孜贡苏组,在全球十分特殊。从赋矿层位看,大型-超大型沉积岩型铜矿床主要为元古宇、石炭系、二叠-三叠系、白垩系、

古近-新近系等,如赞比亚铜矿省、扎伊尔中-新元古界沉积岩型铜钴矿带、俄罗斯乌多坎砂岩型铜矿床(周永恒等,2013)、哈萨克斯坦杰兹卡兹甘石炭系砂岩型铜矿床、我国云南楚雄白垩系砂页岩型铜矿床、波兰卢宾铜矿床(铜金属资源储量为1500万t;瞿泓滢等,2013),德国曼斯菲尔德铜矿床赋存层位为二叠系,格陵兰-欧洲二叠-三叠系为砂砾岩型-砂岩型-页岩型铜矿床主要赋存层位。智利、玻利维亚、阿根廷和墨西哥等安第斯造山带中,砂砾岩型铜矿床赋存层位为白垩系和古近-新近系。在我国塔里木周缘古近-新近系砂岩型铜矿床发育,但萨热克大型砂砾岩型铜矿床为上侏罗统,在全球十分特殊。

第二,萨热克砂砾岩型铜矿床在我国沉积岩型铜矿床中规模最大,其外围找矿潜力巨大。我国沉积岩型铜矿床主要分布在云南楚雄和新疆塔西萨热克巴依中新生代沉积盆地中,次为塔里木周缘古近-新近系砂岩型铜矿床、云南滥泥坪震旦系砂砾岩-白云岩型铜矿床、康滇元古宙古隆起周缘川-滇-黔中新生界含铜砂砾岩-砂页岩型铜矿床、湖南麻阳白垩-古近系砂岩型铜矿床、六盘山-贺兰山泥盆系砂页岩型和白垩系砂砾岩型铜矿床、玉门-肃南志留系砂岩型铜矿床。但从铜矿床规模上看,萨热克砂砾岩型铜矿床规模最大,单矿床资源储量为大型矿床,其外围仍具有巨大的找矿潜力。

第三,乌拉根超大型砂砾岩型铅锌矿床在全球位置十分特殊,具有较大的理论研究意义。砂砾岩型铅锌矿床是全球主要铅锌矿床类型之一,乌拉根和兰坪超大型砂砾岩型铅锌矿床在全球具有十分特殊的位置,尤其是在乌拉根-康西-加斯砂砾岩型铅锌矿带北侧为萨热克式砂砾岩型铜矿带,南侧为花园-杨叶砂岩型铜矿带,这种区域成矿分带在全球十分少见,研究价值较大。

(2)成矿模式和勘查模型研究极大地提升了国内外矿床学和找矿勘查研究理论水平,提高了找矿成功率,降低了找矿风险;成矿系统理论(翟裕生,1999,2000,2003,2007,2009;翟裕生等,2008;邓军等,1998,1999;毛景文等,2002,2005;胡瑞忠等,2005;侯增谦等,1998,2004;张连昌等,2006;杨永强等,2006;陈衍景等,2010;杨立强等,2010;李文昌等,2013)和找矿预测技术新方法研究,构建了矿床学与矿产勘查之间的桥梁(翟裕生,2003),促进了矿产勘查向纵深方向发展,也是当前和今后主要发展方向。在砂砾岩型铜矿床和砂砾岩型铅锌矿床研究方面,先后提出了“沉积-改造成矿”、“热卤水成矿”和“地下水搬运-成岩再造”等成矿模式。近年来,在注重研究沉积盆地改造过程中,深部地质作用、盆地流体大规模运移、构造-流体成矿-岩性耦合(谭凯旋等,1999;韩润生等,2010)和同位素精确定年约束构造-流体-成岩成矿作用事件研究成为主要发展趋势,提出了兰坪金顶铅锌矿床的“壳幔流体混合成矿”(尹汉辉等,1990;王京彬等,1991;Xue et al.,2000,2003;薛春纪等,2002;李春辉等,2011)、“同生沉积-变形叠加成矿”(吴淦国等,1989)、“流体混合大规模成矿”(薛春纪等,2006)等不同观点;在金顶铅锌矿床含铅锌矿角砾岩成岩成矿作用研究上,认为金顶成岩成矿系统经历了周期性高度活跃剧烈的高压盆地流体作用,主要有“湖底热液喷发”(王江海等,1998)、“侵入角砾岩”(高兰等,2005,2008)、“构造-岩溶角砾岩”(高广立等,1989;胡明安,1989;覃功炯等,1991,1994;王安建等,2007,2009)、水力压裂构造-碎屑灌入体-含矿热液角砾岩(池国祥等,2011)。一些学者采用磷灰石裂变径迹、黄铁矿和沥青 Re-Os 同位素测年,精确厘定了金顶铅锌矿床的成矿时代(李小明等,2000;薛春纪等,2003;高炳宇等,2012;唐永永等,2013),为本书研究提供了新技术方法。

