

西藏念青唐古拉地区



铅锌多金属矿床 特征与成矿规律

XIZANG NIANQING TANGGULA DIQU
QIANXIN DOUJINSHU KUANGCHUANG
TEZHENG YU CHENGKUANG GUILV

杜欣 著



中国地质大学 出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

西藏念青唐古拉地区 铅锌多金属矿床特征与成矿规律

杜 欣 著

内 容 提 要

本书以作者承担的“念青唐古拉地区成矿条件研究与找矿靶区优选和西藏念青唐古拉地区铜铅锌银矿产资源调查评价”项目成果资料为基础,通过地层层序分析、构造解析,及现代岩石学、矿床地球化学和成矿年代学等多种方法,系统分析了念青唐古拉成矿区自古生代以来的构造体制演化、铅锌多金属矿床特征、控矿要素、成因类型、矿床的时空分布规律及成矿系列,总结了不同类型矿床的综合找矿标志信息,圈定了矿产预测区和找矿靶区,为研究区进一步找矿明确了方向。

该书可供从事地质找矿、教学与研究人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

西藏念青唐古拉地区铅锌多金属矿床特征与成矿规律/杜欣著. —武汉:中国地质大学出版社, 2016.12

ISBN 978-7-5625-3937-7

I. ①西…

II. ①杜…

III. ①铅锌矿床-多金属矿床-成矿特征-研究-西藏 ②铅锌矿床-多金属矿床-成矿规律-研究-西藏

IV. ①P618.400.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 284684 号

西藏念青唐古拉地区铅锌多金属矿床特征与成矿规律

杜 欣 著

责任编辑:胡珞兰

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电 话:(027)67883511

传 真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

Http://www.cug.edu.cn

开本:880 毫米×1230 毫米 1/16

字数:350 千字 印张:11

版次:2016 年 12 月第 1 版

印次:2016 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—1000 册

ISBN 978-7-5625-3937-7

定价:88.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

念青唐古拉地区是雅鲁藏布江成矿区继冈底斯斑岩铜矿成矿带之后新发现的又一重要的铅锌多金属成矿带,是我国新发现的十大原材料接替基地之一。自 2000 年以来,笔者和项目团队一直在念青唐古拉地区承担地质科研和地质矿产调查评价项目工作。

本书在吸收、消化前人研究成果的基础上,紧密结合项目科研团队承担的地质科研与生产项目实施过程中遇到的关键科学问题,通过地层层序分析、构造解析,及现代岩石学、矿床地球化学和成矿年代学等多种方法,系统分析了念青唐古拉成矿区自古生代以来的构造体制演化、铅锌多金属矿的控矿要素、成因类型、矿床的时空分布规律及成矿系列,取得如下主要成果与认识。

(1)通过地层层序分析与构造解析,结合大比例尺地质剖面测量,总结了研究区不同部位的沉积-构造学特征和差异,分析认为研究区南北分布的上石炭统一下二叠统来姑组碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造具裂谷盆地沉积特征,来姑组建造具有深海-半深海斜坡相沉积特征,其间夹有基性和中酸性“双峰式”火山岩,并伴生热水沉积岩。研究区中部分布的来姑组建造具浅海相沉积特点,鲜有火山岩夹层,与其南、北两侧地层在沉积厚度上也有较大差异。结合区域构造演化特征,将念青唐古拉地区自南向北划“4 个Ⅳ级成矿地质构造单元,自南向北依次为扎雪-金达断隆、亚贵拉-龙玛拉断坳、都朗拉断隆、昂张-拉屋断坳。提出念青唐古拉地区构造演化为由晚古生代的断隆、断坳相间分布的地质构造格架至中生代转换为新特提斯构造背景下的岩浆弧的认识。

(2)系统开展了研究区典型矿床系统对比研究。通过对亚贵拉铅锌多金属矿、拉屋铜铅锌矿、蒙亚啊铅锌矿、新嘎果铅锌矿及昂张铅锌矿等典型矿床的对比研究,提出研究区存在三大成矿系列(4 个亚系列),即晚古生代海底喷流沉积铅-锌-重晶石-石膏矿床成矿系列、中生代燕山晚期与中酸性侵入岩浆活动有关的铁-铜-铅-锌-金矿床成矿系列、新生代早喜马拉雅期与中酸性侵入岩有关的钨-钼-铁-铅-锌矿床成矿亚系列及新生代晚喜马拉雅期与中酸性侵入岩有关的铜-钼-铁-铅-锌-银-金矿床成矿亚系列,建立了工作区热水沉积-岩浆热液叠加改造成矿模式。研究提出工作区主要矿种为铅锌银矿,主要找矿类型为层控型铅锌多金属矿和热液(矽卡岩)型钼铅锌多金属矿。层控型铅锌多金属矿赋存于断坳内的来姑组碎屑岩-碳酸盐岩建造中,热液(矽卡岩)型钼铅锌多金属矿则分布于断隆带岩浆岩外接触带的矽卡岩、角岩中或 0~3km 范围内的次级断裂破碎带内,为进一步找矿指明了方向。

(3)初步建立了大型矿集区尺度的铜铅锌多金属矿床组合模式。矿床组合模式是矿床形成过程的高度浓缩,也是找矿勘查一种有效的地质技术。地质、地球物理和地球化学多种技术方法的有效结合是找矿勘查实现重大突破的重要途径。通过在研究区开展大规模区域性地质矿产调查评价和矿床成矿系列研究,全面系统地分析和研究了区内地质、矿产、物探、化探、遥感等地质资料,从研究区成矿地质背景、入手,综合地质异常、物化遥(物探、化探、遥感)异常信息,从区域内筛选成矿远景区,并通过异常查证,逐步缩小找矿靶区,确定含矿地质体,择优进行钻探工程验证。采用补充地质调查、成因矿物学、稳定同位素、矿物包裹体及原生晕测试研究等手段,对区内新发现的典型矿床进行研究,分析了不同类型矿床的主要控矿条件和找矿标志,系统总结了区域铜铅锌多金属矿找矿标志及成矿规律,建立了铜铅锌多金属矿综合信息找矿预测模型和典型矿床成矿模式。该找

矿预测模型和成矿模式不仅对研究区层控型铅锌多金属矿和热液(矽卡岩)型钼铅锌多金属矿的发现和评价具有重要作用,而且对于整个冈底斯地区开展同类型矿床的找矿评价具有重要的指导意义,如金达找矿靶区应用热水沉积-岩浆热液叠加改造成矿模式在亚贵拉发现热水沉积岩和矽卡岩蚀变,然后通过地质填图配合大比例尺物化探剖面测量,发现赋存于火山碎屑岩与碳酸盐岩岩性界面的热水沉积-岩浆热液叠加改造型铅锌多金属超大型矿床。

