

多金属矿产资源评价与综合勘查技术研究

袁继昌

内蒙古有色地质矿业（集团）六〇九有限责任公司 内蒙古 乌兰察布 012000

摘要：本文聚焦多金属矿产资源评价与综合勘查技术。先阐述多金属矿产成矿地质背景，包括区域地质构造、地层岩性、变质作用与成矿关系。接着介绍资源评价方法，如地质统计学、模型类比、经济评价法。然后探讨综合勘查技术，涵盖信息技术、“磁、重、电法”等。最后通过实例分析，展示评价与勘查过程及成果，为多金属矿产资源开发提供理论与技术支持。

关键词：多金属矿产；资源评价；综合勘查技术；地质勘查；资源储量评价

1 多金属矿产成矿地质背景

1.1 区域地质构造与成矿关系

区域地质构造是控制多金属矿产形成和分布的关键因素之一。不同的大地构造单元，如板块边界、褶皱带、断陷盆地等，具有独特的构造环境和动力学条件，为多金属矿床的形成提供了有利场所。在板块边界地区，由于板块之间的相互作用，如碰撞、俯冲、拉伸等，会产生强烈的构造活动和岩浆活动。这种环境下常常形成与岩浆作用有关的斑岩型铜钼矿、矽卡岩型多金属矿等。褶皱带是地壳受到水平挤压作用形成的复杂构造区域^[1]。在褶皱过程中，岩石会发生变形和变质，形成各种褶皱构造和断裂构造。这些构造为矿液的运移和沉淀提供了通道和空间。断陷盆地是由于地壳拉伸作用形成的凹陷区域。在断陷盆地中，沉积了大量的碎屑物质和化学沉积物，同时伴随着频繁的火山活动。这些地质作用为多金属矿床的形成提供了物质基础和热动力条件。例如，在一些断陷盆地中，形成了与沉积作用和火山作用有关的层控型多金属矿床。

1.2 地层与岩性对成矿的影响

地层是记录地球历史的重要载体，不同时代的地层具有不同的岩石组合和地球化学特征，对多金属矿床的形成和分布具有重要影响。某些特定的地层往往富含成矿元素，是矿床形成的重要物质来源。例如，在一些前寒武纪的变质岩系中，由于经历了长期的地质演化和成矿作用，岩石中富集了大量的铜、铅、锌等成矿元素，为矿床的形成提供了丰富的物质基础。岩性也对成矿具有重要控制作用，不同的岩石类型具有不同的物理化学性质，如孔隙度、渗透率、化学稳定性等，这些性质影响着矿液的运移和沉淀。例如，碳酸盐岩具有较高的化学活性和良好的孔隙度，容易与矿液发生化学反应，形成矽卡岩型多金属矿床。而砂岩和页岩等沉积岩，由于

其孔隙度和渗透率较低，常常成为矿液的遮挡层，促使矿液在有利部位沉淀富集。地层的层间界面和不整合面也是成矿的重要部位。层间界面和不同整合面常常是岩石物理性质和化学性质发生突变的部位，容易形成裂隙和空隙，为矿液的运移和沉淀提供了有利条件。

1.3 变质作用与多金属矿化改造

变质作用是地壳岩石在高温、高压和化学活性流体的作用下发生的一种物理化学变化过程。变质作用不仅可以改变岩石的结构、构造和矿物组成，还可以促使成矿元素的活化和迁移，形成新的矿床或对原有矿床进行改造。在变质作用过程中，岩石中的矿物会发生重结晶和变质分异作用，导致成矿元素的重新分配和富集。例如，在一些变质热液型多金属矿床中，变质热液携带了大量的成矿元素，在运移过程中与围岩发生交代作用，形成了富含铜、铅、锌等金属的矿体。变质作用还可以改变岩石的物理性质，如孔隙度、渗透率等，为矿液的运移和沉淀提供更好的条件。同时，变质作用还可以与其他地质作用相互叠加，形成更为复杂的矿床类型。

2 多金属矿产资源评价方法

2.1 地质统计学评价法

地质统计学是以区域化变量理论为基础，以变异函数为主要工具，研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性，或空间相关和依赖性的自然现象的科学。在多金属矿产资源评价中，地质统计学方法主要用于对矿产资源的数量、质量和空间分布进行估计和预测。首先，通过对已知矿床或矿点的地质、地球化学、地球物理等数据进行采集和分析，建立区域化变量模型。然后，利用变异函数描述变量的空间变异特征，确定变量的空间相关性和变程^[2]。最后，运用克里金法等地质统计学插值方法，对未知区域的矿产资源量进行估计和预测。地质统计学评价法的优点是能够充分考虑变量的空间变异性