对萨热克层控砂砾岩型铜矿床(高珍权等,2005;祝新友等,2011)和乌拉根层控砂砾岩型铅锌矿床的成因研究也取得了新进展(蔡宏渊等,2002;刘宏林等,2010;刘增仁等,2010,2011;韩凤彬等,2013)。对乌拉根铅锌矿床的成因认识主要有“沉积型或沉积-弱改造型”(彭守晋,1990)、“海底喷流沉积型”(蔡宏渊等,2002;谢世业等,2002,2003)、热卤水沉积-改造铅锌矿床(高珍权等,2002;李丰收等,2005;白洪海等,2008;康亚龙等,2009)、MVT型铅锌矿床(张舒,2010;祝新友等,2010)、还原性盆地油田卤水形成白垩系含铅锌矿褪色化蚀变碎屑岩和古近系含铅锌矿白云石化坍塌角砾岩(王京彬和祝新友等,2008;祝新友等,2010;董新丰等,2013)、层次性砂岩型铅锌铜铀矿成矿系列的多成因复成矿床(刘宏林等,2010)。但由于成矿时代未精确厘定,制约了成矿模式与成矿规律的深入认识。采用成矿系统理论和现代同位素技术(钼矿物、黄铁矿和沥青 Re-Os 同位素测年、磷灰石裂变径迹法等)将有助于精确厘定成矿时代和建立成矿模式。

然而,塔西-塔北砂砾岩型铜铅锌矿床与铀-天青石-煤系是否属于统一成矿系统?与煤系烃源岩和石油天然气之间同盆共存富集成矿,与帕米尔高原-塔里木叠合盆地-西南天山造山带之间耦合转换联系是什么?它们是否为陆内特色成矿单元?砂砾岩型铜铅锌矿床与煤系烃源岩和石油天然气之间,是否具有协同成矿作用?多种矿产同盆共存富集成矿的内在联系是什么?这些都是值得深入研究的科学问题。

(3)矿产勘查新技术向立体勘查方向发展,以空间探测、地面勘查、深部探测和井巷工程综合方法勘探等系列方法为具体发展方向,采用集成有效勘查技术方法,不但大幅度提高了矿产勘查效率,而且提高了勘查精度、探测深度和找矿成功率。

第一,高空间分辨率遥感新技术,在1:20万和1:50万比例尺上快速查明和圈定大面积普查-预查区,为找矿靶区的圈定和优选提供了快速、低成本、数字化和可视化的影像技术手段,如 Landsat-7、SPOT-5、QuickBird(快鸟)、IKONOS 等卫星可提供空间分辨率从10m到厘米级的遥感信息等。尤其是 QuickBird 数据接近真色彩,为开展1:5万或1:1万比例尺的构造岩相学填图提供了技术支撑;在遥感色彩异常解译-实际路线地质调绘建模的基础上,建立干旱荒漠区和中高山区景观下遥感色彩异常勘查模式,已在安第斯斑岩成矿带中取得了成功。

第二,大探测深度和高分辨率物探新技术和设备的研发及应用,加大了地面勘查的探测深度,提高了探测精度,如加拿大 V-8 系统、EM-67 系统、EH4 系统、美国 GDP-32 II 系统等已成为全球领先的技术方法,具有多功能、智能化、集成化、多通道、分布式、现场大容量存储、图示和处理等发展趋势。井中电磁法技术、井-地和坑-地方式物探测量是矿山深部找矿的重要技术,以音频大地电磁测深(AMT)和 MT 等方法,最大探测深度可达5000m,可有效探测3000m深度的目标体。国内也在加快具有自主知识产权的大深度、高精度电磁系统研制步伐。

大比例尺(1:5万~1:5000)构造岩相学深部填图理论逐渐成熟并示范推广应用(方维萱等,2018),促进了构造岩相学与音频大地电磁测深(AMT)和深部磁化率填图等新技术研发,为采用基于 AMT 和深部磁化率填图,寻找和圈定隐伏构造岩相体和找矿预测,提供了新理论基础和新型技术。

第三,在寻找隐伏金属矿床方面,地球化学勘查技术迅速发展,并以加大探测的深度为

主流趋势。已相继研发出痕量化探相态分析技术、地电地球化学方法、地气法、酶提取法和金属活动态测量法等化探找矿技术,在隐伏矿勘查中发挥了较大作用。痕量化探相态分析技术为寻找隐伏砂砾岩型铜铅锌矿床提供了新技术方法支撑。

