

**编者按:**2025年6月,自然资源部办公厅印发了《新一轮找矿突破战略行动先进适用勘查技术推广清单(第一批)》,鼓励各单位选用新技术、新方法,提升勘查工作效率,更大程度实现绿色勘查。为使广大钻探工程技术人员更好地了解清单中的先进适用钻探技术,择优使用,本刊特此推出“技术快报”专栏,对清单中的相关钻探技术进行介绍,以飨读者。本期介绍“复杂地层找矿仿生自适应高效钻探技术”。

## 《新一轮找矿突破战略行动先进适用勘查技术推广清单(第一批)》之钻探技术介绍

# 复杂地层找矿仿生自适应高效钻探技术

**完成单位:**吉林大学建设工程学院,金石钻探(唐山)股份有限公司,河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队(河北省海洋地质环境调查中心)

**供稿人:**罗珂玥,王久全,高科,赵建业,刘志强,赵研,王强,孙大力,侯文涛,李捷,黄伟艇,王超,丁向忠,李秋玥,谷孝宾,孙浩奇

中图分类号:P634 文献标识码:C 文章编号:2096-9686(2026)04-0173-04

### 1 技术背景

复杂地层找矿仿生自适应钻探技术是在现有成熟的地质钻探技术基础上,引入仿生自适应原理,以钻头为主体、复杂地层为客体,创新的一种安全高效钻探技术。该技术能够为国家新一轮战略找矿突破提供一整套安全、可靠、高效且成熟的钻探技术方案。

金石钻探(唐山)股份有限公司、吉林大学、河北地质五队三家单位经过长期合作,形成了理论研究、产品研发和现场应用闭环合作创新模式。在仿生自适应原理的理论指导下,提出了钻头对岩石的自适应原理、钻杆柱对钻头的自适应原理及钻机对钻具和钻进工艺的自适应原理,创建了高效碎岩的仿生自适应钻头技术、高效传扭传压的仿生自适应钻杆技术、仿生自适应钻具技术和全液压自动化钻机技术。发明了具有自主知识产权的可再生爪趾型仿生自适应钻头、仿生自适应钻杆、薄壁型仿生取心钻具、双级单动三层管自适应取心钻具、自悬浮上下钻全液压自动化钻机等。

形成了在现有成熟绳索取心钻探技术的基础上,以提高钻头转速、降低钻头钻压的方式,创新复杂地层简单化技术方法,构建复杂地层找矿提速的技术体系,整套或部分技术已经在现场得到成功应用,实现了复杂地层钻探提速50%

以上。

### 2 技术内容

#### 2.1 基本原理

以生物适应生存环境的原理为理论指导、快速高质量获取地下岩样为目标驱动、复杂地层为自适应对象、提高钻头转速为具体目的,通过钻头对岩石的自适应、钻杆对钻头的自适应、钻机对钻具与钻进工艺的自适应来提升钻头高转速钻探取样质量。

(1)钻头对岩石的自适应原理:以土壤动物爪趾为仿生原型,降低钻头切削齿对岩性变化的敏感性,提高钻头对岩石的适应性,从而实现钻头在复杂地层钻进过程中的高质量碎岩成孔。

(2)钻杆对钻头的自适应原理:高速回转的钻头对钻杆的高频疲劳寿命提出更高要求,低钻压小扭矩能够有效降低对钻杆的轴向压、弯、扭破坏程度。通过提高钻杆的高弹性来满足钻头高转速低钻压要求。

(3)钻机对钻具和钻进工艺的自适应原理:以生物自适应原理为指导,通过提高钻机高转速状态的稳定性,能够满足钻头(钻具)所在的地层、钻孔和深度特点对参数的需求。

同时,将自动化控制技术与自适应技术结合,缩短上、卸钻杆和取心的辅助时间。

## 2.2 关键技术与设备

利用仿生自适应原理,围绕复杂地层钻头高转速、低钻压高效取心技术核心,建立起了复杂地层仿生自适应高效钻探的整体技术方案。依据新一轮找矿突破战略行动要求,结合现有成熟高效技术,遵循钻探提速技术路线,形成复杂地层仿生自适应高效钻探技术整体方案:套管技术、钻具级配技术、复合钻杆柱技术、复合钻进工艺方法以及仿生自适应高效钻进技术,综合施策,如图1。仿生自适应高效钻进技术主要包含如下四个关键技术:

