

地质钻探技术与应用研究

冉恒谦¹⁾, 张金昌¹⁾, 谢文卫¹⁾, 张永勤¹⁾, 宋志彬¹⁾, 向军文¹⁾,
刘凡柏¹⁾, 冯起赠¹⁾, 鄢泰宁²⁾, 贾美玲³⁾, 陶士先³⁾, 胡继良³⁾

1) 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊, 065000; 2) 中国地质大学工程学院,
武汉, 430074; 3) 北京探矿工程研究所, 北京, 100083

内容提要: 钻探技术是取得地下实物资料、验证地下信息推断与解释、最终圈定矿体、计算储量、评估品位唯一的技术手段, 是实现取得宏观影响大成果的重要技术支撑。我国钻探技术和装备水平与国外先进国家相比有很大的差距, 但近些年来有了长足的发展。通过国家重大科学工程项目“中国大陆科学钻探工程”5158m“科钻一井”的实施, 取得了一系列钻探技术成果, 形成了一整套新型的、具有国际先进水平的硬岩深井科学钻探技术体系, 包括硬岩深井取心钻进技术、扩孔钻进技术、泥浆技术和井斜控制技术。在国家科技计划项目、国土资源部科技项目以及地质大调查专项项目等的支持下, 通过地质钻探技术的研究和应用, 在绳索取心钻探技术、液动潜孔锤钻探技术、反循环钻探技术、组合钻探工艺、定向对接井技术、新型节水钻探工艺、系列全液压岩心钻机、全液压力头水文水井钻机、地质调查浅层取心取样钻探装备与技术、系列新型金刚石钻头以及新型冲洗液技术等方面取得了长足的进步, 为我国地质调查和矿产资源勘查提供了现代化的钻探技术和装备。

关键词: 钻探; 绳索取心; 液动潜孔锤; 反循环; 组合钻探; 定向对接井; 节水钻探; 全液压; 钻机; 浅层取心取样; 金刚石钻头; 冲洗液

钻探技术是取得地下实物资料、验证地下信息推断与解释、最终圈定矿体、计算储量、评估品位唯一的技术手段, 是实现取得宏观影响大成果的重要技术支撑。近年来, 随着世界对矿物和金属需求的持续增长, 全球固体矿产勘查采矿投资年均增长超过 20%。稳定的矿产勘查投入, 也使得勘查技术得到稳定发展。国内钻探工作量快速增长: 从 2006 年的 800 万米到 2008 年 1550 万米, 即使在金融危机的 2009 年, 我国钻探工作量也达到了 1600 万米。投入的增加, 蕴含了地质工作供给与地质工作需求的新信息, 反映了矿产勘查工作的活跃。投入的增加, 反映了经济社会发展对地质工作的强劲需求, 反映了地质工作运行环境在改善, 如政府更加重视、社会更加关注。

近 20 多年来, 国外地质钻探工艺方法没有根本性的突破和发展, 仍然是以小口径金刚石绳索取心钻探技术为主, 对个别矿种和地质条件下辅以不同

的多工艺钻探技术。目前, 美国、澳大利亚、加拿大、南非和欧洲等一些发达国家所采用的岩心钻探方法主要有金刚石回转钻进, 三牙轮钻进和气动潜孔锤钻进; 其取心方法有常规提钻取心 (Conventional Core Drilling)、绳索取心 (Wireline Core Drilling) 和反循环取样 (Reversery Circulation), 但用的较多的还是绳索取心和反循环取样。冲洗介质主要有液体和压缩空气, 也有泡沫。最近几年快速发展的无冲洗介质的振动钻 (Sonic Drilling) 也开始用于取样和浅孔取心。在护壁堵漏技术方面, 水基成膜钻井液体系和微泡钻井液防漏堵漏新技术有效解决了漏失地层的钻进问题。在钻探设备方面, 以瑞典 Atlas Copco 公司的 CS 系列全液压地表取心钻机、Diamec 系列全液压坑道取心钻机、R 系列反循环钻机, 加拿大 Boart Longyear 公司的 LF 系列全液压地表取心钻机, 澳大利亚 U. D. R. 公司的 UDR KL 系列和 UDR 系全液压取心钻机为主导。钻机的钻

注: 本文为“矿产资源循环经济指标体系及规划方法研究”项目 (编号 12120106600)、中国地质调查局资助项目 (编码 1212010916022) 资助的成果。

收稿日期: 2010-05-015; 改回日期: 2011-08-20; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 冉恒谦, 男, 1963 年生。1998 年中国地质大学 (北京) 探矿工程博士。现为 中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师。
Email: 13803221648@139.com。

DOI: CNKI: 11-1951/P. 20111025. 0834. 007 网络出版时间: 2011-10-25 8:34

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20111025.0834.007.html>

深能力有大幅度提高,钻机都为全液动力头长行程给进。泥浆泵还是柱塞往复泵。地表钻机动力设备大部分为柴油机或电动机任选;移动形式有履带自行式、卡车自行式和轮胎拖挂式。而地下巷道钻机动力大都为电机形式;移动形式大都为履带自行式和轮胎拖挂式。再一个最大的发展是采用计算机来控制钻进,以减轻工人劳动强度,提高钻进效率和钻进精度。国外钻探技术的发展趋势是:①钻探工作将更专业化,更技术化和更自动化;②钻机智能化;③立轴式钻机基本退出市场;④钻探工艺多样化;⑤钻探工作更注重健康安全环保(HSE)(张金昌,2009;张金昌等,2007;张伟,2007)。

我国钻探技术和装备水平与国外先进国家相比有很大的差距,但近些年来有了长足的发展。通过国家重大科学工程项目“中国大陆科学钻探工程”5158m“科钻一井”的实施,取得了一系列钻探技术成果,形成了一整套新型的、具有国际先进水平的硬岩深井科学钻探技术体系,包括硬岩深井取心钻进技术、扩孔钻进技术、泥浆技术和井斜控制技术。研制的螺杆马达+液动锤+金刚石取心钻进系统,属世界首创,居国际领先水平,兼具高效、优质、安全和经济的施工效果,是取心钻探技术的重大突破。通过国家十一五“863”重点项目“2000m地质岩心钻探关键技术与装备”的实施,完成了2000m全液压岩心钻机、配套泥浆泵、高精度钻探参数检测系统、钻井液循环及固控系统、深孔用绳索取心钻杆、绳索取心液动潜孔锤钻具以及长寿命金刚石钻头研制,明显提高了我国深孔地质钻探技术水平,增强了钻探技术在矿产资源勘查领域的技术支持和服务能力。通过地质大调查等国家专项的支持,完成了300m、600m、1000m、1500m和2000m系列化开发、1000m全液压车装动力头水井钻机研制、水陆两用盐湖科考钻机研制、浅海及滩涂取样钻机研制、TGQ勘查取样钻机和DR系列全液压取样钻机、新型金刚石钻头系列研制,进一步完善了绳索取心钻探技术、液动潜孔锤钻探技术、反循环钻探技术、组合钻探工艺、定向对接井技术、新型节水钻探工艺以及新型冲洗液技术,为我国地质调查和矿产资源勘查提供了现代化的钻探技术和装备。

1 绳索取心钻探技术

1.1 技术发展概况

1947年,美国长年公司将绳索取心钻探技术方法从石油钻井引入地质岩心钻探,20世纪50年代

开始试用,通过不断改进完善,到20世纪80年代已经研究开发出适合不同地层需要系列化的绳索取心钻具,钻具已经标准化,20世纪70年代,美国、加拿大和澳大利亚等国家的金刚石岩心钻探中,绳索取心钻探工作量已经占到90%左右。我国地矿部门于1974年率先开展绳索取心钻具和钻进工艺的研究工作,1976年初S56绳索取心钻具通过鉴定验收,到80年代,绳索取心钻具已经初步形成系列。

随着绳索取心钻探技术的不断进步,相继研制出了绳索取心液动潜孔锤、绳索取心不提钻换钻头钻具、绳索取心液动潜孔锤螺杆钻三合一钻具,并得到了成功应用。

1.2 基本原理、技术特点

1.2.1 基本原理

绳索取心是一种不提钻取心的钻探技术,其基本原理为:当岩矿心装满岩心管或发生岩矿心堵塞时,不需要把孔内钻杆柱提升到地表,而是借助专用的绳索打捞工具在钻杆柱内将岩矿心容纳管捞取上来。只有当钻头需要检查磨损状况或更换时才提升全部钻杆柱。

1.2.2 技术特点

减少升降钻具的辅助时间,增加纯钻进时间,提高钻进效率;