第四,在金属矿山深部找矿中,矿山井巷工程构造岩相学填图-地球化学勘探-矿物地球化学填图等技术不但具有立体填图和找矿预测功能,而且取得了寻找新类型和新矿种效果(方维萱,2011b,2012a;方维萱等,2012b)。矿山井中三分量高精度磁力探测技术(陈天振等,2008;王庆乙等,2009,2013;邹美玲等,2009)为寻找井旁和井底磁性体提供了有效的技术方法。基于数字矿山技术平台,实现矿山深部三维立体综合探测成为今后主要的发展趋势,将专项技术集成于数字矿山工作平台,实现工程技术集成化平台成为今后发展方向。

(4)塔里木叠合盆地周缘具有寻找沉积岩型铜铅锌矿床的巨大潜力,有待创新理论和创新技术研发,实现快速评价,助推尽快取得重大找矿突破,为解决边疆贫困地区发展新路径提供技术支撑和可开采的后备矿产资源。

第一,塔西地区分布有四个砂砾岩型铜铅锌成矿带、四个砂砾岩型铜铅锌矿含矿层位和一批砂砾岩型铜铅锌矿床和矿点,急需有效的勘查理论指导和高效方法技术组合进行成矿远景区预测,尽快实现找矿突破,也是本次成果的直接市场需求。塔西地区四个主要赋矿层位为上侏罗统库孜贡苏组(J_3k)(萨热克式砂砾岩型铜矿床)、下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)(乌拉根式砂砾岩型铅锌矿床)、古近系始新统乌拉根组-卡拉塔尔组(E_2w-E_2k)(玛依喀克铜矿)和新近系中新统安居安组(N_1a)(花园式砂岩型铜矿床)等。研究揭示,塔西地区中-新生代前陆盆地现今面积在5万 km^2 以上,为世界级砂砾岩型铜铅锌矿成矿带,具有巨大的找矿前景。目前在100 km^2 内,探明了超大型乌拉根砂砾岩型铅锌矿床和大型萨热克砂砾岩型铜矿床,已经取得了重大找矿突破,但在塔西地区5万 km^2 以上中-新生代前陆盆地中,广泛分布有四个区域砂砾岩型铜铅锌矿带和诸多化探异常,寻找和优选新的有望勘查靶区,力争取得找矿新突破,成为当前和今后主攻方向。

第二,圈定塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿远景区是当前南疆矿产资源勘查和开发的主流市场需求。在塔里木盆地周缘中新生代前陆盆地-冲断褶皱带系统中,广泛发育砂砾岩型铜铅锌矿床和矿化带,但仅在塔西乌恰前陆盆地探明了乌拉根和萨热克(超)大型砂砾岩型铜铅锌矿床,急需在典型砂砾岩型铜铅锌矿床建模研究基础上,改进传统的选区评价方法,研发砂砾岩型铜铅锌矿床选区评价的新方法技术体系,在塔西地区5万 km^2 范围内,支撑和实现找矿新突破。

第三,塔西地区可划分出A、B、C、D4个规模较大的铜铅锌成矿带:①北部为A-萨热克式砂砾岩型铜矿带,位于上侏罗统库孜贡苏组中,萨热克巴依次级含矿盆地面积近100 km^2 ;萨热克巴依次级盆地属托云拉分盆地的次级盆地,在托云盆地中具有寻找萨热克式砂砾岩型铜矿床的类似成矿地质条件。②中部为B-乌拉根式砂砾岩型铅锌矿带,位于下白垩统克孜勒苏群顶部第5岩性段灰白色砂砾岩和上覆的古近系古新统阿尔塔什组(E_1a)坍塌角砾岩中;乌拉根式砂砾岩型铅锌矿带区域断续延伸达350km以上,康西铅锌矿床具有中型规模,乌拉根北矿带(达克铅锌矿、江额结尔铅锌矿、加斯铅锌矿、硝若布拉克铅锌矿、吉勒格铅锌矿、托帕铅锌矿等)具有较大潜力。③西部为C-花园式砂岩型铜矿带,位于古近-新近系

中,在乌恰-温宿-拜城-轮台古近-新近系中的砂岩型铜矿床(滴水式含铜膏盐岩-砂岩-灰岩)和矿化带,东西向长800km,宽约40km,这些砂砾岩型铜铅锌矿床和矿化带在区域上稳定产出,分布一系列中小型矿床(萨哈尔、杨叶、花园、吉勒格、伽师铜矿等)、矿点和化探异常,具有世界级砂砾岩型铜铅锌成矿带规模,显示出巨大的找矿前景。④南部边缘为D-玛依喀克砂岩型铜矿带,位于乌帕尔断裂带南侧古近系喀什群顶部,主要有玛依喀克、休木喀尔和乔克玛克等砂岩型铜矿床等,该砂岩型铜矿成矿带长度近300km。在上述四个砂砾岩型铜铅锌矿成矿带圈定成矿远景区,明确主攻地区和主攻层位,有助于满足当前南疆地区核心市场需求和主流市场需求。