(4)以成矿理论为指导,针对不同类型矿床,按照成矿模式,提出找矿思路和方向,同时,根据具体地质特征和岩石(矿石)的物性特征,建立有效的找矿技术方法组合,开展成矿预测和区域找矿评价研究,通过试验探索,结合找矿勘查部署,进行工程验证和控制。经过科技攻关,总结提出念青唐古拉地区科学找矿勘查程序,即在充分收集研究区内已有的地质、矿产、物探、化探、遥感资料的基础上,运用“3S”技术优选成矿远景区;在优选的成矿远景区开展1:5万化探扫面,进一步缩小找矿靶区。通过异常查证及矿点检查发现矿点、矿化点及找矿线索,选择有一定规模和远景的矿点开展普查评价,对主要矿体用探矿工程(钻探)验证,提交新发现矿产地和资源量。提炼的找矿技术方法组合为:“3S”技术+水系沉积物测量优选及缩小找矿靶区,大比例尺地质填图+土壤化探、激电剖面测量定位含矿地质体,工程验证圈定矿体。经反复实践,该技术方法组合在研究区是适用的和有效的。可以相信在相似的地质环境,这些方法组合仍然具有可借鉴性。

(5)全面系统地进行了区域成矿规律研究,总结了不同类型矿床的综合找矿标志信息,在成矿分析的基础上圈定了矿产预测区和找矿靶区,进一步明确了找矿方向。科学预测提出的成矿远景区16处,已提交矿产远景调查和矿产勘查项目验证,提出的成矿理论和有效找矿方法技术组合,被广泛应用于研究区部署的各类矿产勘查项目,均已取得了明显的效果,有力地指导了野外地质找矿工作。

本书是在河南省地质矿产局燕长海教授级高工、中国地质大学(北京)张寿庭教授的悉心指导下和项目科研团队的帮助下完成的。在研究过程中,受到中国地质科学院矿产资源研究所高一鸣博士、唐菊兴研究员的无私帮助,高一鸣博士在参加念青唐古拉地区成矿地质条件研究与找矿靶区优选项目过程中测试的许多稀土元素、微量元素及岩石年龄数据为本书提供了科学依据,唐菊兴研究员与笔者就研究工作多次交换意见,并一起讨论有关矿床成因等问题。在项目工作和本书撰写的过程中,笔者还得到了来自方方面面的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于笔者知识水平有限,文中错误和不足之处在所难免,敬请各位专家学者批评指正。

作者

2016年6月

目 录

1 绪 论	.....
1.1 选题依据与研究意义	.....
1.2 研究现状与问题	.....
1.2.1 研究现状	.....
1.2.2 存在问题	.....
1.3 拟解决的科学问题和研究内容	.....
1.3.1 拟解决的科学问题	.....
1.3.2 研究内容	.....
1.4 研究思路与研究方法	.....
1.4.1 研究思路	.....
1.4.2 研究方法	.....
1.5 完成的主要工作量	.....
1.6 取得的主要成果及创新点	.....
2 区域成矿地质背景	.....
2.1 区域地层及沉积建造特征	.....
2.2 区域构造及其演化特征	.....
2.2.1 区域构造特征	.....
2.2.2 区域构造演化	.....
2.3 岩浆活动及岩浆岩建造	.....
2.3.1 侵入岩	.....
2.3.2 火山岩	.....
2.4 区域地球物理特征	.....
2.4.1 区域重力场特征	.....
2.4.2 区域航磁场特征	.....
2.4.3 区域重力场、磁场反映的壳幔结构特征	.....
2.5 区域地球化学场特征	.....
2.6 构造体制演化与区域成矿作用	.....
2.6.1 晚古生代裂谷构造演化及其成矿作用	.....
2.6.2 中生代弧-盆演化及成矿作用	.....
2.6.3 新生代弧-陆碰撞及成矿作用	.....
3 典型矿床地质特征	.....
3.1 亚贵拉铅锌多金属矿床	.....
3.1.1 矿区地质特征	.....
3.1.2 矿体特征	.....
3.1.3 矿石特征	.....

3.1.4	成矿阶段划分	.....
3.2	拉屋铜铅锌多金属矿床	.....
3.2.1	矿区地质概况	.....
3.2.2	矿体特征	.....
3.2.3	矿石特征	.....
3.2.4	成矿阶段划分	.....
3.3	蒙亚啊铅锌矿床	.....
3.3.1	矿区地质概况	.....
3.3.2	矿体特征	.....
3.3.3	矿石特征	.....
3.3.4	成矿阶段划分	.....
3.4	新嘎果铅锌多金属矿床	.....
3.4.1	矿区地质概况	.....
3.4.2	矿体特征	.....
3.4.3	矿石特征	.....
3.4.4	成矿阶段划分	.....
3.5	昂张铅锌矿床	.....
3.5.1	矿区地质概况	.....
3.5.2	矿体特征	.....
3.5.3	矿石特征	.....
3.5.4	地球化学异常特征	.....
4	矿床地球化学	.....
4.1	矿石的元素地球化学	.....
4.1.1	成矿元素地球化学特征	.....
4.1.2	微量元素地球化学特征	.....
4.1.3	稀土元素地球化学特征	.....
4.1.4	同位素地球化学特征	.....
4.2	围岩的元素地球化学	.....
4.2.1	热水沉积岩的常量元素特征	.....
4.2.2	热水沉积岩的微量元素特征	.....
4.2.3	热水沉积岩的稀土元素特征	.....
4.3	岩浆岩地球化学特征	.....
4.3.1	亚贵拉岩浆岩地球化学	.....
4.3.2	新嘎果岩浆岩地球化学	.....
4.3.3	拉屋岩浆岩地球化学	.....
4.4	流体包裹体特征	.....
4.4.1	亚贵拉矿床流体包裹体	.....
4.4.2	蒙亚啊矿床流体包裹体	.....
4.4.3	新嘎果矿床流体包裹体	.....
4.4.4	拉屋矿床流体包裹体	.....
5	矿床成因类型及成矿模式	.....
5.1	区域控矿地质条件	.....

5.1.1	地层因素对成矿的控制	
5.1.2	构造因素对成矿的控制	
5.1.3	岩浆岩因素对成矿的控制	
5.2	矿床成因类型及成矿模式	
5.2.1	成矿时期划分	
5.2.2	矿床成因及成矿模式	
5.3	找矿准则确定及找矿模型建立	
5.3.1	找矿预测准则	
5.3.2	找矿模型的建立	
6	区域成矿规律及找矿预测	
6.1	矿床空间分布规律	
6.1.1	矿床丛聚性分布规律	
6.1.2	矿床带状分布规律	
6.2	矿床时间分布规律	
6.2.1	石炭纪—二叠纪成矿	
6.2.2	中生代成矿	
6.2.3	新生代成矿	
6.3	矿床成矿系列	
6.3.1	海西期喷流-沉积铜-铅-锌-重晶石-石膏矿床成矿系列	
6.3.2	与燕山期中酸性侵入岩有关的铁-铜-铅-锌矿床成矿系列	
6.3.3	与早喜马拉雅期中酸性侵入岩有关的钨-钼-铁-铅-锌-银-金矿床成矿亚系列 ...	
6.3.4	与晚喜马拉雅期中酸性侵入岩有关的铜-钼-铁-铅-锌-银-金矿床成矿亚系列 ...	
6.4	成矿远景区划分	
6.5	主要成矿远景区评价	
6.5.1	拉屋铜铅锌成矿远景区(A1)	
6.5.2	昂张铅锌多金属找矿远景区(A2)	
6.5.3	勒青拉-新嘎果铅锌银铁成矿远景区(A3)	
6.5.4	扎雪铅锌银成矿远景区(A4)	
6.5.5	亚贵拉钼铅锌多金属找矿远景区(A5)	
6.5.6	野达松多铜铅锌多金属成矿远景区(A6)	
6.6	找矿方向	
7	结束语	
7.1	取得主要成果	
7.2	存在问题与不足	
	参考文献	

