

新疆成矿规律与百年勘查成果及 新一轮找矿突破行动建议

——《中国矿产地质志·新疆卷》研编

李凤明^{1,2)}, 赵同阳^{1,2)*}, 田江涛²⁾, 高永峰²⁾,
李平²⁾, 王成²⁾, 刘洋²⁾

1)新疆维吾尔自治区地质局, 新疆乌鲁木齐 830099;

2)新疆维吾尔自治区地质研究院, 新疆乌鲁木齐 830099

摘要: 新疆地处我国西北边陲, 地域广阔, 矿产资源丰富, 战略地位十分重要, 已成为国家矿产资源战略后备基地。《中国矿产地质志·新疆卷》研编是新疆地质工作前所未有的历史性工程, 历经八年, 圆满完成, 形成“志、图、库、普”四项重大成果, 对支持新疆地质矿产勘查部署和矿产资源管理具有重大意义。本文以志书主要内容和重要成果为基础, 概述新疆矿产资源总貌和成矿地质背景; 从“空间展布+时间分布+矿床类型”成矿规律三要素的角度, 重点叙述矿床成矿系列和五时段成矿体系的特征和规律, 提出“两缘两环”及中生代成矿爆发期的新认识; 从萌发期、起步期、巩固期、加速期四个阶段, 简述了新疆百年勘查辉煌历程, 总结了奠定构建新疆矿产勘查开发新格局和建成国家矿产资源战略后备基地的丰硕成果。最后, 以矿床成矿系列类型为主线, 提出新疆矿产勘查总体布局、重要方向和主要突破区带的建议, 助力新疆新一轮找矿突破战略取得新进展。

关键词: 成矿规律; 百年勘查; 找矿突破; 新疆

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.102902

Metallogenic Regularity, Centennial Exploration Results of Xinjiang, and Suggestions for a New Round of Prospecting: Research and Compilation of “Geology of Mineral Resources of China • Xinjiang Volume”

LI Fengming^{1,2)}, ZHAO Tongyang^{1,2)*}, TIAN Jiangtao²⁾,
GAO Yongfeng²⁾, LI Ping²⁾, WANG Cheng²⁾, LIU Yang²⁾

1) Xinjiang Bureau of Geology, Urumqi, Xinjiang 830099;

2) Xinjiang Academy of Geological Research, Urumqi, Xinjiang 830099

Abstract: Xinjiang, located in the northwest border region of China, with a vast territory and abundant mineral resources, has a very important strategic position and has become a national reserve base for mineral resources. Therefore, strengthening geological and mineral exploration in Xinjiang and thus ensuring national energy and resource security has become an urgent issue. The compilation of Xinjiang Volume of Geology of Mineral Resources in China is an unprecedented historic project in Xinjiang's geological work, which has been successfully completed after eight years, and has formed four major achievements of “annals, maps, database, and popular edition”, which is of great significance in supporting the deployment of geological and mineral exploration and the management of mineral resources in Xinjiang. Based on the main content and important

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: DD20221695)和新疆“天山英才”项目(编号: 2022TSYCCX0040)联合资助。

收稿日期: 2024-05-28; 改回日期: 2024-10-15; 网络首发日期: 2024-10-30。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李凤明, 男, 1966年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事矿产勘查及管理工作。E-mail: 674642249@qq.com。

*通信作者: 赵同阳, 男, 1983年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事区域构造与成矿作用研究工作。E-mail: zhaotongyang@126.com。

achievements of the compilation, this article provides an overview of the overall mineral resources and ore-forming geological background of Xinjiang. Surrounding the three elements of metallogenic regularity research, including spatial distribution, temporal distribution, and ore deposit type, this paper focuses on describing the characteristics and regularities of metallogenic series and metallogenic systems, and proposes a new understanding of the “two edges and two rings” and the “Mesozoic ore-forming explosion period”. This paper briefly describes the glorious history of Xinjiang’s centennial exploration from four stages: germination, starting, consolidation, and acceleration. It summarizes the fruitful achievements in establishing a new pattern of mineral exploration and development in Xinjiang and building a national reserve base for mineral resources. Finally, taking the metallogenic series of ore deposits as the main line, the overall layout, important directions, and primary breakthrough zones of mineral exploration in Xinjiang are proposed, which will help Xinjiang achieve new breakthroughs in its new round of mineral exploration strategy.

Key words: metallogenic regularity; centennial exploration results; prospecting breakthrough; Xinjiang

编志是中华民族的优良传统,是“利于当代,功在千秋”的基础工程,是中华民族文化重要组成部分。志有地方志和专业志,进入现代科学年代,专业志是编志历史上的创新。2012年,全国矿产潜力评价工作尚未结束,八十高龄的陈毓川院士高瞻远瞩,总体谋划布局,及时启动“中国矿产地质志”研编工作。这是一项全国性、里程碑式的系统工程,总结近百年来我国矿产地质调查研究的主要成果。陈毓川院士曾说过:“国家需求是我的终身目标!”,这体现出他为国为民的情怀。为此,他敢于担当,主持推动并圆满完成了《中国矿产地质志》研编,对我国地质事业和社会主义现代化建设作出了重要贡献。

新疆成矿条件优越,矿产资源丰富。已经历近百年的探寻、勘查、开发和研究历史,成果丰硕,编纂《中国矿产地质志·新疆卷》水到渠成。2012年7月,陈毓川院士要求新疆参与《全国省(自治区、直辖市)矿产地质志技术要求》制定,做好编研技术准备工作。当年10月,提出《新疆矿产地质志研编实施初步方案》。2013年,新疆作为示范省区之一,率先启动志书铁矿、金矿、镍矿、铝土矿、钾盐、菱镁矿6个矿种、南阿勒泰成矿带和新疆成矿系列图的研编示范,并作为范本在全国推广。2014年,按照全国项目办统一安排部署,《中国矿产地质志·新疆卷》研编全面启动。由原新疆地质矿产勘查开发局组织实施,新疆地质调查院具体负责,有原新疆地质矿产勘查开发局下属17家地勘单位,以及新疆石油化工、核工业、有色、煤炭、建材、宝玉石协会等26家单位,近200位专业技术骨干参加,研编任务之大、内容之多、工作量之大、困难之多是以往罕见的。陈毓川院士对《中国矿产地质志·新疆卷》编制非常重视,多次带队到新疆进行实地指导。2020年12月研编工作圆满完成,志书及矿产地质图通过中国矿产地质志全国项目办评审,评定为优秀级成果。后被评为中国地质调查局

2021年度地质调查十大进展之一。

《中国矿产地质志·新疆卷》由“志、图、库、普”四部分组成,包括志书、成矿系列图及矿产地质图、普及本、数据库4个方面成果,首次实现了全域矿种、矿产地、矿床类型、成矿带的全覆盖,是新疆有史以来矿产地质及成矿规律研究方面最新、最全面、最系统的矿产地质成果,填补了新疆矿产资源领域志书的空白,是当代新疆成矿理论的最新总结,在新疆地质矿产领域具有里程碑意义。志书从新疆单矿种、成矿区带、全疆总域三个层次,全面反映了新疆矿产地质特征及成矿规律的总貌。一是确定152个矿种,厘定6 037处矿产地,划定17类三级和45个四级类型,实现矿种、矿产地、矿床类型全覆盖;二是系统论述22个成矿区带地质矿产特征及成矿规律,科学厘定出成矿系列、矿床式,归并成矿系列组、成矿系列组合和成矿系列类型(裴荣富等,2013),圈出70个大型矿集区和26个大型成矿远景区;三是在研究成矿省成矿谱系和成矿模式基础上,建立了五大时段成矿体系和四维时空域演化模式,全面探讨各时段矿床形成、演化和富集规律,确定了三个成矿高峰期,总结新疆成矿规律的特点。

主要成果还有《矿产地质志·新疆维吾尔自治区矿床成矿系列图(前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代、新生代)》(1:1 500 000)是中国矿产地质志系列成果的首套成矿规律专题图件,并于2019年荣获第七届中华优秀出版物(图书)奖。该图于2017年出版,这在新疆地质矿产图件出版上属于首次。《新疆维吾尔自治区地质矿产图(能源、金属、非金属-水气-宝玉石)》(1:1 500 000)全面反映了新疆区域成矿地质背景的最新认识,涵盖全疆所有矿种的重要矿产地,全面、清晰、准确地展现了矿种、矿产地和成因类型“三位一体”地质特征,是新疆首次公开出版全区域、全矿种、最系统的综合性矿产地质图件。

1 新疆百年勘查及成果

近代以来,新疆地质工作从起步到巩固,并逐步得到加强,取得丰硕成果,特别是中华人民共和国成立 75 年来,国家组织力量在新疆进行了大规模的地质勘查和科研工作,使新疆矿产资源面貌发生了翻天覆地的变化。新疆百年勘查历史大致可分为四个矿产勘查时期。

1.1 萌发期(20 世纪 20—40 年代)

近代地质学创建以来,新疆因其特殊位置成为我国较早开展地质工作的地区之一。从 19 世纪到 20 世纪上半叶,许多中外地质学者,从不同的目的出发,先后对新疆局部地区进行路线地质调查和矿产概略踏勘。1928—1932 年,中瑞考察团袁复礼、丁道衡、E·诺林等地质学者进行多学科考察,在东准噶尔、东天山、库鲁克塔格等地进行了路线地质调查,这是中国现代科学史上第一个中外平等合作的科考团;1935—1946 年,苏联人 B·M·赫洛夫、B·M·西尼村等先后对阿尔泰、昆仑山、西天山进行了地质矿产调查,发现并评价了阿尔泰稀有金属矿;1942—1946 年,我国学者黄汲青、程裕琪、杨钟健、李承三等进行以石油、金、铁为主的野外矿产调查;1944 年,王恒升为首的新疆地质调查所成立,主要开展了矿产粗略调查、路线地质调查等地质工作;在中华人民共和国成立前,共发现 35 种矿产、479 处产地,并对煤、铁、石油、金、盐等作了储量估算。

1.2 起步期(20 世纪 50—70 年代)

1949 年中华人民共和国成立后,新疆地质矿产勘查进入了一个全新的发展时期,相继建立起地质、有色、石油、煤炭、水利、建材、冶金、化工等勘查机构和培养地质人才的大专院校。

20 世纪 50 年代中苏合作时期,中苏联合组队进行 1:20 万区域地质测量和石油、有色金属、稀有金属、铀矿的勘探开采工作,为我国地质矿产勘查和区调提供了经验。

这个时期围绕国家战略矿产——稀有金属、石油、煤、铀、铬、铁、白云母、水晶等开展重点勘查和会战,为我国急缺战略矿产提供了资源基地,奠定新疆工业化基础。以富蕴县可可托海三号脉为代表的稀有金属矿产率先勘查评价,该矿床开采为我国国防、航天工业和偿还国际债务等方面作出卓越贡献。60—70 年代相继开展了铬铁矿会战、富铁矿会战、白云母会战、水晶和田玉等勘查活动,发现了大批矿床,如托里县萨尔托海铬铁矿、哈密市天湖和富蕴县蒙库大中型铁矿,富蕴县那森恰和阿尤布拉克超大型白云母矿床,和田县阿拉玛斯玉石矿等。在能源方面,1955 年在准噶尔盆地发现了中

华人民共和国成立后的第一个大油田——克拉玛依油田,是新疆石油勘探历史上的一个重大突破;塔里木盆地 20 世纪 70 年代发现了第一个高产油气田——柯克亚油气田。新疆是我国铀矿勘查最早的地区之一,1955—1963 年发现十多个铀矿床(煤岩型为主),开发利用为我国核工业发展提供了第一批核原料。在淮南煤田的乌鲁木齐市周围和吐-哈煤田等交通条件较好的地区开展煤炭找矿普查,形成了乌鲁木齐、艾维尔、三道岭三大重点矿区。

这个时期积极推进了矿产勘查技术的发展,如地球物理方法、地球化学方法、重砂方法、钻探技术等应用,矿产勘查和资源储量建立分类系统,重要矿区勘探探求工业资源储量等。

1.3 巩固期(20 世纪 80—90 年代)

1978 年改革开放以来,矿产勘查进入发展新时期,国家围绕战略资源基地建设,以重要区带、大型-超大型矿床为主,组织全国力量,加大矿产勘查评价,加强科技攻关,巩固已有勘查新局面,取得新疆找矿第一次大突破。

依据国家“稳定东部,发展西部”油气工作战略方针,新疆油气勘查掀起新高潮。1984 年 9 月 22 日,西北石油局在塔里木北部沙雅隆起沙参 2 井获高产油气流,开辟我国古生代找油新纪元,也打下发现塔河大型油气田的基础。1997 年克拉 2 超大型气田的发现,启动了我国“西气东输”工程建设。通过创新海相油气地质理论认识,攻克超深层碳酸盐岩储层预测方法技术瓶颈,连续在塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地发现多个油气田。作为全国铀矿重点地区,通过前期大量勘查,1990 年确定地浸砂岩型铀矿为主攻方向,取得伊犁盆地铀矿勘查重大突破,建成我国最大的铀矿山,并列入国家矿产资源综合利用示范基地。20 世纪 80 年代以准噶尔和吐哈盆地为重点的煤田远景调查,发现了准东、沙尔湖等大型煤矿远景区,调查表明新疆煤矿资源总量居全国首位。