1.1.2 存在问题

目前对萨热克砂砾岩型铜矿床和乌拉根砂砾岩型铅锌矿床的成因存在不同观点,形成机制尚存在较大争论,但对油田卤水和有机质参与成矿作用的意见较一致。然而,成矿流体运移构造通道、盆地流体圈闭类型和圈闭构造、盆地流体混合成矿机制等问题仍需深入研究,尤其是塔西地区砂砾岩型铜矿床、铅锌矿床和铀矿床,对其成矿地质背景是否有差异等科学问题研究很少。萨热克砂砾岩型铜多金属矿床建成投产和矿山地质找矿新发现、乌拉根铅锌矿床建设开发和矿山地质新进展,以及康西砂砾岩型铅锌矿床和托帕砂砾岩型铜铅锌矿床找矿新进展等,揭示塔西乌恰地区不但已成为我国新建的铜铅锌矿床开发基地,而且仍具有巨大的找矿潜力。综合研究严重滞后是制约塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床取得突破的主要因素。塔西砂砾岩型铜铅锌矿床研究方面,存在的主要关键科学问题如下。

(1)塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床成矿特征和成矿规律不明,急需精确厘定成矿特征和成矿时代,开展中新世区域成矿对比,研究盆地油田卤水、盆地热卤水(膏盐层)和中新世深源流体(与碱性火山岩和辉绿辉长岩有关等)等对(超)大型砂砾岩型铜铅锌矿床形成的贡献和成矿机制。

(2)塔西乌恰前陆盆地-冲断褶皱带与超大型砂砾岩型铜铅锌矿床内在关系不明,砂砾岩型铜矿床和砂砾岩型铅锌矿床两大成矿系统组成与共生分异规律不清,也直接制约了区域上找矿新突破。

(3)次级含矿盆地的基底构造、内部构造、侵入构造、逆冲-对冲构造和盆地变形构造等构造配置,与成矿流体耦合机制和富铜铅锌矿体赋存规律尚待进一步研究。

(4)塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿找矿靶区尚待采用新的综合方法进行预测圈定。在塔里木周缘砂砾岩型铜铅锌矿选区评价中,尚待新方法技术体系支撑。

在以上四个关键科学问题中,存在以下三个研发难点:①在盆-山耦合转换与冲断褶皱带形成过程中,含矿盆地流体(盆地低温热卤水和还原性烃类油气流体等)大规模运移路径、盆内构造-岩相-流体多重耦合、大规模水-岩反应(低温蚀变带)与矿质巨量沉淀-富集反应机制与时空演化结构;②砂砾岩型铜铅锌矿床叠加成矿时代与隐伏矿体定位预测、砂砾岩型铜铅锌矿床的成矿地质体识别与空间形态圈定新方法技术;③中高山区隐伏砂砾岩型铜铅锌矿床找矿预测与快速评价新技术。

1.1.3 技术方案

“塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律与找矿预测”(项目编号:201511016)下属课题“塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿系统、找矿预测技术集成与靶区圈定”(课题编号:201511016-1)总体目标,主要研究内容,拟解决的主要科学问题、关键技术和研发难点以及总体技术思路等如下。

(1)总体目标。①研究建立塔西地区萨热克巴依、乌拉根、拜城、托云等4个次级盆地中砂砾岩型铜-铜银-铜铅锌矿床的成矿序列,建立砂砾岩型铜铅锌矿区域构造-成矿演化模式,为重点勘查区找矿突破提供科学依据;②研究揭示砂砾岩型铜矿床和铅锌矿床两个成矿系统的内部时空结构、多重耦合特征、子系统组成与找矿预测体系,集成塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿的成矿规律和勘查评价技术研究成果,构建砂砾岩型铜铅锌矿床的找矿预测标志和勘查模型;③创新研发塔西中高山区砂砾岩型铜铅锌矿床的勘查评价与找矿预测技术集成体系,开展砂砾岩型铜铅锌矿床成矿远景区、找矿预测和勘查靶位圈定,开展浅部化探相态分析技术对比研究与应用示范,进行塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床找矿靶区预测,完成1个找矿预测示范区,提交有望成为大中型矿床的找矿靶区1处。