1 绪 论

1.1 选题依据与研究意义

念青唐古拉地区是雅鲁藏布江成矿区的重要组成部分,是雅鲁藏布江成矿区内继冈底斯斑岩铜矿成矿带之后新发现的又一重要的铅锌多金属成矿带,是我国新发现的十大原材料接替基地之一。该区大地构造位置处于冈瓦纳北缘晚古生代—中生代冈底斯—喜马拉雅构造区中北部,属Ⅲ级大地构造单元隆格尔—工布江达弧背断隆带的主体组成部分(刘增乾等,1990)。由于研究区经历长期复杂的地质构造演化历史,发育多期区域性构造—热事件,不同时期、不同类型的构造形迹叠加在一起,形成复杂的区域构造格架(图 1-1)。

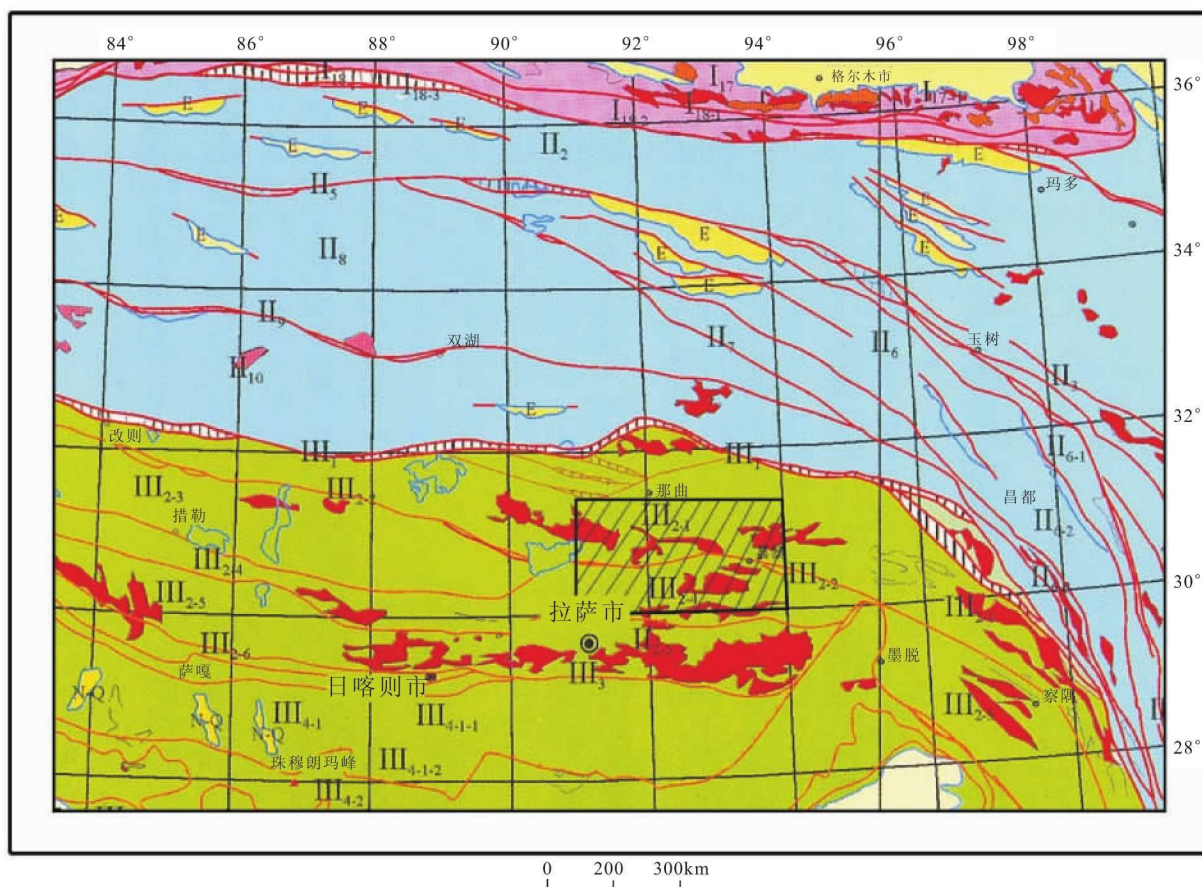


图 1-1 研究区大地构造位置图(据潘桂棠等,2004,略作修改)

近年来,研究区内部署的矿产评价和矿产远景调查工作发现 10 余个具大型规模的铅锌多金属矿床和一批重要的异常及矿产地,彰显出世界级成矿带的资源潜力。但是,研究区以往工作多为中小比例尺区域矿产调查与矿产评价。虽然,以往工作从不同方面对区内地层、构造、岩浆岩,及区域地球化学、区域矿产进行了总结,提出了区内铅锌多金属矿受层位控制明显、成矿条件好、资源潜力大的认识,并对新发现的拉屋、亚贵拉等典型矿床成因进行了初步、,得出矿床类型为层状矽卡岩型的观点(杜欣等, 2004),但对研究区成矿地质条件、成矿机制、成矿规律的研究缺乏深度,对成矿特征的认识片面,对区内多金属成矿受燕山晚期和喜马拉雅期花岗质岩体控制的认识与很多新发现的矿产地实际情况不符。许多地质勘查和研究成果证实,念青唐古拉地区是铅锌多金属成矿的有利地区,具有大型—特大型矿床的成矿条件。目前,研究区铅锌多金属矿的成因类型与成矿规律研究薄弱。研究念青唐古拉地区铅锌多金属成矿类型与成矿规律,指明下一阶段找矿方向,为本区开展更深入的地质找矿工作提供理论支持,是目前最急需解决的关键地质问题。

本研究选题源自于作者承担的“念青唐古拉地区成矿条件研究与找矿靶区优选和西藏念青唐古拉地区铜铅锌银矿产资源调查评价”项目。在以往工作成果资料的基础上,通过分析区域控岩、控矿构造及其时空演化,查明研究区构造-岩浆-沉积-成矿的时空结构及其演化,、典型矿床成因类型,总结成矿规律和找矿标志,研究大型矿聚区形成机理,建立念青唐古拉特色的矿床成矿模式和找矿模型,开展有针对性和有效的成矿预测,为研究区进一步部署开展地质找矿工作指明方向。该研究工作具有重要的理论和实践意义。

