

成矿系统多尺度地球物理探测

陈昌昕^{1,2)}, 严加永^{1,2)}, 史大年^{1,2)}, 刘振东^{1,2)}, 赵金花^{1,2)}, 刘卫强²⁾

1) 中国地质科学院, 北京, 100037; 2) 自然资源部深地科学与探测技术实验室, 北京, 100094

关键词: 多尺度地球物理探测; 成矿系统; 成矿源区; 迁移路径/通道; 富集场所

成矿系统这一概念由于其强大的区域成矿预测功能, 持续受到矿业界的关注。成矿系统是由控制矿床形成和保存所有要素构成的自然系统, 主要组成单元包括“源区”、“路径”和“场所”, 区域岩石圈结构、地球动力学背景、物质和能量交换控制着成矿“源区”, 含矿流体富集成矿以及保存条件控制着“富集场所”, 流体迁移的通道将“成矿源区”和“富集场所”连接, 形成一个完整的成矿系统。成矿系统在演化过程中, 各种物理、化学作用对深部岩石圈地幔和浅部地壳进行了强烈“改造”, 不同的构造环境、物源基础和保存环境形成矿床在观测结果上表现为不同的地球物理属性, 地球物理探测方法利用密度、磁化率、极化率、电阻(导)率、波阻抗等物性差异进行多尺度地球物理、化学和矿物学“痕迹”多属性结构探测, 剖析矿床形成的“源区”、“通道”和“富集场所”以及保存的完整过程。通过多尺度地球物理探测理解成矿的深部动力学过程和决定矿床空间分布的地壳结构; 了解成矿、控矿地质要素的空间分布, 为深部找矿提供必要的深部信息, 有效提高成矿预测的成功率, 指导下一步具体找矿任务。

1 成矿系统概念

矿床是各种地质系统在不同时间和空间尺度上经过复杂的物理、化学作用, 最终诱发成矿物质“逐级”富集的综合结果。上世纪 90 年代, 西方学者参考石油系统这一概念, 利整体和系统的观点研究矿床成因并提出成矿系统概念 (Mineral systems, Wyborn 等, 1994; Dulfer 等, 2016; 图 1)。

“在国内, 成矿系统被定义为指在一定的地质时空中, 控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素、成矿作用过程, 以及所形成的矿床系列和矿化异常系列构成的整体, 是具有成矿功能的一个自然系统” (翟裕生, 1999)。经过综合研究, 吕庆田等 (2019, 2020) 提出该系统可以从 5 个方面来描述: ①地球动力学背景; ②有利的岩石圈结构; ③岩浆/流体运动驱动力; ④流体“圈闭”或矿质沉淀的“场所”; ⑤矿床形成后的保存、改造和再富集过程。对以上 5 个要素可以进一步归并为“源区”(要素 1 和部分 2)、“通道”(要素 2、3)和“场所”(要素 4、5)三大要素, 即成矿系统的“源—运—储”。传统成矿理论的研究多集中在成矿模式和区域构造背景研究。相比之下, 对成矿“源区”属性, 以及连接、沟通“源区”和矿床“富集场所”之间桥梁的地壳结构、岩浆—流体过程“迁移通道”, 以及由此过程留下的区域地球物理、地球化学、矿物学“痕迹 (foot print)”研究较少, 通过对成矿系统“物质源区”、“迁移通道”和“富集场所”物理、化学和动力学角度来认识和描述成矿作用的全过程, 并把成矿相关过程与重大地质事件结合在一起, 理解成矿的深部动力学过程和决定矿床空间分布的深部结构; 了解成矿、控矿地质要素的空间分布, 为深部找矿提供必要的深部信息, 将有效提高成矿预测的成功率 (吕庆田等, 2015, 2019)。

2 多尺度地球物理综合探测系统

将多尺度地球物理综合探测应用到成矿系统探测中, 需要探测成矿系统“源区”、“通道”和“富集场所”物理、化学和动力作用“痕迹”。

成矿系统“源区”探测的主要内容为探测岩石

注: 本文为自然资源部深地科学与探测技术实验室开放课题基金 (编号: SinoProbe Lab 202207) 和深部地质调查 (编号: DD20230008) 的成果。

收稿日期: 2023-04-10; 改回日期: 2023-04-30; 责任编辑: 刘志强。DOI: 10.16509/j.georeview.2023.s1.155

作者简介: 陈昌昕, 男, 1990 年生, 博士, 助理研究员, 主要从事地球深部探测和矿产资源勘查; Email: chenxc@cags.ac.cn。通讯作者: 严加永, 男, 1977 年生, 正高级工程师, 博士生导师, 从事地球深部探测和矿产资源勘查; Email: yanjy@163.com。

