

成矿系列理论与找矿预测应用研究

——“矿床成矿系列综合信息找矿预测”专辑特邀主编寄语

肖克炎

中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘 要: 矿床成矿系列理论从 20 世纪 70 年代初开始提出, 先后指导了我国胶东、南岭、秦岭等重要成矿省进行区域成矿规律研究, 并进一步促进上述区域的找矿预测工作。实践经验证明该理论对于总结我国纷繁复杂的成矿规律具有实用性, 其更加适合中国多旋回渐进式演化、多成矿域交汇的实际情况。随着信息技术的发展, 将矿床成矿系列与综合信息找矿技术进行深度融合, 将能更好地促进我国的矿产资源潜力评价工作。鉴于此, 此次专辑依托于全国潜力评价项目、全国动态潜力评价项目和深部重点研发项目, 收录 15 篇成矿系列理论指导找矿预测应用论文, 主要涉及不同矿种从区域小比例尺成矿预测到深边部的大比例尺预测的应用研究成果, 旨在为新一轮找矿突破战略行动中找矿工作选区和部署提供技术与应用示范。

关键词: 全国潜力评价; 矿床成矿系列; 区域找矿预测; 深部找矿预测; 找矿技术

中图分类号: P62 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2023.090701

Research on the Application of Metallogenic Series Theory and Prospecting Prediction: Guest Editor's Preface to the "Comprehensive Information Mineral Resources Prediction of Metallogenic Series of Deposit"

XIAO Ke-yan

Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: The deposit metallogenic series theory was proposed in the 1970s, and has been used to guide the research of regional metallogenic laws in important metallogenic provinces such as Jiaodong, Nanling and Qinling, which promoted the prospecting prediction work in the above regions. Practical experience has proved that the theory has practical guiding significance for the prospecting prediction work under the complex metallogenic laws in China, and it is more suitable for the actual geological conditions of China's multi-cycle progressive evolution and multi-metallogenic domain intersection. With the development of new technologies, the combination of deposit metallogenic series and comprehensive information prospecting technology in the digital era can better promote the evaluation of mineral resources potential in China. Relying on the National Potential Evaluation Project, the National Dynamic Potential Evaluation Project, and the Deep Key Research and Development Project, we selected 15 papers to constitute the special issue. It covers the application of metallogenic series theory to guide the prospecting predictions, including the application research results of different minerals from regional small-scale metallogenic prediction to large-scale prediction of deep, which provides technical and application demonstrations for the selection and deployment of mineral exploration work in the new round of breakthrough strategic actions.

Key words: national potential evaluation; mineral deposits metallogenic series; regional prospecting prediction; deep prospecting prediction; prospecting technology

收稿日期: 2023-08-27; 改回日期: 2023-09-06; 网络首发日期: 2023-09-08。责任编辑: 张改侠。

作者简介: 肖克炎, 男, 1963 年生。博士, 研究员。长期从事矿产资源潜力评价和深部成矿预测研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999606。E-mail: kyanxiao@sohu.com。

成矿系列是区域成矿研究的基础学术思想,是运用系统论、活动论的观点研究地球演化特定时空范围内,地质成矿作用与矿床类型组合(程裕淇等, 1979; 陈毓川等, 1994)。目前,随着信息技术的发展和科学数据大量的积累,科学研究已经进入通过大数据技术研究的第四范式,即数据密集型科学(Cheng et al., 2020)。进而 AI 技术推动矿产资源定量预测评价技术的变革,实现“大数据驱动下”矿体定位与成矿预测是当前研究的趋势与前沿。但是其依旧面临着成矿信息提取-融合难、预测结果不确定性等问题的制约(Xiao et al., 2021)。鉴于此,笔者及研究团队于 2006 年开展了全国重要矿产资源潜力评价项目,于 2017 年开展深部资源预测系统技术与示范项目,通过将成矿系列理论与综合信息成矿预测方法结合,形成知识驱动和数据驱动联合的预测评价方法体系,并研发了相应的 MRAS 和探矿者软件,为我国矿产资源评价领域提供具有自主知识产权的矿产预测评价系统平台。本专辑论文即是上述项目的部分研究成果,主要涉及重点成矿省矿产潜力评价和深部三维成矿预测等相关成矿系列理论应用研究与找矿突破内容,专辑名称为“矿床成矿系列综合信息找矿预测”。