1.2 研究现状与问题

1.2.1 研究现状

1.2.1.1 区域矿产研究现状

研究区范围限定于川藏公路(318 线)与青藏公路(青藏铁路)及纳木错-嘉黎断裂带夹持的念青唐古拉山腹地。独特的自然地理环境致使区内地质矿产研究程度较低。

区内零星的地质工作始于 20 世纪 50 年代,以李璞为首的中国科学院西藏工作队地质组率先进行了地质矿产路线调查。大规模的地质工作始于 20 世纪 70 年代,先后有原地质矿产部航空物探大队、西藏自治区地质矿产厅综合普查大队和物探大队、江西省地质矿产厅物化探大队、河南省地质矿产厅区域地质调查队等单位在研究区及邻区相继开展了地质工作,主要进行小比例尺的区域性地质、物化探扫面以及零星的化探异常查证和矿点检查。

自 2000 年国土资源大调查工作实施以来,河南省地质调查院承担中国地质调查局大调查项目,在念青唐古拉地区的、—嘉黎一带开展了铜铅锌矿产资源调查评价工作,对该区的铅锌多金属矿的成矿地质特征进行了初步研究,对拉屋、亚贵拉等矿床成因进行了初步、(杜欣等, 2010)。在此基础上,初步建立了当雄县拉屋—嘉黎县同德一带综合信息找矿模型,提出该区铅锌银多金属矿可能是海底喷流矿床的认识,认为矿化产出部位与地层、岩性有着密切的成因联系,铅锌多金属矿体产出受特定的热水沉积岩、喷流岩层位控制。张旺生等(2009)提出矽卡岩中可能存在由透辉石、钙质斜长石等矿物组成的热水交代成因的沉积型矽卡岩,进而提出矿区发育有一套喷流系统成因的热水沉积岩和喷流岩层。2003—2007 年,国家“973”项目——“西藏雅鲁藏布江成矿区东段铜多金属勘查”的实施,李光明等(2004)对林周盆地内的铅锌银多金属矿开展了初步研究,提出了研究区存在与燕山期花岗质岩石有关的铜-铁-铅-锌-银矿床成矿系列的认识。唐菊兴、肖克炎(2007)在执行国家科技支撑计划项目“中西部大型矿产基地综合勘查技术与示范”课题——“西部优势矿产资源潜力评价技术及应用研究”中,通过对

区内洞中拉铅锌多金属矿、蒙亚啊铅锌铜多金属矿、沙让钼矿、亚贵拉铅锌多金属矿的初步研究,认为该类矿床与壳内岩浆活动有密切的关系,矿床明显受层位控制,找矿标志明显,成矿潜力大。

通过文献检索,近 10 年,在国内外公开出版或核心期刊上发表的有关青藏高原冈底斯成矿区研究方面的学术论文(著作)共计 100 余篇(部)。其中,涉及到念青唐古拉地区研究方面的学术论文 30 余篇,其中涉及本研究区的学术论文约 20 篇。各类文献报道的多是局部基础地质方面研究的新进展,为本次研究提供了重要的基础资料。如许志琴等(2007)从松多到加兴,在晚古生代石英岩和碳酸盐岩地层中发现了一条近东西走向的榴辉岩带,测定石榴石-绿辉石-全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 (269 ± 17) Ma,表明在晚二叠世末期,拉萨地块内部至少发生过一期洋壳俯冲事件。以松多榴辉岩为代表的洋壳俯冲事件表明拉萨地块的形成有可能是一系列微陆块碰撞拼贴而成。念青唐古拉岩群中变质深成体锆石 SHRIMP 年龄测定为 $(787 \pm 9) \sim (748 \pm 8)$ Ma,念青唐古拉岩群的形成时代与喜马拉雅结晶岩系形成时代相当。拉斑玄武岩和花岗岩中继承锆石给出 1766~947 Ma 的中元古代年龄和正的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,表明念青唐古拉岩群中基性岩来源于亏损地幔并受到古老地壳物质的混染,Nd 模式年龄和继承锆石 U-Pb 年龄均指示新元古代时期拉萨地块存在中元古代基底(胡道功,2005)。刘葵、赵文津等(2005)以深反射地震资料和大地球磁测深资料对念青唐古拉地区地壳构造特征进行了深入细致的研究,通过对深反射地震资料的地震相分析以及与大地电磁测深资料对比得出 16~22 km 深度的部分熔融体是多个独立穹隆的新认识。

上述研究表明:研究区地质构造演化较为复杂,其构造演化不能简单地以新特提斯洋俯冲、印度板块与欧亚板块碰撞及碰撞后伸展进行演化阶段划分,其实,研究区所经历的地质构造演化过程复杂得多。新特提斯洋俯冲之前的地质构造演化,尤其是古生代及其以前的构造演化研究应放在冈瓦纳古陆大背景下进行。在公开发表的文献中,大多数文献是对近年来公益性地质工作在研究区新发现的矿床个体进行的矿床特征、地球物理、地球化学、成因类型、找矿潜力及勘查评价技术等方面的研究,而区域成矿地质条件、成矿特征、成矿机制、成矿系统及成矿规律等方面的研究较薄弱。

目前,对冈底斯-念青唐古拉成矿区矿床的系统对比研究有待深入,且主要集中于亚贵拉、蒙亚啊、洞中拉、拉屋等少数几个矿床,且成因认识并不统一。2008 年以来,程顺波(2008)和王立强等(2010)通过对蒙亚啊铅锌矿的 S、Pb 同位素研究,认为矿床中 S 主要来源于深部岩浆,Pb 主要为上地壳来源,矿床可能是上地壳部分熔融、成矿物质从基底地层活化分离并聚集沉淀所形成。费光春等(2010)通过对洞中拉矿床各矿化阶段石英、方解石流体 H_2O 体均一温度、盐度、密度、压力和流体 H_2O 体成分等诸多方面的初步研究,认为洞中拉铅锌矿床成矿流体属中低温、低盐度、中低密度流体,形成于低压(26.47~67.03 MPa)浅成环境(0.96~2.44 km)。矿床的流体 H_2O 体 H-O 同位素、 N_2 -Ar-He 图解和离子比值反映出成矿流体可能主要来源于大气降水。费光春等(2010)通过石英激光探针 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年,获得 42.2 Ma 的成矿年龄。对亚贵拉矿床的成因认识,目前存在两种截然不同的观点,连永牢等(2009)通过对亚贵拉矿床岩、矿石稀土元素地球化学特征及硫同位素研究,结合氢、氧同位素组成,提出成矿物质主要来自深部物源区,成矿流体为岩浆水和变质水组成的混合水的认识,进而提出亚贵拉矿床既具有明显的热液沉积特征,又表现出岩浆热液成矿的特点。高一鸣等(2009)通过对亚贵拉矿床与矽卡岩化密切相关的石英斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年(130.6~126.7 Ma),提出该矿床应与岩浆作用有关,实为矽卡岩型矿床。高一鸣等(2010)又通过矿床中细脉状辉钼矿 Re-Os 同位素测年,获得辉钼矿 65 Ma 左右的成矿年龄,提出矿床具多期次、多阶段的成矿特征。