发生岩矿心堵塞时可以立即打捞,减少了岩矿心磨蚀,并且在钻杆柱内打捞岩矿心平稳,减少了岩矿心脱落的机会,岩矿心采取率高;

只有更换钻头时才提钻,减少了频繁升降和拧卸时钻头的磕碰及扫孔磨损等现象,可以延长金刚石钻头的使用寿命;

减少了升降孔内钻杆柱次数,大大减轻工人劳动强度,改善劳动条件;

减少了钻探机械升降系统的磨损与动力消耗,减少了因升降钻杆柱冲洗液对孔壁的冲击、抽吸作用,使孔内更安全

(1)新一代绳索取心液动锤钻具:SYZX75和SYZX95绳索取心液动冲击钻具创造性地将液动锤的冲击传功机构、悬挂机构和密封机构进行了整合,设计了一种独特的采用约束变形理念的传功密封结构,大大简化了液动锤绳索取心钻具的结构,并在实践中证明其传功、密封效果极佳,可靠性大幅度提高,同时由于新型的液动潜孔锤具有高可靠性和长工作寿命的特点,明显提高了绳索取心液动冲击钻具的使用效果:较相同条件下绳索取心回转钻具钻速提高近两倍。在完整地层回次满管率达90%以

上,在破碎地层回次长度提高 60%以上。2008 年,完成进尺已经达到十余万米,为客户带来了良好的经济效益。新一代液动锤在绳索取心领域的成功应用,进一步巩固我国在绳索取心液动锤钻进技术领域的领先水平,使绳索取心钻进技术迈上了一个新的台阶。

(2) 螺杆钻+液动锤+绳索取心钻具:具有创新和多技术集成的三合一(螺杆钻+液动锤+绳索取心)钻具的技术优势为:利用绳索快速打捞内管钻具,大幅度减少提下钻时间;利用螺杆马达井底回转,降低钻进扭矩,保护井壁安全,利用液动潜孔锤,进行冲击载荷碎岩,提高钻速,减少岩心堵塞。该钻具在大陆科学钻探中的成功使用,使我国的钻探技术迈上了一个新的台阶。该技术达到了国际先进水平。

1.3 使用范围

可应用的领域有:固体矿产钻探、砂矿钻探、石油、天然气钻探、煤层气钻探、工程地质钻探、地热钻探、水域钻探、冰层钻探、科学深孔钻探、坑道钻探。钻进中硬以上地层。随着地质勘探事业的发展,绳索取心钻探技术的进步,其应用领域亦不断拓宽。

1.4 推广应用情况及效果

自 1978 年以来,绳索取心钻探技术在我国地矿、冶金、煤炭、核工业、建材、化工等部门得到了广泛应用,取得了显著的经济效益和社会效益,深受广大地质职工的欢迎,被誉为“四高、三低、两好”(工程质量高、时间利用率高、钻进效率高、钻头寿命高;事故率低、劳动强度低、设备材料消耗低;地质效果好、经济效率好)的先进钻探方法。截至 20 世纪 90 年代,我国绳索取心钻探工作量已经完成数千万米。目前绳索取心钻探最深钻孔世界纪录为 5424m。在近年来我国地质找矿深孔、特深孔钻进中,绳索取心仍然是最有效的钻进方法,也是首选的工艺方法,在已施工完成的 20 余口 2000m 以上的深孔中,全部是用绳索取心钻进方法完成的,最大孔深已达 2706.68m。

绳索取心钻探技术的成果拥有单位主要是勘探技术研究所。

2 液动潜孔锤钻探技术

2.1 技术发展概况

我国是目前世界上开展液动锤技术研究和应用工作做得最好的国家之一。勘探技术研究所于 1958 年开始系统的专题研究,建立了冲击回转钻探试验室(台)。经过数年的工作,至 1983 年勘探技术

研究所的正作用式 YZ54 II 型、原长春地质学院的射流式 SC54 型、原辽宁地矿局九队的双作用式 SH54 型、原冶金部探矿技术研究所的正作用式 TK 型、原河北地矿局综合研究队的正作用式 ZF54 型、原云南地矿局探矿研究室的 SX 射吸式,原核工业部江西 264 队的双作用式 YE 型等液动锤先后分别通过所属各部的鉴定,这批成果迅速在施工中得到推广应用。从此,这项新技术进入了一个新的发展时期直到 20 世纪 90 年代中期。进入 21 世纪,在大陆科学钻探和新一轮地质大调查项目的支持下,该技术的研究与应用取得突破性进展。

2.2 基本原理、技术特点

液动潜孔锤钻探是在回转钻探的基础上通过利用现场配套的泥浆泵输送的冲洗液驱动液动潜孔锤(简称液动锤)对破碎岩石的钻头施加一定频率的冲击能量,也就是钻头上带有冲击负荷的回转钻探。钻孔时液动锤安装在钻杆或岩心管与钻头(全面钻进或取心钻进)之间,并随钻孔之延深而潜入钻孔中对钻头施加冲击负荷,以达到提高钻进效率之目的。

液动潜孔锤钻探是对常规回转钻探的重大改革,是继现代金刚石钻探和空气钻探之后的钻探新方法。它较好地利用了坚硬岩石脆性大而抗剪强度较低不耐冲击力的弱点,是解决坚硬岩层和某些复杂岩层钻探效率低、钻孔质量差的有效钻探技术。

2.3 使用范围

坚硬、致密“打滑”,尤其是脆性地层使用液动锤可大幅度提高钻进效率。

由于是在回转钻进的基础上增加液动锤,因此对设备不需要做改变,但由于液动锤高频振动,在使用时应注意设备的紧固件防松问题,我们推荐,在大直径、浅孔进行液动锤钻探时可配套减震稳流平压的空气室,这样对稳定液动锤性能、保护泥浆泵及地面设备都有明显的改善效果。

液动锤是在含有固相及微粒钻削的泥浆环境下高频往复运动,因此采用高质量泥浆、并且用好则显得十分重要。否则会加剧液动锤零件磨损、影响使用寿命,还可能阻卡使液动锤不工作。因此有必要对泥浆提出较为严格的要求:润滑性能好、含砂量低、黏度密度低,黏度一般不大于 30s,含砂量不大于 0.1%,密度 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$;在条件许可时推荐使用泥浆润滑剂更能提高液动潜孔锤性能并延长使用寿命。泥浆材料推荐具有四低(低粘、低切、低密、低失水)一高(高润滑性)的 LBM。

在使用大直径液动锤钻进时,更应重视泥浆的

净化工作,在有条件时最好配备净化设备,或采取多级沉淀方式,同时注意对泥浆泵的吸水莲蓬头增加过滤装置。

2.4 推广应用情况及效果

目前,勘探技术研究所研制的 YZ、YZX、SYZX 和 HHP 系列液动潜孔锤已广泛用于地质、核工业、有色、煤田、水电、建材、化工及石油等领域。

获两项国家发明专利(ZL99100660.7; ZL02125436.2)的 YZX127 液动潜孔锤,在国家重点工程——中国大陆科学钻探“科钻一井”井施工中,配合属世界首创的具有中国特色的组合钻探工艺:螺杆马达+液动锤+金刚石取心工艺,效果显著。1997 年开发的 YZX 新型高功系列液动锤,在中国大陆科学钻探工程“科钻一井”等国家重点工程中得到成功应用并完善,取得良好的经济效益和社会效益,使用井深达 5129m。该系列液动潜孔锤可用于地质岩心钻探、地质灾害治理钻探、水文水井钻探、石油天然气钻井等领域,钻孔口径 $\Phi 56 \sim 216\text{mm}$ 。配套开发 SYZX 系列绳索取心液动锤钻具,可与国内外各种绳索取心钻具配套,钻孔口径 $\Phi 59 \sim 150\text{mm}$ 。自 2008 年推向市场以来销售超过 600 台套,累计进尺超过 150 万米,成为近年来钻探技术的热点,

YZ、YZX、SYZX 和 HHP 系列液动潜孔锤的技术成果拥有单位是勘探技术研究所(见图 1)。

3 反循环钻探技术

3.1 技术发展概况

反循环钻探技术是继金刚石绳索取心钻探技术

之后出现的又一种全新钻探技术,被钻探界称为钻探技术的又一次革命。

用同一套钻具实现了空气中心取样及水力反循环方法在同一钻孔中钻进的转换。根据地层条件亦可单独采用空气反循环钻进及水力反循环钻进。克服了单一钻进方法的局限性,扩大了使用范围。这是钻进技术上的重大突破。通过大量的理论与实践研究,在材料选择与钻杆结构设计上取得了重要突破,使多介质反循环复合钻探技术达到实用程度。反循环钻探技术将在国土资源大调查中发挥重要的作用。