《地球学报》本期专辑收集了 15 篇关于成矿系列综合信息成矿预测研究的学术论文,主要研究内容是以成矿系列理论为指导,运用综合信息预测方法,进行我国重点成矿省关键矿种的预测与应用研究,主要涉及如贵州卡林型金矿、山东胶东型金矿、华南铀矿等。专辑涵盖以下三个主题:(1)紧缺金属矿产成矿系列与找矿突破;(2)紧缺能源-非金属矿产成矿系列与找矿示例;(3)优势矿产成矿系列与找矿突破。以下将对这三方面成果做一简要综述。

1 紧缺金属矿产成矿系列与找矿突破

发现矿床是矿产勘查工作的头等任务,在这个过程中要进行科学找矿。朱裕生等(2023)总结了我国至今四十余年的科学找矿历史进展,并对未来的科学找矿战略行动进行了展望。在传统的地质调查找矿的基础上进行智能化找矿是现在研究的热点(赵鹏大, 2002)。大数据智能算法在地学领域的应用,为我们找矿工作开辟了新思路与新方向。肖克炎等(2023)以成矿系列理论为指导,在原有的综合信息成矿预测基础上,提出矿床成矿系列综合信息预测理论方法,运用大数据技术进行多元成矿信息的智能提取,进而量化圈定成矿远景区,并将此方法应用至熊耳山地区早白垩式金矿的成矿预测,并取得较好的成效,圈定 3 处成矿远景区。柳炳利等(2023)利用矿床成矿系列理论,总结分析甘肃省的夏河—合作矿

集区定量预测模型,在此基础上采用卷积自编码算法进行成矿预测,圈定 7 个成矿远景区,为相同类型金矿的成矿预测提供借鉴意义。

金矿作为重要的贵金属矿产,因其稀有性成为全球各国必争的资源。世界上有南非、美国、俄罗斯、乌兹别克斯坦、澳大利亚、加拿大、巴西等 80 多个国家生产金。我国的金矿类型繁多,分布较广泛,主要分布在我国的东部和中部地区,主要类型有石英脉型、破碎带蚀变岩型、细脉浸染型(花岗岩型)、构造蚀变岩型、铁帽型、火山-次火山热液型、微细粒浸染型等。位于山东省的胶东金矿产量位居全国第一,宋明春等(2023)分析总结胶东型成矿系列为早白垩世与壳幔混合岩浆活动有关的胶东型金矿成矿系列,包含 2 个成矿亚系列,15 个矿床式。该成矿系列的梳理为胶东地区的找矿工作提供了新思路,并发现了一批如台上一水旺巨型金矿、辽上黄铁矿碳酸盐脉型金矿、大邓格金多金属矿床等矿床。刘建中等(2023)系统总结卡林型金矿的时空分布规律,厘定贵州卡林型金矿分为 3 个成矿系列,5 个成矿亚系列和 10 个矿床式,分析成矿系统,构置综合信息找矿模型,圈定 24 个找矿预测区块,为该区域找矿明确方向。陈剑锋等(2023)将湘东北地区燕山期花岗岩有关的(稀有)多金属矿床厘定为 1 个成矿系列以及 6 个成矿亚系列,分析成矿系统,以矿床成矿系列理论中的“缺位找矿”为指导,为该区域寻找钴铜金矿提供找矿方向。

铁矿物种类繁多,已经发现的铁矿物和含铁矿物约 300 余种,其中具有工业利用价值的主要为磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、钛铁矿、褐铁矿等,据美国地质调查局 2020 年数据,全球铁矿石资源已探明储量约为 1 800 亿吨,主要分布在乌克兰、中国、俄罗斯、巴西等国。我国铁矿石资源量排名世界第三,但是品位相对较低,主要集中分布在辽宁、山东、山西、内蒙古、新疆等地。郝兴中等(2023)研究总结了山东省内铁矿床的地质演化规律、控矿要素,厘定出该省铁矿 6 个成矿系列,9 个成矿亚系列,14 个矿床式。在此基础上结合物化遥信息构建铁矿综合找矿预测模型,圈定 36 处成矿远景区,为全省铁矿找矿工作提供勘查部署依据。李凤明等(2023)汇总分析新疆阿吾拉勒铁矿带已有的地质调查资料,总结伊犁成矿带铁矿的演化赋存规律,厘定出 2 个成矿系列,4 个成矿亚系列,18 个矿床式。以成矿系列理论为指导,结合适合高山西区的高效快速勘查技术,开辟了典型矿备战铁矿的第二找矿空间,为该区下一步以铁为主的矿产勘查指明方向。