1.2.1.2 铅锌成矿理论研究现状

1) 成矿系统研究

近年来,许多学者致力于成矿系统研究(翟裕生,1999,2000,2010;姚书振等,2011),但针对铅锌矿成矿系统研究却不多见。芮宗瑶(2004)研究提出铅锌多金属矿的 4 个成矿系统,即花岗质岩浆-热液成矿系统、海底含铅锌锰结核成矿系统、盆地萃取热卤水成矿系统以及大陆红土化铅锌成矿系统。其中,

盆地萃取热卤水成矿系统和花岗质岩浆-热液成矿系统基本涵盖了铅锌矿的各类矿床。盆地萃取热卤水成矿系统的海相火山岩盆地萃取热卤水成矿亚系统和海相沉积岩盆地萃取热卤水成矿亚系统同属同生矿床;其他亚系统均为后生矿床。盆地萃取热卤水成矿系统主要发生于板块拉张环境,只有陆相火山岩盆地和复杂陆相盆地萃取热卤水成矿亚系统多形成于板块聚合的大背景。

2) 成矿年代学研究

铅锌矿的成矿时代问题至今仍是一个难题,主要因为成矿年龄难以直接测定。由于后生作用的叠加改造,现有测年方法的取样介质大多不能满足分析要求,铅锌硫化物矿床还没有找到直接分析测年的有效方法。多数情况下,铅锌矿成矿年代学研究仅给出的是一个成矿时限,具体成矿年龄尚不能确定。

全球范围内,约 47% 的铅锌储量由海底喷流沉积矿床(SEDEX)贡献,该类矿床的成矿环境主要为(19~14)亿年的古一中元古代和(5.3~3)亿年的早一中生代的被动大陆边缘;约 1/5(19%)铅锌储量由密西西比河谷型(MVT)提供,该类矿床多产于古生代的寒武纪和泥盆纪。该时期的地壳稳定性较好,岩浆作用相对较弱,有利于礁灰岩相的沉积,为 MVT 铅锌矿富集提供了先决条件;海底火山岩喷流沉积硫化物矿床(VMS)提供的资源量约占世界铅锌储量的 1/10(约占 8%)。与该矿床相伴的中酸性火山碎屑岩发育,其成矿的时限跨度长,自太古宙一直持续到现代海底的黑烟囱。我国与陆相火山岩有关的铅锌矿床主要赋存于中新生代的火山断陷盆地内,赋矿岩石主要为晚侏罗世和古近纪的安山岩、晶屑凝灰岩、流纹质凝灰岩、流纹岩等。

金顶铅锌矿是我国著名的超大型矿床,赋存于中新生代思茅盆地的北缘,其成矿地质条件、成矿流体性质与 MVT 矿床相似。研究表明成矿流体为盆地演化的油气卤水,上三叠统、侏罗系和白垩系推覆于古近系之上,构成复杂陆相盆地系统。成矿时代推测与 65~35Ma 藏东滇西走滑事件有关。

与花岗质岩浆-热液有关的铅锌矿床主要分布于古特提斯造山带、古亚洲造山带和环太平洋造山带内,成矿时代自古生代、中新生代至新生代均有产生。例如秘鲁的塞罗德帕斯科矿床形成于中生代,资源储量大于 $500 \times 10^4 \text{ t}$;前南斯拉夫特雷普查砂卡岩型铅锌矿和美国宾尼姆外围的砂卡岩型铅锌矿形成于新生代。我国与花岗质岩浆有关的铅锌矿床成矿与世界基本同步,分属于古特提斯成矿域、古亚洲成矿域和环太平洋成矿域。

3) 成矿物质来源研究

铅锌主要源自地壳。根据世界 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上超大型铅锌矿床资料统计,几乎 100% 的铅锌矿床均赋存于地壳岩石中。大洋壳硅镁质岩石中几乎没有铅锌矿的产出。VMS 矿床赋存特征表明,铅锌矿伴随长英质火山岩的发育而富集。重要的铅锌矿床均产于被动大陆边缘,容矿岩石主要有碳酸盐岩、粉砂岩和页岩。通常情况下,Pb、Zn 元素可能以类质同象形式赋存于长石类和黏土类矿物中,当孔隙溶液温度大于 250°C ,特别是含一定盐度和 CH_4 、 CO_2 、油气等挥发分时,则铅锌等矿质容易从矿物晶格中被萃取出来进入溶液。这种含 Pb、Zn 成矿元素的热水溶液从高化学位或较高物理化学梯度的区域向低化学位或较低物理化学梯度的地方迁移。例如在盆地边缘和盆地中上部的礁灰岩相与另一种含 H_2S 的温度相对低的溶液混合,铅锌等矿质则沉淀出来,形成后生铅锌矿床。

4) 区域成矿规律研究

根据世界大于 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 资源储量的铅锌矿床统计,VMS→SEDEX→MVT→砂卡岩型+斑岩型+脉状型矿床的成矿时代呈由老至新的趋势。VMS 矿床最早形成于太古宙,SEDEX 矿床以元古宙最盛,MVT 矿床以古生代最发育,而与花岗质岩有关的砂卡岩型矿床则以中新生代发育。巨型铅锌矿床产出的构造环境主要是大型克拉通及其被动大陆边缘。

诸如:世界上最老的 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上铅锌矿床——基德克里克(Kidd Creek)铅锌矿,成矿时代为太古宙,其产于加拿大地盾的陆核中;巴瑟斯特 VMS 矿床赋存在加拿大地盾元古宙造山带内;寒武纪形成的法罗(Faro)SEDEX 铅锌矿床、志留纪形成的霍华兹山口(Howards Pass)SEDEX 铅锌矿床、泥盆纪形成的托姆(Tom)和贾森(Jason)SEDEX 铅锌矿床及石炭纪形成的奎克(Cique)SEDEX 矿床则分布于加拿大地盾西南缘的塞尔温克拉通边缘海湾;派因波因特(Pine Point)MVT 铅锌矿床赋存于加拿

大地盾东南部中泥盆世碳酸盐陆棚上。

在澳大利亚中部元古宙冒地槽中形成一系列超大型铅锌矿床。例如:克阿瑟河(McArthur River)和芒特艾萨(Mount Isa)等;东部古生代优地槽中孕育了伍德朗(Woodlawn)VMS矿床。而在十元古宙时期的冒地槽中赋存有块状、层—纹状硫化物矿床,例如南非的阿格尼斯(Aggeney's,新元古代)、布罗肯希尔(Broken Hill,新元古代)和甘斯堡(Gamsberg,新元古代)等。