3.2 基本原理、技术特点

反循环钻探法主要分为空气反循环和水力反循环。空气反循环是以压缩空气作为循环介质,利用双壁钻杆将压缩空气经内外管环隙输送到孔底,并驱动孔底潜孔锤以全面碎岩的方式钻进,驱动潜孔锤工作后的气体再携带岩屑经双壁钻杆的中心通道上返至地表,以空气携带至地表的岩屑作为矿体评价化验分析的地质样品。这种取样钻探方法具有钻探效率高、成本低、适合干旱缺水的地区钻头施工等一系列优点。但它由于全面破碎以岩屑作为地质样品,所以存在着不能真实反映所钻地层结构和构造的缺陷,在某些情况下还不能完全满足地质要求。水力反循环连续取心钻探技术以液体(清水或泥浆)作为循环介质,利用双壁钻杆将循环介质经内外管环隙输送到孔底,然后将取心钻头形成的柱状岩心经内管中心通道携带至地表。该取心钻探方法具有取心质量好、判层及时、时间利用率高、劳动强度低



图 1 YZ、YZX、SYZX 和 HHP 系列液动潜孔锤

Fig. 1 YZ、YZX、SYZX & HHP Series Hydraulic DTH Hammers

等优点。但其效率没有空气反循环连续取样钻探方法高。把两种钻探方法有效地结合起来采用一套双壁钻杆和辅助器具,根据地质需要和地层情况采用不同的钻探方法,简化了器具配套费用,便于推广应用,可大大提高综合钻探效率。

3.3 使用范围

反循环钻探技术除用于地质勘探取样外,还可用于:

水文水井勘察与施工 循环介质为空气,故钻进过程中即可根据岩样上返潮湿程度判断是否进入含水层;随着含水层钻进深度的增加,孔口返水量逐渐增大,穿过含水层后,返水量趋于稳定,从而可以较准确地判断含水层的位置;地下水均从内管返出,钻进过程中即可对出水量进行测定,因此可以定性判断水量大小;空气不堵塞水通道、对水质无污染;不会打丢含水层。

松软易垮地层中爆破孔成孔 该类地层往往成孔后无法装药。本方法用双壁钻杆钻进,成孔后将药从内管放入孔中再提出钻具,不仅装药成功率100%,且成孔效率大为提高。

各种复杂地层中的锚固孔、注浆孔施工 因循环介质与孔壁之间实现了屏蔽,上返气流对孔壁无冲蚀作用,且基本上为满眼钻进,故有利于保护孔壁,顺利成孔。

3.4 推广应用情况及效果

在河南密县刘楼沟铝土矿:共完成进尺986.22m,小时效率和台月效率分别达7.57m/h和1001m/台月,较常规钻探分别提高410%和130%。

在河南嵩县范疙瘩金矿:完成进尺1764.62m,平均时效4.08m/h,平均台月效率1065.17m。与矿区常规金刚石钻探相比,小时效率提高3倍,台月效率提高5倍以上,且矿心采取率和金品位无有所提高。

在安徽铜陵朝山金矿:完成进尺391.75m,小时效率和台月效率分别达4.95m/h和1181.30m/台月,较矿区2000年常规金刚石钻探方法的平均指标分别提高195%和179%。

在山东大崮头矿区:空气反循环连续取样钻探台月效率达2266m/台月;水力反循环连续取心台月效率达1060m/台月,而且因岩心堵塞提钻间隔可超过200m,时间利用率达74.7%;综合台月效率达1348m/台月。

在内蒙古自治区赤峰市翁牛特旗张家沟铅锌矿旗:累计完成钻探工作量485m、最大终孔深度186m,在通常情况下(钻孔孔内无水或水量很小,空

气潜孔锤工作正常),钻进时效15~22m/h。

在贵州贞丰露天金矿区:共计完成钻孔450余个,钻探进尺13206m。平均台月时进尺3451m,最高台月实进尺4400m,是普通岩心钻进的4~7倍,体现出较高的钻进效率。

推广应用前景:通过野外钻探生产实践,表明反循环钻探技术具有良好的技术经济效益和推广应用前景。反循环钻探技术除可用于固体矿产勘探外,还可广泛应用于石油物探爆破孔、水文地质勘探孔、工程地质施工、地质灾害治理、软弱地基处理、矿山的灌浆孔、通风孔、降水孔施工等,特别适合于干旱缺水地区进行钻探施工(张永勤等,2008;贾庆军等,2007;张永勤,2007)。

但是,在近两年的地质找矿钻探工程中几乎没有反循环钻探工作量,反循环钻探技术有待进一步完善和推广应用。

反循环钻探技术的技术成果主要拥有单位是勘探技术研究所。

4 组合钻探工艺

4.1 技术发展概况

在地质找矿钻探领域应用较广泛的钻探技术是金刚石绳索取心和反循环连续取样(心)两大钻探技术。绳索取心钻探技术的出现是钻探技术的一次革命。反循环钻探技术被称为地质钻探技术的又一次革命,两种钻探技术各有其优缺点,把两者有机地结合起来,将在满足地质钻探找矿要求的同时,大幅度地提高钻探效率,降低成本。目前该项目成果在一些干旱缺水矿区取得了一定的应用,完成钻探进尺超过40000m,技术产品及施工产值达1200万元。同时为国家提交了多个矿产储量报告。

4.2 基本原理、技术特点

组合钻探工艺研究是一种将空气反循环连续取样、水力反循环连续取心及金刚石绳索取心钻探的优点有机结合起来综合地质钻探新技术。空气反循环连续取样钻探技术利用双壁钻杆、以压缩空气作为循环介质、以冲击回转为主要的碎岩方式钻进施工,循环介质经双壁气水龙头、双壁钻杆内外管环隙到达孔底,驱动孔底潜孔锤后并携带岩屑经双壁钻杆内管中心到达地表,并以此作为地质样品。所以具有钻进效率高、成本低、判层及时、适合干旱缺水地区钻进等一系列优点。但由于该方法是全面破碎、并以岩屑作为地质样品,所取岩屑不能客观地反映出所钻地层的地质构造及产状,而且钻进孔深受

地下水位的影响较明显。所以,对于一些需要了解所钻地层的真实地质构造及产状特殊要求的情况,空气反循环连续取样钻探技术还有一定的缺陷。水力反循环连续取心钻探技术的原理同空气反循环连续取样钻探技术相同,只是以液体作为循环介质,以回转连续取柱状岩心的方式钻进,具有判层及时、时间利用率高、取心质量好、劳动强度低等优点,但其钻进速度要比空气反循环连续取样低得多,而且水泵功率消耗较大。绳索取心钻探技术具有取心质量较好、钻进深度较深等特点。但与反循环钻探技术相比,其钻进效率和时间利用率较低、劳动强度较高,不能及时了解所钻地层情况。

结合上述三种钻探技术的优点,研制开发了可同时满足三种钻探工艺的双壁钻杆、钻具以及三种工艺方法相应的施工工艺。组合钻探工艺的特点就是采用一套双壁钻杆、同一台钻机和相同辅助器具,根据地层情况和地质要求,因地制宜,能够通过简单的组合,快速地实现上述三种不同的钻探工艺,最大限度地达到提高综合钻探效率和降低成本的目的。

4.3 使用范围

组合钻探工艺的空气反循环连续取样钻探技术适合于干旱缺水、取心困难地层地质找矿勘探、老矿区外围拓展勘探取样钻探施工。钻进孔深可达 200~300m。水力反循环连续取心适合于地下水位较浅、水量较大、中硬较完整地层取心钻探施工,钻深能力可达 300~500m。在空气及水力反循环钻探工艺无法满足地质对深度要求的情况下,可采用绳索取心钻探技术继续向更深地层钻进施工,取出满足地质要求的样品,其钻深能力可达 500~1000m(或更深,取决于钻机的能力)。

4.4 推广应用情况及效果

该项目技术成果通过验收以来,曾先后在黑龙江、青海、新疆、贵州等地得到应用。黑龙江齐齐哈尔矿产勘查总院采用该技术成果一台钻机不到半年时间完成钻探进尺超过 22000m,与传统的取心钻探技术相比,效率提高 5 倍,成本下降了 60%。目前该技术在来华投资风险勘探的外国矿业公司得到较广泛的应用,国内地质钻探施工将有良好的应用前景。

组合钻探工艺的技术成果主要拥有单位是勘探技术研究所。

5 定向对接井技术

5.1 技术发展概况

自 1992 年以来,勘探技术研究所采用定向对接

连通井技术已在国内外完成了 100 多对对接井施工。到 2010 年已完成土耳其贝帕扎里天然碱矿 45 对对接井钻井工程施工。通过对轨迹控制、高精度定向中靶等关键技术的研究,实现采卤对接井的重大技术突破,标志着我国定向对接井钻井技术在国际上处于主导地位。