贵州重晶石的探获,进一步增加了我国重晶石的资源量,同处一个成矿系列的锰矿资源潜力评价

工作在周琦等(2023)得到进一步的研究,以成矿系列理论为基础,先后提交勘探备案锰矿石资源储量达 1.76 亿吨,实现了锰矿找矿重大突破。

随着工业化进程的快速发展,我国已经成为全球第一大铝生产和消费国。依据美国地质调查局 2021 年储量报告显示,全球铝土资源为 550~750 亿吨,我国的储量为 10 亿吨,排名世界第七,主要分布在广西、河南、贵州三省,其中广西铝土资源占全国的 49%。罗允义等(2023)系统地总结了广西省铝土矿成矿类型、综合利用情况、分布特征、成矿规律。厘定出 2 个铝土矿床成矿系列,圈定 7 处成矿远景区,为下一步找矿勘查提出方向。

2 紧缺能源-非金属矿产成矿系列与找矿示例

铀矿作为一种战略资源,主要运用于国防建设和核能发展,世界上铀矿资源分布极不均匀,主要分布在澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦等国。我国是核电大国,装机容量世界第三,但铀矿资源相对紧缺,被列为紧缺的战略性矿产,依据中国核能行业协会预测数据,截止到 2030 年中国铀矿资源缺口将达到 90%。依据工业类型,铀矿主要分为花岗岩型、斑岩型、火山岩性、碳硅泥岩型和砂岩型铀矿(樊铭静等, 2020)。华南地区是我国花岗岩型铀矿的主要产地,范洪海等(2023)运用矿床成矿系列理论,总结分析了该地区不同类型(3 个大类, 4 个亚类)花岗岩型铀矿的成矿机理、控矿因素,结合物化遥综合异常信息,构建铀矿综合信息预测评价模型。进而重点预测了富大铀矿成矿远景区 4 片,并在远景区内选择典型矿床,利用三元大数据智能预测理论方法,进行深部的三维定量预测,圈定 17 处深部靶区,为华南地区铀矿找矿工作部署提供科学依据。

作为开采成本低、矿床规模较大的砂岩型铀矿,主要分布在我国北方新生代的盆地中(张金带等, 2008; 金若时和滕雪明, 2022)。其中鄂尔多斯盆地是华北克拉通内大型石炭二叠纪盆地之上又叠加了中生代盆地的多重叠盆地,是我国煤-油气-铀矿等多种能源矿产共存的盆地之一(邓军等, 2005)。张博等(2023)系统总结了该盆地西南缘彭阳铀矿典型矿床的成矿规律,分析其成矿系统,梳理成矿要素,构建彭阳铀矿的成矿模式与找矿预测模型,为找同类型铀矿提供指示意义。

金刚石是人类已知的最硬天然物质,世界上已经在南非、澳大利亚、刚果(金)、博茨瓦纳、俄罗斯、加拿大、中国、美国等 35 个国家发现金刚石资源,其中约 60%产出在非洲。我国的金刚石资源主要分布在辽宁、山东、湖南和江苏(刘陟娜等, 2016)。

目前山东省金刚石资源累计查明资源储量稳居全国第一,但是在找矿方法上存在瓶颈。周冠云等(2023)以矿床成矿系列为指导,综合分析山东蒙阴地区的物化遥多元信息数据,提出隐伏金刚石矿勘查指标体系,构建地质大数据建模技术体系,圈定 6 个找矿远景区,为蒙阴地区金刚石深部找矿突破提供方法技术基础。

