

矿床成矿预测模型构建与找矿潜力评价研究

张伟

内蒙古致和地质勘查有限公司，内蒙古自治区呼和浩特市，010000；

摘要：矿床成矿预测模型构建与找矿潜力评价是矿产资源勘查的核心环节，需整合地质、地球物理、地球化学及数学模拟等多学科方法。其核心逻辑是通过解析成矿系统的时空演化规律，量化预测资源分布与规模。成矿地质体是矿床形成的物质载体（如岩浆岩、沉积建造），控制成矿物质来源；成矿结构面（如断裂带、岩性界面）则主导矿体定位空间。二者结合可构建矿床的“基因图谱”。

关键词：矿床成矿；预测模型构建；找矿潜力评价

DOI: 10.69979/3041-0673.26.01.020

成矿预测需以地质演化过程为纲，以定量模型为器，实现“理论-技术-应用”闭环。未来需强化深部探测技术（如地幔柱成像）与绿色勘查标准融合，支撑国家战略性矿产安全。

1 不同类型矿床成矿规律

1. 岩浆型矿床。成矿机制，与幔源或壳源岩浆分异作用直接相关，通过熔离、结晶分异富集金属元素（如Cu、Ni、Cr、铂族元素）。矿体多呈层状、似层状赋存于镁铁质-超镁铁质岩体中。典型矿床：南非布什维尔德铬铁矿床、加拿大Voisey's Bay铜镍矿（岩浆通道模型控制矿体定位）。时空规律，时代：集中于前寒武纪（全球70%镍矿、90%钴矿）与中生代（如中国华北斑岩型锡矿）。构造背景：克拉通内部裂谷、大陆边缘伸展带（如非洲津巴布韦大岩墙）。找矿标志，基性-超基性岩体、重磁异常带、Cu-Ni-Co元素组合异常。

2. 热液型矿床。成矿系统特征，控矿构造：断裂、裂隙系统主导矿液运移与沉淀空间（如MVT铅锌矿受碳酸盐岩层间破碎带控制）。物质来源：深部岩浆热液或盆地卤水（如川滇黔铅锌矿由盆地卤水贯入成矿）。分带性与演化，垂向蚀变分带（斑岩铜矿钾化→绢英岩化→泥化）、元素水平分带（Au-As-Sb套合异常指示金矿热液中心）。时代与保存性，中生代为主（中国80%钨锡矿），易受后期断裂破坏，矿体完整性较差。

3. 沉积型矿床。环境控矿规律，海相环境：浅海盆地控制Fe-Mn-P-Al沉积（如鞍山式铁矿、磷块岩）。蒸发环境：封闭盆地形成盐类矿床（如二叠纪钾盐），但易被地下水溶失。成矿时代，前寒武纪（条带状铁矿）、古生代（鲕状赤铁矿）、中生代（菱铁矿）。保存条件，稳定构造单元内褶皱变形保存矿层（如非洲砂页岩型铜

矿带），盐类矿床难保存。

4. 变质型矿床。形成机制，先存矿床或岩石经区域变质/接触变质改造（如BIF铁矿变质为磁铁矿石岩）。时空分布，时代：太古宙-元古宙主导（占全球铁矿储量75%）。构造背景：造山带变质相带（如绿片岩相控制金矿、麻粒岩相控制石墨矿）。抗改造性，矿体抗风化能力强，品位稳定（如印度库德雷穆克条带状铁矿）。

5. 风化型矿床。表生作用控制，残积型：基岩风化形成红土型镍矿（如东南亚镍矿床）、铝土矿（地台残积相）。砂矿型：物理风化富集稳定矿物（如砂金、金刚石）。气候与地形条件，热带-亚热带湿润气候（化学风化为主）、河谷/滨海地貌（砂矿搬运富集）。

2 矿床成矿预测模型构建方法

1. 构造对矿产分布影响分析方法。构造对矿产分布的影响分析需综合多尺度构造解析与多源信息融合技术，建立“构造控矿-成矿响应”的定量评价体系。构造控矿类型解析，构造级别与控矿作用，岩石圈断裂：控制全球成矿带分布（如环太平洋斑岩铜矿带），伴随基性-超基性岩带；地壳断裂：界定次级构造单元边界，形成中酸性岩带及伴生矿床（如冈底斯斑岩铜矿）；层间滑动断裂：主导沉积矿产定位（如MVT铅锌矿受碳酸盐岩层间破碎带控制）。构造活动期次识别，成矿前构造：断层角砾被矿化胶结、断裂带蚀变分带统一（如胶东金矿钾化蚀变受早期断裂控制）；成矿期构造：液压致裂形成矿液通道（如四川甲基卡锂矿受伸展断裂控制）；成矿后构造：改造矿体形态（如背斜核部金矿因剥蚀出露）。构造应力场重建，有限元模拟：反演成矿期应力状态（如右江盆地金矿受压扭性断裂控制）；显微构造分析：通过石英组构判定主应力方向（如小秦岭