(2)主要研究内容。①研究建立塔西地区次级盆地中砂砾岩型铜-铜银-铜铅锌矿床的成矿序列,以萨热克巴依、乌拉根、拜城和托云等四个含铜铅锌次级盆地为重点,开展前陆盆地形成演化与区域成矿规律和成矿系统研究。从前陆盆地形成期的盆地流体和深部地质作用、盆-山耦合(造山带提供成矿物质可能性)、前陆盆地流体大规模运移、构造-流体-岩相多重耦合与金属大规模成矿角度,对塔西地区不同含矿层位进行对比研究,建立次级盆地中砂砾岩型铜-铜银-铜铅锌矿床的成矿序列。在成矿序列研究中重点如下:一是厘定砂砾岩型铜矿床和砂砾岩型铅锌矿床的含矿层位,属于单一层位,还是多层位含矿?对上侏罗统库孜贡苏组(萨热克式铜矿)、下白垩统克孜勒苏组下段Cu-Pb-Zn-Mo含矿层(在萨热克铜矿区,发育与成矿关系密切的切层和顺层辉绿辉长岩脉群)、古近系含铜膏盐岩(蒸发岩系)-含铜泥岩-含铜灰岩、新近系中新统安居安组(花园式铜银矿,包括萨哈尔、杨叶、吾东、吉勒格、花园、大山口和拜希塔木铜银矿床等)进行区域铜含矿层位对比研究,采集辉铜矿-黄铜矿、含沥青铜矿石和铅锌矿石进行铼钼同位素定年,确定成矿序列与成矿时代。二是以下白垩统克孜勒苏群顶部第5岩性段灰白色砂砾岩(乌拉根式铅锌矿)和古近系含铅锌天青石白云石角砾岩为主,对区域铅锌含矿层位进行对比研究。三是厘定砂砾岩型铜矿床和砂砾岩型铅锌矿床的含矿层位和成矿时代,阐明它们的成矿层位是属于次级盆地中含矿层内盆地流体改造富集成矿,还是深源流体形成的多层位叠加成矿,总结区域成矿规律。与哈萨克斯坦、玻利维亚、我国云南金顶地区铅锌矿床和楚雄地区砂岩型铜矿床等进行对比,通过全球砂砾岩型铅锌矿床对比研究,进一步总结塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律。②研究建立塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床的区域构造-成矿演化模式与找矿预测系统。从古近纪造山期和盆-山转换期深部地质作用(古近纪辉绿岩-辉绿辉长岩侵位事件)叠加、盆-山转换与盆地流体叠加、前陆冲断褶皱带与盆地变形样式、构造组合和构造配置关系等角度入手,研究重点如下。首先,对萨热克复式向斜构造中深部隐蔽褶皱-断裂构造、萨热克巴依次

级盆地两侧对冲式逆冲推覆构造带和辉绿辉长岩侵入构造、秋里塔格冲断褶皱带-拜城储矿向斜-北部线性冲断褶皱带、乌拉根和托帕次级盆地等不同构造样式、构造组合与构造配置关系进行系统研究,总结控制塔西地区砂砾岩型铜矿床(矿田)定位构造及构造-成矿演化模式。其次,建立含铜铅锌次级盆地分析与找矿预测技术,对萨热克巴依含铜次级盆地进行构造-岩相带的分布与控矿规律解析,研发构造岩相学-物探深部探测(AMT、三极激电测深(偶极-偶极-单极))-岩石地球化学-沉积盆地分析等综合方法技术,总结侵入构造和基底对冲构造与砂砾岩型铜多金属矿床之间叠加成矿关系。最后,对乌拉根基底背斜-储矿向斜-同生断裂不同构造组合与构造配置样式进行研究,对乌拉根、康西-黑孜苇两个含铅锌次级盆地进行构造-岩相带的分布与控矿规律解析,深入研究储矿构造岩相带与铅锌富矿体形成机制与赋存规律。总结控制砂砾岩型(天青石)铅锌矿床定位构造及构造-成矿演化模式。③深入研究和揭示砂砾岩型铜铅锌矿成矿系统的内部时空结构、多重耦合特征、子系统组成与区域找矿预测指标体系。研究砂砾岩型铜铅锌矿床的成矿系统内部时空结构、多重耦合特征和子系统组成,总结确定控制砂砾岩型铜铅锌矿床的构造岩相学找矿预测指标,分别建立砂砾岩型铜矿床和砂砾岩型铅锌矿床的找矿预测系统。④研发建立区域尺度的成矿远景区预测模型和矿区尺度的找矿靶区预测模型,进行靶区优选。研发建立塔西地区遥感色彩异常-地质的区域找矿预测模型。研发构造岩相学-物探深部探测(AMT、三极激电测深(偶极-偶极-单极)、地面高精度磁力测量)-岩石地球化学-沉积盆地分析等综合方法技术,建立含铜铅锌次级盆地分析与找矿预测技术,在探矿验证工程基础上完善修改,最终研发建立砂砾岩型铜铅锌矿床勘查评价与找矿预测有效方法技术集成体系。进行塔西地区找矿靶区预测的新技术方法研究,完成砂砾岩型铜多金属矿找矿靶区优选。优选重要找矿靶区,进行综合研究和示范研究,开展化探物相分析(Pb、Zn、Cu和Fe等变价元素)、矿石物相分析和矿物地球化学填图等新技术方法研发,研究铅锌矿表生成矿作用及分布规律,以储矿构造岩相带和富矿体赋存部位为目标物,进行铅锌富矿体主控因素与找矿预测标志研究。完成1个找矿预测示范区,提交有望成为大中型矿床的找矿勘查靶区1处。