按照国家“寻找大型-超大型矿”的工作方针,1985 年地质部开展新一轮固体矿产普查。新疆作为全国重点,先后部署了准噶尔西北缘、吐哈盆地南缘及西天山等三大重点片区,以铜、金、铬、镍、多金属矿为重点,经历 10 年,发现评价了喀拉通克铜镍矿、黄山—黄山东铜镍矿、阿舍勒铜矿、阿希金矿、齐求 I 号金矿、萨尔托海铬铁矿等多个大型矿床,结束了新疆过去无大型铜、镍、金矿床的历史,支撑阿尔泰金矿和有色金属矿、伊犁金矿、西准噶尔铬金矿、哈密铜镍矿 4 个大型矿业基地建设。期间,还发现评价了萨瓦亚尔顿超大型金矿床、尉犁县且干布拉克超大型蛭石矿床、托克逊县柯尔碱

大型膨润土矿床、和布克赛尔县乌兰林格—日月雷超大型膨润土矿床等。

加强科学研究,支撑找矿勘查。1986 年启动 305 项目,由国家计委、原国家科委 1985 年批准的《加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理、地球化学综合研究》列为 75—56 国家“七五”重点科技攻关项目,作为“七五”重点科技攻关项目,一直执行至“十三五”,是我国矿产资源研究领域持续时间最长、规模最大、投资最多、成果最多的科技攻关项目。

1.4 加速期(21 世纪开始至今)

21 世纪,特别是党的十八大以来,我国进入新发展阶段,以创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念为指导,用科技创新引领大勘查,培育找矿新动能,全面加强地质矿产勘查,地质工作进入“快车道”,也是最好的时期,实现新疆找矿第二次大突破,支撑新疆矿产勘查进入高质量发展新阶段。

20 世纪 90 年代后期,为推进西部大开发战略,加快实施优势资源转持战略,国家和自治区启动了多个专项,包括国土资源部的国土资源大调查项目(1998—2010 年)、财政部新疆地质勘查中央专项(2001—2015 年)、中央返还新疆两权价款项目,新疆安排的地质勘查基金和 1:5 万区调专项(2003—2010 年)及深部找矿专项(2009—2012 年),开创了全国省级先例。特别是 2008 年为贯彻落实《国务院关于进一步促进新疆经济社会发展的若干意见》(国发[2007] 32 号)的有关精神,国土资源部与新疆政府签订《关于加快开展新疆公益性地质调查和重要矿产勘查合作协议》,启动实施新疆“358”项目,随后国土资源部 2011 年启动第一轮找矿突破战略行动(延续国土大调查项目),形成了“统筹部署、政策保障、创新引领、国土给力、整体推进、持续突破”的新疆“358”模式。

按照新疆“358”项目确立的“主攻天山、深化阿尔泰、加快昆仑—阿尔金”地质找矿总体布局,构建“区划部署、基础调查、物化遥感、矿产勘查、科学研究”五位一体的科学勘查体系,汇集全国力量,部署实施阿尔泰、天山、昆仑—阿尔金山三大成矿带找矿勘查,发现和评价出罗布泊钾盐矿、土屋—延东铜矿、火烧云铅锌矿、卡特巴阿苏金矿、阿吾拉勒铁矿、塔什库尔干铁矿等大型-超大型矿床,支持建成东天山有色金属、罗布泊钾盐、北方可地浸砂岩型铀、阿吾拉勒铁、乌拉根铅锌、祁漫塔格有色金属等 6 个国家资源基地,取得一系列最丰富、重大成果和成功经验,成为参加人员和投资之多、成果之丰、新疆历史上最大的地质矿产勘查工

程,有效加快了新疆资源优势向经济优势转化步伐,成为新疆勘查历史最好时期。在能源勘查方面,依托创新海相油气成藏理论新认识,实施塔北轮深 1 井(8 200 m)、塔克 1 井(10 000 m),在超深层(7 500~8 000 m)寒武—奥陶系碳酸盐岩层位中获高产工业油气流,形成塔河超 10 亿 t 级大油气区;在准西缘发现世界最大超 10 亿 t 级砾岩型玛湖油田。开展煤、铀,以及页岩气、煤层气、油砂、油页岩非常规油气勘查并取得重要突破。

该时期地学科研力度进一步加大。继续实施国家 305 项目——“中国新疆与中亚邻国矿产资源对比研究与高效勘查技术集成”“丝绸之路矿产资源研究与勘查开发技术”重大攻关项目研究。在 2006 年启动实施的“全国矿产潜力评价”项目基础上,2013 年启动,历时 8 年研编完成的《中国矿产地质志·新疆卷》。积极推进“走出去”战略。服务丝绸之路经济带核心区建设,加强对外地学科研合作,依托“中国—上海合作组织地学合作研究中心”,搭建国际地学合作的新平台;设立新疆与中亚、丝绸之路矿产资源对比研究专项。

进入“十四五”以来,随着找矿战略部署由“加快昆仑—阿尔金”调整为“主攻昆仑—阿尔金”,昆仑—阿尔金地区战略性矿产勘查得以全面加强,先后发现和评价玛尔坎苏—穆呼锰矿、大红柳滩与阿尔金西段锂铍矿、卡尔恰尔西—皮亚孜达板萤石矿、屈库勒克东金锑矿等一批大型超大型矿床,将推动新疆实现从阿尔泰山到天山,再到昆仑阿尔金山的第三次大突破。

新疆百年勘查栉风沐雨,成果辉煌,矿产资源面貌发生巨大变化,改变了全国矿产资源分布和产业的格局,新疆作为“三基地一通道”和国家矿产资源战略后备基地的地位大幅提升并不断巩固。从 20 世纪 40 年代仅有稀少的稀有矿产,到 50—70 年代初的稀有金属、石油、煤、铀、铁、白云母等取得重大成果,到 80—90 年代的石油天然气、有色金属、煤、铀、铁、非金属矿产等取得突破性找矿进展,再到 21 世纪的重大找矿成果的井喷式爆发。这些勘查成果支持新疆逐渐形成完备的矿产资源基地及矿业开发产业链,包括油气、煤炭、铀、铁、锰、铜、铅锌、金、钾盐等 10 个国家级和 14 个自治区级矿产资源产业基地。新疆百年勘查成果为国家经济建设作出了巨大贡献。最为突出的成果有,富蕴县可可托海三号脉的稀有金属矿勘查开采,为打破大国核垄断、发展航空航天事业立下了巨大的历史功勋;克拉玛依油田的发现对打破国外封锁、独立自主发展我国石油事业有重要贡献;煤岩型及地浸

砂岩型铀矿的找矿突破提高了我国核工业发展资源保障; 喀拉通克大型铜镍矿床的发现开启了新疆有色金属开发利用的第一“篇”; 克拉 2 超大型气田的发现启动了我国大型能源工程——“西气东输”工程; 准东、三塘湖—淖毛湖、哈密大南湖等大型煤田的评价支持煤电煤化工基地及“疆煤东运”“疆电外送”工程建设; 西昆仑世界级巨型火烧云铅锌矿床的发现, 以及昆仑—阿尔金稀有金属、萤石矿的发现, 催生新疆三处千亿级矿业开发基地的快速形成, 将极大推动当地经济社会高质量发展。

2 新疆矿产资源总貌

古亚洲洋和特提斯洋长期、复杂的演化过程造就了新疆独特的成矿环境, 形成了丰富的矿产资源(李荣社等, 2011; 董连慧等, 2016; 李文渊等, 2018)。新疆作为我国重要的能源资源开发区, 矿产资源具有以下四大特点。

(1) 矿产分布广、种类多, 资源配套齐全。新疆已发现 153 种矿产(较《中国矿产地质志·新疆卷》152 个矿种新增氦气), 占全国已发现矿产 173 种的 88.4%。其中, 能源矿产 11 种、金属矿产 49 种、非金属矿产 88 种、水气矿产 5 种, 是资源配套齐全的省区之一(董连慧等, 2016)。新疆已知矿产地有 6 037 处(其中超大型 101 处、大型 430 处、中型 688 处、小型 1 833 处、矿点 2 985 处), 分布广泛。与内生和变质成矿作用有关的金属和非金属矿产分布在阿尔泰、天山、昆仑—阿尔金三大山系中, 能源及盐类等与外生成矿作用有关的矿产主要分布在塔里木和准噶尔两大盆地中, 展现出“两缘两环(含盆地)”各具特色的分布特点(图 2)。

(2) 矿产资源储量大, 资源优势明显。新疆查明资源储量的矿产 102 种(其中能源矿产 8 种、金属矿产 34 种、非金属矿产 57 种、水汽矿产 3 种), 占全国已有查明矿产资源储量矿产 163 种的 62.6%。截止 2022 年底, 石油、钠硝石、蛭石、芒硝、膨润土、花岗岩(饰面用)等 10 种矿产保有资源量居全国首位; 煤炭、天然沥青、油页岩、油砂、镍矿、钴矿、铍矿、铷矿、云母等 15 种矿产居全国第二位; 天然气、锌矿、铋矿、钽矿、硫化氢气、方解石、钾盐等 11 种矿产居全国第三位; 全国前十位的矿产有 77 种。石油、天然气、煤、铁、铜、镍、铅锌、金、钾盐、钠硝石等为主要优势矿产, 钠硝石、钾硝石、蛭石、皂土、蛋白土、霞石正长岩等为主要特色矿产。

(3) 矿床类型丰富, 矿产资源潜力巨大。新疆成矿地质条件优越, 成矿带众多, 成矿类型丰富。矿床四级类型有 48 类(董连慧等, 2017)。其中, 岩浆作用 18 类, 变质作用 4 类, 含矿流体作用(非岩浆-非

变质作用)8 类, 表生作用 5 类, 沉积作用 13 类。新疆部分成矿带与周边国家能源和金属矿产重要富集区具有相似的成矿地质条件, 显示出巨大的矿产资源潜力(薛春纪等, 2020; 申萍等, 2023)。截至 2020 年底, 石油、天然气、煤矿等预测资源量居全国首位, 主要金属和非金属矿产在全国居重要地位, 大多数矿种的查明资源储量与预测量的比例在 2%~33%之间, 显示出较大的找矿潜力。已开展矿产地质勘查程度总体偏低, 金属矿产勘查深度多在 500 m 以浅, 深部找矿潜力巨大。

(4) 矿石质量优良, 特色突出。新疆是我国能源、有色、黑色、钾盐和非金属的重要资源基地, 有全国稀少的富铁矿(阿吾拉勒铁矿带, 全国资源量最大的富铁矿带)(张振亮等, 2015; 汪帮耀等, 2017)、富铜矿(土屋、阿舍勒等矿床)(何西恒等, 2023)、富铅锌矿(火烧云矿床, 全球十大铅锌矿品位最富的矿床)(董连慧等, 2015; Sun et al., 2023)、富镍矿(喀拉通克、黄山等矿床)(秦克章等, 2014; Song et al., 2023)以及稀有金属矿(可可托海 3 号矿床, 是世界上独一无二的分异最好的稀有金属伟晶型矿床)(涂其军等, 2019; 秦克章等, 2021)等重要金属矿产, 也有全国少有的钾硝石矿、钠硝石矿、皂石矿、和田玉等一批特色矿产。除此之外, 还有焦煤、优质耐火级铬铁矿、优级的膨润土、白云母、蛭石、红柱石、钾盐等一批全国少有的优质矿产。