5.2 基本原理、技术特点

定向对接连通井技术(见图 2)是采用螺杆钻受控定向钻探技术和水平井钻井技术,使地面相距数百米的两井,在地下数百米甚至上千米的层处对接,从而实现两井连通水溶对流采卤。向一口井注入淡水,另一口井就产出高浓度卤水。该技术解决了对接孔设计、对接孔钻井工艺、井眼轨迹控制技术、井眼清洗技术、井眼轨迹预测模型建立、仪器改装、误差修正及数据处理、单点及随钻定向钻井工艺和采卤工艺、对接孔钻井微机软件编制等关键技术。研制了新型钻具结构、多头螺杆钻具、具有大范围造斜率的造斜工具、新型金刚石轴承与硬质合金轴承、多种金刚石造斜钻头与复合片造斜钻头和多种专用工具(向军文等,2007)。

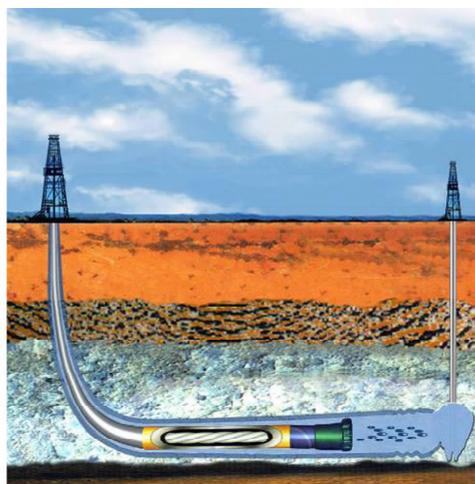


图 2 定向对接连通井技术示意图

Fig. 2 Intersected well

采用对接井钻井技术施工可以控制对接方向,可预留保安矿柱,无井内事故,控矿量大,可采矿量多,井的使用寿命长,对地层无污染,卤水产量高,因此该技术深受盐厂(矿)欢迎。

5.3 使用范围

该技术应用范围比较广,除应用于固体矿产勘探及可溶性矿产开采、地浸矿山开采外,采用高精度定向钻进技术还可用在城市及特殊区域不开挖地

表完成管道铺设;在水井、地热井及煤层气井中,采用长距离定向水平井技术穿越含气、水丰富层,可以提高水、气采取率,延长井的使用寿命;在含瓦斯丰富层,用于排放瓦斯,保护矿山开采安全;在濒临枯竭的水、气井,可以在同一主井中,实施放射状水平井;此外,还可用于各种特殊工程如铅垂孔、倒垂孔、坑道爆破孔及多分支井等。此外,还可用于深部隐伏矿产的勘查与开采、煤田火烧层灭火、结晶地层干热岩层开采等。

5.4 推广应用情况及效果

对接井技术采卤给制盐(碱)厂(矿)带来的效益是非常明显的:矿石采收率比单井采卤提高1倍,提高了矿产资源利用率。一座年产30万吨的盐厂,用单井采卤需40口,占地200亩,而采用对接井只需六对井,占地40亩,建井费用也大大减少,地面管线投资节省50%,采卤成本下降40%,卤水浓度提高10~15g/L。由于卤水浓度提高,在不增加任何成本情况下制盐产量可提高5%,能耗下降10%~15%,制盐成本下降5%。对接采卤技术孔内事少,降低了修井费用。对接孔使用寿命可达20年,对环境污染也大大减少。

自勘探技术研究所在1992年完成第一对对接井以来,勘探技术研究所已完成100多对对接井施工,给我国水溶性矿产的开采工艺带来了巨大的变革。2010年完成土耳其贝帕扎里天然碱矿45对对接井钻井工程施工(胡汉月等,2007;胡汉月等,2010)。标志着我国定向对接井钻井技术在国际上处于主导地位。

定向对接连通井技术的成果主要拥有单位是勘探技术研究所。

6 新型节水钻探工艺

6.1 技术发展概况

针对干旱地区地表及浅部无水,但地层深部有水的特点,在节水钻具结构上下功夫。通过中俄科技合作,研制出以地表水力脉冲为动力驱动孔内节水钻具工作,通过工作柱塞往复运动和吸排水阀动作使地层水形成局部孔内循环的新型节水钻探技术。因为地表水仅是传递动力的媒介,不参加全孔循环,不接触孔壁,所以可在不增加地表钻探设备,基本不消耗地表水的前提下,达到正常钻进的目的,同时提高钻探效率,从而实现节水钻探。

6.2 基本原理、技术特点

本技术为干旱缺水地区提供了一套节水、安全、

高效、结构新颖的非传统孔底局部循环的节水钻探系统及工艺方法,包括:节水潜水泵、专用单缸柱塞泵、自动排气阀、用于回转-冲击钻进的无水球体冲击器、节水型孔底液动冲击器、多功能安全接头、新型旋流除砂器等配套器具。

节水钻探新技术填补国内空白,达到国际领先水平。为干旱缺水地区提供了一套节水、快速、安全高效的非传统节水钻探工艺和配套机具,已完成2项国家发明专利和4项实用新型专利:

发明专利(ZL200410061052.6)节水钻探潜水泵;

发明专利(ZL200410061053.0)潜水泵式液动冲击器;

实用新型专利(ZL200420111249.1)手动旋流除砂器;

实用新型专利(ZL2005200949113.0)钢球冲击器;

实用新型专利(ZL200420111250.4)自动旋流除砂器;

实用新型专利(ZL200420111251.9)钻探安全接头。

编著出版了国家“十一五”规划重点图书《节水钻探技术》。成果被国务院外国专家局选编入引智成果《科教之光》。

6.3 使用范围

新型节水钻探技术可广泛应用于干旱地区或交通不便供水困难地区的各类钻孔,应用前景十分广泛。为解决干旱地区钻探“工程型”缺水提供了有效的技术手段,既大量节约宝贵的地表水,又提高钻探效率。降低了干旱地区钻探生产成本和工人劳动强度。由于该技术在漏失钻孔中应用时,不用堵漏材料,因而减少了环境污染。

6.4 推广应用情况及效果

该技术自2004年以来已在山西、广西、青海、宁夏、河南、内蒙等地11家单位、近20个矿区和基础设施建设中进行了大量生产试验、应用示范和技术服务。结果表明,节水钻探新技术在基本利用机台原有设备的条件下,可节约宝贵的钻探地表水80%~95%,提高钻速10%~25%,并可显著降低钻探成本和工人劳动强度,减轻环境污染。

已完工的大量钻孔,可节约钻探成本(包括汽车送水、停钻等水成本和购置大型设备成本等)2千余万元,产生巨大的社会效益。

新型节水钻探技术的成果主要拥有单位是中国

地质大学(武汉)、河南省第四地质探矿队。

7 YDX 系列全液压岩心钻机

7.1 技术发展概况

国外地质矿产勘查用钻机,已大量采用全液压动力头钻机,其特点是回次进尺长、自动化、机械化程度高。具代表性的如阿特拉斯的 CS1000 型 P6L、宝长年的 LF70 型等。我国从 20 世纪 60 年代开始研制液压传动钻机,由于种种原因而未能形成生产力。改革开放后,国内外液压元件品种增多,质量也大幅度提高,我国已具备了研究液压传动钻机的良好技术基础。从十五末勘探技术研究所研制出我国首台全液压岩心钻机至今,已初步形成 300m、600m、1000m、1500m 和 2000m YDX 系列化钻机,该系列钻机能满足金刚石绳索取心、冲击回转、定向钻进、反循环连续取心(样)等多种高效钻探工艺钻进的需要(刘凡柏等, 2009)。

7.2 基本原理、技术特点

系列钻机采用模块化设计,主机包括拖车式/履带式底盘、柴油机、液压系统、操控系统、钻塔、主卷扬、副卷扬、动力头、动力头给进系统以及井口夹持器等。YDX 系列全液压岩心钻机的所有功能均为液压驱动,操控精准便捷,与传统的立轴式钻机相比,取心作业的效率及安全性大大增加,

7.3 使用范围

YDX 系列全液压岩心钻机专门为固体矿藏地表取心施工而设计,适用于金刚石绳索取心、冲击回转、定向钻进、反循环连续取心(样)等多种高效钻探工艺方法。也可用于水井、锚固钻进、工程地质钻进工艺。