金矿成矿期应力为NW-SE向)。时空演化与成矿耦合,构造背景控矿规律,碰撞造山带:印支期片麻岩穹窿控制伟晶岩型锂矿(马尔康-雅江锂矿带);陆内伸展带:岩石圈减薄引发碱性岩型铷矿(内蒙古巴尔哲矿床);沉积盆地:向斜构造保存煤、油气资源(鄂尔多斯盆地)。构造演化序列重建,塔什库尔干地块通过GIS时空数据库,厘清三期构造事件与Pb-Zn成矿期次;秦岭造山带铷矿受两期构造叠加(印支碰撞+燕山伸展)。三维建模与定量预测,构造-矿体一体化建模,基于Micromine构建招平断裂带三维实体模型,揭示-4000m以浅矿化延伸规律;变异函数优化矿体搜索参数(波龙铜矿椭球体长轴平行主断裂)。前沿技术与发展方向,深部构造探测,地震层析成像揭示莫霍面起伏与铷矿化相关性(长江中下游);5G+边缘计算实现矿山构造实时更新(智能矿山)。构造-成矿动态模拟,TOUGHREACT模拟热液在断裂带运移路径(胶东金矿垂向延深>2km);CNN智能识别显微构造形迹(效率提升40%)。构造控矿分析需以多尺度解析为基、四维演化为纲、定量模型为器。

2. 矿床成矿预测地质构造特征推断。矿床成矿预测中的地质构造特征推断需综合多尺度构造解析与动态演化分析,实现对控矿构造的精准识别与三维建模。构造控矿类型与级别划分,岩石圈断裂,控制全球成矿带展布(如环太平洋斑岩铜矿带),伴随基性-超基性岩带发育,形成深源矿床通道。层间滑动断裂,主导沉积矿产定位(如MVT铅锌矿受碳酸盐岩层间破碎带控制)。盖层断裂,控制浅层热卤水迁移及层控矿床形成(如鄂尔多斯盆地铀矿)。构造期次识别与成矿关联,成矿前构造,标志:断层角砾被矿化胶结、断裂带蚀变分带统一(胶东金矿钾化蚀变受早期断裂控制)。作用:为矿液提供运移通道与沉淀空间。成矿期构造,液压致裂:含矿溶液导致岩石破裂,形成矿脉互切穿插现象(四川甲基卡锂矿)。应力场控制:压扭性断裂控制金矿富集(小秦岭金矿成矿期主应力为NW-SE向)。成矿后构造,改造矿体形态(背斜核部金矿因剥蚀出露)。三维构造-矿体建模,构造格架重建,建模方法:整合钻孔/物探数据,构建断裂系统实体模型(如Micromine构建招平断裂带三维模型)。精度控制:动态修正构造面产状,定位误差<5%。控矿参数量化,变异函数分析:优化矿化连续性参数(波龙铜矿椭球体长轴平行主断裂);证据权重法:断裂交汇权重值>0.8为A类靶区(鄂东南铜矿)。构造控矿规律与预测应用,典型构造背景控矿,

碰撞造山带:印支期片麻岩穹窿控制伟晶岩型锂矿(马尔康-雅江锂矿带);陆内伸展带:岩石圈减薄引发碱性岩型铷矿(内蒙古巴尔哲矿床)。深部预测技术,地震层析成像揭示莫霍面起伏与成矿相关性(长江中下游);TOUGHREACT模拟热液在断裂带运移路径(胶东金矿垂向延深>2km)。地质构造特征推断需以多期次解析定通道、三维建模定形态、动态模拟验过程。未来重点突破深部构造延迟成像与AI驱动的构造-流体耦合模拟,实现“构造格架-成矿响应”一体化预测。

3 矿床找矿潜力评价方法

1. 地球物理场变化规律探测矿产方法。地球物理场变化规律探测矿产方法主要通过对重力场、磁场、电场及地震波场等物理参数的空间分布与动态演化分析,推断地下矿产资源的赋存位置与规模。重力场探测:密度差异定位构造与矿产,区域构造识别,重力梯度带常反映深大断裂或地块边界(如环太平洋成矿带),正异常区多指示高密度基性岩体或金属矿集区(铁、铜矿),负异常区则对应沉积盆地或非金属矿(煤、盐类)。案例:中国砂岩型铀矿集中于西北部重力梯度带,斜坡抬升控制含铀流体运移。矿产靶区圈定,剩余重力异常分析揭示浅部密度变化,如铅锌矿多分布于负异常区,铁矿则围绕正异常集中;三维反演技术重建矿体形态(如鄂尔多斯盆地铀矿定位误差<10%)。磁场探测:磁性矿物与构造响应,直接找矿应用,磁异常直接指示磁性矿体(磁铁矿、钛铁矿),通过高精度磁力仪圈定矿体边界(如鞍山铁矿磁异常强度>500nT)。间接控矿构造识别,线性磁异常带揭示隐伏断裂(如招平断裂带磁异常延伸深度>2km);磁法划分岩浆岩带,指导斑岩铜矿勘探(冈底斯成矿带岩体磁异常幅值差异>30%)。电法与电磁法:矿化体电性响应,电阻率法,低阻异常指示硫化物矿体或富水构造(如瞬变电磁法(TEM)探测铜矿体,分辨率达米级)。案例:井下TEM技术定位煤矿采空区含水层,预警突水风险。激发极化法(IP),高极化率异常直接关联金属硫化物(如铅锌矿极化率>20%),区分矿化与围岩。地震勘探:深部结构与矿体成像,地震层析成像,原理:基于地震波走时/振幅反演速度结构,识别隐伏矿体(如波速异常>10%指示矿化热液中心);应用:跨孔层析成像圈定胶东金矿断裂带深部矿化延伸(验证深度>2km)。反射地震技术,高分辨率剖面识别层控矿床(如鄂尔多斯盆地铀矿含矿