圈深部结构及其属性特征,特点为探测深度大,范围广。成矿“源区”地球物理探测常用方法有天然地震(层析成像、接收函数、横波分裂、背景噪声、不同方法联合反演)、人工源地震探测(深地震反射、宽角反射/折射)、长周期大地电磁探测和航空重、磁探测几类方法。“源区”探测利用速度、波阻抗、密度、电性等物性结构差异对岩石圈及之上地质体进行多尺度多属性结构成像和属性特征研究,探测内容包含岩石圈和软流圈边界(LAB)、岩石圈内部间断面(MLD)、莫霍面(Moho)、居里等温面、磁性基底、超壳断裂、盆地基底以及岩浆源区等。重点识别岩石圈底界、壳幔边界和地壳结构和壳内构造等关键结构特征及其对应的属性特征;分析研究深部构造的形态以及构造变形的方式与过程;探讨区域构造演化过程和有利的控矿机制;推测区域动力演化引起岩浆作用和成矿物质能量交换。成矿系统“场所”探测关注矿床地质三维结构展布状态和成矿预测。矿床作为不同岩石属性含金属异常地质体存在于围岩中,是成矿系统多尺度深部过程耦合在某一“点上”的“结果”,矿体的地质结构、矿体形态和区域地质背景也反映着成矿系统末端的“痕迹”。通过研究成矿“富集场所”的三维结构,可确定上部地壳中基础地质构造信息,这对于阐明与成矿相关的地质构造、侵入活动,以及成矿岩浆和流体的形成、迁移等深部条件研究有着重要的实际意义。

利用综合地球物理进行成矿系统“场所”探测的常用方法有放射性测量,区域重磁探测,电法勘探,金属矿地震勘探。成矿系统“源区”与“场所”需要桥梁的连接,成矿系统“迁移路劲/通道”一般

参 考 文 献 / References

- 吕庆田,董树文,汤井田,史大年,常印佛. 2015. 多尺度综合地球物理探测: 揭示成矿系统、助力深部找矿——长江中下游深部探测(SinoProbe-03)进展. 地球物理学报, 58(12): 4319~4343.
- 吕庆田,孟贵祥,严加永,张昆,赵金花,龚雪婧. 2019. 成矿系统的多尺度探测: 概念与进展——以长江中下游成矿带为例. 中国地质, 46(4): 673~689.
- 吕庆田,孟贵祥,严加永,张昆,龚雪婧,高凤霞. 2020. 长江中下游成矿带铁铜成矿系统结构的地球物理探测: 综合分析. 地学前缘, 27(2): 232.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统. 地学前缘, 6(1): 13~27.
- Dulfer H, Skirrow R G, Champion D C, Highet LM, Czarnot K, Coglan R, Milligan R R. 2016. Potential for intrusion-hosted Ni-Cu-PGE sulfide

为区域张性深大断裂,或前期地质构造边界再活化,断裂穿切成矿系统“源区”,为岩浆源区和含矿流体的上升形成了通道,当上升动力不足时,含矿流体在断裂较平缓处发生原地堆积结晶或与围岩发生物理和化学作用富集成矿。

成矿过程中的深部结构及深部过程存在多样性和复杂性,作为研究对象的地质体所提供的物理信息是丰富多样的,因此,多尺度地球物理综合勘探的要求就不仅仅是查明区域内的褶皱、断裂以及剥蚀作用等问题,更要对区域深部地质作用有一定认识。在成矿带、矿集区和典型矿床实施多尺度地球物理综合探测技术,从实际地质和地球物理数据中提取反映成矿系统各组成要素的信息,通过分析这些“痕迹”的空间变化,可以追踪成矿系统的发生“全过程”,研究成矿系统的“物质源区”、“流体/迁移通道”和“富集场所”,利用不同尺度上的信息,通过大数据的分析和对比可以深化成矿系统的形成和演化过程,逐级缩小“靶区”范围,帮助矿床学家理解成矿过程和发现新矿藏。

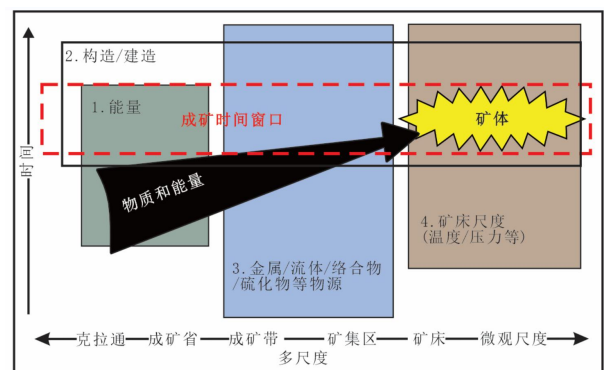


图1 成矿系统模型(据 Dulfer et al., 2016 修改)

deposits in Australia: a continental-scale analysis of mineral system prospectivity[M]. Geoscience Australia.

- Wyborn L A I, Heinrich C A, Jaques A L. 1994. Australian Proterozoic mineral systems: essential ingredients and mappable criteria[C]/The AusIMM Annual Conference. AusIMM Darwin, 1994: 109~115.

CHEN Changxin, YAN Jiayong, SHI Danian, LIU Zhendong, ZHAO Jinhua, LIU Weiqiang: Multi-scale geophysical exploration of mineral system

Keywords: multi-scale geophysical exploration; mineral system; metallogenic source; metallogenic path/channel; ore deposit