7.4 推广应用情况及效果

2006 年 6 月 25 日,国土资源部国际合作与科技司组织同行专家,对“YDX—3 型全液压岩心钻机”进行了技术鉴定,认为:YDX—3 型岩心钻机为我国勘探岩心钻机更新换代的首台机型,钻机技术性能指标达到同类钻机国际先进水平。目前钻机已批量生产,并已完成 300m、600m、1000m、1500m 和 2000m 系列化钻机研发。到 2009 年年底,累计已销售 200 余台套,并出口到澳大利亚、俄罗斯、吉尔吉斯斯坦、蒙古等国,同时钻机不断完善,动力有柴油机与电动机型式的,

底盘有拖车式与履带式,每年完成钻探工作量上百万米,取得了很好的经济效益与社会效益。

YDX 系列全液压岩心钻机的技术成果主要拥

有单位是勘探技术研究所(见图 3)。

8 全液压动力头水文水井钻机

8.1 技术发展概况

美国、欧洲从 20 世纪 70 年代就开始陆续开发全液压车装水井钻机,目前有十多家厂商生产几十种型号钻机,钻进能力从 300~3600m 不等,均已形成系列。这些钻机根据使用用途不同可以配备孔口防喷器、上钻杆机械手、孔口拧卸机械手、卷扬机、车载空压机,离心泵、泥浆泵、泡沫泵等设施,并可配套空气正循环、空气反循环、泥浆钻进、空气泡沫钻进等钻进工艺(许刘万等, 2009)。车装动力头水井钻机具有机动性强,可配套多种工艺,适用不同的钻探环境,在少水或无水条件下可实现快速钻进,还可实现浅孔加压、深孔减压钻进,快速接卸钻杆,边回转边起下钻具,机械化性能可靠,操作安全,可进行定向钻进和斜孔钻进等许多优点。早在 20 世纪 80 年代,车装动力头水井钻机就已经在国外水井施工单位中普及,并成为主流机型(臧臣坤等, 2009)。

近十几年来国家一直没有对新型全液压车装钻机进行研发生产,致使我国在全液压车装钻机这一技术领域与国外相比有着明显的技术差距。近几年,随着国外全液压钻机大举进入国内钻机市场,国产转盘钻机的市场逐渐被压缩。SDC1000 全液压钻机是勘探技术研究所在中国地质调查局地质大调查项目支持下最新研制全液压车装水井钻机。

8.2 基本原理、技术特点

SDC1000 全液压钻机主要用于大口径水井、煤层气抽采井、浅层油气井等深度不超过 1000m 的钻井施工。采用汽车柴油机动力,全液压驱动方式,动力头设计最大提升力 465kN,加压力 170kN。全液压操纵形式,拧卸扣、吊装钻具采用液压控制,减少工人的劳动强度并增加工作效率;设有双卷扬机,方便辅助作业;配备 1500L/min 泥浆泵,泡沫泵,离心泵等,可满足多工艺钻进需要。可选用 27/8"、31/2"、41/2"、5" 双壁钻杆,适应性强。为国内首台钻深 1000m 的全液压动力头钻机(见图 4),填补国内此技术领域一项空白,为我国水井装备现代化奠定基础。

8.3 使用范围

SDC1000 全液压钻机主要用于煤层气抽采井快速钻孔、浅层油气井、抢险救援井以及勘探孔、物探孔、地热井、水井等深度 1000m 以内不同孔径钻孔的施工。



YDX-2



YDX-3



YDX-4



YDX-5

图3 YDX系列全液压岩心钻机

Fig. 3 YDX Series All-hydraulic Surface Core Drilling Rigs

8.4 推广应用情况及效果

SDC1000全液压钻机在河南豫中地质勘察工程公司的山西晋煤集团寺河矿的煤层气生产井CZ205井中进行了生产试验。试验采用 $\varnothing 127$ 外加厚钻杆、8根 $\varnothing 165$ 钻挺及3m长的液动锤,钻具共长572m。同时配套液动冲击回转钻进工艺试验获得成功,满足复杂地层多工艺钻进的需要。

SDC1000全液压钻机的技术成果主要拥有单位是勘探技术研究所。

9 地质调查浅层取心、取样钻探装备与技术

9.1 技术发展概况

为满足地质填图和化探采样的需要,充分发挥



图 4 SDC1000 全液压力头车装钻机

Fig. 4 SDC1000 All-hydraulic Top-head Drive Drilling Rigs on Truck

地质钻探技术的支撑作用,对浅层的取心和取样技术的研究和应用,取得了良好的社会效益和经济效益。

研制了钻进深度分别为 1m、5m、10m、30m 和 75m 的取样钻机及配套钻具,形成了浅层取样钻机系列;并开发了车载式和履带式取样钻机,解决了难进入地区、特殊浅覆盖地层取样的技术难题;开展了浅层取样钻进工艺方法,提高了浅层取样钻进施工效率和质量。通过浅层取样钻探技术,在化探取样、地质填图、物探爆破孔等的应用,可以实现以钻代槽,以钻代井,大大提高了取样的效率,降低了取样的成本,解决了地质调查中亟待解决的难进入地区、特殊地层钻探取样的难题。

9.2 基本原理、技术特点

9.2.1 “盐湖探险一号”钻机

根据国家重点地质大调查青藏高原盐湖综合资源项目要求,为实现到西藏羌北无人区科学探险,设计制造了水陆两栖履带式盐湖钻机(见图 5)。该设备主要用于沼泽、滩涂、水域等复杂地区进行科学探险、考察、勘探。尤其适合高原盐湖缺氧地区使用。

9.2.2 “海勘一号”钻机(刘凡柏,2009)

海勘一号钻机主要用于沼泽、滩涂、水域等复杂地区进行地取心钻探、原位测试、科学探险、考察、工程地质勘探。尤其适合高原盐湖缺氧地区及软弱地基上的滨海滩涂和有水的潮间带钻探工作。该全液



图 5 浅海(滩涂)钻机

Fig. 5 Water/Land Sampling Rigs

压轻便钻机采用浮箱链轨式两栖类行驶底盘,动力选用东风-康明斯水冷增压柴油发动机,配备有大容量燃油箱,适合野外作业使用;行走系统采用静液压传动,驱动行走链条和链轨运动,实现行走与滑移转向;配备有液压自救绞车;每个行走浮箱体内部有五个独立隔舱,确保使用安全;每个箱体上安装了阳极防护,以削弱海水腐蚀;车身外侧面标示了显著的吃水标尺,以提高使用安全意识;主要液压元件均选国际知名品牌产品,保证使用可靠性。该设备还可配备其它各种辅助功能设备,可完成河道清淤挖掘、管道铺设、丛林清障、荒地开垦、喷洒农药等各种工作。

9.2.3 TGQ 系列勘查取样钻机(见图 6)

完成了 1m、5m、10m、30m、75m 的钻机系列,基本完善了浅层取样钻探钻机系列,并发展了车载式和履带自行式取样钻机,基本解决了难进入地区、特殊浅覆盖地层取样的难题,浅层取样钻探技术的发展有望彻底改变井探、槽探和人工挖掘等破坏生态的地质取样方法。采用空气循环取样技术解决了西部缺水地区的地质勘探要求。TGQ 系列新型取样钻机在化探取样、地质填图、物探打孔等领域,实现了以钻代槽,以钻代井,大大提高了取样的效率,降低了取样的成本,解决地质调查中亟待解决的难进入地区、特殊地层钻探取样的难题,可在地质普查、化探、物探得到广泛的应用,为国家地质调查提供技术支撑。TGQ 系列取样钻机现在广泛应用于物化探,地质勘探,地质普查,煤田勘探,铁路勘探,找矿等领域。

9.2.4 DR 系列全液压取样钻机(见图 7)

钻进深度 5~150m,钻孔口径 59~150mm。可基本满足目前地质调查填图需要(孙建华等,2006;王汉宝等,2010)。

9.3 使用范围

适用于陆地、浅海和滩涂地质调查取样的系列

高效、快速钻探施工装备和工艺,为地质填图、化探采样和土地环境评估等领域提供了有效的技术手段。

9.4 推广应用情况及效果

“盐湖探险一号”钻机做为首台进藏参加“西藏羌北无人区首次综合科学考察”的钻探设备,探查世界海拔最高的盐湖。

2008 年 10 月,“海勘一号”钻机在青岛海湾大桥施工现场附近的滩涂里钻了 2 个钻孔。

2005 年 8 月,DR 系列全液压取样钻机对内蒙古四子王旗、武川县境内的 50 米以浅覆盖区下基岩体遥感及物化探异常进行了验证。共完成钻孔 11 个,其中,钻孔深度超过 50m 的 3 个;累计钻探工作量 347.5m。钻机在赤峰张家沟铅锌矿、贵州贞丰露天金矿区进行反循环勘查快速取样,共计完成钻孔 450 余个,钻探进尺 13206m。平均台月进尺 3451m,最高台月实进尺 4400m,是普通岩芯钻进的 4~7 倍,体现出较高的钻进效率。