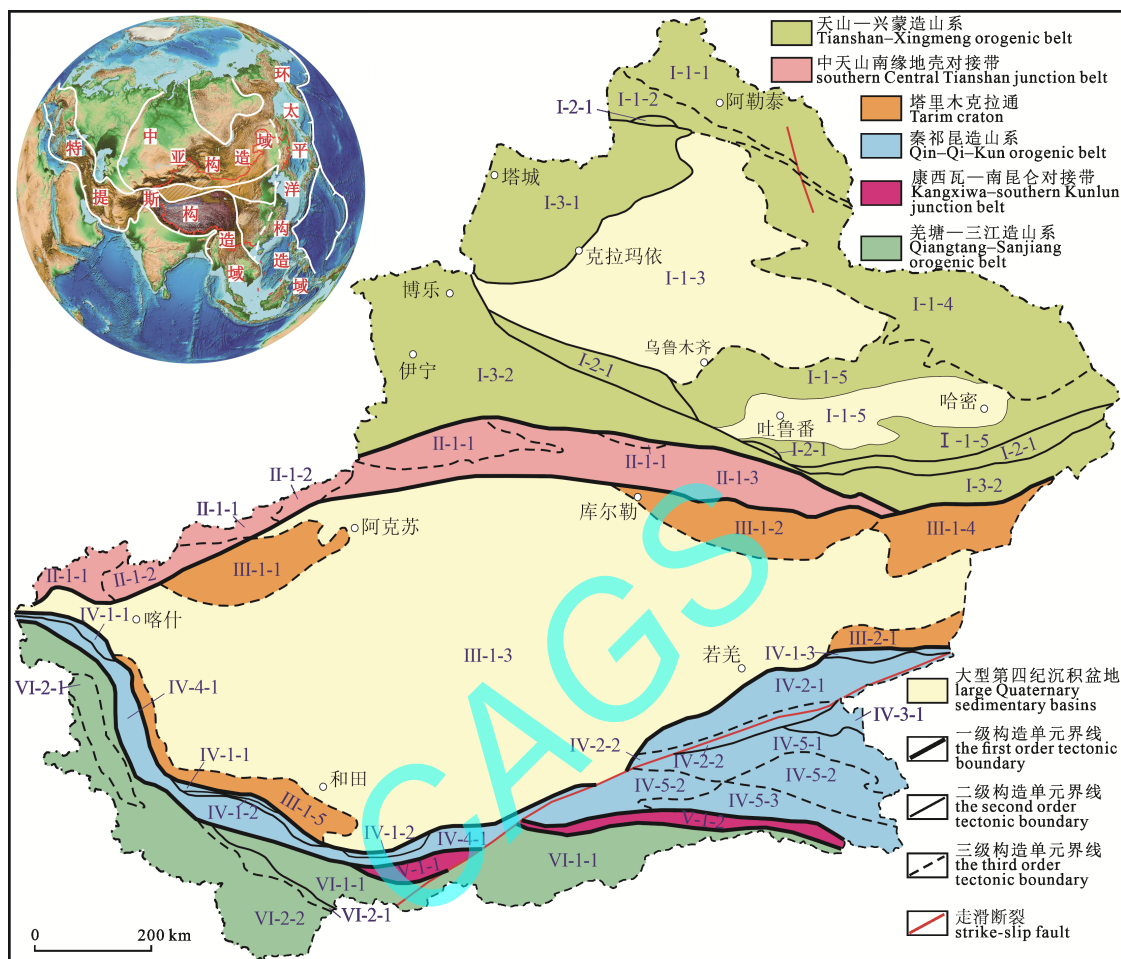
3 新疆成矿地质背景

新疆地跨与环太平洋构造域并称“全球三大成矿域”的中亚和特提斯两大世界级构造域, 长期的洋-陆转换过程造就了独具特色的地壳增生史和复杂多样成矿作用(肖文交等, 2019; Xiao et al., 2020)。古亚洲和特提斯两大构造域, 北部古亚洲洋演化经历了前寒武纪大陆基底形成、早古生代古亚洲洋发展、晚古生代古亚洲洋最后消亡碰撞形成新陆壳(北大陆), 南部特提斯洋自晚古生代末开始演化、直至中生代末关闭, 形成统一的欧亚大陆, 造就了新疆独特的地质构造背景和成矿环境。新疆自北向南可划分为: 天山—兴蒙造山系(I)、天山南缘地壳对接带(II)、塔里木克拉通(III)、秦祁昆造山系(IV)、康西瓦—南昆仑地壳对接带(V)和羌塘—三江造山系(VI)六个一级构造单元(冯京等, 2022)(图 1)。

天山—兴蒙造山系涉及阿尔泰、准噶尔、伊犁成矿省, 在新疆境内占据了约五分之一的国土面积, 主要包括阿尔泰山、天山、东西准噶尔、准噶尔盆地等地区, 以科克森套—巴音沟—干沟—康古尔结合带为界分为阿尔泰—东准噶尔造山带和西准噶尔—天山造山带两个部分。其中, 阿尔泰—东准噶尔

造山带内以古生代火山沉积岩系及多期侵入岩浆岩为主,上覆中生代沉积盖层,地质体展布主要受额尔齐斯、卡拉先格尔、阿尔曼太、卡拉麦里、天山北缘、康古尔—黄山等一系列断裂构造控制,由一系列陆缘弧、洋内弧、增生弧、洋岛、增生楔侧向拼贴于西伯利亚克拉通南缘(现今方向)形成,具

有地壳侧向生长的显著特征。西准噶尔—天山造山带,可进一步划分为西准噶尔古生代弧盆系、天山弧盆系。其中,西准噶尔弧盆系主要由一系列的蛇绿岩、增生杂岩带、古生代岩浆弧构成,其主要构造特征为北东—南西向断裂非常发育,由北向南依次为巴尔雷克和达尔布特断裂,它们控制着区内



图中代号: I-1-1—阿尔泰山古生代弧盆系; I-1-2—额尔齐斯晚古生代俯冲增生杂岩带; I-1-3—准噶尔中生代盆地; I-1-4—东准噶尔古生代弧盆系; I-1-5—北天山古生代弧盆系; I-2-1—科克森套—康古尔古生代俯冲增生杂岩带; I-3-1—西准噶尔古生代弧盆系; I-3-2—天山弧盆系; II-1-1—(西)南天山古生代俯冲增生杂岩带; II-1-2—西南天山石炭—二叠纪上叠盆地; II-1-3—南天山残余盆地; III-1-1—塔西北古生代陆缘盆地; III-1-2—塔北前寒武纪基底隆起带; III-1-3—塔里木盆地; III-1-4—塔东北古生代活动陆缘带; III-1-5—铁克里克前寒武纪基底隆起带; III-2-1—北阿尔金前寒武纪基底隆起带; IV-1-1—盖孜—库尔浪活动陆缘带; IV-1-2—柯岗—库地—普鲁—祁曼于特俯冲增生杂岩带; IV-1-3—红柳沟—拉配泉古生代俯冲增生杂岩带; IV-2-1—阿中微地块; IV-2-2—阿尔金南缘古生代俯冲增生杂岩带; IV-3-1—柴达木盆地; IV-4-1—西昆仑弧盆系; IV-5-1—祁曼塔格活动陆缘带; IV-5-2—北昆仑弧盆系; IV-5-3—东昆仑南坡俯冲增生杂岩带; V-1-1—康西瓦—苏巴什晚古生代俯冲增生杂岩带; V-1-2—木孜塔格俯冲增生杂岩带; VI-1-1—康西瓦—可可西里中生代被动陆缘带; VI-2-1—塔什库尔干—甜水海微地块; VI-2-2—喀喇昆仑古—中生代弧盆系。

I-1-1—Altay Paleozoic arc basin system; I-1-2—Erqisi Late Paleozoic subduction accretion complex; I-1-3—Junggar Meso-Cenozoic basin; I-1-4—East Junggar Paleozoic arc basin system; I-1-5—North Tianshan Paleozoic arc basin system; I-2-1—Kekesentao-Kangur Paleozoic subduction accretion complex; I-3-1—West Junggar Paleozoic arc basin system; I-3-2—Tianshan arc basin system; II-1-1—Southwestern Tianshan Paleozoic subduction accretion complex; II-1-2—Southwestern Tianshan Carboniferous-Permian superposed basin; II-1-3—South Tianshan residual basin; III-1-1—Northwest Tarim Paleozoic marginal basin; III-1-2—North Tarim Precambrian basement uplift; III-1-3—Tarim basin; III-1-4—Northeast Tarim Paleozoic active continental margin; III-1-5—Tiekelike Precambrian basement uplift; III-2-1—North Altun Precambrian basement uplift belt; IV-1-1—Gaizi-Kuerlang active continental margin zone; IV-1-2—Kegang-Kudi-Pulu-Qimanyute subduction accretion complex; IV-1-3—Hongliugou-Lapeiquan Paleozoic subduction accretion complex; IV-2-1—Middle Altun microblock; IV-2-2—South Altun Paleozoic subduction accretion complex belt in the; IV-3-1—Qaidam Basin; IV-4-1—West Kunlun arc basin system; IV-5-1—Qimantag active continental margin; IV-5-2—North Kunlun arc basin system; IV-5-3—southern East Kunlun subduction accretionary complex; V-1-1—Kangxiwa-Subashi Late Paleozoic subduction accretion complex; V-1-2—Muztag subduction accretionary complex; VI-1-1—Kangxiwa-Kekexili Mesozoic passive marginal zone; VI-2-1—Tashenkerkan-Tianshuihai microblock; VI-2-2—Kalakunlun Paleo-Mesozoic arc basin system.

图1 新疆大地构造单元划分图(据冯京等, 2022 修改)

Fig. 1 Subdivision of tectonic units in Xinjiang (modified from FENG et al., 2022)

各类地质体的展布,整体上以大洋岩石圈不同构造属性的地质体拼贴形成,基底为早古生代洋壳。而天山弧盆地以发育前寒武纪变质结晶基底为特征,上覆形成于古生代陆缘弧、弧后盆地等不同构造环境中的火山-沉积岩系,主要分布于伊犁地块周缘及卡瓦布拉克—星星峡地块北侧。

天山南缘地壳对接带,主要涉及那拉提—巴伦台—卡瓦布拉克成矿带和塔里木北缘成矿带。位于北侧的那拉提南缘—卡瓦布拉克断裂与南侧的塔里木北缘断裂之间,是南天山洋俯冲消减过程中形成的大型增生造山带。其主体由增生杂岩、洋岛/海山、残余盆地等构成,主体构造线呈北东—北西弧形展布,产状北倾,构造变形强烈。

塔里木克拉通涉及塔里木北缘隆起成矿带、北山成矿带、敦煌地块成矿区、塔里木盆地成矿区和铁克里克成矿带,以发育前寒武纪结晶基底为特征,片麻岩、片岩极为发育,主要分布在库鲁克塔格、铁克里克、北阿尔金等地区,岩石变质变形强烈,褶皱、断裂十分发育,其上被形成于古生代被动大陆边缘的复理石建造覆盖。

秦祁昆造山系涉及东昆仑成矿带、西昆仑成矿带、喀拉米兰成矿带、阿尔金成矿带和柴达木盆地成矿区,位于北侧的柯岗—北阿尔金断裂、南侧的康西瓦—木孜塔格断裂之间,以发育前寒武纪变质结晶基底为特征,叠加古生代多期岩浆活动,陆缘弧特征明显,且受印度板块与欧亚大陆碰撞影响,地质体变形强烈,地壳缩短显著,发育大量逆冲断裂、走滑断裂。

康西瓦—南昆仑地壳对接带,位于西昆仑成矿带、喀拉米兰成矿带与木孜塔格成矿带之间,呈北西西—北西向狭长带状展布,夹持于北侧的秦祁昆造山系、南侧的羌塘—三江造山系之间,主要有增生杂岩、高级变质岩组成,岩石破碎严重、变形强烈,原始沉积构造难以观察。该构造带的构造样式展布特征反映向南迁移的构造极性,表现为增生-碰撞造山作用由北向南迁移。

羌塘—三江造山系涉及木孜塔格成矿带和喀喇昆仑成矿带,以发育前寒武纪基底为特征,由一系列离散地块、陆缘弧、弧前盆地、洋岛海山、增生杂岩等拼贴形成,其中片麻岩-片岩等高级变质岩主要出露于塔什库尔干、甜水海等地区,其它地区以巨厚的陆缘碎屑岩为主,伴生有不同程度出露的中酸性侵入岩、基性火山岩。

4 新疆成矿地质特征

新疆地跨古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域及特提

斯成矿域三大成矿域,共划分出 8 个Ⅱ级成矿省、24 个Ⅲ级成矿带、85 个Ⅳ级成矿带及 106 个Ⅴ级找矿远景区,其中,有 13 个重要Ⅲ级成矿带(图 2)。新疆矿产资源自太古代至第四纪均有产出,主要分为前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代和新生代五个重要成矿阶段。

4.1 成矿时空分布规律

4.1.1 时间分布

新疆矿产自太古代至第四纪具有连续演化,集中分布的特征(图 3b)。成矿时代以晚古生代为主,其次为新生代和中生代。超大型矿床的分布特征,以中生代为最,其次为晚古生代;从相应地质时代超大型矿床产生率来看,以侏罗纪最高,次为三叠纪。成矿强度从晚太古代到第四纪,总体具有由弱到强的特点,但其间也有不均衡的复杂变化,晚古生代是新疆成矿的重要时期,贡献最大,第四纪成矿能力最强,从而形成以第四纪和石炭纪为双高峰值的非正态的展布特征。