美国中东部克拉通碳酸盐岩台地发育,其中,发育一系列密西西比河谷型(MVT)铅锌矿床。主要有老铅矿带(Old Lead Belt)、三州矿区(Tri State)维伯纳姆带(Viburnum Trend)和玛斯科特(Mascot)等。美国阿拉斯加西北部冒地槽区分布有红狗(Red Dog)SEDEX 铅锌矿床。

欧洲块状硫化物(MVT)成矿主要有4个成矿时期,分别是元古宙—志留纪、志留纪—早泥盆世、石炭纪及三叠纪。欧洲中部的SEDEX 铅锌矿床的主要成矿时代主要为泥盆纪和石炭纪。

亚洲与海底火山作用有关的大型—超大型块状硫化物铅锌矿床有两个重要成矿时期:古生代和新近纪。亚洲SEDEX 矿床主要分布于中国、朝鲜和印度,成矿时期主要有两个:一是元古宙,代表性矿床为中国的东升庙,朝鲜的检德(Komdok)及印度的兰普拉—阿古恰(Rumpura—Agucha);另一个是泥盆纪,如中国的厂坝(中泥盆世)。此外,亚洲成矿域MVT 铅锌矿床也较发育,诸如中国的凡口(中泥盆世—中晚石炭世)。由于亚洲陆块由多个小型陆块聚集,地质构造复杂,古近纪时期在印度洋扩张作用带动下,形成产于推覆带复杂背景下的中国金顶铅锌矿床(古近纪)。

5) 主要成矿模式

目前,针对SEDEX、VMS和MVT三类矿床已推出较为完善的成矿模式,其他类型矿床尽管也提出了多种成矿模式,但是认识无法统一,难以应用。

(1)SEDEX 矿床成矿模式。SEDEX 矿床区域构造成矿模式由Large D E (1981) 首先推出。他汇集三级盆地的特点提出的成矿模式为:从盆地深部地层萃取了Pb、Zn、Ag等成矿元素的热液溶液,通过同生断层喷涌到海底系统。含矿热液溶液在喷涌过程中,首先在同生断层(即角砾岩筒,亦即补给带)上部析出磁黄铁矿和黄铜矿等,形成细脉/网脉浸染状矿石。这类矿石具有后生成矿特征,并具有较强的热液蚀变。当热液溶液喷涌至海底与海水发生混合时,即沉淀析出黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、重晶石以及赤铁矿等矿物,形成层状矿体,后者上盘无热液蚀变,矿体与围岩整合接触。

(2)VMS 成矿模式。Hutchinson R W (1980) 首先推出了MVS 矿床成矿模式,用板块构造的对流循环机制解释了MVS的形成,并对时下流行的“黄矿”和“黑矿”成因进行了阐释。

Franklin 等(1981)根据块状—层纹状贱金属矿床与海底火山机构的关系,提出了该类矿床的经典成因模式。该模式建立了贱金属块状—层纹状矿的富集与海底火山机构的关系,将火山机构与断裂系统、对流循环系统联系起来,建立了与潜火山侵入体有关的岩浆水、海水和大气降水之间的循环机制,较好地解释了多金属的分带特征。Horikoshi E 和 Sato T (1970) 及 Sato T (1974) 推出了日本黑矿成矿模式:赋存于日本中新世弧后盆地的“黑矿”,受中新世断裂和弧后扩张海盆双重控制,矿带长1500km,宽100km。容矿岩石为凝灰岩,含矿岩系由火山岩和沉积岩组成,厚度达3000m。

(3)MVT 矿床成矿模式。MVT(Mississippi valley type ore)矿床的成矿机制众说纷纭。总体而言,该类矿床远离火成事件,矿体赋存于稳定的大型克拉通碳酸盐盆地,赋矿层位众多,为典型的后生矿床。一般地,矿体受白云岩控制,呈不规则状顺层或垂直层理产出。矿石具有特殊的构造类型,赋矿岩石通常为充填角砾岩、充填角砾岩的粗粒岩石和膨胀角砾岩的细粒岩石。角砾岩由磨圆度较差的粗粒白云岩碎块和细粒白云岩碎块组成。多金属矿物多以充填物形式和脉石矿物一起沉淀,呈条带状、浸染状及网脉状构造。岩石的孔隙度是该类矿床矿石品位主要的控制因素。

(4)金顶铅锌矿成矿模式。朱上庆和覃功炯(1995)给出了金顶铅锌矿较为完善的成矿模式。该模式较好地诠释了复杂条件下陆相碎屑岩盆地形成超大型铅锌矿床的机制。金顶铅锌矿产于中新生代陆相兰坪盆地,大规模的盆地缩短和同生深断裂为盆地热卤水排放提供了驱动力和有利的构造场所。当含Pb、Zn、Ag、Sr、Hg等元素的热卤水沿同生断裂和推覆—滑覆构造带运移、上升,与富含还原硫的地下

水相遇,发生矿质卸载,形成多金属矿体。

(5)蔡家营铅锌矿成矿模式。黄典豪(1992)提出的蔡家营矿床模式可以作为脉状铅锌矿的经典成矿模式。该矿位于华北陆块北缘新太古代优地槽区,在中生代构造岩浆带强烈活动的影响下,形成一系列隆起、拗陷和有关矿床。蔡家营铅锌矿体赋存于中生代斑岩体外侧的变质岩和火山碎屑岩建造中的陡倾斜裂隙系统中。矿体呈脉状,多以隐伏一半隐伏状态产生,局部有分支复合、膨大尖缩现象,规模大小不一。

6) 铅锌矿成矿流体地球化学研究

成矿流体是各种成矿物质运移的载体,从古老的矿床到现代的地热活动区,从大洋→岛弧→大陆内部,一些大型、超大型矿床的形成都与热水流体作用有密切关系。

现代地热区的热水流体研究表明,海底热水活动区与大陆地热区是成矿作用的发生区。因而,我们可以通过对现代大洋底部热水活动规律及对热水喷流成矿作用模式进行总结,借以指导地质历史时期矿床成因研究。

热水溶液主要是卤水,含有溶解的盐类主要有 KCl 、 NaCl 、 CaSO_4 和 CaCl_2 等。盐度范围从海水 3.5% NaCl 的盐度到海水盐度的十几倍。这样的热水溶液能够溶解相当量的 Au 、 Ag 、 Cu 、 Pb 、 Zn 等金属离子,尤其,高温热水溶解金属的能力更为显著。

肖荣阁等(2008)根据成矿流体的化学成分研究,将成矿流体划分为一般热水溶液、富 CO_2 热水溶液、富 NaCl 热水溶液等。根据地质作用的不同,按照流体溶质成分及温度进行,又将热水溶液分为高温硅钾热水溶液、中温碳酸盐热水溶液和低温硫酸盐热水溶液等。