“盐湖探险一号”钻机、“海勘一号”钻机以及 DR 系列全液压取样钻机的技术成果主要拥有单位是勘探技术研究所。

TGQ 系列勘查取样钻机的技术成果主要拥有单位是北京探矿工程研究所。

10 新型金刚石钻头系列

10.1 技术发展概况

我国钻头制造水平落后于国外,有较大差距,如加拿大已生产出三种系列的优良金刚石钻头,在花岗岩中钻进工作寿命分别为 58m、130m 和 150m,采矿大国澳大利亚已进入电子计算机控制自动化生产时代,钻头质量稳定,性能优良。美国克里斯坦森公司生产的镶焊钻头在坚硬的结晶岩中钻进,平均



图 6 TGQ 系列取样钻机
Fig. 6 TGQ Series Sampling Rigs



图 7 DR 系列全液压取样钻机

Fig. 7 DR Series All-hydraulic Sampling Rigs

寿命为 48m,平均钻速 1.68m/h。我国从 60 年代开始研制金刚石钻头,制造方法、工艺齐全,但自动化水平不高,经过几十年的发展,工艺有所提高,但仍以手工操作为主。钻头的指标与国外相比仍有较大差距,在中硬—坚硬地层中钻头平均寿命为 30~50m,钻速徘徊在 1~1.2m/h。

但是,北京探矿工程研究所采用先进的二次镶嵌式工艺,研制出的新型镶齿钻头在深孔(井)坚硬致密地层中获得令人满意的技术经济指标,在国内完全处于领先地位,与国外钻头先进指标相同,即已到国际先进水平,而新型镶齿钻头的价格仅为国外价格的 1/2 左右,整体性能价格比超过国外钻头和中美合资的顶级钻头。新型镶齿钻头技术经济指标

在国内处领先水平,达到国际先进水平(见图 8)。

10.2 基本原理、技术特点

10.2.1 钻头制造新技术的研究应用

研究开发了采用超声波电镀技术制造金刚石钻头的新方法。钻头生产效率得到提高,由过去的每电镀一层金刚石需要 5 小时缩短为 4 小时;采用该方法生产的金刚石钻头性能优良,钻头平均寿命比普通电镀钻头提高了 20%以上,机械钻进速度提高约 20%。试制出了用于地勘金刚石钻头生产、结构简单的超声波电镀金刚石设备。探索了不同频率、功率的超声波对金刚石钻头电镀工艺的影响规律,并成功地应用于钻头制造。

通过“砂卵石地层的金刚石钻头配方及制造工



图 8 金刚石钻头

Fig. 8 Diamond Bits

艺研究”工作,获得了两种配方的金刚石钻头,积累了热压钻头设计和制造的经验。采用节块-焊接方法生产的 $\text{O}273\text{mm}$ 大口径金刚石钻头在倒垂孔施工中取得了很好的效果,获得了一种新的特大直径金刚石钻头的生产方法。

应用了“二合一”的方法:即钻头的底唇切削部分采用电镀方法,保径规部分采用无压浸渍法制造,同时增加了保径规的高度;在金刚石的浓度、粒度、品级和级配方面也做了改进。三批 11 个该类型钻头在先导孔的试验结果,平均钻进使用寿命为 29.52 m,平均时效为 0.84m/h。在先导孔以回转钻进为主条件下,取得的钻进速度与钻头寿命能较好地满足大陆科学钻探生产需要。

新型镶齿式金刚石钻头的二次镶嵌式工艺,从根本上改变了传统的一次烧结工艺。保证了钻头制造的先进水平。在深孔(井)坚硬致密地层中获得令人满意的技术经济指标,与国外钻头先进指标相同,价格仅为国外价格的 1/2 左右,整体性能价格比超过国外钻头和中美合资的顶级钻头。项目成果在国内得到应用推广,并且产品已出口巴西、挪威、澳大利亚及台湾地区,获得重大的经济效益。项目取得的技术经济指标在国内处领先水平,达到国际先进水平。项目成果获 2006 年国土资源部科学技术奖二等奖。XCH 型镶嵌式金刚石钻头获 2007 国家重点新产品。

利用先进的地质装备,研究开发了一种新型的侧壁取心钻头,其通过可偏转 90° 的电-液驱动马达及金刚石钻头从孔壁内钻取长 51mm、直径 23mm 的微型岩心,钻头性能达到国际先进水平,完全替代进口,现已应用于陆地和海洋的油气勘探侧壁取样。

10.2.2 复合片钻头的研究应用

研制的 PDC 黑冰齿复合片钻头,与常规合金钻头相比,在煤田地质钻探中钻探效率提高 3 倍,钻头寿命提高数十倍,成本降低 70%,在油田钻探中钻头钻速快,寿命长,节约资金近 1.35 亿元;在铀矿钻探中钻速提高 3~5 倍,钻头寿命提高 13 倍,节约成本 125 万元,盐矿定向井钻探中钻头寿命提高了 50%,钻速提高了 30%,节约成本 100 万元。在国内完全处于领先地位,达到国际先进水平,价格仅为中外合资公司钻头价格的 1/2 左右,整体性能价格比超过了国外钻头和中美合资的顶级钻头。TG 型复合式金刚石钻头,圆满解决了深孔易糊钻致密泥岩和强研磨性硬砂砾岩的钻进难题,获 2006 国家重点新产品。

研制的深孔硬岩高性能复合片及其钻头在多个矿区进行试验,投入试验的钻头数量 131 个,钻探工作量 9022.24 米,取得了良好的效果。在硬砂岩和坚硬致密泥岩地层中,钻头钻进效率提高了 2.3~3.6 倍,极大地提高了勘探区的工作效率;解决了钻进坚硬砂砾岩和石英砂岩中钻头寿命短的难题。取得了一项实用新型专利,专利号为 ZL200720178046.8。

10.2.3 新型钻头设计理念的应用

在深部硬、脆、碎及软硬互层的难钻进地层中,采用复合式金刚石钻头,利用巴拉斯(三角聚晶)和金刚石孕镶层的复合作用,巴拉斯的犁作作用和高耐磨性,结合孕镶层的磨削作用和自锐特性,可以适应硬、脆、碎地层,按所钻地层性质不同,合理调节三角聚晶和孕镶层的比例,按所钻地层研磨性调节胎体的耐磨性,采用了超细合金粉末、三角聚晶增强工艺,金刚石表面镀敷金属外衣,以增强胎体对金刚石的把持力和降低烧结温度。

10.3 使用范围

针对我国深孔(井)硬岩、坚硬致密地层,解决钻探过程中钻进效率低下,甚至打滑不进尺,钻头寿命短的严重问题。

由于国家对能源的需要紧迫。增加了油气田、煤田及铀矿深部勘探,其深部钻探工作量很大,常钻遇坚硬致密的地层,对于原已十分困难的深孔钻探,再加之地层坚硬难钻,可称为难上加难,严重影响到国家油田、煤田、铀矿三大能源的钻探速度。

新型金刚石钻头系列是圆满解决了深孔(井)坚硬致密打滑地层的世界性钻探界的难题。新型镶齿式金刚石钻头与常规钻头相比,在地质钻探硬岩中,钻头寿命提高 2 倍,钻速提高 2~4 倍,在油井硬岩钻探中比常规钻头提高了 8.6 倍,机械钻速提高了 4 倍。在煤田钻探中钻速提高 77%,寿命提高 65%。

10.4 推广应用情况及效果

新型金刚石钻头系列已应用于地质勘探,油气田勘探,国防工程,核工业铀矿勘探,煤田勘探、铁矿勘探及出口国外等。

目前使用新型金刚石钻头系列的主要地勘单位:地质系统有北京 101 地质队、云南省地勘院、安徽省地勘局 313 地质队等 10 多个单位,油田系统有辽河油田、华北石油局西部工程公司、西南石油局新疆指挥部、中原油田河南钻探三公司等 8 个单位,核工业系统有青海省核工业地质局第一地质大队,新

疆 216 大队, 214 大队, 四川核工业地质大队等; 国防系统有新疆马兰 21 基地; 煤田系统有河北煤田 4 队, 内蒙 113 地质大队等 10 多个单位。