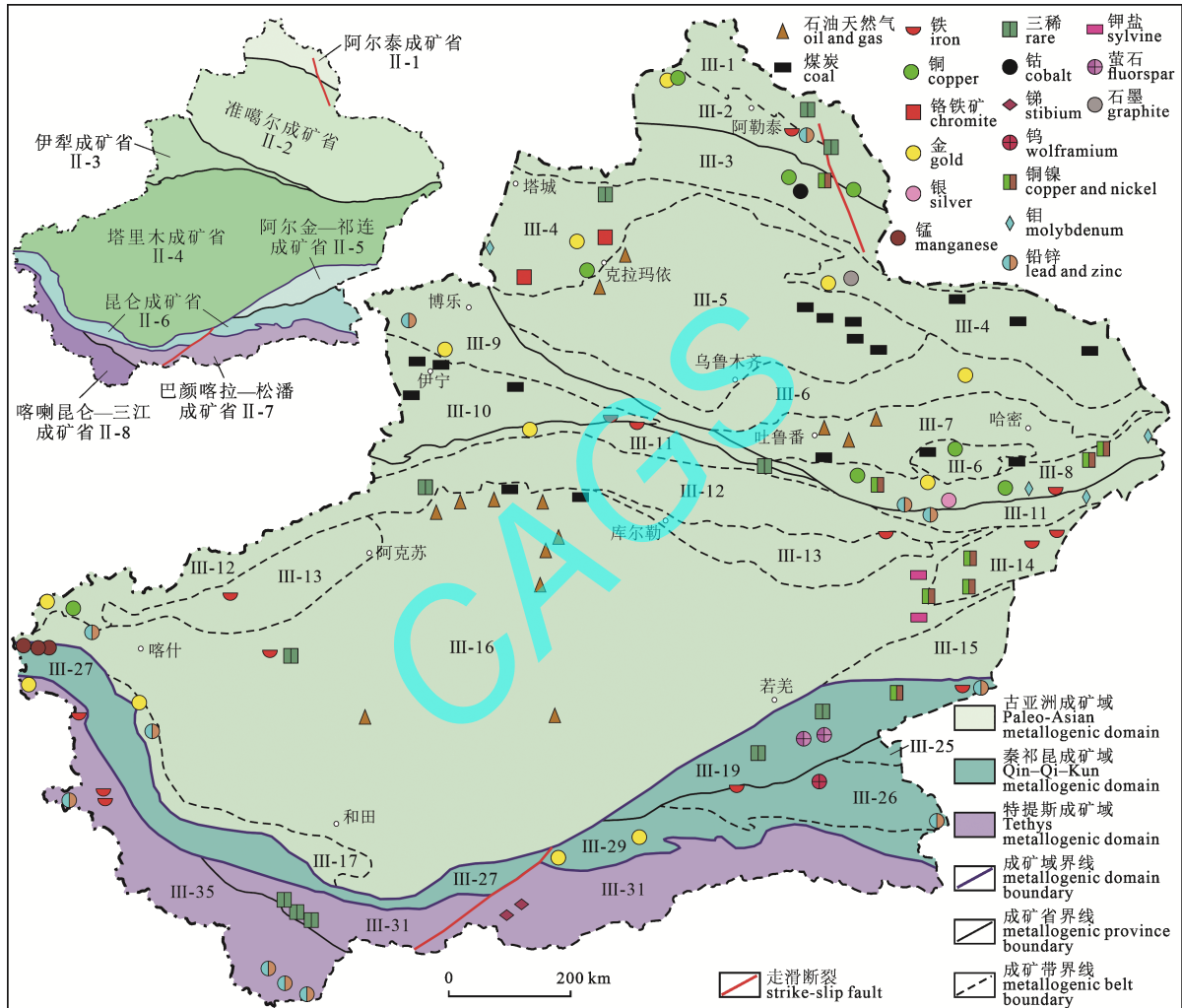
前寒武纪:太古代主要为铜矿,其次为石墨,分布于库鲁克塔格隆起带海相火山气液型铜矿。古元古代大型 3 处,矿产类型单一,分布集中,以铁矿为主,其次为铅锌、金,非金属主要为云母、白云岩和大理岩,代表性矿产类型为赞坎式区域变质型铁矿。中元古代超大型 1 处,大型 6 处,金属矿以铅锌矿为主,其次为铁矿、镍矿,非金属矿以白云岩为主,其次为大理岩、萤石。金属矿产代表性矿产类型为四台海泉式碳酸盐岩型铅锌矿。新元古代大型 4 处,金属矿以铅锌矿为主,其次为铁矿,非金属矿以磷矿为主,其次为云母(白云母)、石墨、石英岩。金属矿产代表性矿产类型为彩霞山式碳酸盐-碎屑岩型铅锌矿、天湖区域变质型铁矿和花岗伟晶岩型云母(伴生海蓝宝石)。非金属矿产代表性矿产类型卡乌留克塔格基性-超基性岩型磷矿,常共生有铁矿。南华—震旦纪有矿产地 13 处,其中超大型 1 处,以白云岩为主,其次为水晶、石墨、铁等。

早古生代:寒武纪超大型 1 处,中型 10 处,非金属矿产发育,以磷矿为主。金属矿产镍、铬铁矿等。奥陶纪大型 8 处,金属矿产代表性矿产类型为海相火山岩型铁、铜、铅、锌矿,非金属矿产依吞布拉克式基性-超基性岩型石棉矿为代表,能源矿产以油气为主,塔中 1 号流气体型石油天然气。志留纪超大型 3 处,大型 16 处,金属矿产主要有钨、锡、铁、铍等矿种,代表性矿产类型为切列克其式海相化学沉积型菱铁矿,非金属矿产主要有云母(白云母)、蛇纹岩、刚玉、石棉、红柱石、石灰岩、白云岩等,其中以那

森恰花岗伟晶岩型云母(白云母)矿为代表。

晚古生代: 泥盆纪有超大型 4 处, 大型 25 处, 金属矿产主要有铜、铅、锌、铁、金等矿种, 代表性矿产类型为海相火山岩型, 如阿舍勒铜矿、蒙库铁矿、可可塔勒铅锌矿、萨热阔布金矿等, 非金属矿产主要有云母(白云母)、蛇纹岩、菱镁矿、水晶、石灰岩等, 其中以库威河中下游花岗伟晶岩型云母(白云母)矿为代表。石炭纪超大型 8 处, 大型 53 处, 是新疆矿种、矿床类型最为多样化的时代; 金属矿产主要有金、铁、铜、铅、锌, 代表性矿产类型为

卡特巴阿苏中酸性侵入体内外接触带型金矿和索尔巴斯陶式陆相火山岩型金矿; 非金属矿产以石灰岩、蛇纹岩、花岗岩、石墨、红柱石为主, 其次为白云岩、含钾岩石、花岗岩(麦饭石)、皂土、膨润土、砷、大理岩、方解石、橄榄石、石膏、水晶、长石、玄武岩; 能源矿产主要为石油、天然气、页岩气, 代表性油田为哈得逊大型油田。二叠纪超大型 5 处, 大型 17 处, 与石炭纪相比, 矿种、矿床类型显著减少, 但矿种、矿化类型仍以岩浆作用有关的矿化居于主体, 延续了石炭纪的成矿作用,



图中代号: III-1—北阿尔泰成矿带; III-2—南阿尔泰成矿带; III-3—北准噶尔成矿带; III-4—唐巴勒—卡拉麦里成矿带; III-5—准噶尔盆地成矿带; III-6—准噶尔南缘成矿带; III-7—吐哈盆地成矿带; III-8—觉罗塔格成矿带; III-9—伊犁地块北缘成矿带; III-10—伊犁成矿带; III-11—那拉提—巴伦台—卡瓦布拉克成矿带; III-12—塔里木北缘成矿带; III-13—塔里木北缘隆起成矿带; III-14—北山成矿带; III-15—敦煌地块成矿带; III-16—塔里木盆地成矿带; III-17—铁克里克成矿带; III-19—阿尔金成矿带; III-25—柴达木盆地成矿带; III-26—东昆仑成矿带; III-27—西昆仑成矿带; III-29—喀拉米兰成矿带; III-31—木孜塔格成矿带; III-35—喀喇昆仑成矿带。带*号为新疆主要成矿区带。

III-1—North Altay metallogenic belt; III-2—South Altay metallogenic belt; III-3—North Junggar metallogenic belt; III-4—Tangbale-Kalamaili metallogenic belt; III-5—Junggar basin metallogenic area; III-6—South Junggar metallogenic belt; III-7—Tuha basin metallogenic area; III-8—Jueluotag metallogenic belt; III-9—Northeast Yili block metallogenic belt; III-10—Yili metallogenic belt; III-11—Nalati-Baluntai-Kawabulak metallogenic belt; III-12—North Tarim metallogenic belt; III-13—North Tarim uplift metallogenic belt; III-14—Beishan metallogenic belt; III-15—Dunhuang block metallogenic area; III-16—Tarim basin metallogenic area; III-17—Tiekelike metallogenic belt; III-19—Altun metallogenic belt; III-25—Qaidam Basin metallogenic area; III-26—East Kunlun metallogenic belt; III-27—West Kunlun metallogenic belt; III-29—Kalamilan metallogenic belt; III-31—Muztag metallogenic belt; III-35—Kalakunlun metallogenic belt. * means the main metallogenic belt in Xinjiang.

图 2 新疆 III 级成矿带及主要矿床分布示意图

Fig. 2 Classification of tertiary metallogenic belt and distribution map of main deposits in Xinjiang

但优势矿种组合发生了变化,金属矿产优势矿种为镍,其次为锑、钼、铌钽、铷、铜等矿种,以喀拉通克、黄山东、坡一为代表,能源矿产特色矿种油页岩,其次为铀和石油天然气,非金属矿产特色矿产为页岩、天青石、花岗岩(麦饭石)、霞石正长岩、膨润土。

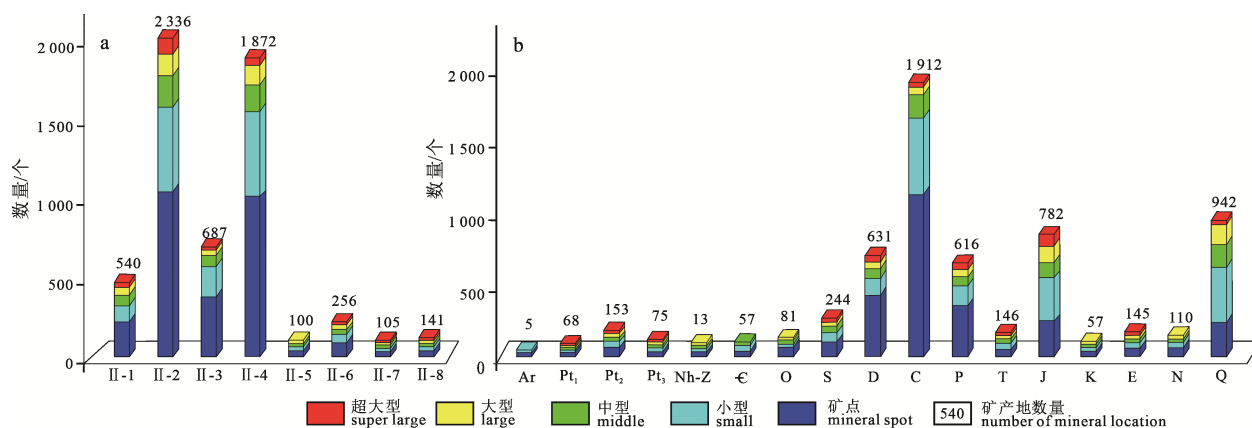
中生代:三叠纪有超大型 5 处,大型 8 处。该时期矿产地数量、矿种、矿化类型趋于单一,并呈现两极分化特征,无论是沉积型矿产还是岩浆作用矿产,一旦成矿都是巨量的。金属矿产优势矿种为金、钼、铷,萨瓦亚尔顿式黑色岩系型金锑矿、东戈壁斑岩型钼矿;能源矿产特色矿种石油天然气-塔河油田、玛湖油田;非金属矿产主要为云母矿。侏罗纪超大型 67 处,大型 114 处,新疆侏罗纪成矿与其环境密切相关。延续了三叠纪的矿化特征,能源矿产极为发育,有色金属、稀有金属矿床亦呈现集中巨量聚集成矿的特征。金属矿产优势矿种为锌铅和锂铍,前者以火烧云碳酸盐岩型非硫化物型铅锌矿为代表,后者以可可托海花岗伟晶岩型锂铍矿床为代表,其中共伴生有铌、钽、铷、铯、宝石(碧玺、丁香紫)长石、石英岩等十多种金属、非金属矿产。能源矿产特色矿种煤矿,其次为石油、天然气、煤层气及油页岩。非金属特色矿产高岭土、云母(白云母)、页岩,高岭土多与该时期煤矿相伴产出。白垩纪超大型 1 处,大型 3 处,白垩纪延续了侏罗纪的矿化特征。

新生代:古近纪超大型 2 处,大型 16 处,呈现以沉积和表生成矿作用为主的阶段,金属矿产仅有超大型铅锌矿床 1 处,砂砾岩型,非金属矿产为石膏、黏土,能源矿产为石油天然气,以迪那 2 为代表。新近纪大型 8 处,新近纪以表生成矿作用为主,能源特色矿产为铀和石油天然气,以克拉 2 号为代表,非金属矿产为石膏、耐火黏土。第四纪超大型

4 处,大型 149 处,以表生成矿作用为主,特色矿种为钾盐、石盐、芒硝、钠硝石。

4.1.2 空间展布

新疆 8 个成矿省(图 2)中,已知矿产地数量以准噶尔成矿省(II-2)最多,其次为塔里木成矿省(II-4);成矿强度(成型矿型/万 km²)以阿尔泰成矿省(II-1)居首,其次为伊犁成矿省(II-3),北疆、南疆成矿强度差异显著(图 3a)。这种差异是各成矿省地质工作程度和成矿潜力的反映。阿尔泰成矿省,以伟晶岩型、海相火山岩型和岩浆热液型矿床为主,主体呈现岩浆成矿作用,矿种组合系列为 RM(稀有金属)、Au、Cu、Fe、Pb、Zn、云母,涉及三级成矿带有 2 个,分别为北阿尔泰成矿带(III-1)和南阿尔泰成矿带(III-2)。准噶尔成矿省主体为凹陷盆地和板块边缘活动带,凹陷盆地内主要发育生物化学沉积型和化学沉积型矿床,主要矿种为煤矿,是新疆最重要的煤矿资源基地;在板块边缘活动带发育岩浆热液型、海相火山岩型及岩浆型等矿床,以岩浆成矿作用为主,主要矿种组合系列为 Ni、Au、Cu、Pb、Zn 等金属矿产,涉及成矿带有 6 个,分别为北准噶尔成矿带(III-3)、唐巴勒—卡拉麦里成矿带(III-4)、准噶尔盆地成矿区(III-5)、准噶尔南缘成矿带(III-6)、吐哈盆地成矿带(III-7)、觉罗塔格成矿带(III-8)。伊犁成矿省主体为凹陷带和周缘裂谷带,在伊犁盆地周缘裂谷带、陆缘弧发育海相火山岩型、陆相火山岩型和岩浆热液型等矿床,以岩浆作用为主,主要矿种组合系列为 Fe、Au、Cu、Pb、Ag 等,在伊犁盆地及边缘凹陷带内主要发育生物化学沉积型和化学沉积型矿床,主要矿种为煤矿、(砂岩型)铀矿,涉及Ⅲ级成矿带有 2 个,分别为伊犁微板块北缘成矿带(III-9)、伊犁成矿区(III-10)。塔里木成矿省主体为陆块区及周缘裂谷带、沟弧带、隆起带,在塔里木盆地周缘裂谷带、沟弧带、隆起带发育岩浆



a—成矿省矿床点分布; b—各地质时代矿床点分布。

a—distribution of deposits in the metallogenic province; b—distribution of deposits in geochronology.

