

矿区深部构造演化与成矿作用关系研究

刘琪

中化地质矿山总局吉林地质勘查院

DOI:10.12238/jpm.v6i2.7739

[摘要] 矿区深部构造演化与成矿作用的关系是地质学和矿产资源勘探中的重要课题。本文旨在探索矿区深部构造演化与成矿作用关系。研究发现，深部构造演化通过构造应力场、岩浆活动和地壳流体的循环与迁移等多种途径，深刻影响矿床的形成与分布。其中，构造应力场的变化可以通过拉张、压缩和剪切作用影响矿液的迁移路径与矿体的生成，岩浆活动则为成矿提供了丰富的矿物质来源，地壳流体的渗透与反应进一步促进矿物的沉淀与富集。随着三维成像、地震勘探、数值模拟等先进技术的不断发展，深部构造演化与成矿作用之间的关系得到了更精确的解析，为矿产资源勘探和开发提供了理论支持与技术保障。

[关键词] 深部构造演化；成矿作用；构造应力场；岩浆活动；地壳流体

Study on the relationship between deep structural evolution and metallogensis in mining area

Liu Qi

Jilin Geological Exploration Institute of Sinochem Geological and Mining General Administration

[Abstract] The relationship between deep tectonic evolution and metallogenic in mining area is an important topic in geology and mineral resources exploration. This paper aims to explore the relationship between the deep structural evolution and the metallogenic action in the mining area. It is found that the deep tectonic evolution profoundly affects the formation and distribution of mineral deposits through the tectonic stress field, magmatic activity and the circulation and migration of crustal fluid. Among them, the change of tectonic stress field can affect the migration path of mineral liquid and the formation of ore body through tension, compression and shear, magmatic activity provides rich mineral source for metallogenic, and the infiltration and reaction of crustal fluid further promote the precipitation and enrichment of minerals. With the continuous development of advanced technologies such as three-dimensional imaging, seismic exploration and numerical simulation, the relationship between deep tectonic evolution and metallogenic has been analyzed more accurately, which provides theoretical support and technical support for the exploration and development of mineral resources.

[Key words] deep tectonic evolution; metallogenic action; tectonic stress field; magmatic activity; crustal fluid

引言

矿区的深部构造演化和成矿作用之间的关系是地质学和矿产勘探领域的一个重要课题。深部构造演化不仅影响矿区的地质背景和矿产资源的分布，还对矿床的形成和发展起着决定性作用^[1]。随着地质勘探技术的不断发展，特别是深部勘探和三维成像技术的进步，矿区深部构造演化与成矿作用的关系得到了越来越多的关注和研究。

1. 矿区深部构造演化概述

矿区深部构造演化是指在不同地质时代、不同构造环境下，深部地壳的应力场、变形模式以及岩浆活动等因素共同作用下，矿区区域深部地质体的演变过程。深部构造演化包括地壳的伸展、挤压、剪切、弯曲等变形过程，这些过程不仅塑造了矿区的整体构造格局，还影响了成矿的时空分布。

近年来，随着地震波探测、地热梯度、深钻探等技术手段的发展，科学家们能够更清楚地了解矿区深部的构造特征及其演化过程。通过对不同地质时期的构造事件分析，已发现深部构造的演化通常是与区域性构造运动紧密相关的，尤其是造山作用、板块碰撞、弯曲剪切等地质过程对矿区深部构造格局的形成具有重要影响^[2]。

2. 深部构造演化与成矿作用的关系

成矿作用是指在地球的演化过程中，使分散在地壳和上地幔中的化学元素，在一定的地质环境中相对富集而形成矿床的作用。而深部构造演化对成矿作用的影响是多方面的，主要表现在以下几个方面：