和相关性，提高资源评价的准确性和可靠性。同时，该方法还可以对资源评价结果的不确定性进行量化分析，为矿产资源的开发决策提供科学依据。

2.2 模型类比评价法

模型类比评价法是根据已知矿床的地质特征、成矿条件和资源规模等信息，建立成矿模型，然后将待评价区域的地质特征与成矿模型进行类比，从而对待评价区域的矿产资源潜力进行评价。建立成矿模型是模型类比评价法的关键步骤，成矿模型应包括矿床的地质构造背景、地层岩性、岩浆活动、变质作用、地球化学特征、地球物理特征等方面的信息。通过对大量已知矿床的研究和总结，提取出具有普遍意义的成矿要素和成矿规律，建立具有代表性的成矿模型。在进行类比评价时，需要对待评价区域的地质资料进行详细收集和分析，确定其与成矿模型的相似程度。相似程度越高，说明待评价区域的成矿潜力越大。模型类比评价法的优点是简单易行，能够快速对待评价区域的矿产资源潜力进行初步评价。但该方法的准确性依赖于成矿模型的合理性和代表性，以及类比指标的选择和权重确定。

2.3 经济评价法

经济评价法是从经济角度对多金属矿产资源的开发利用价值进行评价的方法。该方法主要考虑矿产资源的储量、品位、开采成本、市场价格等因素，通过计算一系列经济指标，如净现值、内部收益率、投资回收期等，评估矿产资源开发项目的经济效益。在进行经济评价时，首先需要对矿产资源的储量和品位进行准确估算，确定可供开采的矿石量。然后，根据开采技术和工艺要求，估算开采成本，包括采矿成本、选矿成本、运输成本等。还需要考虑市场价格波动、税收政策等因素对项目经济效益的影响。经济评价法的优点是能够为矿产资源的开发决策提供直接的经济依据，帮助投资者判断项目的可行性和盈利能力。但该方法也存在一定的局限性，如对市场价格的预测存在不确定性，对开采成本和技术条件的估计可能存在误差等。因此，在进行经济评价时，需要综合考虑各种因素，进行敏感性分析，降低评价结果的不确定性。

3 多金属矿产综合勘查技术

3.1 信息技术

信息技术在多金属矿产综合勘查中发挥着越来越重要的作用。主要包括地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）和遥感技术（RS）等。地理信息系统是一种用于采集、存储、管理、分析和展示地理空间数据的计算机技术系统。在矿产勘查中，GIS可以将地质、地球物

理、地球化学、遥感等多种数据集成在一起，进行空间分析和模型建立，帮助勘查人员更好地了解勘查区域的地质构造和成矿规律。全球定位系统可以提供高精度的三维坐标和时间信息，用于确定勘查点的位置和进行野外地质调查的导航。在矿产勘查中，GPS技术可以快速准确地定位钻孔位置、采样点位置等，提高野外工作的效率和精度。遥感技术是通过卫星、飞机等遥感平台获取地球表面信息的技术。遥感图像可以反映地表的地质、地貌、植被等信息，为矿产勘查提供宏观的地质背景资料。

3.2 “磁、重、电法”

“磁、重、电法”是地球物理勘查中常用的方法组合，包括磁法、重力法和电法。磁法是通过测量地磁场的变化来探测地下地质体的磁性差异，从而推断地质体的分布和性质。在多金属矿产勘查中，磁法可以用于探测与磁性矿物有关的矿床，如磁铁矿床、铬铁矿床等。同时，磁法还可以用于研究地质构造，如断层、褶皱等。重力法是通过测量地球重力场的变化来探测地下地质体的密度差异，从而推断地质体的分布和性质^[3]。重力法可以用于探测深部地质构造和大型矿床，如与密度差异较大的岩体有关的矿床。电法是通过测量地下地质体的电学性质（如电阻率、极化率等）的差异来探测地质体的分布和性质。电法包括多种方法，如电阻率法、激发极化法、电磁法等。在多金属矿产勘查中，电法可以用于探测与导电矿物有关的矿床，如铜、铅、锌等硫化物矿床。

3.3 低频电磁技术

低频电磁技术是一种新兴的地球物理勘查方法，它利用低频电磁波在地下介质中的传播特性来探测地下地质体的电性差异。低频电磁波具有穿透深度大、抗干扰能力强等优点，能够探测到较深部的地质体。在多金属矿产勘查中，低频电磁技术可以用于探测深部隐伏矿体。通过测量地下介质对低频电磁波的响应，如电磁场的幅度、相位等，可以推断地下地质体的电性结构和分布。低频电磁技术可以与其他地球物理方法相结合，提高矿床的发现率和勘查精度。