图3 新疆矿产资源时空分布图

Fig. 3 Spatial and temporal distribution of mineral resources in Xinjiang

热液型、浅成中-低温热液型和变成型矿床,主要矿种组合系列为 Au、Ni、Pb、Zn、Fe、Nb、Ta 等;塔里木盆地及周缘凹陷带发育生物化学沉积型、蒸发沉积型、化学沉积型矿床,主要矿种为石油天然气、钾盐,涉及Ⅲ级成矿带有 5 个,分别为那拉提—巴伦台—卡瓦布拉克成矿带(Ⅲ-11)、磁海—中坡山成矿带(Ⅲ-14)、敦煌成矿带(Ⅲ-15)、塔里木盆地成矿区(Ⅲ-16)、铁克里克成矿带(Ⅲ-17)。阿尔金—祁连成矿省新疆境内仅有阿尔金Ⅲ级成矿带(Ⅲ-19),主要为在弧盆系中发育的伟晶岩型、岩浆热液型、沉积变质型及火山岩型矿床,主要矿种组合为稀有、萤石、铁、铅锌、石棉等矿产。昆仑成矿省主体复合岩浆弧、裂谷带、弧盆系、增生杂岩带夹微型陆块发育岩浆热液型、矽卡岩型、火山岩型、岩浆型矿床,主要矿种组合为钨锡、金、玉石、锰、铜等矿产,涉及三级成矿单元 4 个,分别为柴达木成矿区(Ⅲ-25)、东昆仑成矿带(Ⅲ-26)、西昆仑成矿带(Ⅲ-27)、喀拉米兰成矿带(Ⅲ-29)。巴颜喀拉—松潘成矿省新疆境内仅有木孜塔格(Ⅲ-31),在其前陆盆地发育中生代岩浆作用,形成大量伟晶岩型和热液型矿床,主要矿种组合为稀有金属、铍矿等矿产。喀拉昆仑—三江成矿省在新疆境内仅涉及喀喇昆仑三级成矿带(Ⅲ-35),在其陆块及陆缘盆地中分别形成大量变质型铁矿床和喷流沉积型铅锌矿床。

4.2 矿床类型结构

按照陈毓川院士主持的《中国矿产地志》项目提出矿床类型 4 级分类系统划分方案(2015),划分了三级、四级矿床类型,新疆共有 18 个三级矿床类型和 45 个四级矿床类型。新疆各矿种矿床类型的结构及分布规律如图 4 所示。主要类型序次为岩浆热液型(矿床地 956 处,占已知矿产地的 15.84%,下同)→生物化学沉积型(755 处,占 12.51%)→化学沉积型(660 处,占 10.93%)→海相火山岩型(566 处,占 9.38%)→风化型矿床(434 处,占 7.19%)→岩浆型(395 处,占 6.54%)→变成型(393 处,占 6.51%)→伟晶岩型(352 处,占 5.83%)。反映成因类型相对集中,以岩浆热液型、生物化学沉积型、化学沉积型、海相火山岩型、岩浆型、变成型等 6 种矿床类型为主,有矿产地达 4 282 处,占已知矿产地的 70.93%。超大型矿床对成因类型也具有明显的选择性,已知超大型矿床主要为生物化学沉积型(煤矿、石油天然气、油页岩、高岭土等 67 处),岩浆型(蛇纹岩、镍矿、辉绿岩、花岗岩等 9 处),伟晶岩型(云母、铍矿 3 处),蒸发沉积型(钾盐、钠硝石、芒硝 4 处),化学沉积型(石灰岩、天青石、页岩 9 处),浅成中-低温热液型矿床型(铅锌、金 4 处)。

4.3 成矿系列及系列类型

4.3.1 矿床成矿系列

新疆矿床成矿系列共厘定出系列组 76 个、系列类型 30 个、系列 220 个、亚系列 225 个及矿床式 839 个。其中,与沉积作用有关的 150 个,与岩浆作用有关的 174 个,与变质作用有关的 63 个,非岩浆-变质的含矿流体及成因未定的 47 个,与表生作用有关的 11 个(图 5)。

新疆Ⅲ级成矿带矿床成矿系列的发育程度与展布特征具有“一轴”、“两翼”的展布规律,“一轴”:即塔里木地块北缘 3 个成矿带(那拉提—巴伦台—卡瓦布拉克、塔里木板块北缘及塔里木陆块北缘隆起);“两翼”即准噶尔地块北缘的 2 个成矿带(北准噶尔及唐巴勒—卡拉麦里)和塔里木南缘的 3 个成矿带(西昆仑、木孜塔格及喀喇昆仑),这 5 个成矿带分属于塔里木地块与准噶尔地块之间及塔里木地块之南缘、准噶尔地块之北缘构造-岩浆活动带,成矿地质环境有利、成矿作用十分发育,且矿化类型多样,矿床成矿系列及矿床式的发育齐全,展示其为新疆最有远景的 6 个成矿带。

各成矿带内成矿系列发育程度各不相同,一般多旋回地质构造活动成矿带发育数量多。新疆 13 个Ⅲ级重要成矿带中,矿床成矿系列在那拉提—巴伦台—卡瓦布拉克成矿带发育最多,唐巴勒—卡拉麦里成矿带、木孜塔格及喀喇昆仑 3 个成矿带最少,其余成矿带形成了各具特色的矿床成矿系列。如南阿勒泰成矿带发育有阿舍勒及麦兹—冲乎尔与泥盆纪拉张阶段碎屑-双峰式火山岩建造及深成岩建造有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、磷(磷灰石)、重晶石矿床成矿亚系列,已发现有色金属和稀有金属等一大批成型矿床;又如伊犁成矿带阿吾拉勒发育有与阿吾拉勒与早石炭世上叠裂谷双峰式火山岩建造有关的 Fe、Cu、Zn、硫铁矿床成矿亚系列,已发现有查岗诺尔式、备战(卡扎克)式、智博式及敦德式的一批大中型铁矿床;再如塔里木及伊犁盆地发育有板内主期与盆地沉积作用有关的石油、天然气、煤(煤成气)、U 矿床成矿系列类型,形成了新疆能源矿产开发基地等。

4.3.2 成矿系列类型

我们在矿床成矿系列研究中,从历史建造和构造体制演化分析入手,研究新疆地壳演化各时期的各成因类型矿床形成时所处的地壳演化阶段和构造环境,进而建立各构造单元、各演化阶段的矿床成矿系列。根据已有资料,在已厘定的矿床成矿系列和矿床成矿亚系列基础上,再进一步根据各构造单元内及不同时代中矿床成矿系列的重现性,归并为

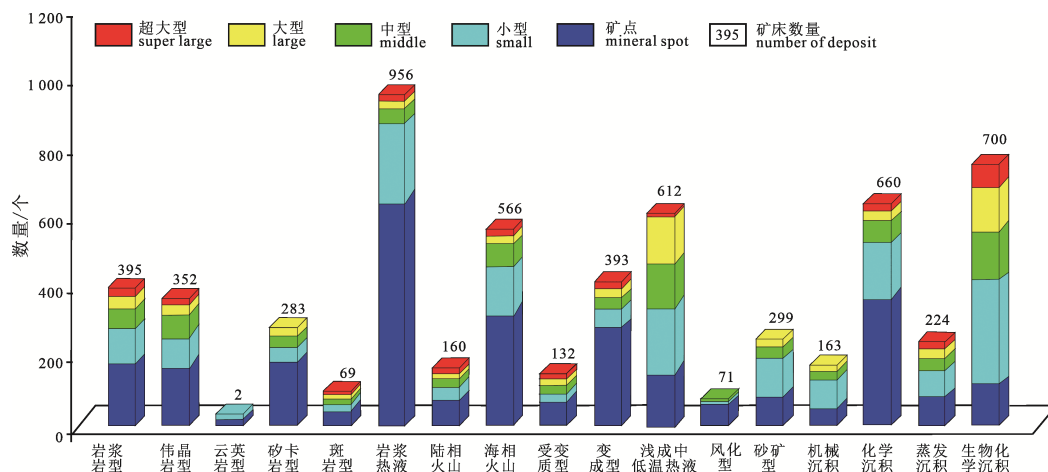


图4 新疆矿床类型与规模结构图

Fig. 4 Histogram of type and size of deposits in Xinjiang

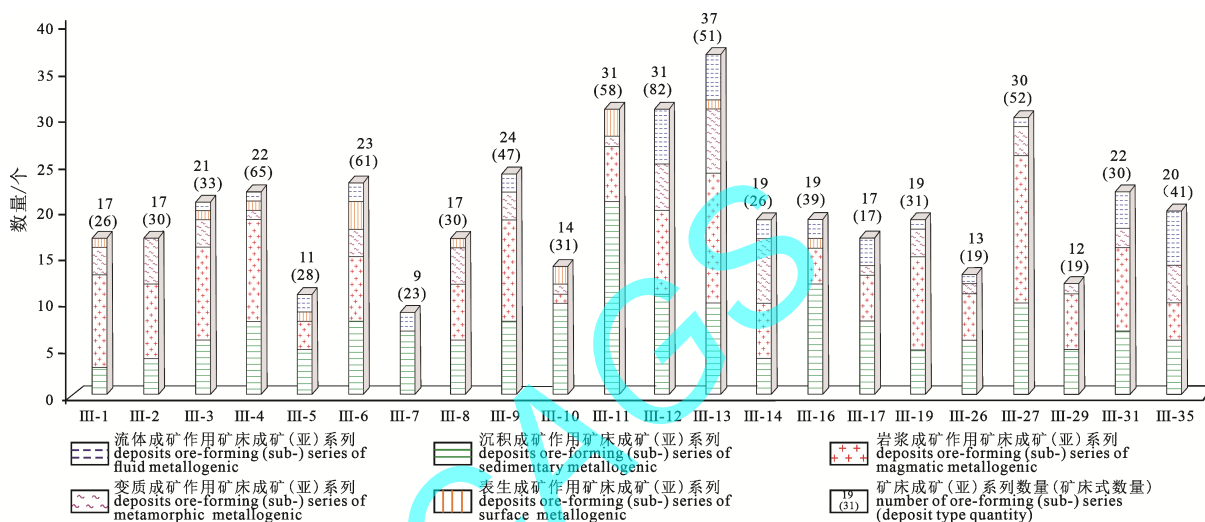


图5 新疆各成矿单元矿床成矿(亚)系列分布直方图

Fig. 5 Histogram of deposits metallogenic (sub-) series of metallogenic unit in Xinjiang

矿床成矿系列类型。依据何国琦(1994)的陆间型造山带地壳演化的五阶段模式,将矿床成矿系列类型划分为基底陆壳阶段、拉张型过渡壳阶段、洋壳阶段、汇聚过渡壳阶段及新陆壳阶段等五大类型,以突出反映其成矿演化阶段、地质构造环境及其主要成矿地质事件。

4.3.2.1 基底陆壳阶段

新疆前寒武纪基底陆壳有两种单元:隆起区和拗陷区。拗陷区包括伊犁、塔里木、吐鲁番—哈密等3个现代盆地,其结晶基底上覆盖有巨厚未变质显生宙盖层沉积。隆起区分布于塔里木盆地边缘,如何坪塔格、库鲁克塔格、阿尔金及铁克里克等。根据其成矿系列特征,可划分为7个成矿系列类型。绿岩-准绿岩建造中金、铜矿床成矿系列类型,晚太古—古元古界变质的绿岩或准绿岩建造中,以库鲁克塔格的永红山铜金矿和北山白石滩金矿为代表;火山-碎屑-碳酸盐建造中沉积变质铁、铜、金、石墨、磷灰石矿床成矿系列类型,产于古—中元

古界变质的沉积岩系中,如天湖铁矿、布穹铁(铜)矿床、英格布拉克铁矿等;火山-硅铁建造中的沉积变质铁矿床成矿系列类型,新疆以赞坎为代表,主要分布于羌塘弧盆系之塔什库尔干—甜水海地块,在北山古生代裂谷系、铁克里克陆缘地块、库鲁克塔格陆缘地块等构造带亦有同时期该类型铁矿产出;镁质碳酸盐岩-碎屑岩沉积建造中沉积改造型铅锌(铜)、银矿床成矿系列类型,以星星峡地块内彩霞山铅锌银矿床为代表,产出于长城系,为增生陆壳发展晚期热液改造之产物;双峰式火山岩及碱性火山岩沉积建造有关的铁、铜、金矿床成矿系列类型,产于碱性火山岩沉积建造中的铜金矿化,以赛里木地块内的喇嘛萨依为代表;镁铁-超镁铁杂岩及碱性超镁铁岩-碳酸岩建造有关的岩浆型铜、镍(铂族)、磷灰石、透辉石(稀土)矿床成矿系列类型,主要分布于库鲁克塔格基底陆壳中新元古代晚期镁铁-超镁铁杂岩和碱性超镁铁岩(富钾的辉石岩)-岩浆碳酸盐岩建造,前者以兴地II号铜镍矿为代表,