2.1 构造应力场与矿体生成

深部构造演化中的应力场对矿床的形成起到了决定性作

用。构造应力场通常由地壳的变形、板块运动以及岩浆活动等因素驱动，并且不同类型的应力状态可以对矿区的物质迁移、矿液运移以及矿体生成产生深远影响。构造应力不仅决定了矿床所在区域的变形模式，还直接影响矿液的迁移路径、矿体的空间分布和形态特征。在地壳变形过程中，构造应力场主要表现为拉张、压缩或剪切等不同形式的应力作用。例如，在拉张应力主导的区域，岩层间的张裂使得地壳出现裂隙或断层，这些裂隙和断层为矿液的运移提供了通道。在这些张裂带中，矿液通常沿着裂隙流动，矿物质随流体迁移至低压区，经过冷却和降压作用沉淀形成矿体。拉张应力能够有效地促进矿物质的富集，特别是在与成矿相关的裂隙系统中，矿床常沿着主要断层带和次级裂隙带呈线性或带状分布。与拉张应力不同，压缩应力通常会导致岩层的褶皱、挤压和变形，这些变形不仅影响矿体的构造特征，也能改变矿物分布的模式。在压缩应力作用下，地壳的厚度通常增大，岩层的压力升高，矿液的流动受限，可能导致矿物的沉淀和矿体的压实化。例如，在造山带等压缩应力主导的区域，常见到具有较高矿化度的矿床，矿物分布较为集中且矿体形态呈现复杂的褶皱和挤压状。此外，剪切应力也是深部构造演化中的重要因素。剪切应力主要作用于断层带和断裂带，这些区域的变形通常表现为错动和滑动。剪切应力能引起地壳的局部变形，创造出有利的矿液通道。这些断裂带中的矿床，通常伴随着明显的矿液聚集和矿物富集现象。在剪切带中，由于局部压力和温度的剧烈变化，矿液的成分和沉淀矿物常常具有较大的差异，形成具有复杂矿物组合的矿床。构造应力场不仅在矿液运移中起到了作用，它还对矿体的形态、大小和矿化度等起到了控制作用。研究表明，在一些大型矿床中，构造应力的作用主要通过改变矿液的运移路径和沉淀环境来影响矿床的最终形态。例如，许多金属矿床的矿体往往沿断层带、层间裂隙和构造裂缝分布，这些区域的矿液浓度较高，矿体规模也较大。

2.2 岩浆活动与成矿物质来源

岩浆活动是深部构造演化中的重要组成部分，它对矿床的形成和矿物质的来源具有深远的影响。岩浆的侵入不仅能够显著改变地壳的温度、压力条件，还为成矿过程提供了丰富的矿物质来源。岩浆活动的时空分布与矿床的成矿密切相关，岩浆的类型、侵位深度、侵入方式等因素都会直接影响矿床的成矿作用及矿床类型。在工程地质勘探中，岩浆活动的强度、侵位深度和岩浆类型等参数常常被作为成矿预测的关键指标。研究表明，基性或超基性岩浆的侵入通常与铁、镍、钴等金属矿床的形成密切相关。这些岩浆富含铁、镍、钴等元素，当其侵入地壳并经过冷却时，会与周围的岩石发生相互作用，促进金属元素的富集和矿床的生成。例如，铁矿床往往位于基性岩浆侵入的地区，这些地区的岩浆冷却时形成的铁矿物质丰富。此外，基性岩浆在接触到岩石后，会导致硅酸盐矿物的变质，产生矿化带，进而为成矿提供有利条件^[3]。与基性岩浆相比，花岗岩类岩浆通常与铜、金等矿床密切相关。花岗岩岩浆的温度较低，

冷却较为缓慢，能够提供长时间的矿液供给，从而促进了金属元素的富集。在许多金矿床中，花岗岩侵位常常伴随着铜、金等元素的富集，尤其是在造山带和碰撞带的构造环境中，岩浆侵入常常导致矿床的局部富集。此类矿床的矿物组合通常较为复杂，除金外，还可能包含银、铜等多种元素，矿床规模和矿化强度较高。岩浆活动对矿床成矿作用的影响不仅仅体现在物质来源上，岩浆的侵位深度和侵入方式同样对矿床的空间分布产生重要作用。在实际勘探中，通过对岩浆侵位深度和位置的分析，能够有效预测矿床的潜在位置。浅层岩浆的侵入通常产生的矿床较为局部，矿体较小；而深层岩浆的侵入则可能形成大型的矿床，矿体规模大，矿化程度高。例如，深层的岩浆侵入会提供足够的热量和物质供给，使得周围的地壳在高温高压条件下发生化学反应，形成富集矿体。在成矿物质的来源分析中，岩浆的化学成分也起到了至关重要的作用。岩浆的成分会影响矿床中金属元素的富集模式。硅酸盐岩浆中的铝、硅含量较高，通常与铝土矿、铜矿等金属矿床的成矿相关，而富含钙、镁、铁的岩浆则有利于铁、镍、钴矿床的形成。此外，岩浆中可能还含有大量挥发性元素，如氯、氟等，这些元素在岩浆冷却过程中会与其他矿物反应，生成矿化带，进一步丰富矿床的金属含量。随着勘探技术的不断进步，岩浆活动的研究方法也在不断发展。在深部勘探过程中，科学家们采用了先进的地球物理技术、地球化学技术和数值模拟方法，来深入分析岩浆活动对矿床形成的影响。例如，通过地震反射成像技术可以清晰地识别岩浆侵入的深度和形态，帮助勘探人员精确定位潜在的矿体。

