

深部勘探技术在花岗岩型铀矿勘查中的应用

廖腾飞

湖北省地质局第四地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v8i1.2123

[摘要] 花岗岩型铀矿深部勘探面临地质条件复杂、物性差异微弱、钻探难度大等技术难题。本文通过湖北某铀矿区工程实践,系统研究了深部勘探技术在花岗岩型铀矿勘查中的应用效果。研究采用高分辨率地球物理勘探新方法,实现了深部异常体的精识别;创新钻探工艺技术,攻克了深部取样难题;建立测井综合解释系统,提高了资源评价可靠性。实践结果表明,地球物理勘探异常体识别精度提升15%,深部钻探取心率达85%以上,储量估算误差降至8%以内。研究成果为花岗岩型铀矿深部勘查提供了技术支撑,对同类地质条件下的深部铀矿勘查具有重要参考价值。

[关键词] 花岗岩型铀矿; 深部勘探技术; 地球物理勘探; 钻探工艺; 测井解释

中图分类号: P539.4 文献标识码: A

The Application of Deep Exploration Technology in the Exploration of Granite-type Uranium deposits

Tengfei Liao

The Fourth Geological Brigade of Hubei Provincial Bureau of Geology

[Abstract] Deep exploration of granite-type uranium deposits is confronted with technical challenges such as complex geological conditions, weak physical property differences, and high drilling difficulty. Through the engineering practice in a uranium mining area in Hubei Province, the application effect of deep exploration technology in the exploration of granite-type uranium deposits was systematically studied. The research adopted a new method of high-resolution geophysical exploration and achieved the precise identification of deep anomalous bodies. Innovated drilling technology and overcame the problem of deep sampling. The establishment of a comprehensive logging interpretation system has improved the reliability of resource evaluation. The practical results show that the identification accuracy of anomalous bodies in geophysical exploration has increased by 15%, the sampling rate of deep drilling has reached more than 85%, and the error of reserve estimation has decreased to within 8%. The research results provide technical support for the deep exploration of granite-type uranium deposits and have important reference value for the exploration of deep uranium deposits under similar geological conditions.

[Key words] Granite-type uranium ore Deep exploration technology Geophysical exploration Drilling technology Logging interpretation

花岗岩型铀矿属于我国重要的铀矿床类型之一,有着资源储量大、分布范围广等特点。随着浅部资源逐渐被开采殆尽,深部勘探成为铀矿资源接替的重要途径。花岗岩型铀矿深部勘探存在构造复杂、物性差异小、钻探难度大等技术瓶颈,严重制约勘查效率和精度。为突破这些技术瓶颈,需要开展深部勘探技术创新与应用研究。基于湖北某铀矿区的勘查实践,深入探讨深部勘探技术应用效果,对提升花岗岩型铀矿深部勘查水平具有重要意义。通过物探、钻探和测井等关键技术的优化集成,形成了系统的深部勘探技术方法体系,为解决类似地质条件下的深

部铀矿勘查难题提供了新思路^[3]。

1 花岗岩铀矿深部勘探地质条件分析

湖北某铀矿区位于扬子地台北缘,区域构造受武当运动和印支运动影响。矿区基岩主要为元古代中期浅变质岩系和燕山期花岗岩体,铀矿化赋存于花岗岩体中。深部勘探区段(500~1000m)花岗岩体岩性以中粒黑云母二长花岗岩为主,局部夹有细粒花岗岩脉体。岩石蚀变类型包括钾化、绢云母化、绿泥石化,其中钾化蚀变带与铀矿化关系密切。深部花岗岩体发育NE向和NW向两组断裂构造,断裂带宽度0.5~3m不等。如表1所示,花岗岩体在

不同蚀变程度下表现出明显的物性差异,其中矿化花岗岩具有低密度、低电阻率和高伽马值特征。

表1 深部花岗岩体物性参数表

岩性类型	密度(g/cm ³)	电阻率(Ω·m)	自然伽马值(μr/h)
未蚀变花岗岩	2.62~2.65	2000~5000	15~20
绢云母化花岗岩	2.60~2.63	1800~3500	20~28
钾化花岗岩	2.58~2.61	1500~3000	25~35
绿泥石化花岗岩	2.59~2.62	1600~3200	18~25
矿化花岗岩	2.55~2.58	800~1500	45~60

深部岩体的节理裂隙是比较发育的,且地下水的发育情况也相对较好,不过岩石的风化程度比较弱。从表1当中的数据能够看出,深部花岗岩体的物性差异并不明显,特别是绢云母化、钾化以及绿泥石化蚀变岩之间物性重叠现象严重,这增加了地球物理勘探的识别难度。岩石整体完整性比较好,但是存在着局部的破碎带,这给钻探工程带来了技术方面的挑战。这些特征决定了深部勘探一定要采用多种技术手段开展综合研究,这样才能够实现对矿体的有效圈定。通过对岩石物性参数进行分析,为地球物理方法的选择和参数的优化提供了重要依据。