3 优势矿产成矿系列与找矿突破

我国的钨锡矿资源在空间上分布极不均衡,80%钨矿资源集中分布在华南地块(蒋少涌等, 2020)。王先广等(2023)重点总结了江西钨锡成矿单元中江南和南岭成矿带钨锡矿成矿系列特征、成矿区带时空演化规律及找矿突破。将该区域划分为 9 条成矿亚带和 15 个矿集区,进而厘定出江南地块与燕山期岩浆有关的 3 个成矿系列、6 个成矿亚系列和 15 个矿床式。在矿床成矿系列“全位成矿、缺位找矿”理论指导下,结合了“脉面层体”就矿找矿思路,运用多元探测技术组合找矿方法,探获世界级钨矿 3 处,并提出在九瑞、萍乐凹陷区具有寻找隐伏铜矿的潜力。

稀土被称之为“万能之土”、“工业维生素”、“国之瑰宝”,是国民经济发展中不可替代的矿产资源(王登红等, 2016; 郑国栋等, 2021)。我国是世界上稀土资源储量最大的国家,主要分布在内蒙古白云鄂博、山东微山等地。兰君等(2023)总结分析了山东(鲁)西部的稀土矿的成矿规律与成矿系统,进而厘定出 1 个成矿系列和 1 个成矿亚系列,重点剖析 2 个典型矿床式。在成矿系列理论和岩体控矿的找矿思路指导下,以寻找中生代崞山岩体为目标,成功圈定 44 条矿体,提交特大型稀土矿 1 处,取得重大找矿突破。

中国一直以来是重晶石出口国,年供给量占世界总量的 40%,储量位居世界第三。该矿种作为欧美高度依赖的优势矿产,已将其列为关键矿产。主要分布在贵州、湖南、广西、陕西和甘肃等地。周琦等(2023)总结贵州新元古代锰矿-重晶石成矿规律,构建区域成矿模式,厘定出 1 个成矿系列、2 个成矿亚系列和 3 个矿床式,重点剖析成矿亚系列,还原成矿系统。应用矿床成矿系列理论,实现重晶石找矿突破。

4 致谢

本专辑 15 篇文章均为之前全国潜力评价项目和深部重点研发项目中的成果,这些成果成功地将矿床成矿系列理论与找矿预测工作相结合,并利用新技术新方法,探索适合不同矿种、不同地区的找

矿预测新思路,为我国战略性矿产找矿工作提供示范应用实例。

本专辑的出版,得到了中国地质科学院矿产资源研究所和全国有关地质调查单位、专家、学者的支持与响应,并由中国地质调查局地质调查项目、国家自然科学基金项目、国家重点研发计划、省级财政资金等项目联合资助。同时《地球学报》编辑部与多位匿名审稿人为本专辑论文的评审与编辑校正工作付出了辛勤劳动,在此一并衷心感谢。

参考文献:

- 陈剑锋,黄建中,文春华,张锦熙,彭薇,李胜苗,曹创华,安江华. 2023. 浅论湘东北地区与燕山期花岗岩有关矿床的成矿系列与找矿方向[J]. 地球学报, 44(5): 815-833.
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, (3): 90-94.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 32-57.
- 邓军,王庆飞,高帮飞,黄定华,杨立强,徐浩,周应华. 2005. 鄂尔多斯盆地演化与多种能源矿产分布[J]. 现代地质, 19(4): 538-545.
- 樊铭静,肖克炎,徐旸. 2022. 全球关键矿产资源潜力评价理论方法的发展趋势与进展[J]. 科学技术与工程, 22(01): 1-17.
- 范洪海,庞雅庆,何德宝,陈东欢,王勇剑,孙远强,耿瑞瑞. 2023. 华南花岗岩型铀矿成矿作用及成矿预测[J]. 地球学报, 44(5): 887-896.
- 郝兴中,肖克炎,王巧云,朱学强,李英平,智云宝,张 文,张志刚,彭观峰,刘芳,刘彬彬. 2023. 山东铁矿成矿规律及潜力分析[J]. 地球学报, 44(5): 834-848.
- 蒋少涌,赵葵东,姜海,苏慧敏,能索菲,能伊曲,徐耀明,章伟,朱律运. 2020. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展[J]. 科学通报, 65: 3730-3745.
- 金若时,滕雪明. 2022. 中国北方砂岩型铀矿大规模成矿作用[J]. 华北地质, 45(1): 42-57.
- 兰君,张鹏,孙莉,邢楠,李得建,杨云涛,李衣鑫,肖克炎,徐洪岩,王健. 2023. 鲁西地区稀土矿床成矿系列划分与找矿新突破[J]. 地球学报, 44(5): 933-942.
- 李凤明,赵同阳,高奇,范廷宾,张建收,丁海波,刘洋,高峰峰. 2023. 新疆阿吾拉勒铁矿带成矿系列和找矿重大突破[J]. 地球学报, 44(5): 849-866.
- 刘建中,徐良易,宋威方,王泽鹏,王大福,杨成富,李俊海,郑禄林,李松涛,谭亲平,谢卓君,刘婧珂,杨毓红,谭礼金,陈发恩,谭代卫,汪小勇. 2023. 贵州卡林型金矿成矿系列及找矿方向[J]. 地球学报, 44(5): 797-814.
- 刘陟娜,许虹,王秋舒,陈梅. 2016. 全球金刚石资源分布现状及其我国勘查开发建议[J]. 中国矿业, 25(7): 5-10.
- 柳炳利,谢森,孔韞辉,唐瑞,余正波,罗德江. 2023. 基于卷积自编码网络的夏河—合作地区金矿定量预测[J]. 地球学报, 44(5): 877-886.
- 罗允义,林建辉,徐文忠,韦国深,韦子任,廖开立. 2023. 广西铝土矿矿床特征、成矿规律、成矿系列及找矿方向[J]. 地球学报, 44(5): 867-876.
- 宋明春,胡文萱,李杰,丁正江,宋英昕,彭永和. 2023. 胶东型金矿成矿系列及找矿案例[J]. 地球学报, 44(5): 781-796.
- 王登红,王瑞江,孙艳,李建康,赵芝,赵汀,屈文俊,付小方,江善元,黄华谷,冯文杰,徐平,李胜苗,黄新鹏,周辉,朱永新,涂其军,李新仁,方一平,周园园. 2016. 我国三稀(稀有稀土稀散)矿产资源调查研究成果综述[J]. 地球学报, 37(5): 569-580.
- 王先广,曹圣华,龚良信,胡正华,曹明轩,张德富,陈麒如. 2023. 江西钨锡多金属矿床成矿系列与找矿[J]. 地球学报, 44(5): 916-932.

- 肖克炎,樊铭静,孙莉,朱裕生,徐旸. 2023. 矿床成矿系列综合信息预测理论方法及其应用[J]. 地球学报, 44(5): 769-780.
- 张博,苗培森,肖克炎,李建国,赵华雷,陈印,汤超,司庆红,朱强. 2023. 鄂尔多斯盆地西南缘彭阳铀矿地质特征、成矿规律及找矿标志[J]. 地球学报, 44(5): 897-908.
- 张金带,李友良,简晓飞. 2008. 我国铀资源勘查状况及发展前景[J]. 中国工程科学, 10(1): 54-60.
- 赵鹏大. 2002. “三联式”资源定量预测与评价——数字找矿理论与实践探讨[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 27(5): 482-489.
- 郑国栋,王琨,陈其慎,张艳飞,邢佳韵,龙涛,董延涛,倪晋鹏. 2021. 世界稀土产业格局变化与中国稀土产业面临的问题[J]. 地球学报, 42(2): 265-272.
- 周冠云,朱成河,高存山,褚志远,肖克炎,王江霞,陈建平. 2023. 大数据框架下金刚石地质成矿信息挖掘及应用[J]. 地球学报, 44(5): 909-915.
- 周琦,袁良军,吴冲龙,陶平,杨炳南,张遂,杜远生,刘雨,谢兴友,陈启飞,刘灵. 2023. 贵州新元古代锰、重晶石等矿床成矿系列及找矿突破[J]. 地球学报, 44(5): 943-954.
- 朱裕生,梅燕雄,魏然,王嘉玮,李静. 2023. 科学找矿工作的探索——兼述战略性矿产找矿工程[J]. 地球学报, 44(5): 753-767.