流体 δ 体研究是了解成矿流体温度、盐度、组分等成矿信息的重要途径。目前,利用流体 δ 体可测定成矿流体的温度、盐度、组分及同位素组成等丰富的成矿信息。显微冷热台成矿温度测定、盐度测定和成矿压力的估算,离子探针、激光拉曼光谱挥发组分分析、气液相色谱(离子色谱)分析及流体包裹体同位素、微量元素研究等流体 δ 体研究取得长足进展。

1.2.2 存在问题

该区以往开展的地质工作多为区域性、基础性地质调查与研究。由于自然条件的限制,尽管以往工作对本区的构造活动、岩浆作用、成矿特征都有不同程度的涉及,但对研究区的成矿地质条件、成矿机制、成矿规律的综合研究缺乏深度,研究区地质找矿工作程度仍较低,大量的商业性勘查成果尚未系统整理和综合研究。存在的问题主要表现在:

(1)缺乏对典型矿床的深入研究。对典型矿床的研究,一方面,可以丰富矿床成矿理论;另一方面,通过研究可以建立矿床模型,反过来又可指导区域找矿。随着工作程度的不断深入,该成矿带的很多矿床(点)已经具备条件开展典型矿床的研究。

(2)区内大地构造演化及成矿规律研究十分薄弱。根据印度大陆向亚洲大陆俯冲-碰撞的成矿系列理论,俯冲阶段成矿(180~65Ma)已经得到证实,并在西藏谢通门县雄村铜矿取得重大找矿突破;冈底斯东段发现的大型—超大型斑岩铜(钼)矿床(17~13Ma),专家学者将其归于碰撞后;而 180Ma 之前漫长的地质演化过程中形成的矿床及成矿系列还不被人们所认知,需要我们进一步加强研究。

(3)已发现的矿床控矿因素和矿床成因类型存在较大争议,仅凭个别矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测定年龄,无法解决研究区成矿的时限问题。区内典型矿床研究缺乏深度,成矿期次划:不清楚,成矿特征研究不深入,典型矿床的对比研究尚属空白。

(4)区内的主要地层包括上石炭统一下二叠统的来姑组、中二叠统的洛巴堆组、前石炭纪的松多岩群等对成矿的贡献知之甚少,需要开展沉积层序学、矿床地球化学、构造地球化学等方面的研究,来判断地层在成矿过程中扮演的角色。

(5)现在发现的主要矿床类型包括斑岩型钼矿(沙让钼矿)、层控型铅锌多金属矿(亚贵拉、洞中拉、蒙亚啊、昂张、拉屋等),需要从岩石学、矿物学、微量元素地球化学、同位素地球化学等方面进行研究,以确定晚古生代岩浆活动和燕山晚期—喜马拉雅早期岩浆活动对成矿的贡献。

1.3 拟解决的科学问题和研究内容

1.3.1 拟解决的科学问题

本次研究面临的关键科学问题很多,如研究区主要的铅锌多金属矿床成矿的构造环境如何,有待深入研究;典型矿床成因类型存在“岩浆派”和“沉积派”之争,成矿期次划分不清,成矿时限缺乏依据和数据支撑;晚古生代沉积建造对成矿的控制作用有待深入研究;念青唐古拉地区南、北两个成矿亚带(昂张-拉屋、亚贵拉-龙玛拉)的典型矿床对比研究尚属空白;主要矿集区岩浆作用对铅锌多金属成矿的贡献如何,岩浆成矿作用起主导作用还是锦上添花等。

根据念青唐古拉地区铅锌多金属矿床研究现状,结合依托项目的目标任务,在系统收集整理研究区内地质、矿产、地球物理、地球化学、遥感资料的基础上,确定本书研究拟解决的关键科学问题是:在前人工作的基础上,通过区域矿床调查和典型矿床解剖,研究和分析研究区铅锌多金属矿主要控矿因素,确定主要铅锌矿床的成因类型、成矿时限,划分铅锌多金属矿床成矿系列,总结念青唐古拉地区铅锌多金属矿成矿特征及成矿规律,开展成矿预测研究,确定进一步找矿方向。

1.3.2 研究内容

在全面收集研究区已有的基础地质、地球物理、地球化学、遥感地质、矿产地质和科研成果等有关资料数据并对其进行处理的基础上,从沉积建造与成矿、岩浆过程与成矿两方面深入研究工作区沉积建造与成矿性、岩浆过程与成矿控制,分析区内构造岩浆岩带演化特征及其成矿控矿作用。通过典型矿床研究,基本查明研究区铅锌多金属矿的主要控矿地质因素,提取找矿标志,总结区域成矿规律,建立不同成因类型矿床的成矿模式和找矿预测模型,进而指导矿产资源调查评价工作,为进一步找矿勘查提供新的找矿靶区。主要研究内容体现在以下几个方面:

(1)成矿地质背景研究。通过综合前人有关区域地质、区域地球物理、区域地球化学研究成果,结合必要的区域地质剖面调查,厘定区域成矿的大地构造背景及其演化过程,为区域成矿规律总结提供宏观的理论依据。

(2)区内有关的控矿地质条件研究。研究各种控矿因素对成矿的具体贡献以及不同控矿因素的耦合致矿作用。具体包括:

①通过对区域内近东西向、北西向、北东向构造的组成要素,具体特征,形成演化及其控矿作用的研究,最终厘定区域内的控矿构造格架。

②通过成矿动力学及物质演化等途径对区内岩浆活动的总体特征进行研究,进而查明它与成矿的内在联系。特别是对区内大规模发育的燕山期—喜马拉雅期中酸性侵入体的时空分布和成矿特征进行深入的研究,从中总结区内岩浆岩的成矿专属性;对区内火山活动的基本特征及其与成矿的关系进行一定程度的探讨。

③对区内的地层、岩性特征进行综合分析,重点查明区内重要含矿沉积建造的基本特征及古环境特征,进而查明有关的地层岩性,特别是石炭纪—二叠纪地层及其细碎屑岩、碳酸盐岩岩石对区内不同类型(如砂卡岩型和层控型)矿床的具体控制作用。

④从成矿地质特征、物质建造特征、共生组合特征、时空分布特征等方面,对区内已知的拉屋铜锌矿、亚贵拉铅锌矿、蒙亚啊铅锌矿和新嘎果铅锌多金属矿等典型矿床进行重点剖析,从而为总结区内成矿规律和同类矿床的找矿准则奠定基础,为区内新类型矿床的找寻提供依据。

⑤从区域矿床时、空分布,物质来源和共生组合等诸方面对区域成矿规律进行研究和总结,构建区域成矿系统,划分不同级别的成矿单元,建立区域成矿模型,为区域成矿预测提供理论依据。