后者以风化形成世界型蛭石矿床而著称。花岗岩类岩浆作用有关的铅锌、云母(白云母)、宝石、稀有金属、稀土矿床成矿系列类型,主要为那拉提中间地块内的牙门沙拉铅锌矿、夏特白云母矿;以库鲁克塔格的阔克塔格西稀土铌钽铅矿床和且干布拉克稀土矿为代表。

4.3.2.2 拉张型过渡壳阶段

矿床成矿系列类型主要有3个。陆缘浅海环境与硅质岩-碳酸盐岩建造有关的沉积型磷、钒、铀、铁、锰、铅锌矿床成矿系列类型,属于基底拉张初期沉积产物,具盖层特征,这类矿床有两个亚类,其一为磷、钒、铀亚类,分布于博罗科努、柯坪—库鲁克塔格—北山一带,形成寒武纪科古尔琴磷矿,柯坪地区的苏盖特布拉克磷钒铀矿床等,库鲁克塔格的西山布拉克磷矿,北山地区平台山磷钒铀矿床;其二为浅海陆棚相铁、锰、铅锌矿亚类型,分布于南天山艾尔宾、阔克萨勒、柯坪及西天山的哈尔克及巴伦台等地,产沉积型铁、锰及锆矿。已知矿床有奥尔托喀纳什、开孜维克等。岩浆型被动陆缘与双峰式火山-沉积建造有关的铁、铜、铅锌、金、银矿床成矿系列类型,新疆南阿尔泰泥盆纪岩浆型被动陆缘拉张阶段的矿床成矿系列是此类型的典型代表。非岩浆型被动陆缘热水成矿有关的铅锌、锑(汞)、金、石膏、菱镁矿床成矿系列类型,早期形成蒸发岩类型石膏矿床、中—晚期与热流体成矿有关的层控菱镁矿、菱铁矿及铅锌矿床。以喀喇昆仑林济塘海相碎屑岩-碳酸盐岩建造有关层控铅锌矿床,已发现火烧云超大型铅锌矿床。

4.3.2.3 洋壳阶段

洋壳阶段主要地质作用产物为洋中脊的蛇绿岩建造和大洋板内碱性火山岩链。其矿化是幔源的铜、铬、铂以及超镁铁岩有关的石棉、滑石、玉石(透闪石玉)等,矿床成矿系列类型有2个。蛇绿岩建造有关的铬、石棉、玉石(软玉)、滑石矿床成矿系列类型,依连哈比尔尕的沙大王铬铁矿及滑石、清水河的玉石(透闪石)、卡瓦布拉克铬铁矿等均为这个类型的产物。细碧角斑岩建造有关铜黄铁矿矿床成矿系列类型,博罗科努带的可可乃克小型矿床属于此类型。含铜硫铁矿体直接围岩为细碧-角斑岩,成矿与细碧角斑岩建造的玄武岩有关,为近火山口块状硫化物矿床。

4.3.2.4 汇聚型过渡壳阶段

当构造带的地应力环境由拉张转为挤压时,该区地壳发展即进入汇聚型过渡壳阶段,主要产物为钙碱性的闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩建造,安山岩建造或基-中-酸连续系列火山岩建造;地表沉

积由深-半深海非稳定型沉积向浅海及海-陆交互相次稳定类型沉积演化。主要矿床成矿系列类型有4个。岛弧、大陆弧异地型钙碱性花岗岩建造有关斑岩型-矽卡岩型-热液型钨、锡、钼、铜、铅锌矿床成矿系列类型,构成从花岗岩类到接触带直至围岩的斑岩型-云英岩型-矽卡岩型、中低温热液型的完整序列,成矿物质兼有幔源和壳源色彩。代表性矿床有土屋-延东斑岩型铜矿床、包古图铜矿床、苏云河钼矿床。岛弧、大陆弧基-中-酸性火山岩建造、火山-潜火山岩建造、火山-沉积建造有关铜、钼、铅锌矿床成矿系列类型,可分为两种亚类型,其一为海相连续序列火山岩建造、中酸性火山岩建造有关铜-铅锌-金矿床成矿系列亚类型,以彩花沟为代表,矿化为铅-锌-铜组合;其二为中性火山-潜火山岩建造有关铜-钼矿床成矿系列亚类型,为与潜火山岩体有密切关系的似层状矿化,围岩蚀变为透辉石化-石榴石化-绿帘石化组合。与陆源碎屑-碳酸盐岩建造有关的金、铁、铅锌矿床成矿系列类型,以北山地区大青山金矿(含碳碎屑岩)、觉罗塔格带齐石滩金矿化(含碳碎屑岩型)为代表。区域动-热变质作用有关的云母(白云母)、红柱石、石墨矿床成矿系列类型,如产于星星峡地块内与新元古代动-热变质作用形成的图兹雷克和石英滩白云母矿床;南天山与泥盆纪汇聚阶段动-热变质作用形成的库鲁克坤大型红柱石矿床。

4.3.2.5 新陆壳阶段

新陆壳阶段分为“固结期”、“弛张期”、“板内早期”及“板内主期”4个时期,有着不同的矿床成矿系列类型。

“固结期”形成异地型钾长花岗岩-碱性花岗岩建造有关的钨、锡、硅灰石、水晶矿床成矿系列类型,准原地交代型钾长花岗岩有关的花岗伟晶岩型云母-稀有金属-宝石及斑岩型-矽卡岩-热液型铁、铜、钼及硅灰石矿床成矿系列类型,低级变质含碳碎屑岩建造有关的金矿床成矿系列类型,磨拉石建造中沉积型铜矿床成矿系列类型,代表性成矿有觉罗塔格石炭纪固结期钾长花岗岩-碱性花岗岩建造有关的钨矿(小白石头泉及绿州泉)硅灰石矿(小草滩)、西昆仑南部的大红柳滩地区与三叠纪构造活化岩浆作用有关的花岗伟晶岩型稀有金属矿(大红柳滩、喀拉卡等大型稀有金属矿床)、西南天山复理石含碳碎屑岩建造内的萨瓦亚尔顿金锑矿床、博格达石炭纪拗拉谷内达坂城铜沟铜矿床。

“弛张期”形成深断裂镁铁-超镁铁岩建造有关岩浆型铜、镍矿床成矿系列类型,上叠裂谷双峰式火山岩-辉绿岩建造有关铁、铜、金、银矿床成

矿系列类型,代表性成矿有北准噶尔的喀拉通克、东天山觉罗塔格的黄山—镜儿泉、北山成矿带潜火山岩相辉绿岩中的磁铁矿矿床(磁海)。

“板内早期”形成韧性剪切带构造-岩浆作用有关金-稀有金属矿床成矿系列类型,构造-岩浆活化带钙碱性花岗岩建造有关斑岩型-矽卡岩型-热液型铜、铅锌、钨、锡、钼矿床成矿系列类型,构造-岩浆活化带钙碱性花岗岩建造有关斑岩型-矽卡岩型-热液型铜、铅锌、钨、锡、钼矿床成矿系列类型,上叠陆相火山盆地金膨润土、沸石、锰矿床成矿系列类型,板内碳酸盐岩建造有关层控型铅锌、铁、锰、石膏、铝土矿床成矿系列类型,地幔柱活动有关深源碱性辉长岩-正长岩-碳酸岩建造有关铁、钛、钒、稀土元素、宝石及金刚石矿床成矿系列类型,代表性成矿有东准噶尔的卡拉麦里带的双泉金矿床、大南湖已发现哈密沙尔湖膨润土中型矿床(处于早二叠世陆相火山岩建造)、南天山的艾尔宾带的帕尔岗沉积型铁矿床、在南天山与偏碱性辉长岩有关的钒钛磁铁矿化和岩浆碳酸岩有关的稀土元素-稀有金属及宝石矿化。

“板内主期”形成盆地沉积作用有关石油、天然气、煤(煤成气)、铀、铁(菱铁矿、赤铁矿)、耐火黏土矿床成矿系列类型,海相、陆相蒸发-沉积作用有关盐类矿产及泥炭矿床成矿系列类型,表生作用有关蛭石、铀矿、金(砂金)、铂(砂铂)矿床成矿系列类型,代表性成矿有塔里木油气聚集盆地、准噶尔周缘聚煤岩系、塔里木周缘表生蒸发沉积的天然碱-石膏-芒硝-盐-钠硝石-钾盐矿、西天山伊犁盆地库捷尔斯太铀矿、阿尔泰及昆仑山的南北缘发育水系中广泛分布有第四纪形成的砂金(铂)矿床。

4.3.2.6 矿床成矿系列类型的演化

新疆矿床成矿系列类型的时空及物质演化,具有由老而新,成矿作用类型趋于多样化,成矿物质趋于复杂化,矿床成因类型越来越丰富的特点。构造演化阶段上,拉张阶段特征成矿元素为 Fe、Cu,洋壳阶段特征元素为 Cr、Cu、Ni,汇聚阶段特征成矿元素为 Mo-Cu-PbZn-Fe 组合,新陆壳固结期成矿特征元素为 W、Sn、Be、Li、Nb、Ta、Rb。而 Au 和 Pb、Zn 是贯穿于几乎所有发展阶段的成矿元素。空间分布上,拉张阶段以基底陆壳与拉张型过渡壳的界线为起点,向扩张中心方向依次为 Fe-Pb-Zn 组合、Cu-Au-Zn 组合、Cu(Au)组合序列。汇聚阶段及新陆壳阶段的构造带中,是由拉张阶段堆积物、洋壳残片、汇聚阶段堆积物以及新陆壳阶段堆积物组成的综合体,内生矿化作用基本上以火山-深成作用形成的岩浆岩带为轴线,近陆侧以 W、Sn、Mo、Fe 为主,远陆侧或近洋侧以 Cu、Pb、Zn 为主。在

矿化分带上,W、Sn、Mo、Fe 在岩基带的内外接触带附近,Cu、Pb、Zn 等稍远些,斑岩类型 Cu、Mo、Au 及热液型 Au 等在更浅一些的部位。即使这样,相同发展阶段的构造带内,地壳表层可见的矿床成矿系列也因剥蚀程度的不同而有所不同。

4.4 成矿新认识

4.4.1 “两环两缘”区域成矿新认识

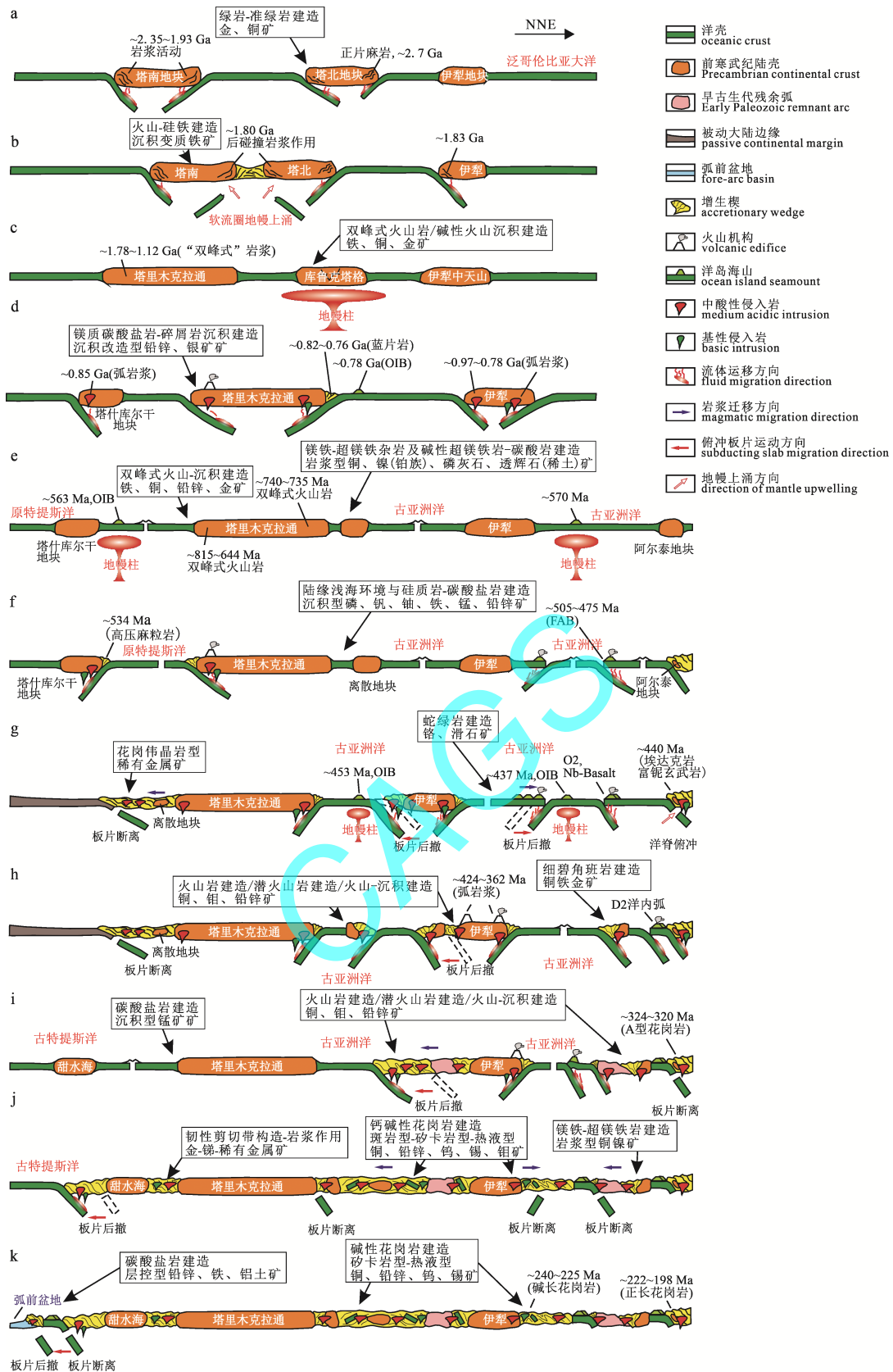
新疆“两环两缘”区域成矿新认识是董连慧等于 2006 年首次提出(董连慧等, 2006),认为“环准噶尔”以古生代岩浆作用成矿为主导,“环塔里木”以前寒武纪老基底层控后期叠加改造及显生宙不同时代陆缘盆地沉积、层控作用成矿为主要特征——在板块接合部位或其附近地段出现与岩浆作用有关的稀有稀土金属矿产和钨锡矿,与上叠火山盆地、裂隙槽等有关的火山岩型铁、铅锌矿。“西伯利亚板块南缘”主要形成与古生代岩浆作用有关的火山沉积型铜、铅锌、铁及与花岗伟晶岩有关的稀有金属矿产;“青藏板块北缘”主要形成与中生代沉积、层控热液作用有关的铅锌、铋汞及与花岗伟晶岩有关的稀有金属矿产。