(3)拟解决的主要科学问题、关键技术和研发难点。①紧密围绕项目主要关键科学问题开展研究。一是塔西地区砂砾岩型铜铅锌矿床的成矿特征和成矿规律不明,急需精确厘定成矿特征和成矿时代,开展中新世区域成矿对比,研究盆地油田卤水、盆地热卤水(膏盐层)和中新世深源流体(与碱性火山岩和辉绿辉长岩有关等)对大型砂砾岩型铜铅锌矿床形成的贡献和成矿机制。本研究关键在于依据这些主控因素,建立区域找矿预测指标体系。二是塔西前陆盆地和前陆冲断褶皱带与超大型砂砾岩型铜铅锌矿床内在关系不明,铜和铅锌两大成矿系统组成与共生分异规律不清,也直接制约了区域上找矿靶区优选和实现新的找矿突破。本研究关键在于建立砂砾岩型铜矿床和铅锌矿床的找矿预测系统。三是塔西地区次级含矿盆地的基底构造、盆地内部隐蔽构造、侵入构造、逆冲-对冲构造和盆地变形构造等时间-空间构造配置关系不明。本研究关键在于建立区域砂砾岩型铜铅锌矿床的构造-成矿的时间-空间演化模式,为区域找矿预测提供依据。四是塔西地区的砂砾岩型铜铅锌矿床成矿远景区和找矿靶区尚待采用新的综合方法进行预测圈定,本研究关键在于创新并集成一套高效的方法技术组合,圈定成矿远景区和找矿靶区。②关键技术包括三点。一是形成对塔西地区中新世盆山耦合转换-冲断褶皱带与砂砾岩型铜铅锌矿床的盆地流体成矿与

叠加成矿时代研究的有效方法手段与技术方法组合。二是以前陆盆地砂砾岩型铜矿床与铅锌矿床共生分异机制与成矿系统结构为核心,形成以矿物地球化学填图技术为主导的创新技术组合。三是中高山区隐伏砂砾岩型铜铅锌矿床找矿预测新技术研究与勘查技术集成。③ 研发难点是在盆-山耦合转换与冲断褶皱带形成过程中,含矿盆地流体(盆地低温热卤水和还原性烃类油气流体等)大规模运移路径、盆内构造-岩相-流体多重耦合、大规模水-岩反应(低温蚀变带)与矿质巨量沉淀-富集反应机制与时空演化结构,以及砂砾岩型铜铅锌矿床叠加成矿时代与隐伏矿体定位预测,砂砾岩型铜铅锌矿床成矿地质体识别与空间形态圈定新方法技术,中高山区隐伏砂砾岩型铜铅锌矿床找矿预测与快速评价新技术。

(4) 总体技术思路。综合研究与样品测试分析紧密围绕勘查方法技术与工作手段投入和新方法技术研发,聚焦在典型矿床成矿规律和找矿预测示范上,以解决四个科学问题和三个技术问题为核心。本研究技术路线是“典型矿床解剖→成矿系统分析→成矿模式建立→高效找矿技术方法集成→找矿靶区圈定”。主要分为三个步骤:一是对典型砂砾岩型铜铅锌矿床开展解剖研究,核心为建立砂砾岩型铜矿和铅锌矿两大成矿系统的内部结构、多重耦合特征、子系统组成与找矿预测指标体系,进行区域成矿远景区和找矿靶区预测。二是围绕空间探测→地面勘查→深部探测→井巷工程填图示范与找矿预测技术研发重点,在3个找矿预测示范区内及周边地段,开展高效的空间遥感色彩-地质找矿预测模型技术研发、地面综合勘查评价技术组合研究、含铜铅锌次级盆地深部探测技术研发、矿山井巷矿物地球化学填图新技术研发与示范研究。三是在探矿工程验证基础上进行修改完善,建立以成矿系统理论为指导的砂砾岩型铜铅锌矿床勘查评价与找矿预测的高效集成方法技术体系。

