

数字化技术在矿产地质勘查与资源评价中的应用研究

李昌浩

河北地矿建设工程集团有限责任公司, 河北 石家庄 050085

[摘要]伴随着全球矿产资源需求不断增加以及浅部矿产资源越来越缺乏,矿产勘查的目标也越来越向深部、覆盖区以及地质条件复杂的区域转移,传统的勘查方法在效率和精度上存在的问题也愈加明显。数字化技术凭借数据采集、融合、建模、智能预测等各方面的独到之处,正在悄然地改变着矿产地质勘查和资源评价的技术模式。本文从数字化技术赋能矿产勘查的战略意义、存在的主要问题和优化措施三个方面进行系统的分析,认为目前存在地质数据质量标准不统一、多源数据融合共享能力差、矿产预测评价精度低、数字化技术应用人才缺乏等主要问题,据此提出完善数据采集与质量控制体系、加强多源数据融合与共享、优化预测模型与评价方法、强化技术应用与人才队伍建设等优化措施,为数字化技术在矿产勘查领域的进一步应用提供参考。

[关键词]数字化技术;矿产地质勘查;资源评价;大数据;人工智能

DOI: 10.33142/ec.v9i10.20512

中图分类号: P624

文献标识码: A

Research on the Application of Digital Technology in Mineral Geological Exploration and Resource Evaluation

LI Changhao

Hebei Geology and Mineral Construction Engineering Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050085, China

Abstract: With the continuous increase in global demand for mineral resources and the increasing scarcity of shallow mineral resources, the target of mineral exploration is also shifting towards deep, covered areas, and areas with complex geological conditions. The problems of efficiency and accuracy in traditional exploration methods are becoming increasingly apparent. Digital technology, with its unique features such as data collection, fusion, modeling, and intelligent prediction, is quietly changing the technological model of mineral geological exploration and resource evaluation. This article systematically analyzes the strategic significance, main problems, and optimization measures of digital technology empowering mineral exploration from three aspects. It is believed that there are currently main problems such as inconsistent geological data quality standards, poor ability to integrate and share multi-source data, low accuracy of mineral prediction and evaluation, and a lack of digital technology application talents. Based on this, optimization measures are proposed to improve the data collection and quality control system, strengthen multi-source data fusion and sharing, optimize prediction models and evaluation methods, strengthen technical application and talent team construction, etc., providing reference for the further application of digital technology in the field of mineral exploration.

Keywords: digital technology; mineral geological exploration; resource evaluation; big data; artificial intelligence

引言

矿产资源是社会经济发展的主要物质基础,它的形成和分布受控于地球深部过程和浅表环境复杂的相互作用。伴随着全球矿产资源格局的快速变化,战略性矿产资源的地位愈加突出,我国矿业发展正处在需求上升和高质量发展并行推进的重要阶段。随着人工智能、大数据等新一代信息技术同地质调查的深度融合,我国地质找矿工作正向

以数据为驱动力的“数字找矿”迈进。但是深部找矿难度增大、海量多源数据解读困难、勘探成本高企、环境约束加强等问题使传统的勘查方式难以继续使用。在这种情况下,数字化技术怎样深入到矿产地质勘查和资源评价的全过程里,成了地质学界和矿业行业共同重视的问题。本文就数字化技术赋能矿产勘查的战略意义、存在的主要问题以及相应的解决办法展开论述,希望能够给传统地质勘查