2.3 地壳流体的作用

在深部构造演化过程中，地壳流体的循环和迁移在矿床的成矿作用中扮演着至关重要的角色。地壳流体通常来自深部的岩浆、海水或地下水，具有不同的温度、压力和化学成分。在地壳构造运动的过程中，流体的渗透、运移和反应机制直接影响了矿物质的溶解、富集和沉淀过程。流体的存在和流动不仅控制了矿物的迁移路径，还调控了矿体的空间分布、矿化度以及矿物组合。因此，深入研究地壳流体的作用机制对矿产勘探和成矿规律的揭示具有重要的工程应用价值。构造运动会引起地壳的变形，从而为地壳流体的渗透和迁移提供了通道。构造活动如断层、裂缝和褶皱的形成，可以改变地壳的流体流动模式。断层和裂缝通常是流体的重要迁移通道，它们作为“导管”，能够有效地引导流体沿着这些弱面流动。研究表明，矿液常常沿断层、裂缝等构造导管进行长距离的运移，并在局部区域发生矿物沉淀，形成矿床。在矿区的实际勘探过程中，三维地震反射成像技术可以帮助地质学家识别出深部的断层和裂缝带，从而为流体迁移的路径提供可靠的依据。通过精准的构造分析，可以确定矿液的流动方向及其可能的沉淀位置，为矿床的勘探提供有力支持。地壳流体的来源和温度、压力条件对矿床的成矿作用有着直接影响。地壳中的流体可以是来自地幔深部的岩浆流体，也可以是来自地壳岩石的局部热水。在岩浆活动

过程中，岩浆侵位不仅提供了成矿的矿物质，还释放了大量的
高温流体。这些高温流体在沿着断层和裂缝带迁移过程中，与
周围的岩石发生化学反应，形成具有高矿化度的矿床。例如，
在一些火成岩类矿床中，岩浆释放的流体会带走大量的金属元
素（如铜、金、银等），并通过沉淀作用在适宜的温度和压力
条件下富集成矿。根据岩浆流体的温度和流动条件，流体中金
属的溶解度和成分变化较大，因此它们对矿床中矿物的成分、
结构和规模有着重要的控制作用。此外，地壳流体的化学成分
与矿物的沉淀过程密切相关。在构造运动引发的流体循环过程
中，流体中的化学物质会与岩石发生反应，导致矿物质的溶解
与再沉淀。研究发现，富含硫、氯、氟等挥发性元素的流体，
在接触岩石时能够促进某些金属矿物的形成。例如，在铜矿床
的形成过程中，流体中的硫化物与铜、锌等金属离子结合，形
成铜矿物。随着深部构造研究的不断深入，现代工程技术为地
壳流体的分析提供了更为精确的手段。例如，稳定同位素分析
技术可用于追溯流体的来源，揭示流体与岩石的相互作用过
程。同时，流体包裹体分析能够精确测定矿床成矿过程中的流
体温度和压力变化，进一步推断矿液的迁移路径和矿床的形成
条件。数值模拟技术也被广泛应用于模拟地壳流体的运移过
程，通过建立地质模型，对流体流动的动力学和成矿过程进行
量化分析。通过这些高精度的技术手段，工程师和地质学家可
以更加准确地预测矿床的位置、形态和矿化特征，从而为矿产