1.4 研究思路与研究方法

1.4.1 研究思路

研究工作部署在青藏高原腹地的念青唐古拉地区,以研究区实施的念青唐古拉地区成矿条件研究与找矿靶区优选和区内实施的矿产资源调查评价项目为依托,以成矿系统理论为指导,在全面收集研究区已有的地质、矿产、物探、化探、遥感资料的基础上,利用计算机和 GIS 技术充分挖掘铜铅锌多金属矿的有关信息。依托区内实施的矿产调查评价项目,开展路线调查和剖面测制,以构造解析手段查明剖面岩石序列关系,厘定研究区地层层序,研究成矿地质构造背景和变质变形历程及其与成矿的关系。依托区内开展的念青唐古拉地区成矿条件研究与找矿靶区优选项目,从区内典型矿床剖析入手,建立典型矿床成矿系统的空间-时间结构格架,厘定矿床成矿系列。以成矿系统和矿床成矿系列等学术思想为指导,采用地质调查、稳定同位素、矿物包裹体及岩矿石微量元素和稀土元素测试研究等手段,对拉屋铜铅锌矿、亚贵拉铅锌多金属矿、蒙亚啊铅锌矿、新嘎果铅锌多金属矿、昂张铅锌矿等典型矿床进行重点解剖,总结区域控矿条件和找矿标志,在 GIS 平台支持下,总结区域成矿规律,建立区域铅锌多金属矿成矿模式,开展成矿预测研究,圈定成矿远景区,建立地质找矿勘查模型。

1.4.2 研究方法

研究方法的选择以行之有效、经济实用为原则,在重视野外第一手地质资料及收集前人已有工作成果资料的基础上,加强新理论的指导和新技术、新方法的应用。通过各种方法的有机组合,保证研究工作的顺利实施。采用的研究方法如下:

(1)利用地层层序分析、构造解析和现代岩石学研究方法,配合必要的地质剖面测制,探讨区内的地质演化、构造演化与成矿演化的关系,特别是对铜铅锌矿化的成矿类型及空间分布的制约。

(2)根据成矿系统的观点和理论,从念青唐古拉地区基本成矿地质背景及成矿特征分析入手,剖析基本成矿地质条件和已知成矿特征的内在联系,从中总结区内不同地层岩性、不同时期岩浆活动,不同级别、类型的构造对区内不同类型矿化的具体成矿贡献。

(3)利用系统分析方法对区内的矿田、矿床、矿体进行多层次的系统分析,揭示成矿系统的有机构成及深层次的联系和制约关系;配合专门性的立体综合制图方法及各种现代测试技术,从多方位揭示区内铜多金属矿化的富集规律和空间定位规律。矿床成矿规律研究方面主要从以下两个方面进行:①矿集区综合物探、化探地质剖面研究。在选择的重要矿集区范围内,通过主要矿床部位,测制地质-高精度磁法、电磁法-土壤、岩石地球化学剖面,从构造、沉积建造、岩浆建造等不同角度,建立已知矿床之间的成因联系;②重要矿床和矿化点、典型岩体研究。主要是微迹元素地球化学研究,这里的微迹元素包括大离子亲石元素、稀土元素以及挥发性元素。通过同位素地球化学研究、流体地球化学研究,矿床或岩体中各类样品按剖面顺序采集,以便于对比研究。

(4)用综合信息方法、地质类比法、趋势外推法、地质求异法等行之有效的预测方法,通过计算机信息综合处理和提取技术对区内成矿前景进行科学的综合评价和相应的成矿预测。

1.5 完成的主要工作量

本研究工作自 2009 年 9 月开始,于 2013 年 9 月结束,历时 4 年。完成的主要工作量见表 1-1。

表 1-1 完成的实物工作量表

序号	工作内容	单位	完成	序号	工作内容	单位	完成
1	路线地质调查	km	210	12	薄片鉴定	片	120
2	矿点调查	处	22	13	光片鉴定	片	97
3	坑道调查	km	3.1	14	i 体测温	件	20
4	钻孔编录	m	3100	15	i 体成分分析	件	6
5	地质、物探、化探综合剖面测制	km	12	16	S 同位素样品测试	件	16
6	地质剖面测制	km	14	17	Pb 同位素样品测试	件	14
7	典型矿床研究	个	5	18	H、O 同位素样品测试	件	2
8	岩矿石化学分析	件	120	19	锆石 U-Pb 年龄测试	件	3
9	常量元素	件	32	20	i 体测温及成分测试	件	30
10	微量元素	件	50	21	电子探针、	件	30
11	稀土样、	件	40	22	单矿物制样	件	20

1.6 取得的主要成果及创新点

多年来,依托笔者承担的工作项目,科研与生产相结合,通过开展“西藏念青唐古拉地区铅锌多金属矿床特征与成矿规律研究”工作,取得了如下创新性成果:

(1)依托勘查项目,在念青唐古拉地区晚古生代来姑组碎屑岩与碳酸盐岩沉积建造中,发现并评价了亚贵拉、拉屋、昂张等层状铅锌多金属矿床,矿床规模达大一超大型,并掀起了研究区铅锌多金属矿勘查的热潮。

(2)通过地层层序分析与构造解析,结合大比例尺地质剖面测量,系统总结了研究区不同区域的沉积-构造学特征和差异,划分了念青唐古拉地区Ⅳ级成矿地质构造单元,自南向北依次为扎雪-金达断隆、亚贵拉-龙玛拉断坳、都朗拉断隆、昂张-拉屋断坳,并提出念青唐古拉地区构造演化为由晚古生代的断隆、断坳相间分布的地质构造格架至中生代转换为新特提斯构造背景下的岩浆弧的认识。

(3)系统开展了研究区典型矿床对比研究。通过对亚贵拉铅锌多金属矿、拉屋铜铅锌矿、蒙亚啊铅锌矿、新嘎果铅锌矿及昂张铅锌矿等典型矿床研究,提出研究区存在三大成矿系列,即晚古生代海底喷流沉积铅-锌-重晶石-石膏矿床成矿系列、中生代燕山晚期与中酸性侵入岩浆活动有关的铁-铜-铅-锌成矿系列及新生代喜马拉雅期与中酸性侵入岩浆活动有关的钼-铅-银矿床成矿系列,建立了工作区热水沉积-岩浆热液叠加改造成矿模式。

(4)建立了区域多金属矿综合信息找矿模型。在全面收集研究区已有的地质、矿产、物探、化探、遥感资料的基础上,从研究区成矿地质背景、入手,综合地质异常,物探、化探、遥感异常信息,从区域内筛选成矿远景区,并通过异常查证,逐步缩小找矿靶区,确定含矿地质体,择优进行钻探工程验证。采用补充地质调查、成因矿物学、稳定同位素、矿物包裹体及原生晕测试研究等手段,对区内新发现的典型矿床进行研究,分析了不同类型矿床的主要控矿条件和找矿标志,总结了区域铜铅锌多金属矿找矿标志及成矿规律,进一步提炼成为区域矿床组合模式,建立了多金属矿综合信息找矿模型和典型矿床成矿模式。该找矿预测模型和成矿模式不仅对研究区层控型铅锌多金属矿和热液(矽卡岩)型铜铅锌多金属矿的发现和评价具有重要作用,而且对整个冈底斯地区开展同类型矿床的找矿评价具有重要的指导意义。