砂体厚度定位误差 $<5\text{m}$)。地球物理场探测需以多参数耦合分析为核心,重力/磁法锁定构造格架,电法/地震精细刻画矿体。未来突破深部延迟成像(如地幔柱层析)与多模态AI反演,实现“物理场异常-成矿过程-资源潜力”三维动态预测。

2. 遥感技术辅助找矿潜力评价应用。遥感技术在找矿潜力评价中通过多维度信息提取与智能分析,显著提升矿产勘查效率与精度。技术优势与探测原理,全域覆盖能力,首次实现国土陆地范围找矿要素全覆盖解译,突破复杂地形限制(如青藏高原矿产评价)。光谱响应机理,矿物蚀变(如羟基、铁染)在 $400-2500\text{nm}$ 波段呈现特征吸收峰(明矾石 $>2170\text{nm}$,绿泥石 $>2250\text{nm}$),通过高光谱成像直接识别蚀变矿物组合。多参数协同分析,结合“线-环-色-块”五要素解译控矿构造,同步提取矿化蚀变异常,效率较传统方法提升40%。关键技术方法,蚀变信息定量提取,光谱特征分析:采用主成分分析(PCA)与波段比值法,分离干扰信息(如ETM+数据提取 $\text{Fe}^{3+}/\text{OH}^-$ 异常);AI增强识别:CNN算法优化蚀变弱信息提取,抑制“椒盐噪声”(准确率提升至 $>85\%$)。构造格架解译,线性构造增强:遥感影像边缘检测技术识别隐伏断裂,如山西矿集区圈定NE向控矿断裂带;环形构造分析:热液蚀变中心多呈环状影像特征(斑岩铜矿环形蚀变带直径 $>5\text{km}$)。前沿趋势,深部预测突破,地空时频电磁系统耦合高光谱数据,探测深度延伸至 2km (招平断裂带验证)。智能评价系统,机器学习多尺度分析:随机森林算法优化蚀变-构造关联模型;数字孪生平台:5G+边缘计算实现矿区模型秒级更新。遥感技术以全域感知定格局、光谱诊断识矿化、智能融合精定位,推动找矿潜力评价向三维化、量化升级。未来重点发展深地光谱穿透技术与多模态AI协同反演,构建“空-天-地”一体化智能勘查体系。

3. 地质勘查在找矿潜力评价中的作用。地质勘查在找矿潜力评价中扮演着基础性、系统性和前瞻性的核心角色,其作用贯穿资源预测、靶区圈定、经济评估全流程,构建地质模型的核心依据,成矿背景解析,通过区域地质填图、构造解析和岩相划分,建立“构造-岩浆-地层”三位一体控矿模型。例如环太平洋斑岩铜矿带受深大断裂控制,青藏高原铜矿集中于重力梯度带抬升区,揭示了深部流体运移路径。矿化规律识别,分析蚀变分带(如胶东金矿黄铁绢英岩化)与矿体空间耦合关系,指导三维成矿预测。驱动多技术协同勘探,物理场探测基础,地质勘查为地球物理(重磁电震)和地球化学方法提供背景约束:重力异常验证隐伏岩体边界(鄂尔多斯盆地铀矿定位误差 $<10\%$);化探异常与地质蚀变带叠合提升靶区可靠性(甘肃龙首山铀矿靶区圈定)。遥感解译标定,野外地质点验证遥感蚀变信息(如西藏冈底斯斑岩铜矿带绢云母化分带),降低AI识别误判率。资源量定量评价的关键输入,矿体建模参数,钻孔岩芯与剖面数据构建矿体实体模型(Micromine软件),动态修正产状(误差 $<5\%$),支撑克里格法资源量估算。经济潜力评估,勘查获取的矿石品位(鸡脚山锂矿氧化锂 0.27%)、埋深(焦家金矿 1500米 以浅占 72%)等参数。

总之,矿床找矿潜力评价需整合地质、地球物理、地球化学及遥感等多源信息,构建量化预测模型以圈定靶区和估算资源量。

参考文献

- [1]张红,矿床成矿预测模型构建与找矿潜力评价探讨. 2022.
- [2]刘海洋,矿床成矿预测模型构建与找矿潜力评价分析. 2023.