4.4.2 中生代“成矿大爆发”

中生代是我国一个非常重要的成矿期,中国东部发育岩浆作用为主体的大规模成矿作用和成矿物质的巨量堆积的“成矿大爆炸”,形成一批国内外驰名的大型-超大型矿床(裴荣富等, 2008)。新疆作为欧亚大陆成矿的一部分,中生代构成新疆第三次成矿高峰,亦可称之为新疆“成矿大爆炸”与全国该时期成矿“大爆炸”相呼应,具有大面积成矿、成大矿的特点。其表现虽以能源矿产为主体,与我国东部成矿特点明显不同,但中生代也形成了一大批大型-超大型金属矿床。如新疆南部古特提斯成矿域,新发现的大规模巨型铅锌成矿带、大红柳滩稀有金属成矿带,评价出一系列大型-超大型铅锌、锂矿床令世人瞩目;西南天山穆龙套型萨瓦亚尔顿超大型金矿床、阿尔泰山可可托海花岗伟晶岩型超大型锂铍矿床、觉罗塔格东戈壁、白山斑岩型大型钼矿床等。中生代是中亚成矿域大面积成矿的必然响应的时期,也将是新疆今后地质勘查找矿的主攻成矿期。

5 新一轮找矿突破战略行动建议

“十四五”伊始,国家实施新一轮找矿突破战略行动,这是国家保障能源资源安全的重大部署,是自治区摸清矿产资源家底、推动资源优势转战略的重大举措。新疆作为找矿突破的主战场,聚焦不同地壳构造演化阶段的优势成矿类型(图 6),以需求、目标为导向,充分发挥地质勘查与研究成果,



a—太古宙—古元古代; b—古元古代晚期; c—中元古代; d—新元古代早中期; e—新元古代晚期; f—寒武纪—早奥陶世;
g—中奥陶世—中志留世; h—晚志留世—晚泥盆世; i—石炭纪; j—早二叠世—早三叠世; k—中晚三叠世。

OIB—洋岛玄武岩; FAB—前弧玄武岩; Nb-Basalt—富铌玄武岩。

a—Archean–Paleoproterozoic; b—Late Proterozoic; c—Mesoproterozoic; d—Early and middle Neoproterozoic;
e—Late Neoproterozoic; f—Cambrian–Early Ordovician; g—Middle Ordovician–Middle Silurian; h—Late Silurian–Late Devonian;
i—Carboniferous; j—Early Permian–Early Triassic; k—Middle and Late Triassic.
OIB—Oceanic Island Basalt; FAB—fore-arc Basalt; Nb-Basalt—niobium-rich Basalt.

图6 新疆主要地质时期构造演化模式及其优势成矿类型(据赵同阳等, 2021 修改)

Fig. 6 Tectonic evolution model and dominant metallogenic types in Xinjiang (modified from ZHAO et al., 2021)

加大战略性矿产勘查力度, 必将迎来一个全新的矿产勘查高峰, 促进和实现找矿第三次重大突破。

新疆前寒武陆块形成、显生宙陆缘发展和中—新生代板内活动三大地壳演化阶段清晰并制约着重要成矿带矿床成矿系列形成和发展, 特别是显生宙以来陆缘发展阶段成矿作用表现的更加凸显。重要成矿区带及其主导成矿系列和重要矿床类型的厘定是新疆矿产地质志研编的重要成果, 是新疆“主攻昆仑—阿尔金、深化天山—准噶尔周缘”勘查总布局(冯京等, 2021)和确定的四大工程、14个矿产资源基地(图 7i)的重要支撑, 也是指导找矿突破战略行动的关键方向。找准重要成矿带的主导成矿系列, 按照“全位成矿, 缺位找矿”观点, 以亚系列或矿床式组的层面为重点, 建立区域成矿模型, 开展区

带(片区)系列评价与模式找矿, 将是《中国矿产地质志·新疆卷》研编服务新疆新一轮找矿突破战略行动最生动的实践。新疆主要矿床成矿系列类型的主攻方向如下(图 7):

与岩浆型被动陆缘、与双峰式火山-沉积建造有关块状硫化物型 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag 矿床成矿系列类型(晚古生代早期拉张-汇聚早期阶段)(图 7a): 深化南阿尔泰成矿带阿舍勒、布尔津、阿尔泰、苏普特泥盆纪火山盆地(图 7a-1)和准噶尔南缘成矿带喀拉塔格志留—泥盆纪火山盆地(图 7a-2)铜、(铁)、铅锌、金矿的评价。

与岛弧、大陆弧异地型钙碱性花岗岩建造有关斑岩型—矽卡岩型-热液型 Mo、Cu、W、Sn、Pb、Zn 矿床成矿系列类型(晚古生代汇聚阶段)(图 7b):

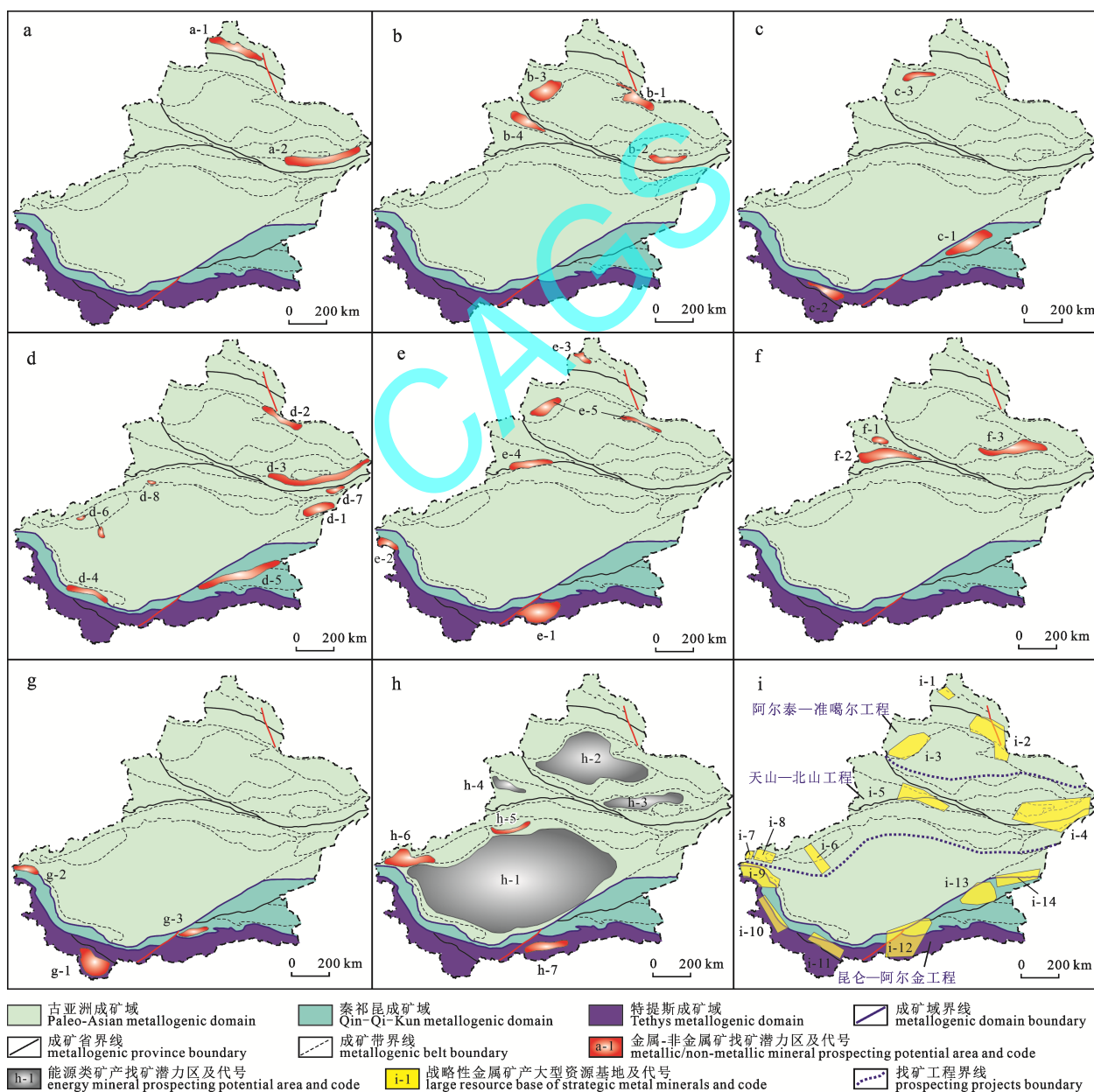


图 7 新疆主要矿床成矿系列类型找矿方向部署图
Fig. 7 Prospecting map of major metallogenic series types of the deposits in Xinjiang

加强北准噶尔成矿带杜热—萨尔托海—北塔山一带(图 7b-1)、觉罗塔格成矿带土屋—帕尔塔格西一带(图 7b-2)勘查,探索评价唐巴勒—卡拉麦里成矿带石屋—包古图一带(图 7b-3)、伊犁微地块北缘成矿带达巴特—黑山头—莱历斯高尔一带(图 7b-4)。

准原地交代型正长花岗岩-花岗伟晶岩型及斑岩型-矽卡岩-热液型 Fe、Cu、Mo、W、Sn、RM、萤石矿床成矿系列类型(早古生代—中生代汇聚固结期)(图 7c): 主攻阿尔金成矿带塔什达板—瓦石峡南一带(图 7c-1)早古生代晚期花岗伟晶岩型稀有金属矿和岩浆热液型萤石、钨、锡矿,木孜塔格成矿带大红柳滩一带(图 7c-2)中生代花岗伟晶岩型稀有金属矿,探索唐巴勒—卡拉麦里成矿带苏云河—白杨河一带(图 7c-3)稀有、钨钼、萤石的评价。

与弛张期深断裂镁铁-超镁铁岩建造有关岩型 Cu、Ni、Co 矿床成矿系列类型(晚古生代晚期伸展阶段)(图 7d): 主攻北山成矿带坡北—启鑫东段(图 7d-1),深化北准噶尔成矿带库拉比也—北塔山一带(图 7d-2)、觉罗塔格成矿带觉罗塔格—白鑫滩—黄山—图拉尔根一带(图 7d-3),探索特提斯成矿带北部对接带柯岗—托满一带(图 7d-4)、阿尔金成矿带南缘断裂两侧(图 7d-5)的评价。同时,加强与地幔柱活动有关深源碱性辉长岩-正长岩-碳酸岩建造有关的岩浆型铁、钛、钒、稀土矿评价,包括塔里木成矿区瓦吉里塔格—普昌一带(图 7d-6)、中天山卡瓦布拉克成矿带尾亚一带(图 7d-7)的低品位钒钛磁铁矿,以及探索塔里木盆地北缘成矿带波孜果尔一带(图 7d-8)碱性岩-碳酸岩型稀有、稀土矿。

与构造-岩浆作用有关的构造-岩浆热液蚀变型(造山型)Au、Sb、RM 矿床成矿系列类型(晚古生代后期—中生代中期固结-松弛期)(图 7e): 主攻木孜塔格和喀拉米兰成矿带屈库勒克—黄羊岭一带(图 7e-1)金锑矿,加强喀拉昆仑成矿带西段阔克吉勒嘎一带(图 7e-2)、南阿尔泰山成矿带多纳拉萨依—托库孜巴依一带(图 7e-3)、那拉提—巴伦台成矿带卡特巴阿苏—阿腊斯托一带(图 7e-4)、唐巴勒—卡拉麦里成矿带西段加依尔山南侧一带(图 7e-5)金矿的评价。