1.2 沉积盆地与金属成矿的研究思路与方法技术

1.2.1 原型盆地与构造-岩浆-热流体改造叠加盆地

在盆山原(盆地-高山-平原,也可写作盆-山-原)镶嵌构造区与砂砾岩型铜铅锌-天青石-铀-煤成矿系统研究中,采用构造岩相学和地球化学岩相学研究方法,可将区域构造演化、沉积盆地、区域成矿规律与典型矿床紧密结合进行综合研究。帕米尔高原与西南天山相向仰冲于塔里木盆地之上,它们为盆山原在岩石圈尺度上的镶嵌构造区。深地震反射剖面揭示,在深部地壳尺度上,塔里木盆地盖层厚约12km。其下发育稳定的结晶基底,在南天山造山带向塔里木盆地呈逆冲推覆构造,塔里木盆地盖层向南天山之下呈滑脱构造,反映出地壳尺度上的陆内汇聚盆山深部镶嵌构造关系(侯贺晟等,2012),塔里木盆地西端呈正弦波浪消减于冲断褶皱之下。寒武系和阿尔塔什组底部能干性较弱的石膏岩层,为固体滑移波和构造应力转换界面。它们也是构造热流体大规模运移构造岩相学界面。按盆地后期改造主要动力作用及改造形式不同,划分为抬升剥蚀型、叠合深埋型、热力改造型、构造变形型、肢解残留型、反转改造型和复合改造型等7种改造型盆地(刘池洋和孙海山,1999)。在油气地质研究上,一是从生烃岩系出发,研究生烃中心和排烃中心、生排烃量、运移及聚集规律、寻找原生和次生油藏;二是从油气保存和储集层出发,强调从圈闭构造评价和优选,以实现油

气勘探的突破,其着眼点在储集层的含油气性,改造型盆地对寻找油气田具有积极的指导意义(张抗,1999),对金属矿床也有指导价值。

沉积盆地改造变形期次(方维萱,1999)和构造-岩浆-热事件包括:①垂向升降与沉积成岩期压实型盆地流体运移改造;②横向挤压收缩与沉积成岩期构造热流体的运移改造;③盆山转换期构造流体改造-叠加作用;④构造-岩浆-热事件叠加成岩成矿;⑤幔壳耦合型深源热流体叠加成岩成矿作用。

方维萱等(2018a)将沉积盆地受垂向升降、横向收缩和沉积成岩期构造热流体的运移改造等内源性构造-热流体作用影响的沉积盆地,归入热流体改造型盆地。将盆山转换期构造流体改造-叠加作用、构造-岩浆-热事件叠加成岩成矿和幔壳耦合型深源热流体叠加成岩成矿作用等外源性构造-热流体叠加改造作用影响的沉积盆地,归入热流体叠加改造型盆地。从上述构造岩相学和地球化学岩相学思路出发,考虑到盆山原和盆山耦合转换过程和机制,以热流体与构造作用与沉积盆地之间空间拓扑学结构、热物质-时间-空间与沉积盆地耦合结构,进一步对内源性热流体改造型盆地和外源性热流体叠加改造型盆地进行分类,如外源性热流体叠加改造型盆地可以划分为:①构造-热事件叠加改造型盆地;②构造-壳源岩浆-热事件叠加改造型盆地;③构造-幔源岩浆-热事件叠加改造型盆地。在这三类热流体叠加改造型盆地中,热流体主要与挤压构造作用、挤压走滑转换构造作用、局部伸展走滑转换构造作用、壳源岩浆(如花岗岩、花岗闪长岩、碱性花岗岩等)和幔源岩浆[如辉绿岩脉群、辉绿辉长岩株(岩脉群)等]有密切关系,它们主要来自盆地底部深源构造-热流体地质作用,也是盆山原和盆山转换过程中形成的热物质叠加到盆地之内。按照构造-热事件与沉积盆地空间-时间拓扑学结构,可以划分为:①盆边型点式;②盆内型点式;③盆边线带状;④盆内线带状;⑤盆边面状;⑥盆内面状;⑦盆边多期叠加式;⑧盆内多期叠加式。这8种不同的时间-空间拓扑学结构,在热流体叠加改造盆地中所形成的岩浆热液场-热力场及效应均有不同差异,其构造岩相学填图和找矿预测的思路和方法技术均不尽相同。应研究盆山原和盆山耦合转换过程中,构造-热流体改造中心位置和构造-热流体叠加改造中心位置及其波及范围,以指导金属矿产深部找矿预测和勘查实践,因此,构造岩相学填图为重要技术支撑体系。

从构造岩相学和地球化学岩相学思路,将塔西地区盆山原镶嵌构造形成演化过程与盆地深部的构造-岩浆-热事件结合起来,研究砂砾岩型铜铅锌成矿系统与沉积盆地在物质-时间-空间上耦合关系,按照构造改造-岩浆-热流体叠加作用强度不同,将沉积盆地划分为原型盆地、内源性热流体改造型盆地、外源性热流体改造叠加型盆地、多期次复源热流体改造叠加型盆地等四种主要类型。