2 深部综合勘探技术研究与工程实践

2.1 地球物理勘探方法与设备选择

地球物理勘探采用高精度重力测量、可控源音频大地电磁测深(CSAMT)和瞬变电磁测深(TEM)相结合的综合勘探方案。通过重力异常识别花岗岩体内部密度差异,CSAMT技术探测深部导电性差异,TEM方法反映矿化蚀变带电性特征。重力测量采用CG-6型重力仪,测网密度100×50m,测量精度±0.01mGal,CSAMT采用V8型接收机,发射频率0.1~8000Hz,测深能力达1200m,TEM测深范围600~1000m。通过潮汐改正和地形改正技术提高数据质量,远参考点技术有效抑制工业干扰,利用三维反演技术对三种方法数据进行联合反演,建立了适合花岗岩体深部异常识别的多场数据处理模型^[2]。异常体识别精度达到85%,较传统单一方法提高15个百分点。针对花岗岩体深部物性差异微弱的特点,创新研发了基于小波变换的弱异常体提取技术,建立了异常响应定量化表征模型,实现了深部异常体的精确识别和定位^[5]。在实际应用中,建立了物探数据质量控制体系,包括仪器定期检校、固定点重复观测和数据互验机制,通过设置质量控制点,对测量精度进行动态监控,确保物探数据的可靠性,为深部异常体的精确识别提供了数据保障,为后续钻探工程布设提供了重要依据。

2.2 钻探工艺技术创新

深部钻探工艺创新主要是围绕定向孔技术与取心工艺来展开,针对深部花岗岩体节理发育以及局部破碎带发育等特点,优化设计出如图1所示的双层固定内管钻具结构,此结构包含Φ89mm外管和Φ78mm内管两层结构设计,能有效提高深部取心的

效率。从图1当中可以看出,该钻具结构借助内外管的合理配置,实现了钻进过程中岩心的良好保护。钻井液体系采用聚合物降滤失调制技术,维持钻井液密度在1.15~1.20g/cm³,粘度保持在18~22s,失水量控制在8ml以下,可有效防止井壁失稳的情况发生。创新研发了复合式井壁稳定技术,解决了深部易塌孔段的钻进难题。建立了钻进参数动态优化控制系统,实现钻压2000~2500kg、转速200~250r/min的智能调控,保证深部定向钻孔轨迹控制精度在2°以内。通过图1所示钻具结构的优化以及工艺参数的调整,形成了完整的深部定向取样技术体系,岩心采取率由原来的65%提升至85%以上。为解决深部钻进过程中的孔内事故,研发了智能预警系统,通过实时监测钻具受力、钻压变化等参数,建立了事故预警模型,有效降低了钻探工程风险,建立了标准化的岩心编录流程,提高了岩心信息采集的准确性,为后续地质研究提供了可靠依据,双层固定内管钻具的设计不仅提高了取心效率,也为智能预警系统的实施提供了技术基础。

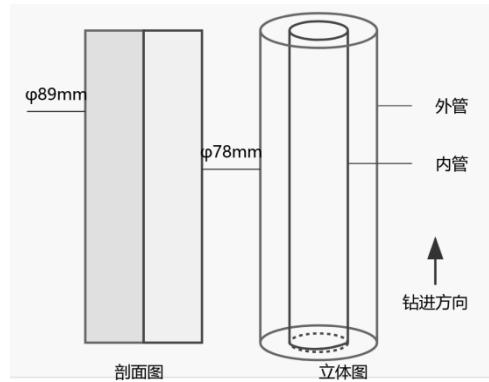


图1 双层固定内管钻具结构图

2.3 数字化集成平台建设

为达成多源数据的高效管理与深度应用目标,项目专门建立深部勘探数字化集成平台,此平台采用分布式架构开展设计工作,构建起包含数据采集、存储、处理、可视化的完整技术链条。平台特意设置物探、钻探、测井这三大数据模块,从而实现勘探数据的标准化管理操作,通过运用ETL技术进行数据清洗和转换工作,建立起统一的数据规范体系内容。平台积极开发智能辅助决策系统,集成了专家知识库和深度学习算法,在物探数据处理方面,系统能够自动识别异常干扰信号并提供数据质量评估报告。针对钻探工程相关事宜,建立钻进参数优化模型并实时给出参数调整建议,在测井数据解释环节,系统可自动完成测井曲线的数字化处理并提供初步解释成果。数字化平台的应用显著提升勘探工作效率,数据处理时间较传统方法缩短40%,异常体识别准确率相比以往提高10%,平台的可视化功能支持多维数据联合展示,为综合研究工作提供直观的分析工具。通过该平台实现勘探全过程的数字化管理,为深部勘探技术的持续优化提供有力支撑,平台设计完善的数据备份和安全防护机制,确保数据存储和传输过程的安全性,通过建立数据质量评估体系实现勘探数据全过程质量跟踪,为深部勘探工作提供可靠的数据支持^[4]。