3.4 X射线荧光技术

X射线荧光技术是一种快速、无损的元素分析方法。它利用X射线激发样品中的原子，使原子内层电子被击出，产生空穴，外层电子跃迁填充空穴时会发射出特征X射线。通过测量特征X射线的能量和强度，可以确定样品中元素的种类和含量。在多金属矿产勘查中，X射线荧光技术可以用于现场快速分析岩石、土壤、水系沉积物等样品中的金属元素含量。该方法具有分析速度快、操作

简单、无需化学处理等优点，能够为野外勘查提供及时的元素信息，指导勘查工作的进一步开展。

4 多金属矿产资源评价与勘查的实例分析

4.1 实例背景

某地区位于板块交界附近，地质构造复杂，经历了多期次的构造运动和岩浆活动。区域内出露地层主要为前寒武纪变质岩系和古生代沉积岩系，岩性多样，包括片麻岩、片岩、大理岩、砂岩、页岩等。区域内发育有大量的断裂构造和褶皱构造，为矿液的运移和沉淀提供了有利条件。前人在该地区开展过一定程度的地质勘查工作，发现一些多金属矿化点和异常区，但尚未进行系统的资源评价和勘查开发。为了进一步了解该地区多金属矿产资源的潜力，开展本次资源评价与勘查工作。

4.2 评价与勘查过程

4.2.1 资料收集与分析

收集该地区以往的地质、地球物理、地球化学、矿产勘查等资料，进行系统的整理和分析。了解区域地质构造背景、地层岩性特征、岩浆活动情况等，为后续的资源评价和勘查工作提供基础资料。

4.2.2 地质统计学评价

根据收集到的资料，选取与多金属成矿有关的地质变量，如地层岩性、构造特征、岩浆岩分布、地球化学异常等，建立区域化变量模型。利用变异函数分析变量的空间变异特征，运用克里金法对未知区域的矿产资源量进行估计和预测。

4.2.3 模型类比评价

选择国内外已知的类似成矿地质条件的矿床作为模型，分析其地质特征、成矿条件和资源规模等信息。将该地区的地质特征与成矿模型进行类比，确定成矿有利地段和潜在矿床类型。

4.2.4 综合勘查技术应用

采用“磁、重、电法”、低频电磁技术和X射线荧光技术等综合勘查方法，对成矿有利地段进行详细勘查。通过磁法、重力法和电法测量，了解地下地质体的磁性、密度和电性差异，推断地质构造和矿体的分布。利用低频电磁技术探测深部隐伏矿体，X射线荧光技术进行现场快速元素分析，指导勘查工作的进一步开展。

4.2.5 钻孔验证

根据综合勘查结果，选择有利的靶区进行钻孔验证。通过钻孔取样分析，确定矿体的形态、规模、品位等特征，验证资源评价和勘查结果的准确性。

4.3 结果与分析

4.3.1 资源评价结果

通过地质统计学评价和模型类比评价，初步估算该地区多金属矿产资源量达到一定规模，具有一定的开发利用价值。其中，铜、铅、锌等金属的资源量较为可观，有望形成具有一定规模的矿床。

4.3.2 勘查成果

综合勘查技术的应用取得了良好的效果。“磁、重、电法”测量结果准确地反映了地下地质构造和矿体的分布特征，低频电磁技术发现了深部隐伏矿体的线索，X射线荧光技术为野外勘查提供了及时的元素信息^[4]。钻孔验证结果表明，矿体的形态、规模和品位与综合勘查预测结果基本相符，验证了综合勘查方法的有效性。

4.3.3 存在问题与建议

在资源评价与勘查过程中，也存在一些问题。例如，地质统计学评价中区域化变量的选择和模型的建立还存在一定的不确定性；模型类比评价中成矿模型的代表性和类比指标的确定需要进一步完善；综合勘查方法的应用还需要不断优化和集成。针对这些问题，建议加强基础地质研究，提高区域化变量模型的准确性；收集更多的已知矿床资料，完善成矿模型；加强综合勘查方法的技术创新和集成应用，提高矿产资源勘查的效率和精度。

结束语

多金属矿产资源评价与综合勘查技术对资源开发意义重大。通过研究成矿地质背景，运用多种评价方法与勘查技术，能更精准评估资源潜力、发现矿体。实例分析验证了技术与方法的可行性，但也存在一些问题。未来需不断优化评价方法、创新勘查技术，加强基础研究，提高资源勘查效率和精度，以推动多金属矿产资源合理开发利用。

参考文献

- [1]余军.金属矿产勘查中地质找矿技术的应用创新探析[J].中国金属通报,2024(18):53-55.
- [2]师洪涛.探析金属矿产勘查中地质找矿技术的应用创新[J].世界有色金属,2023,(20):66-68.
- [3]刘绘强.金属矿产勘查工作中地质找矿技术的应用[J].冶金与材料,2023,43(07):115-117.
- [4]郭建云.金属矿产勘查中地质找矿技术创新研究[J].冶金与材料,2025,45(03):124-126.