References:

- CHEN Jian-feng, HUANG Jian-zhong, WEN Chun-hua, ZHANG Jin-xu, PENG Wei, LI Sheng-miao, CAO Chuang-hua, AN Jiang-hua. 2023. A Preliminary Study of Metallogenic Series and Its Prospecting Direction Related to Yanshannian Granites in Northeastern of Hunan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 815-833(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, (3): 90-94(in Chinese with English abstract).
- CHENG Qiu-ming, OBERHÄNSLI Roland, ZHAO Mo-lei. 2020. A new international initiative for facilitating data-driven Earth science transformation[J]. Geological Society, London, Special Publications, 499: 225-240.
- CHENG Yu-qi, CHEN Yu-chuan, ZHAO Yi-ming. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1): 32-57(in Chinese with English abstract).
- DENG Jun, WANG Qing-fei, GAO Bang-fei, HUANG Ding-hua, YANG Li-qiang, XU Hao, ZHOU Ying-hua. 2005. Evolution of Ordos Basin and Its Distribution of Various Energy Resources[J]. Geoscience, 19(4): 538-545(in Chinese with English abstract).
- FAN Ming-jing, XIAO Ke-yan, SUN Li, XU Yang. 2022. Development Trend and Progress of Theories and Methods for Potential Evaluation of Global Critical Mineral Resources[J]. Science Technology and Engineering, 22(01): 1-17.
- FAN Hong-hai, PANG Ya-qing, HE De-bao, CHEN Dong-huan, WANG Yong-jian, SUN Yuan-qiang, GENG Rui-rui. 2023. Metallogenic Process and Prediction of Granite-related Uranium Deposits in South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 887-896(in Chinese with English abstract).
- HAO Xing-zhong, XIAO Ke-yan, WANG Qiao-yun, ZHU Xue-qiang, LI Ying-ping, ZHI Yun-bao, ZHANG Wen, ZHANG Zhi-gang, PENG Guan-feng, LIU Fang, LIU Bin-bin. 2023. Metallogenic Regularity and Potential Analysis of Iron Ore in Shandong Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 834-848(in Chinese with English abstract).
- JIANG Shao-yong, ZHAO Kui-dong, JIANG Hai, SU Hui-min,