(1)原型盆地。指在特定时期内特定的构造古地理位置,在相对稳定的地球动力学和盆地动力学条件下,形成的特定完整的构造-沉积体系、构造岩相学类型和相体组合。现今大洋内沉积盆地和大陆上沉积盆地均为原型盆地。地质历史时期原型盆地均经历了构造变形和构造-岩浆-热流体叠加改造,需要进行原型盆地恢复。在研究盆地基底构造层特征和构造演化、板块边界类型、沉积盆地与板块边界的相对位置、盆地构造古地理位置、初始成盆期和主成盆期的盆地动力学特征、盆地内沉积充填序列、多向沉积物源区分析、蚀源岩区和添加的深部物源识别、盆地构造反转特征等综合因素基础上,进行原型盆地恢复,如:①在萨热

克砂砾岩型铜多金属矿区,萨热克巴依次级盆地在侏罗世末—晚侏罗世原型盆地处于陆内走滑拉分断陷盆地构造反转期,也是萨热克砂砾岩型铜多金属矿床初始成矿期,原型盆地恢复为陆内走滑拉分断陷盆地。②在乌拉根砂砾岩型铅锌矿区,乌拉根局限海湾潟湖盆地原型盆地为晚白垩世—古近纪挤压—伸展转换盆地,康苏燕山晚期(晚白垩世)前陆冲断褶皱带驱动了侏罗系煤系烃源岩大规模生排烃事件,在克孜勒苏群第5岩性段硅质细砾岩中形成了铅锌矿层,为乌拉根局限海湾潟湖盆地正反转构造高峰期,前陆冲断褶皱带形成的挤压走滑抬升作用造就了乌拉根半岛构造;而阿尔塔什组底砾岩—高温热水岩溶白云质角砾岩中铅锌矿层和天青石矿层,为乌拉根局限海湾潟湖盆地负反转构造高峰期,局部伸展走滑拉分断陷盆地使乌拉根局限海湾潟湖盆地进一步增深成盆,演化为浅海相泥灰岩—生物碎屑灰岩,为砂砾岩型铅锌—天青石矿床保存提供了良好的构造岩相学条件。③塔西—塔北地区砂岩型铜矿床形成于古近纪—新近纪沉积盆地中,滴水砂岩型铜矿床和杨叶—花园砂岩型铜矿床形成的原型盆地为压陷周缘山间盆地。

原型盆地以盆地动力学类型为第一命名原则,如伸展转换盆地、伸展断陷盆地、挤压压陷盆地、挤压走滑拉分盆地、走滑拉分盆地、走滑拉分断陷盆地等。也可以采用构造—古地理位置和盆地动力学类型进行复合命名,如前陆挤压—伸展转换盆地、后陆走滑拉分断陷盆地、压陷周缘山间盆地、山前断陷盆地、山间断陷盆地等。

(2)内源性热流体改造型盆地。内源性热流体为原型盆地在盆地反转和构造改造过程中来自于原型盆地内部的成岩成矿成藏流体,如在萨热克巴依和乌拉根次级盆地中,来自侏罗系煤系烃源岩的富烃类还原性成矿流体和富 CO_2 - H_2S 非烃类还原性成矿流体,均为内源性成矿流体。

在原型盆地恢复研究的基础上,厘定内源性热流体是否存在、内源性热流体特征及其构造岩相学记录和地球化学岩相学记录,是厘定内源性热流体改造型盆地的关键基础。内源性热流体改造型盆地一般具有一期多阶段的内源性热流体地质作用。

多期内源性热改造流体型盆地指具有多期次内源性热流体地质作用,具有递进成熟演化的方向性,如在盆→山转换期的盆地正反转构造样式基础上,进一步演化为前展式薄皮型前陆冲断褶皱带,随着前展式薄皮型前陆冲断褶皱带构造变形强度增加,叠加后展式厚皮型前陆冲断褶皱带或对冲式厚皮型前陆冲断褶皱带。它们是沉积盆地在构造变形过程中,盆地流体和造山带流体大规模运移的驱动力和能量源区。

(3)外源性热流体改造叠加型盆地。外源性热流体来自盆地基底构造层和地壳—地幔尺度,以侵入型注入储集层,以岩浆侵入事件和区域性构造—岩浆—热事件叠加事件为区别性标志。如秦岭造山带柞山和凤太晚古生代陆缘拉分断陷盆地,受石炭纪—二叠纪幔源铁白云石钠长热流体角砾岩等叠加改造强烈,它们为外源性热流体改造叠加型盆地。外源性热流体改造叠加型盆地一般具有一期多阶段的外源性热流体地质作用,以壳源岩浆侵入作用或幔源岩浆侵入作用为主。

多期外源性热流体改造叠加型盆地一般具有多期次多阶段的外源性热流体地质作用,常发育多期次壳源岩浆侵入事件和多期次幔源岩浆侵入事件,热液蚀变相带和热液蚀变分带作用明显。

(4)多期次复源热流体改造叠加型盆地。以盆地基底构造层和盆内构造岩相层划分和