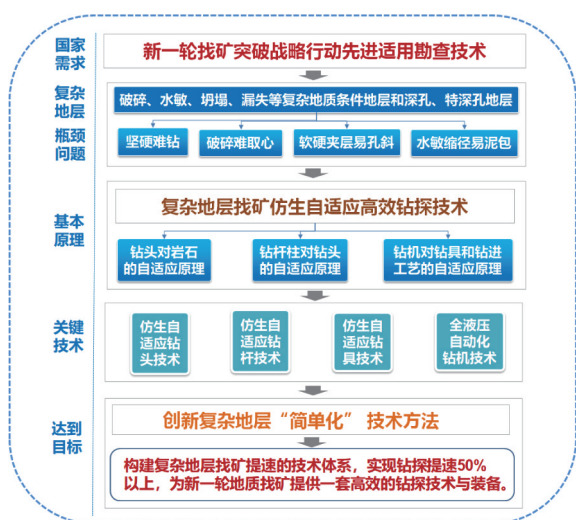


图1 “复杂地层找矿仿生自适应高效钻探技术”图解

(1)高效碎岩的仿生自适应钻头技术:突破常规孕镶金金刚石钻头胎体硬度与地层可钻性密切相关的思维枷锁,利用土壤动物爪趾的高效、耐磨和减阻破土特征,提出了仿生自适应碎岩技术,发明了具有自再生功能的爪趾型仿生自适应钻头,如图2。该技术具有很好的减阻、耐磨、防粘和高效特征,能有效降低回转扭矩、防止孔斜、提升钻孔精度和提高钻进效率。

(2)高效传扭和传压的仿生自适应钻杆技术:为了提高大深度钻杆对钻头高转速需求的适应性,提出了通过增大钻



图2 仿生钻头

杆弹性来满足高转速需求的仿生自适应钻杆技术,创新分区热处理工艺、刚柔耦合技术大幅度提高了钻杆柱的整体弹性,如图3;创新螺纹副楔形密封结构和紧密距预紧方法形成稳定的整体高强度钻杆柱技术;创新钻杆螺纹表面硬化技术,提高钻杆寿命50%以上;创新“膜”自润滑工艺,避免钻杆螺纹粘扣。为此,发明了仿生自适应钻杆,建立起了钻杆自动化生产线,提高了高转速环境下对钻头传扭和传压的效率,延长了钻杆的使用寿命。



图3 分区热处理钻杆工艺加工

### (3)仿生自适应钻具技术:

①针对坚硬地层,提出了薄壁型仿生取心钻具技术,通过减薄钻头的径向厚度和配套薄壁取心钻具降低回转扭矩和改善钻柱回转环境,在创新“虎舌倒刺”仿生卡簧技术的配合下,使进入内管的岩心被牢牢锁住以防丢失,实现高转速、高效率钻进。

②针对难取心破碎地层,提出了双级单动三层管自适应取心技术,创新的三层管配置两套单动机构可以相对旋转实现岩心管的双倍单动效果,减少回转对岩心的扰动,提高岩心采取率,采用半合管出样方法获得高质量原结构状岩心样品;在创新“包镶”伞形拦簧技术的配合下使进入内管的破碎岩心被牢牢锁住以防丢失,实现低扰动钻进,如图4。



图4 低扰动钻具

③针对软硬夹层易孔斜地层,采用复合钻杆柱技术,使钻具在复杂地层钻进颤动小、运转平稳,可实现高速钻进,导向性好、钻孔轨迹精度高、钻进效率高,还可实现取心钻探工艺和无心钻探工艺的相互转换。

④针对水敏缩径易泥包地层,采用增大环空间隙的复合钻杆柱技术,降低水敏性地层的灵敏度,既能有效减缓钻孔



缩径,又能有效防止钻杆泥包,保证钻杆持续高速回转,如图5。



图5 防泥包钻具

(4)全液压自动化钻机技术:采用自动悬浮系统和自动上下钻系统,动力头给进传动机构采用矩形大截面刚性导轨保证上下给进平稳,阻力小,且具有自适应悬浮功能。自定心结构能够把钻机的转速和扭矩平稳地传递给钻杆柱,与动力头给进传动机构相互配合,能够实现自动和高效上卸扣,再匹配钻杆自动运移机械手臂,实现了钻机整个施工过程的自动化。全液压钻机可实现不倒杆、长行程、无级变速高转速钻进,满足钻具自适应要求。钻塔、泥浆泵、绞车、主卷扬等集中配置,利于施工场地建设。采用集成控制,自动化程度高,施工人员少、劳动强度低,安全可靠,如图6。