勘探提供可靠的技术支持。在矿产资源的勘探与开发过程中，
地壳流体的作用也与其他成矿因素密切关联。例如，构造应力
场和岩浆活动的共同作用，能够对流体的流动方向和成矿环境
产生叠加效应，从而形成具有特殊成矿规律的矿床。

3 结语

矿区深部构造演化与成矿作用的关系是地质学和矿产资
源勘探中的核心问题。深部构造演化通过影响构造应力场、岩
浆活动及流体的运移等方面，与成矿作用密切相关。尽管当前
在该领域的研究已取得一定进展，但仍面临许多挑战，需要在
技术手段和理论框架上进一步深化研究。未来，随着勘探技术
的发展和理论研究的深化，深部构造与成矿作用的关系将为矿
产资源的勘探提供更有力的支持。

[参考文献]

- [1]罗建群,陈欣,魏欣,聂涛,陈峰,吴志春.相山西部
河元背地区深部地质构造特征研究及铀成矿预测[J].世界核地
质科学,2024,41(04):693-702.
- [2]宗琦,孔华,吴玺虹,刘飏,严家斌,汤钰御,谭富诚.
湘南铜山岭矿田构造-成矿特征以及深部成矿预测[J].大地构
造与成矿学,2024,48(05):948-963.
- [3]陈正乐.矿田构造与深部找矿预测[J].地质力学学报,
2024,30(01):1-2.

上接第218页

(4) 人员培训与操作规范优化：人员培训和操作规范的
优化是确保倒扣作业顺利进行的基础。针对倒扣作业的复杂性
和高风险性，操作人员应定期接受专业培训，掌握设备操作、
应急处理及安全管理等方面的技能。此外，完善的操作规程和
作业标准也是优化作业的关键，通过规范化操作流程，可以有
效避免因人为失误造成的安全事故，确保作业高效、安全进行。

3.3 优化策略实施中的风险控制与应对措施

(1) 设备故障风险控制。在油管倒扣作业优化过程中，
设备故障是主要风险之一。为有效控制此类风险，应定期对油
管倒扣器及相关设备进行全面检查与维护，确保设备处于良好
状态。引入智能监控系统，实时监测设备运行状态，及时发现
潜在故障并进行预警，减少设备故障对作业进度和安全的影响。
此外，建立备件管理体系，确保关键部件有足够的库存，以便
快速替换故障部件，避免因设备停工而造成的时间损失。

(2) 操作失误风险控制。操作失误是影响作业安全与效
率的重要因素。为降低操作失误风险，需通过严格的人员培训
和操作规范的制定，提升操作人员的专业素养和应急处置能力。
利用模拟训练和实际操作演练，确保人员熟练掌握倒扣器
操作及异常情况处理。同时，采用自动化控制系统减少人为干
预，降低因操作不当引发的风险。

(3) 作业环境风险控制。油气井下作业环境复杂，存在

高温、高压等潜在风险。因此，在作业过程中，必须强化作
业环境的监控与安全防护措施。实时监测井下温度、压力、气
体浓度等关键参数，及时发现并应对异常情况。制定详细的应
急预案，确保一旦出现突发情况能够迅速响应，减少风险对作
业人员和设备的损害。

4 结论与展望

本文分析了油管倒扣作业中的关键技术及优化策略，提出
通过设备升级、作业流程精细化管理、自动化与智能化技术的
应用，以及人员培训等多方面措施来提升作业效率、确保安全
性和降低成本。通过优化策略的实施，可以有效减少作业时间，
提高作业精度，降低故障率，从而提高油气作业的整体效益。

未来，随着技术的不断进步，油管倒扣作业将进一步向智
能化、自动化发展。大数据、人工智能等技术的深度应用，将
使作业过程更加精准和高效。同时，随着作业环境的日益复杂，
优化策略的持续更新与完善将是提升油气行业作业安全和效
益的关键。

[参考文献]

- [1]张昊,王平,郑海旺.气井带压倒扣技术应用及作业风
险分析[J].石化技术,2022,29(02):241-242.
- [2]向招祥.内衬油管堵塞工具的开发与应用[J].化学工
程与装备,2021,(07):141-143.