- XIONG Suo-fei, XIONG Yi-qu, XU Yao-ming, ZHANG Wei, ZHU Lü-yun. 2020. Spatiotemporal distribution, geological characteristics and metallogenic mechanism of tungsten and tin deposits in China: An overview[J]. Chinese Science Bulletin, 65: 3730-3745(in Chinese with English abstract).
- JIN Ruo-shi, TENG Xue-ming. 2022. Large scale sandstone-type uranium mineralization in northern China[J]. North China Geology, 45(1): 42-57(in Chinese with English abstract).
- LAN Jun, ZHANG Peng, SUN Li, XING Nan, LI De-jian, YANG Yun-tao, LI Yi-xin, XIAO Ke-yan, XU Hong-yan, WANG Jian. 2023. New Breakthroughs in Metallogenic Series Division and Prospecting of Rare Earth Deposits in Western Shandong Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 933-942(in Chinese with English abstract).
- LI Feng-ming, ZHAO Tong-yang, GAO Qi, FAN Ting-bin, ZHANG Jian-shou, DING Hai-bo, LIU Yang, GAO Yong-feng. 2023. Minerogenetic Series and Significant Prospecting Breakthrough of the Awulale Iron Metallogenic Belt in the Western Tianshan, Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 849-866(in Chinese with English abstract).
- LIU Bing-li, XIE Miao, KONG Yun-hui, TANG Rui, YU Zheng-bo, LUO De-jiang. 2023. Quantitative Gold Resources Prediction in Xiahe-Hezuo Area Based on Convolutional Auto-Encode Network[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 877-886(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, XU Liang-yi, SONG Wei-fang, WANG Ze-peng, WANG Da-fu, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, ZHENG Lu-lin, LI Song-tao, TAN Qin-ping, XIE Zhuo-jun, LIU Jing-ke, YANG Yu-hong, TAN Li-jin, CHEN Fa-en, TAN Dai-wei, WANG Xiao-yong. 2023. Metallogenic Series and Prospecting Direction of Carlin-type Gold Deposit in Guizhou Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 797-814(in Chinese with English abstract).
- LIU Zhi-na, XU Hong, WANG Qiu-shu, CHEN Mei. 2016. Global diamond resources distribution and suggestions of exploitation for China's mining corporation[J]. China Mining Magazine, 25(7): 5-10(in Chinese with English abstract).
- LUO Yun-yi, LIN Jian-hui, XU Wen-zhong, WEI Guo-shen, WEI Zi-ren, LIAO Kai-li. 2023. Characteristic, Ore-forming Regularity, Minerogenetic Series, and Ore-searching Direction of Bauxite in Guangxi[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 867-876(in Chinese with English abstract).
- SONG Ming-chun, HU Wen-xuan, LI Jie, DING Zheng-jiang, SONG Ying-xin, PENG Yong-he. 2023. Metallogenic Series of Jiaodong Type Gold Deposits and Its Prospecting Cases[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 781-796(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, WANG Rui-jiang, SUN Yan, LI Jian-kang, ZHAO Zhi, ZHAO Ting, QU Wen-jun, FU Xiao-fang, JIANG Shan-yuan, HUANG Hua-gu, FENG Wen-jie, XU Ping, LI Sheng-miao, HUANG Xin-peng, ZHOU Hui, ZHU Yong-xin, TU Qi-jun, LI Xin-ren, FANG Yi-ping, ZHOU Yuan-yuan. 2016. A review of achievements in the three-type rare mineral resources(rare resources, rare earth and rarely scattered re-sources) survey in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(5): 569-580(in Chinese with English abstract).
- WANG Xian-guang, CAO Sheng-hua, GONG Liang-xin, HU Zheng-hua, CAO Ming-xuan, ZHANG De-fu, CHEN Qi-ru. 2023. Tungsten-tin Polymetallic Metallogenic Series and Prospecting in Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 916-932(in Chinese with English abstract).
- XIAO Ke-yan, XIANG Jie, FAN Ming-jing, XU YANG. 2021. 3D mineral prospectivity mapping based on deep metallogenic prediction theory: A case study of the Lala Copper Mine, Sichuan, China[J]. Journal of Earth Science, 32(2): 348-357.
- XIAO Ke-yan, FAN Ming-jing, SUN Li, ZHU Yu-sheng, XU Yang. Theoretical Method of Integrated Geological Information Prediction of Metallogenic Series for Mineral Resource Potential Assessment[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 769-780(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Bo, MIAO Pei-sen, XIAO Ke-yan, LI Jian-guo, ZHAO Hua-lei, CHEN Yin, TANG Chao, SI Qing-hong, ZHU Qiang. 2023. Geological Characteristics, Metallogenic Regularity and Prospecting Criteria of Pengyang Uranium Deposit in the Southwest Margin of Ordos Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 897-908(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jin-dai, LI You-liang, JIAN Xiao-fei. 2008. Situation and Development Prospect of Uranium Resources Exploration in China[J]. Strategic Study of CAE, 10(1): 54-60(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Peng-da. 2002. Three-Component Quantitative Resource Prediction and Assessments: Theory and Practice of Digital Mineral Prospecting[J]. Earth Science, 27(5): 482-489(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Guo-dong, WANG Kun, CHEN Qi-shen, ZHANG Yan-fei, XING Jia-yun, LONG Tao, DONG Yan-tao, NI Jin-peng. 2021. The change of world rare earth industrial structure and the problems faced by China's rare earth industry[J]. Acta Geoscientica Sinica, 42(2): 265-272(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Guan-yun, ZHU Cheng-he, GAO Cun-shan, CHU Zhi-yuan, XIAO Ke-yan, WANG Jiang-xia, CHEN Jian-ping. 2023. Mining and Application of Diamond Geological Metallogenic Information under the Framework of Big Data[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 909-915(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Qi, YUAN Liang-jun, WU Chong-long, TAO Ping, YANG Bing-nan, ZHANG Sui, DU Yuan-sheng, LIU Yu, XIE Xing-you, CHEN Qi-fei, LIU Ling. 2023. Metallogenic Models and Exploration Breakthrough of Neoproterozoic Manganese and Barite-dominated Deposits in Guizhou[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 943-954(in Chinese with English abstract).
- ZHU Yu-sheng, MEI Yan-xiong, WEI Ran, WANG Jia-wei, LI Jing. 2023. The Exploration of Scientific Prospecting Work[J]. Acta Geoscientica Sinica, 44(5): 753-767(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院矿产资源研究所研究员、博士生导师
自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室首席科学家
《地球学报》常务编委

二〇二三年八月二十六日于北京