图6 自动化全液压钻机

### 3 技术特点

(1)钻头设计突破传统局限,大大降低钻头磨损。借鉴土壤动物爪趾高效破土特性,研发带再生功能的爪趾型仿生自适应钻头,相较于常规孕镶钻头胎体硬度与地层可钻性的固有绑定限制,该钻头兼具减阻、更耐磨、防粘等优势,实现高效碎岩。

(2)采用多种创新技术延长钻杆使用寿命,提高传压传扭效率。本技术采用四种创新工艺提高钻杆弹性、强度、防粘扣等,避免了因深孔高转速产生的剧烈震动、失稳及滑丝问题;而传统钻杆还普遍存在密封性差、预紧力不足的短板,因此该技术通过螺纹副楔形密封结构和紧密距预紧方法拼接形成稳定的整体高强度钻杆柱,大幅降低现场故障停机概率,减少钻具更换与维护成本。

(3)对复杂地层采用“具体问题具体分析”的方法。基于坚硬、破碎、软硬夹层、水敏缩径四类典型复杂地层的核心施工难题,研发形成一一对应的专属解决方案,实现不同复杂地层的精准适配与高效钻进,全面破解传统钻具的地层适应性短板。

(4)全液压自动钻机技术创新全流程自动作业,大幅降低现场劳动强度。

### 4 应用案例

(1)仿生自适应薄壁钻具的应用(如图7)。2016年,河北地质五队在新疆阿克陶县戈壁地区施工,地质构造复杂,采用仿生自适应薄壁钻具,岩心采取率超过90%。该项目获得河北省地矿局地质科技成果二等奖。



图7 阿克陶县戈壁施工现场

(2)仿生自适应钻探技术在砂岩型铀矿勘查中的应用(如图8)。2019年至今,在北方砂岩型铀矿地层钻探中,采用刚性钻杆柱、钻头、钻具和大环空间隙钻进工艺等技术,以绳索取心钻探替代提钻取心,岩心采取率提高1倍以上,单台钻机年进尺万米以上,单个钻孔消耗钻头2~5个。

(3)仿生自适应钻探技术在雄安新区复杂地层中的应用。2019年,河北地质五队在雄安新区地热勘查D33孔,2020 m深部钻探,400 m超厚覆盖层,沉积有约40 m卵石层以及深部的馆陶组砾岩。采用复杂地层简单化技术、仿生自适应钻杆柱技术和仿生自适应钻头技术,结合控压钻进工



图8 砂岩型铀矿施工现场

艺,确保了钻孔精度,提高了钻进效率,钻探工期仅56天。该项目获得河北省地矿局地质科技成果二等奖。

(4)仿生自适应钻探技术在铁矿破碎地层中的应用(如图9)。2019年,河北地质五队在河北迁安北屯北铁矿破碎地层钻探中,采用复杂地层简单化技术、仿生自适应钻具技术和仿生自适应钻头技术,岩心采取率得到质的提升,岩心采取率均在90%以上,矿心采取率均为100%。该项目获得河北省地矿局地质科技成果二等奖。

(5)仿生自适应钻探技术在铁矿深孔钻探中的应用(如图10)。2023年,河北地质四队在大乌苏南沟矿区铁矿施



图9 河北迁安北屯北铁矿施工现场

工,孔深1250 m,用时45天。采用YN-1500D型电动全液压钻机,仿生钻具攻克90 m厚回填层钻进难题;仿生自适应钻杆柱保证了钻机的高速运转,H口径钻进,钻机转速850 r/min;仿生钻头平均使用寿命>150 m。



图10 大乌苏南沟矿区铁矿施工现场

## 5 应用建议

仿生自适应钻探技术(含仿生自适应钻头、钻杆、系列化专用钻具及配套全液压自动化钻机)已广泛应用于国内外找矿、地热勘查及科学钻探等工程,有效解决了复杂地层钻探施工中效率低、岩心采取率不稳定、孔斜防控难、钻具损耗高等核心技术问题,技术性能和应用效果受到应用单位的高度认可,取得了良好的经济效益和社会效益。

(1)可用于各类地质钻探工程,尤其是深部矿产资源勘查绳索取心钻探工程。

(2)可用于一般坚硬、破碎、软硬互层、水敏缩径地层钻进。若遇超深、极端复杂地层,再配套优化套管技术、钻具级配方案与复合钻进工艺,进一步提升钻探稳控性能与提高取心质量。

(3)可适配常规全液压钻机、自动化钻探装备施工,兼容主流取心工艺和全面钻进钻探工艺。🔗