与上叠裂谷双峰式火山岩-辉绿岩建造有关 Fe、Cu、Au、Ag 矿床成矿系列类型(晚古生代晚期—中生代早期伸展期)(图 7f): 加强伊犁微地块北东缘成矿带吐拉苏石炭纪火山沉积盆地(图 7f-1)陆相火山岩型金矿,伊犁成矿带阿吾拉勒—伊什基里克一带(图 7f-2)石炭—二叠纪海相-陆相火山岩-次火山岩型铁、铜、铅锌、银多金属矿,准噶尔南缘成矿带照壁山—索尔巴斯套一带(图 7f-3)二叠纪陆相火山

岩型金矿的评价。

与海相沉积建造(碳酸盐岩)有关的层控型铅锌、铁、锰、铝土矿床成矿系列类型(晚古生代晚期—中生代板内活动期)(图 7g): 加强喀拉昆仑成矿带宝塔山—火烧云一带(图 7g-1)侏罗纪碳酸盐岩建造中铅锌矿,西昆仑成矿带奥尔托喀纳什—昆盖山一带(图 7g-2)晚石炭世碳酸盐岩建造中锰矿的评价,积极评价木孜塔格成矿带(图 7g-3)晚石炭世碳酸盐岩+硅质岩建造中的锰矿。

与盆地沉积-流体交代作用有关油气、煤、铀、有色金属、菱铁(赤铁)铁矿床成矿系列类型(中生代—新生代板内活动期)(图 7h): 除加强塔里木(图 7h-1)、准噶尔(图 7h-2)、吐哈(图 7h-3)三大沉积盆地及伊犁(图 7h-4)等中小盆地油气、煤铀勘查外,重点评价塔里木成矿区西北缘(图 7h-5、图 7h-6)与中—新生代砂砾岩建造(与热卤水有关)中的铅锌、铜矿,积极探索研究木孜塔格成矿带(图 7h-7)中生代碎屑岩建造中砂岩型铜矿。

6 结语

《中国矿产地质志·新疆卷》全面反映新疆矿产资源全貌,完整总结矿种、区带、时期、系列成矿规律,提出找矿理论和勘查靶区,指明找矿方向。同时,也展示新疆百年勘查历程及丰硕成果。在厘定成矿系列为内核的成矿规律研究中,以成矿区带不同时期成矿作用为主线研究成矿系列,归并成矿作用系列类型;以成矿省为对象建立成矿谱系,研究区域成矿系列规律;以地质时代为角度研究建立五个时段成矿体系时空演化模式,全方位、多层次、整体性总结了新疆构造阶段演化的成矿规律和中亚—西域的区域成矿特色。志书研编是一个理论规律研究总结与找矿实践的相互作用的过程,其成果的推广运用,有力支持了新疆勘查工作部署与规划、矿区评价与综合研究、矿产资源管理与科普宣传,特别是矿床成矿系列理论,对新疆新一轮找矿突破行动的指导作用巨大,有力促进新疆地质工作高质量发展。

致谢: 本文在撰写过程中得到了新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局原总工程师董连慧、原副总工程师刘德权、唐延龄的悉心指导和大力帮助,在此深表感谢!

Acknowledgements

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20221695), and Xinjiang Tianshan Talents Project (No. 2022TSYCCX0040).

参考文献:

- 董连慧, 李凤鸣, 2006. 年新疆地质矿产勘查进展及 2007 年工作要点[J]. 新疆地质, 25(1): 1-3.
- 董连慧, 徐兴旺, 范廷宾, 等, 2015. 喀喇昆仑火烧云超大型喷流-沉积成因碳酸盐型 Pb-Zn 矿的发现及区域成矿学意义[J]. 新疆地质, 33(1): 41-50.
- 董连慧, 刘德权, 唐延龄, 等, 2016. 新疆矿产资源种类及特点初步研究[J]. 新疆地质, 34(4): 463-475.
- 董连慧, 刘德权, 唐延龄, 等, 2017. 新疆矿床类型分级划分探讨[J]. 新疆地质, 35(1): 35-42.
- 董连慧, 2023. 中国矿产地质志·新疆卷[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质局地质资料馆.
- 董连慧, 2017. 矿产地质志·新疆维吾尔自治区矿床成矿系列图(前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代、新生代)(1: 1 500 000)[M]. 北京: 地质出版社.
- 董连慧, 2023. 新疆维吾尔自治区地质矿产图(能源、金属、非金属-水气-宝玉石)(1: 1 500 000)[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质局地质资料馆.
- 冯京, 雷国明, 李凤明, 等, 2021. 新疆“十三五”地质勘查回顾与展望[J]. 新疆地质, 39(2): 179-185.
- 冯京, 朱志新, 赵同阳, 等, 2022. 新疆大地构造单元划分及成矿作用[J]. 中国地质, 49(4): 1154-1178.
- 何国琦, 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.
- 何西恒, 张静, 邓小华, 等, 2023. 东天山古生代斑岩铜矿床成矿规律和构造背景[J]. 岩石学报, 39(2): 293-316.
- 李荣社, 计文化, 何世平, 等, 2011. 中国西部古亚洲与特提斯两大构造域划分问题讨论[J]. 新疆地质, 29(3): 247-250.
- 李文渊, 2018. 古亚洲洋与古特提斯洋关系初探[J]. 岩石学报, 34(8): 2201-2210.
- 裴荣富, 梅燕雄, 瞿泓滢, 等, 2013. 矿床类型模型的地质构造背景、成矿环境和容矿岩石组合[J]. 中国地质, 40(1): 31-42.
- 秦克章, 田野, 姚卓森, 等, 2014. 新疆喀拉通克铜镍矿田成矿条件、岩浆通道与成矿潜力分析[J]. 中国地质, 41(3): 912-935.
- 秦克章, 周起凤, 唐冬梅, 等, 2021. 阿尔泰可可托海 3 号脉花岗伟晶岩侵位机制、熔-流体演化、稀有金属富集机理及待解之谜[J]. 地质学报, 95(10): 3039-3053.
- 申萍, 潘鸿迪, 李昌昊, 等, 2023. 中亚成矿域锂矿床成矿规律及成矿模式[J]. 岩石学报, 39(11): 3185-3209.
- 涂其军, 韩琼, 李平, 等, 2019. 西昆仑大红柳滩一带锂辉石矿基本特征和勘查新进展[J]. 地质学报, 93(11): 2862-2873.
- 汪帮耀, 荆德龙, 姜常义, 等, 2017. 西天山阿吾拉勒火山岩型铁矿带东段成矿地质背景与成矿机理[J]. 岩石学报, 33(2): 385-397.
- 肖文交, 宋东方, WINDLEY B F, 等, 2019. 中亚增生造山过程与成矿作用研究进展[J]. 中国科学: 地球科学, 49(10): 1512-1545.
- 薛春纪, 赵晓波, 赵伟策, 等, 2020. 中-哈-吉-乌天山变形带容矿金矿床: 成矿环境和控矿要素与找矿标志[J]. 地学前缘(中国地质大学(北京); 北京大学), 27(2): 294-319.
- 张振亮, 冯选洁, 高永伟, 等, 2015. 新疆西天山晚古生代主要磁铁矿床(点)成因类型与成矿过程探讨[J]. 中国地质, 42(3): 737-758.
- 赵同阳, 朱志新, 2021. 新疆蛇绿岩时空分布特征及对增生造山过程的制约[J]. 新疆地质, 39(1): 21-29.

References:

- DONG Lianhui, LI Fengming, 2006. The Made Headwasys of Exploration on Geology and Mineral Resources of Xinjiang in 2006 and the work points on it in 2007[J]. Xinjiang Geology, 25(1): 1-3(in Chinese with English abstract).
- DONG Lianhui, XU Xingwang, FAN Tingbin, et al., 2015. Discovery of the Huoshaoyun Super-Large Exhalative-Sedimentary Carbonate Pb-Zn Deposit in the Western Kunlun Area and its Great Significance for Regional Metallogeny[J]. Xinjiang Geology, 33(1): 41-50(in Chinese with English abstract).
- DONG Lianhui, LIU Dequan, TANG Yanling, et al., 2016. Preliminary Study on the Characteristics and Types of Mineral Resources in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 34(4): 463-475(in Chinese with English abstract).
- DONG Lianhui, LIU Dequan, TANG Yanling, et al., 2017. Grading Classification Discuss on Xinjiang Deposit Types[J]. Xinjiang Geology, 35(1): 35-42(in Chinese with English abstract).
- DONG Lianhui, 2023. Geology of Mineral Resources in China • Xinjiang Volume[R]. Urumqi: Xinjiang Bureau of Geology Geological Archive(in Chinese).
- DONG Lianhui, 2017. Geology of Mineral Resources in China • Map of metallogenic series of ore deposits in Xinjiang (Precambrian, Early Paleozoic, Late Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic) (1: 1 500 000)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- DONG Lianhui, 2023. Geology and Mineral Resources map of Xinjiang (Energy, metals, nonmetals-moisture-precious jade) (1: 1 500 000)[R]. Urumqi: Xinjiang Bureau of Geology Geological Archive(in Chinese).
- FENG Jing, LEI Guoming, LI Fengming, et al., 2021. Review and prospect of Xinjiang “13th Five-Year Plan” geological exploration[J]. Xinjiang Geology, 39(2): 179-185(in Chinese with English abstract).
- FENG Jing, ZHU Zhixin, ZHAO Tongyang, et al., 2022. Subdivision of tectonic units and its metallogenesis in Xinjiang[J]. Geology in China, 49(4): 1154-1178(in Chinese with English abstract).
- HE Gguoqi, 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization

- in Xinjiang, China[M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House(in Chinese).
- HE Xihuan, ZHANG Jing, DENG Xiaohua, et al., 2023. Metallogeny and tectonic setting of Paleozoic porphyry copper deposits in the East Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 39(2): 293-316(in Chinese with English abstract).
- LI Rongshe, JI Wenhua, HE Shiping, et al., 2011. The two tectonic domain division discussion between the ancient Asian and Tethys in western China[J]. *Xinjiang Geology*, 29(3): 247-250(in Chinese with English abstract).
- LI Wenyuan, 2018. The primary discussion on the relationship between Paleo-Asian Ocean and Paleo-Tethys Ocean[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(8): 2201-2210(in Chinese with English abstract).
- PEI Rongfu, MEI Yanxiong, QU Hongying, et al., 2013. Geological tectonic settings, depositional environments and ore-hosting rock assemblages for mineral deposits model with universality[J]. *Geology in China*, 40(1): 31-42(in Chinese with English abstract).
- QIN Kezhang, TIAN Ye, YAO Zhuosen, et al., 2014. Metallogenetic conditions, magma conduit and exploration potential of the Kalatongk Cu-Ni orefield in Northern Xinjiang[J]. *Geology in China*, 41(3): 912-935(in Chinese with English abstract).
- QIN Kezhang, ZHOU Qifeng, TANG Dongmei, et al., 2021. The emplacement mechanism, melt-fluid evolution, rare-element metallogenesis and puzzles of the Koktokay No 3 pegmatite rare elemental deposit, Altai[J]. *Acta Geologica Sinica*, 95(10): 3039-3053(in Chinese with English abstract).
- SHEN Ping, PAN Hongdi, LI Changhao, et al., 2023. Lithium deposits in the Central Asian Metallogenic Domain: Metallogenic regularity and model[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 39(11): 3185-3209(in Chinese with English abstract).
- SONG Xieyan, XIE Wei, DENG Yufeng, et al., 2023. Processes of magmatic sulfide mineralization of the Huangshan-Jingerquan Ni-Cu metallogenic belt, NW China: Insights from reviews of chalcophile elements[J]. *Ore Geology Reviews*, 158: 105465.
- SUN Hongwei, OUYANG Hegen, WU Yue, et al., 2023. Sulfide Pb-Zn mineralization in the Tianshuihai terrane, northwest Tibetan plateau: A case study of the Huoshaoyun Pb-Zn deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 163: 105789.
- TU Qijun, HAN Qiong, LI Ping, et al., 2019. Basic characteristics and exploration progress of the spodumene ore deposit in the Dahongliutan area, West Kunlun[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(11): 2862-2873(in Chinese with English abstract).
- WANG Bangyao, JING Delong, JIANG Changyi, et al., 2017. Geological background and metallogenetic mechanism of the eastern Awulale volcanic-hosted iron metallogenic belt in the western Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(2): 385-397(in Chinese with English abstract).
- XIAO Wenjiao, SONG Dongfang, WINDLEY B F, et al., 2019. Research progresses of the accretionary processes and metallogenesis of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Science China Earth Sciences*, 49(10): 1512-1545(in Chinese with English abstract).
- XIAO W, SONG D, WINDLEY B F, et al., 2020. Accretionary processes and metallogenesis of the Central Asian Orogenic Belt: Advances and perspectives[J]. *Science China Earth Sciences*, 63: 329-361.
- XUE Chunji, ZHAO Xiaobo, ZHAO Weice, et al., 2020. Deformed zone hosted gold deposits in the China-Kazakhstan-Kyrgyzstan-Uzbekistan Tian Shan: metallogenic environment, controlling parameters, and prospecting criteria[J]. *Earth Science Frontiers*, 27(2): 294-319.
- ZHANG Zhenliang, FENG Xuanjie, GAO Yongwei, et al., 2015. A tentative discussion on the genetic type and ore-forming process of main late Paleozoic magnetite deposits in West Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 42(3): 737-758(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Tongyang, ZHU Zhixin, 2021. Spatiotemporal Distribution of Ophiolite in Xinjiang and Constraints on Accretionary Orogenic Processes[J]. *Xinjiang Geology*, 39(1): 21-29(in Chinese with English abstract).