的智能化转型提供一些借鉴。

1 数字化技术赋能矿产勘查与资源评价的战略意义

矿产勘查正处在由经验驱动向数据智能驱动转变的阶段。地质勘查一直依靠地质工作者的经验判断和人工分析,找矿目标的圈定要经过漫长的野外调查和数据整理。数字化技术把地质、地球物理、地球化学、遥感等各种各样的数据都整合到同一个数字平台上进行集中管理并加以智能分析,让找矿工作由原来的依靠经验来开展转变为依靠数据智能来推动,这是完全有可能实现的。近些年来,我国在数字化找矿方面有了里程碑式的成就,自主研发的智能找矿系统具备地质矿产大数据管理、知识管理、数据处理及解译分析、智能预测评价、找矿大模型这五个主要功能,打通了地质找矿领域数据、知识、算法、模型、工具之间的管理壁垒。从实测数据可以看出,原来的需要半年才能完成的矿产预测评价工作,现在只需要一周就可以完成,极大地提高了全流程的工作效率,提升了60%以上。智能填图系统在多个省区的上百个图幅上进行了试用,地质体识别精度大于90%,数据处理、综合分析和地质编图工作量比传统方法提高50%以上。数据驱动和知识引导相结合的新范式大大提高了矿产预测的客观性、科学性。新一轮找矿突破战略行动中,数字化技术的应用深度可以提高我国战略性矿产资源保障能力、降低对外依存度。

2 数字化技术应用中存在的主要问题

2.1 地质数据质量与标准不统一

地质数据是数字化勘查的基础,但是由于不同的勘查单位、不同的历史时期所采用的数据采集规范、记录方式不同,地质数据在格式、精度、基准等各方面都存在着较大的差别。不同地区、不同部门制定的数据标准不一样,地质数据的编码规则中有的地区用三位数字代码来表示,有的地区用字母加数字的组合代码来表示,这样的不一致给跨区域数据的整合和对比造成了根本性的困难。多源、多类、多尺度的地质、地球物理、地球化学数据存在格式不同、缺少元数据、专业术语体系不一致、空间参照标准有差异等状况,而地质行业所建立的专业数据库常常存在着数据标准不一致、平台不统一的现象,造成数据互通难用。老旧矿区历史勘查数据和现代空间基准不一致造成的储量定位不清、数据可信度低等现象比较严重。另外一些历史资料还保存在纸质图件或者非结构化文档中,缺少数字化的手段,不能被现代信息系统所管理。数据质量好坏会直接关系到之后的数据融合以及智能分析是否可靠,这是数字化技术深入应用的第一个问题。

2.2 多源数据融合与共享能力不足

矿产勘查包含地质、地球物理、地球化学、遥感、钻探等诸多数据来源,不同数据来源的空间尺度、采样密度、数据格式以及语义表达等各方面存在着本质的不同之处,多源异构数据的高效融合存在着技术上的障碍。由于浅部矿产资源越来越缺乏,矿产勘查的目标也从浅部转向了深部、覆盖区以及地质条件复杂的地区,多源海量的地学数据高效处理和智能应用成为限制矿产预测取得突破的关键因素。由于项目资金来源、任务工作部署主体的不同,大量的地质成果数据分散在各个部门或者各级地质资料馆藏机构中,没有形成全国统一的数据管理和服务平台,造成各方面的数据共享程度较低,不能够进行成果资料的集成开发和提供服务^[1]。地质数据分散存储、共享机制不健全问题比较普遍,不同的部门和单位之间存在着数据壁垒,造成信息不能协同使用,不能发挥价值。数据孤岛现象造成重复采集、资源浪费的同时,也使基于多源数据综合分析的成矿预测缺少足够的数据支持。

2.3 矿产预测与评价精度有待提高

伴随着人工智能、大数据技术的发展,基于机器学习的矿产资源智能预测也成了目前的研究热点。但是部分机器学习模型嵌套出的复杂的非线性网络结构以及抽象表达,具有很强的不透明度,即智能预测结果无法解释成矿作用,从而使得预测模型泛化能力差、预测结果不可靠。纯数据驱动的方法在某个区域内可以取得较好的预测效果,但是跨区域推广时会存在性能急剧下降的现象。成矿作用受到构造、岩性和岩浆活动等多种地质因素的影响,具有明显的空间非平稳性以及方向性特点,但是大多数机器学习和图模型的方法都是隐式地处理这些空间特征,不能显式地刻画成矿过程中各个方面的差异,因此在地质可解释性以及预测稳定性方面还存在着一定的不足。另外训练样本不平衡、勘查历史偏差等都会影响到预测模型对于真实成矿规律的正确学习。