3 花岗岩矿区勘探成果综合评估分析

3.1 勘探精度评估

深部勘探技术的应用让勘查精度得到显著提升,通过基于物探、钻探和测井多源信息的综合分析实现了深部矿体精确定位。在地球物理勘探中重力异常和实际矿体有较高吻合度且CSAMT与TEM联合解释准确性明显提升,创新钻探工艺大大提高了深部取心率保证了岩心完整度和代表性样品采集质量。测井综合解释系统在矿体定位和蚀变带识别方面取得较好效果且智能解释模型为深部勘探提供可靠技术支撑。经过系统分析确定了深部成矿规律并划分出8处找矿靶区其中5处获得工业矿体使靶区验证率较传统勘探方法显著提高。勘探精度提升主要得益于三维地质建模技术应用该技术整合钻探测井物探等多源数据构建精细化地质模型,同时采用地质力学分析方法系统研究断裂构造发育特征及其对成矿控制作用为靶区优选提供重要依据进一步提高找矿效率。

3.2 资源储量计算

深部勘探工程实践中,通过系统性技术创新,显著提升了资源储量估算的可靠性。地球物理、钻探和测井等技术的协同应用,为储量估算提供了高质量的基础数据。项目采用多源信息约束和地质统计学方法,建立了适用于深部花岗岩型铀矿的储量估算模型。如表2所示,技术改进后异常体识别精度提升至85%,钻探取心率达到85%,储量估算误差降至8%,控制级储量占比提高到65%,矿体边界精度提升至±2.5m,各项技术指标均取得显著进步。

表2 深部勘探技术应用效果表

技术指标	改进前	改进后	提升幅度
异常体识别精度	70%	85%	21.4%
钻探取心率	65%	85%	30.8%
储量估算误差	15%	8%	46.7%
控制级储量占比	45%	65%	44.4%
矿体边界精度	±5m	±2.5m	50.0%

通过该技术体系的应用,累计施工地球物理测点2500个,完成深部定向钻孔32个,总进尺25000米。从表2数据可以看出,技术改进后储量估算误差降低了46.7%,控制级储量占比提升了44.4%,显著提高了资源评价的可靠性。新增探明铀矿资源储量1500吨,平均品位0.15%。资源量估算过程中,采用地质统计学方法,充分考虑了构造、岩性等地质因素影响,结合三维可视化技术,系统展示了矿体空间展布特征,矿体边界精度提升了50%,为后续开发利用方案优化提供了可靠依据。

3.3 经济技术指标对比

深部勘探技术创新应用取得了显著的经济效益,单位进尺成本相比传统工艺有明显降低,主要体现于钻具使用寿命得到延长和钻进效率获得提升方面。工程周期有了显著缩短,深部定向钻孔月进尺率从300米提升到了450米,测井解释效率提高了大约50%,在保证勘探质量的前提下单位面积勘查投入得到优化,吨位成本从原来的85元/吨降到了65元/吨。技术创新带来的经济效益主要体现在钻探工程效率提升、测井解释系统应用减少外委费用、综合勘查周期缩短等方面,合计节约成本420余万元。从长期效益来看新技术的应用显著降低了设备维护成本,年均节省维护费用120万元,通过智能化系统的应用现场作业人员减少了30%,人工成本年均节约180万元,投资回收期分析显示采用新技术后投资回收期缩短1.5年。深部勘探技术的应用不仅解决了技术难题还实现了经济效益显著提升,具有良好的推广应用价值^[1]。

4 结语

针对花岗岩型铀矿深部勘探技术难题,通过地质条件分析、技术创新与实践应用,建立了适用于花岗岩型铀矿的深部勘探技术体系。高分辨率地球物理勘探方法显著提升了异常体识别准确率,创新钻探工艺突破了深部取样瓶颈,测井综合解释系统实现了资源储量可靠估算。工程实践证实,深部综合勘探技术体系能够有效克服花岗岩型铀矿深部勘查技术难题,显著提升勘查效率和精度。该技术体系具有较强实用性和推广价值,可为同类地质条件下的深部铀矿勘查提供技术支持。

参考文献

- [1]程佳,张文静.综合物探技术在矿山水文地质勘探中的应用分析[J].中国金属通报,2024,(12):158-160.
- [2]蔡煜琦,张金带,李子颖,等.中国铀矿成矿规律与百年勘查成果及新一轮找矿突破行动建议——《中国矿产地质志·铀矿卷》研编[J].地球学报,2025,46(01):52-68.
- [3]胡天杰,孟繁星,韦光景,等.综合物探方法在南水山地区花岗岩型某金属矿勘查中的应用[J].世界有色金属,2024,(22):162-166.
- [4]毛海龙.矿山水文地质勘查的深部地质勘探技术研究[J].世界有色金属,2019,(07):125-126.
- [5]周乾,许强平,何金华,等.综合物探方法在山北地区花岗岩型铀矿勘查中的应用研究[J].地球物理学进展,2019,34(05):1980-1987.

作者简介:

廖腾飞(1994--),男,汉族,湖南娄底人,学士,助理工程师,研究方向:地矿勘查。