新型金刚石钻头系列的技术成果主要拥有单位是北京探矿工程研究所。

11 新型冲洗液技术

11.1 技术发展概况

采用绳索取心钻探技术是实现快速钻探的有效途径, 但钻杆内壁结垢问题制约了该技术在复杂地层钻进中效能的发挥和技术的广泛推广。冲洗液流变性能差是造成钻杆内壁结垢问题的重要原因, 添加稀释剂调节冲洗液的流变性能是解决钻杆内壁结垢问题的有效办法。

随着钻探深度不断增加, 钻杆扭矩越来越大, 钻具磨损越来越严重, 特别是采用绳索取心钻探这种状况尤为严重, 由此带来的孔内事故时有发生, 严重影响了施工效率。向冲洗液中添加高质量的极压型润滑剂是降低摩擦阻力、保护钻具的有效途径。

为满足现代钻探技术的要求, 近些年来, 北京探矿工程研究所研制了五种新型冲洗液处理剂: 高效润滑剂(GLUB)、非分散高温聚合物稀释剂、高效护壁剂、KL 植物胶及接枝淀粉共聚物; 提供了五种新型冲洗液体系: PHP—GSP 无固相冲洗液体系、GSP 低固相冲洗液体系、生物聚合物无固相冲洗液体系、低摩阻抗盐侵冲洗液体系及 KL 植物胶型环保冲洗液体系。

11.2 基本原理、技术特点

11.2.1 新型冲洗液处理剂

(1) 高效润滑剂(GLUB): 是一种无毒性、抗污染、抗高温、润滑性强的极压型高效润滑剂(GLUB), 适合于各种水基泥浆体系。该产品性能达到国际同类产品先进水平, 与国内其它类型的润滑剂产品相比, 除具有优良的润滑效果外, 还能有效保护钻具、提高钻具的使用寿命和工作效率、防止钻头泥包、对环境无污染。

(2) 非分散高温聚合物稀释剂: 钻进松散、破碎等不稳定地层时, 为了维护孔壁的稳定, 需要增加冲洗液中的固相含量和添加泥浆处理剂; 或钻进造浆性地层时, 冲洗液中的固相含量增多。上述两种情况都会引起冲洗液粘度显著提高, 流动性变差, 钻进速度明显降低, 也会引起一系列复杂的孔内事故。针对上述情况研制了非分散高温聚合物稀释剂, 该产品采用特殊工艺, 并在分子中引进阴、阳离子, 改

变传统稀释剂性能单一、抗温能力差等缺陷, 其稀释、抗高温及污染、抑制泥页岩水化膨胀与分散性能明显优于现有产品。室内检测, 该产品在淡水泥浆中的稀释率大于 90%, 盐水泥浆中的稀释率大于 80%, 抗温达 220℃。

(3) 高效护壁剂(GSP): 所研制的高效护壁剂, 经查新证明其性能达到国际先进水平。该成果的先进性体现在该产品的综合性能上, 其抑制泥页岩水化膨胀与分散性能、降滤失性能、降摩阻性能、抗污染性能、抗高温性能、低荧光干扰等性能, 都是单一聚合物类产品、沥青类产品、淀粉类产品所无法比拟的。该产品制造技术独特, 属国内首创, 国外也未见过相关报道, 实现了一剂多能的突破。该成果具有自主知识产权。项目成果已成功应用于中海油渤海地区、中石化西北局、中石化华东局(含加蓬项目)以及冶金、地质、核工业等多个系统几十家单位的石油、天然气、地质找矿勘探、地热井等钻探工程中, 现场应用证明, 该产品综合性能好, 使用方便, 深受现场施工人员的好评。

(4) KL 植物胶研制: KL 植物胶原料来源丰富, 已建成一套完全能够满足自主生产要求的 KL 植物胶粉磨加工生产线, 完成现场试验工作量 20560m。现场应用表明 KL 植物胶用量少, 性能稳定, 使用方便, 完全能够替代以前大规模使用的 SM 植物胶。本项目成果经国内外技术查新表明, 目前尚未见有与本项目研究相同或类似的文献报道, 本项目的研究具有新颖性和创新性; 并且于 2009 年 4 月取得了一项国家发明专利的受理。

(5) 接枝淀粉共聚物: 接枝淀粉共聚物采用淀粉与乙烯基单体接枝、聚合技术, 淀粉与乙烯基共聚物结合能显著降低泥浆滤失量, 改善泥皮质量, 提高产品的造壁性能及抗污染性能。另外该产品的分子量低(分子量控制在 10~20 万), 用该产品配制的泥浆具有良好的流变性能, 对防止绳钻钻杆内壁结垢十分有利。目前该产品正在甘肃武山温泉钼矿(该矿区地层极其破碎, 此前施工常发生地层坍塌及粘附卡钻等事故)进行现场试验, 施工顺利, 现已完成钻探工作量 600m。试验证明用该产品配制的冲洗液携带及沉淀岩粉的能力强; 孔内阻力小; 钻杆内壁不结泥皮; 护壁效果好, 无缩颈、坍塌现象发生; 上下钻顺利; 泵压明显降低, 在孔深 248m 换浆时泵压一直在 3~4MPa 之间, 换浆后泵压降到 2.2MPa; 对泥浆泵损害小。

11.2.2 新型冲洗液体系研究

(1) PHP—GSP 无固相冲洗液: PHP—GSP 无固相冲洗液体系与传统的 PHP—KHm 无固相冲洗液体系相比, 滤失量降低 50% 以上, 能够形成致密的泥皮, 对泥页岩的抑制能力更强, 因此大大提高了无固相冲洗液在复杂地层钻进中的应用。该体系已在陕西、内蒙、新疆、青海等地的岩心钻探中推广使用, 其优越的性能得到越来越多使用单位的认可。

(2) GSP 低固相冲洗液: GSP 低固相冲洗液体系主要用于复杂地层钻进。首先在青海江仓煤矿钻探施工中试用, 有效解决了该矿区水敏性地层膨胀缩径及分散造浆问题、破碎地层坍塌和掉块问题及地层漏失问题, 随后在陕西府古矿区推广使用, 也取得了良好的效果。该体系除在岩心钻探中推广使用外, 也在地热井、天然气管道施工中得到了很好的应用。

(3) 甲酸盐冲洗液: 作为技术储备, 研制了符合岩心钻探要求的甲酸盐冲洗液体系, 主要用于下述两种情况: 甲酸盐的溶解度高, 可在不增加泥浆固相的前提下提高泥浆的比重, 实现高密度条件下金刚石绳索取心钻进技术的应用; 甲酸盐可生物降解, 体系中所选用的材料全部为环保材料, 不污染环境, 用于环保要求极其严格的地区或工程。

(4) 低摩阻抗盐侵泥浆体系: 该体系在青海柴达木地区两个具有代表性的钻探工程项目——即“中国柴达木盆地资源环境科学钻探工程”和“柴达木盆地西部千米科学深钻”施工中应用, 取得令人满意的效果, 共完成钻探工作量 2720m。现场试验证明: 该体系具有很好的抗盐钙侵能力, 采用项目配方配制的泥浆无分层现象; 具有较强的抑制能力, 曾钻过大段泥页岩地层, 孔壁无缩颈掉块现象, 提下钻顺畅; 具有良好的悬浮能力, 为了防止涌水, 最大比重达到 1.83; 具有良好的润滑性能, 有效降低了摩擦阻力; 泥浆成本降低了 47%~53%。目前该体系在青海柴达木地区广泛使用, 青海冻土层天然气水合物项目施工也采用该体系。

(5) KL 植物胶型环保冲洗液体系: 针对地质灾害防治勘察工程的特殊地层条件, 研究了以 KL 植物胶主体的新型环保泥浆体系, 以解决第四系覆盖层、松散破碎地层, 深厚砂卵石地层的钻进和取心问题, 且较好地兼顾钻探泥浆的环保性能要求。经中国水电顾问集团公司成都勘测设计研究院和重庆市南江水文地质与工程地质队的三个现场试验点、六个钻孔的实际应用证明, 该体系无论是水利水电工

程地质勘探钻遇的泥沙层、泥砾层、砂卵石层、卵砾石层等松散破碎地层, 还是地质灾害防治滑坡勘察的滑坡崩积石层、块石土、基岩强风化层、滑坡崩积碎石层都获得了比较好的取心效果, 取心率全部达到了地质方面的质量指标要求, 实现了快速安全钻进的目标要求。该体系还在成都水利水电建设工程公司所属勘探工程和中国水利水电第十工程局承担的伊朗援外钻孔工程中应用, 共完成钻探工作量超过 20000m。现场试验证明 KL 植物胶型环保泥浆具有优良的流变特性, 润滑、堵漏、悬浮排除岩屑和抗剪切稀释能力强, 既可有效保护岩心又不会污染岩心, 能很好地满足地质钻探对取心质量的需要。