2.4 数字化技术应用与专业人才储备不足

数字化技术的应用要依靠既懂地质又会使用信息技术的人才。发展低空经济需要既懂地勘专业知识又懂数字技术、低空经济知识的复合型人才,但是目前这类人才严重缺乏。一方面地勘行业传统的培养方式重在地质、地球物理探测技术,缺少对数字技术的系统培训;另一方面外部引进复合型人才受到市场竞争激烈、地勘单位工作环境及待遇吸引力小等限制。目前,具有地质、地理信息、生态、遥感、数据科学等多学科背景的复合型人才严重缺乏,在数智化和绿色资源开发方面,缺少领军人物和高水平创

新团队。从行业角度看^[2],部分地勘单位数智化建设起步晚、基础差、专业人才短缺,必须依靠 AI 技术来弥补发展的不足。地质类拔尖创新人才培养的核心要素亟待内涵式升级,资源勘查工程专业同多学科的深度交叉融合需求越来越强烈,如下表所示。

表 1 数字化技术应用中存在的主要问题

问题类别	具体表现	主要影响
地质数据质量与标准不统一	记录方式各异、元数据缺失、基准不统一	数据难融合、可比性差
多源数据融合与共享不足	格式异质、语义对齐困难、数据孤岛	信息利用率低、重复采集
矿产预测与评价精度不高	模型泛化能力弱、黑盒属性强、空间非平稳性处理不足	预测可靠性不足、推广受限
数字化人才储备不足	复合型人才匮乏、内部培训效果差	技术落地困难

3 数字化技术在矿产地质勘查与资源评价中的优化措施

3.1 完善地质数据采集与质量控制体系

数据质量是数字化勘查的生命线,数据质量的好坏直接影响到后面的数据融合以及智能分析的效果。应该从标准制定、采集规范和质量校验三个方面建立系统的数据质量控制体系。从标准上来说,要加快地质数据采集、存储、交换等环节的标准化建设,建立基础地质调查和矿产调查全过程的数据库建设标准,将数据库建设流程与具体的地质矿产勘查业务工作相结合,形成新的工作模式。标准体系还要考虑到各个地区、各种矿种之间的差别,保证兼容性和可扩展性,给数据的汇聚提供基础。在采集层面实行“一件一样、一项一源”的标准化建设,依靠标准化体系创建起多种数据校验机制,用必填项校验、数值区间校验、前后逻辑关联校验来从源头阻止不合格、不规范的数据。采集过程还要加强现场质量控制,保证原始数据真实、完整。从质量评价角度出发,创建起“基准统一-数据整合-复核校正-偏差归因”这一系统的复核技术体系,把坐标异构转换、历史图件配准、多源数据融合以及空间拓扑检查这些关键手段纳入其中,对入库的数据展开常态化的质量检查和评定工作,创建起动态的反馈渠道,把查找出的问题及时反馈给采集和管理环节,从而达成数据可靠且可用的目的。

3.2 加强多源地质数据融合与共享

解决多源数据融合问题要从技术架构、制度机制两方面一起努力。从技术上来说,需要对原始数据进行多源数据标准化和关联存储模型,以有效地解决原始数据在尺度、

格式、语义上存在的异质性问题,创建多源异构数据的标准化处理以及统一空间配准体系。智能矿产预测把特征提取的结果和综合集成的知识逻辑投射到三维空间里,“先验知识约束下的空间量化”,从而达成对深部资源的精确位置^[3]。在此环节,贝叶斯同化算法可以将地质经验知识当作先验分布,对矿床深部三维地质结构模型实施迭代重建,明显加快三维精细结构模型的创建速度。从共享机制上来说,应该建立起“接收-管理-利用”的标准化数据管理机制,创建出统一的地质数据通用数据模型库,确定数据的产生地点以及共享准则,达成单点创建、多方共享的效果。还要创建跨部门、跨区域地质数据共享平台,消除数据壁垒,促进地质信息高效流动、协同使用。

3.3 优化矿产预测模型与资源评价方法

提高矿产预测精度和可靠性,关键是把地质知识同数据驱动的方法结合起来。应以成矿理论为依据来约束数据处理过程,把矿床成因的认识当作先验条件,主动参与多源数据的整合、质量控制和异常识别等工作,在源头上保证处理结果的地质合理性。采用最佳-最差法建立融合先验地质特征权重的集成学习智能预测模型,提高模型预测效果,用全局到局部、特征到样本的多尺度多维度可解释性方法解构预测结果,定量评价预测指标的重要性,结合野外验证后的专家指导校正,实现地质找矿知识的更新迭代,形成矿床知识嵌入和矿床知识发现的完整闭环。因此把“源-运-聚”成矿要素、蚀变分带模式、控矿构造特征等地质知识转化为可以计算的定量特征变量,用显式的地质语义取代算法的盲目规律搜索;根据成矿系统过程模型来划定地质可信的正负样本,修正勘查历史偏差;用可解释的方法拆解预测结果,结合野外验证后专家的指导来校正,形成矿床知识嵌入和知识发现的闭环。采用以上途径可以很好地解决由于数据驱动方法缺乏泛化能力和可解释性而造成的预测问题,使矿产资源预测由原来的依靠经验模式转变为智能化、量化的方式。

3.4 加强数字化技术应用与人才队伍建设

数字化技术落地应用最后要依靠人才。在人才培养上要促进地质类专业同人工智能、大数据等学科的深度融合,创建起“理论打基础、技术加融合、实践促创新”的三位一体培养体系,全面传授智能数据采集、多源信息智能处理、地质特征智能解译这些核心技术^[4]。课程体系里包含地球科学大数据、人工智能基本原理和技术应用,使学生可以掌握用深度学习技术开展资源能源潜力评价的基本能力。在实践环节要推行产教融合,实行“校企双导师”制,对复合型地质人才实施有目的的培养,挑选企业高级

工程师和技术骨干担任校外导师,联合指导学生参加实际项目。行业培训要面向一线地质工作者,以地质大数据挖掘、智能矿产资源评价、三维矿产定量预测、遥感智能识别、勘查地球化学和 AI 融合应用等为主要内容,对业务骨干进行全方位的培训。经由多层次、多渠道的培养途径,渐渐塑造起结构合理、技术优良的复合型人才梯队,从而给数字化技术的规模化应用提供有力的人才支撑。

4 结语

数字化技术正在从各个方面改变着矿产地质勘查、资源评价的技术形态。从数据采集、融合管理到三维建模和智能预测,数字化手段全面介入之后,大大提高了勘查效率以及预测精度,给深部找矿突破提供强有力的技术支持。但是数据标准不统一、多源融合能力差、预测精度不高、复合型人才缺乏等仍旧限制着数字化技术效能的最大发挥。未来要努力推进地质知识同人工智能深度结合,创建

起包含数据标准、人才培养等各个方面的系统性支持体系,促使数字化技术由示范应用向规模化推广转变,从而给保证国家矿产资源安全赋予更为有力的技术支撑。

[参考文献]

- [1]李毅.地质矿产勘查中的数字化与信息化技术应用研究[J].冶金管理,2026(7):50-52.
- [2]吴振英.地质矿产勘查中的数字化与信息化技术应用研究[J].数字通信世界,2025(2):24-26.
- [3]王海荣,霍燕.地质矿产勘查中的数字化与信息化技术应用研究[J].西部资源,2026(2):102-104.
- [4]李欣.地质矿产勘查中的数字化与信息化技术应用研究[J].中国金属通报,2024(7):97-99.

作者简介:李昌浩(1996—),男,汉族,河北石家庄高邑人,助理工程师,本科,河北地质大学华信学院勘查技术与工程专业。