11.3 使用范围

成果将主要用于地质找矿钻探、石油天然气钻探、地热井钻探、水井钻探、环境钻探等。项目收益范围含盖地质、石油、冶金、煤炭、核工业等多个行业。

11.4 推广应用情况及效果

新的泥浆材料及泥浆体系已被广泛应用于陆地及海上石油钻探、地质找矿钻探、水资源钻探、地热钻探等, 涉及的部门涵盖中石化、中海油、地质、冶金、煤炭、核工业等近 20 余个单位。

11.4.1 高效润滑剂 (GLUB) 现场应用

大陆科学钻探采用螺杆马达液动锤金刚石单动双管取心钻进, 这种特殊的钻进工艺对泥浆质量要求严格, GLUB 润滑剂的应用取得明显成效, 主要表现在:

(1) 大大提高了液动锤的工作可靠性, 在先导孔中其工作可靠性提高了 43%, 在主孔钻进中更达到了 95% 以上。

(2) 明显降低钻具的扭矩, 加入 1.5% GLUB 后, 转盘扭矩从 10000~12000Nm 降低到 7000~8000Nm, 钻具摩阻降低 30%~40%。

(3) 提高了钻具的使用寿命, 螺杆马达的平均寿命由 86.26h 提高到 124.95h, 取心钻具的平均使用寿命由 32.6h 提高到 86.7h, 最高寿命达到 210h。

(4) 明显提高回次进尺长度和岩心采取率。使用润滑剂前的连续 61 个回次, 平均回次进尺长度 3.89m, 全孔的平均回次进尺长度 2.96m, 加入润滑剂后连续钻进的 28 个回次, 平均回次进尺长度 7.28m, 比全孔平均回次进尺长度提高了近 2.5 倍。在地表从岩心管内取出岩心时, 也明显感到顺利, 避免过大打击岩心管, 造成岩心管变形, 也减少了辅助工作时间。

11.4.2 非分散高温聚合物稀释剂的应用情况

科钻施工至 3665.87m 时,由于出现长井段坍塌掉块现象,采用水泥回填至 3400m,然后侧钻并纠斜。钻水泥塞时,由于水泥污染致使泥浆急剧增稠,加入 1% HPT-2 稀释剂后,泥浆漏斗粘度由 72s 降至 42s,流变性能明显改善。侧钻阶段,由于采用弯螺杆马达纠斜,当泥浆粘度超过 42s 时,螺杆马达旁通阀卸浆困难,造成起钻喷浆,给施工带来极大不便,加入 0.5% HPT-2 后,漏斗粘度由 47s 降至 38s。取心钻进阶段,钻至 5118.20m 时,井底温度达到 139℃,泥浆出现高温稠化现象,造成起下钻喷浆,加入 HPT-2 后,泥浆流动性明显改善,不再出现起下钻喷浆问题,减少了辅助工作时间,提高了取心钻进效率。

11.4.3 泥浆体系现场应用情况

(1)无固相泥浆体系(XC 体系)在鄂尔多斯盆地煤田地质钻探中的应用:

鄂尔多斯盆地煤田地质钻探需要解决的主要问题是:上部地层的稳定问题、中部地层岩屑的携带问题及下部地层防止泥岩水化膨胀问题。在该地区的两个试验孔中采用我所设计的 XC 生物聚合物体系,施工顺利,达到了预期的试验效果,并且与以往施工所使用的 PHP 体系相比,成本低,现场可操作性强。

(2)GSP 泥浆体系在青海省江仓矿区煤田地质绳索取心钻探中的应用:①解决了该矿区水敏性地层膨胀缩径及分散造浆问题;②解决了该矿区钻探孔壁的稳定问题;③体系具有良好的堵漏效果。

总之,采用新的泥浆材料及泥浆体系,钻探速度明显提高,钻进成本显著下降,为施工单位带来了明显的经济效益;施工单位的技术水平上了一个新的台阶;有利于绳索取心钻进技术在复杂地层施工中

的推广与应用。

以上新的泥浆材料及泥浆体系的技术成果主要拥有单位是北京探矿工程研究所。

参 考 文 献

- 张金昌. 2009. 地质岩心钻探技术及其在资源勘探中的应用. 探矿工程(岩土钻掘工程), 36(8): 1~6.
- 张金昌, 冉恒谦, 刘芳霞. 2007. 钻探技术面临的新形势、新机遇和新任务. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(9): 13~15.
- 胡汉月, 向军文, 董迪壮. 2007. 土耳其贝帕扎里天然碱矿钻井工程 MWD 实地校核. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(7): 1~4.
- 向军文, 陈晓林, 胡汉月. 2007. 定向造斜及水平钻进连续取心技术. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(9): 33~36.
- 胡汉月, 向军文, 刘海翔, 陈剑奎. 2010. SmartMag 定向中靶系统工业试验研究. 探矿工程(岩土钻掘工程), 37(4): 6~10.
- 臧臣坤, 张金昌, 冯起赠. 2009. 全液压动力头水井钻机国产化若干问题. 探矿工程(岩土钻掘工程), 36(2): 12~15.
- 张永勤, 孙建华, 刘秀美, 王汉宝, 郑志昌, 梁开. 2008. 水力反循环连续取心(样)钻探在浅海砂矿勘查中的应用. 探矿工程(岩土钻掘工程), 35(6): 15~18.
- 贾庆军, 马秀春, 江宁成, 张永勤, 孙建华. 2007. RC 钻探技术在黑龙江争光岩金矿区的应用. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(8): 9~12.
- 张永勤. 2007. 反循环钻探技术的推广应用. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(9): 46~47.
- 孙建华, 赵海涛, 张阳明, 王德平, 刘秀美, 张永勤. 2006. CQK-50 型车载化钻机的研制. 探矿工程(岩土钻掘工程), 33(11): 41~44.
- 刘凡柏, 王庆晓, 李文秀, 车延岗. 2009. YDX-2 型全液压岩心钻机的研制. 探矿工程(岩土钻掘工程), 36(9): 32~35.
- 刘凡柏. 2009. “海勘一号”钻机的研制. 探矿工程(岩土钻掘工程), 36(5): 41~43.
- 张伟. 2007. 地质钻探技术发展有关问题的思考. 探矿工程(岩土钻掘工程), 34(1): 1~3.
- 许刘万, 刘智荣, 赵明杰, 史兵言. 2009. 多工艺空气钻进技术及其新进展. 探矿工程(岩土钻掘工程), 36(10): 8~14.
- 王汉宝, 刘秀美, 梁健. 2010. DR-150 型全液压履带取样钻机的研究. 探矿工程(岩土钻掘工程), 37(1): 27~30.

Applications Study of Geo-drilling Technology

RAN Hengqian¹⁾, ZHANG Jinchang¹⁾, XIE Wenwei¹⁾, SONG Zhibing¹⁾, XIANG Junwen¹⁾,
LIU Fanbai¹⁾, FENG Qizheng¹⁾, YAN Tailing²⁾, JIA Meilin³⁾, TAO Shixian³⁾, HU Jiliang³⁾

1) *China Academy of Geo-sciences Institute of Exploration Techniques, Langfang, Hebei, 065000*; 2) *China University of Geo-sciences School of Engineering, Wuhan, Hubei, 430074*; 3) *Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing, 100083*

Abstract

Drilling is the only technical means to access the underground physical information, verify the inference and interpretation of underground information, define orebody and reserves, and evaluate the ore grade. It is an important technical support for materialization of major exploration results. Drilling technology and equipment of China has lagged behind compared with developed countries; however, a great progress has been made in the past years. With the implementation of the state major scientific program "Chinese Continental Scientific Drilling Project" CCSD #1 Well (a drilling depth up to 5158m), and a series of achievements made in drilling technology, a full set of scientific drilling techniques has been produced, including hard rock deep core drilling, reaming, mud, and well deviation control, which have reached to the international standards. Under the support of the research programs funded by the State Scientific and Technological Plan, The Ministry of State Land and Resources Scientific and Technological Plan, The Special Geo-survey Program, China's geo-drilling technology has made great advances through research and application in wire-line core drilling, fluid powered DTH drilling, reverse circulation drilling, combined drilling, intersected well drilling, new water-saving drilling, all-hydraulic core drills, all-hydraulic top-head water well drilling rig, shallow coring and sampling machines, diamond drill bits, drilling fluids, etc., which provide advanced drilling technology and equipment for geological and mineral exploration in China.

Key words: drilling; wire-line core drilling; fluid powered down hole hammer; reverse circulation; combined drilling; intersected well; water-saving drilling; all hydraulic; shallow coring and sampling; diamond drill bit; drilling fluid

