

## 冲击旋转钻进技术新发展

菅志军<sup>1</sup>, 张玉霖<sup>1</sup>, 王茂森<sup>2</sup>, 戴树林<sup>2</sup>

(1. 中海油田服务股份有限公司, 北京 101149; 2. 吉林大学建设工程学院, 长春 130026)

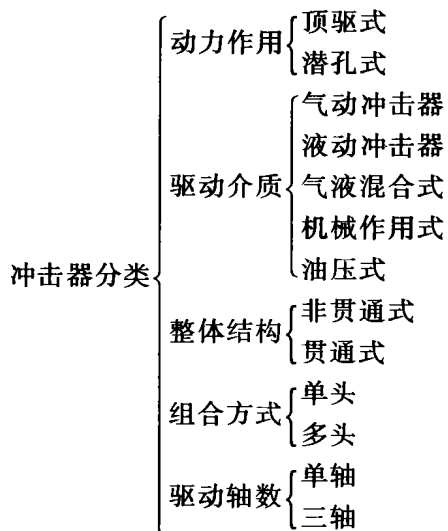
**[摘要]**冲击旋转钻进技术是一种高效的碎岩方法, 近年来随着施工领域的拓宽取得了很大的进步。简要阐述了冲击旋转钻进技术的发展历程, 着重介绍了一些冲击器新品种及其相关的钻进新工艺, 分析了该项技术的发展趋势。

**[关键词]**冲击器 冲击旋转钻进技术 发展趋势

**[中图分类号]**P634.5 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)03-0078-06

由于冲击旋转高效碎岩的机理及其具有减少钻孔弯曲, 在钻进规程上由于它采用小钻压、低转速, 可减少管材及钻具的磨损, 并可大大减少孔内事故等特点, 所以自从其诞生以来, 发展速度很快, 并很快应用于矿山、采石、地质勘探, 水文水井、石油钻井、地热钻井、工程施工及工程勘察等领域。

冲击器是冲击旋转钻进的关键设备, 每项冲击旋转钻进新工艺都是随冲击器新品种的诞生而出现的。目前世界各国的冲击器种类繁多, 考虑到新增的品种, 冲击器可按下面方法进行分类:



本文主要介绍气动和液动冲击器的发展历程, 重点介绍新研发的几种冲击器的结构和钻进工艺。

## 1 冲击旋转钻进技术发展概况

## 1.1 风动冲击器和风动冲击旋转钻进技术

风动冲击器其动力介质为压缩空气。40年代末, 风动冲击旋转钻进出现在采矿工业中, 它之所以在西方国家得到广泛应用, 是由于车装钻机使用牙轮钻头钻进硬岩层时无法满足所需的钻具压力, 特别在较大孔径时, 问题更大。另外, 风动冲击旋转钻进与液动冲击旋转钻进相比, 前者由于介质密度低, 气柱的静压力小, 岩石易于破碎; 再加上上返风速高, 孔底干净, 岩屑不产生重复破碎; 而且风动冲击器一般单次冲击功较大, 因而钻进效率更高, 比液动冲击旋转钻进高1.5~3倍。风动冲击器不仅可以用单一压缩空气作为介质, 也可以用不同类型的气液混合介质配合使用, 尤其是可以与不同的钻进工艺(跟套管、反循环)配合, 从而成为在多种复杂地质条件下克服各种施工困难的主要钻进手段<sup>①</sup>。

目前在风动冲击旋转钻进技术研究领域, 美国英格索兰公司比较先进。其生产的风动冲击器有单头和多头系列, 40余个品种及型号, 单头冲击器可钻孔径范围90~720 mm, 多头潜孔锤可钻孔径范围610~1980 mm, 而且其配套钻机、空压机、附属设备与工具也比较成熟及系列化, 可与多种施工工艺相结合, 适应不同地层进行有效的钻进<sup>②</sup>。

我国从1958年开始研究风动冲击器及其钻进技术, 已研制成功多种类型、多种型号的冲击器。典

**[收稿日期]**2002-01-12; **[修订日期]**2002-02-04; **[责任编辑]**李石梦。

①蒋荣庆, 殷 琨, 赵光灼. 冲击回转多工艺钻进方法的新发展, 长春地质学院建院40周年科学研究论文集(勘察技术与方法1). 长春: 1992.

②Ingersoll-Rand Downhole Drill & Bit, Production Introduction, 1993.

**[第一作者简介]**菅志军(1966年-), 男, 1999年毕业于吉林大学, 获博士学位, 副教授, 现主要从事钻井工程相关技术的研究工作。

型的有嘉兴冶金机械厂研制的J系列阀式气动冲击器、JG及W系列无阀式气动冲击器,使用效果较好,应用范围很广。

80年代中期,我国地矿部将“多工艺空气钻进技术的开发研究”列为重点科技攻关项目,使这一技术的研究工作上了一个新台阶。结合我国目前缺少大风量、高压空气压缩机的实际情况,研制成功了WC系列低耗风量的冲击器;结合反循环连续取芯钻进新工艺的发展,研制成功了GQ系列贯通式冲击器及配套钻具,可实现反循环连续取芯;为解决大直径嵌岩桩孔施工难题,研制成功了FGC-15型大直径冲击器;为解决坚硬、破碎、松散地层或卵砾石地层保护孔壁难题,研制成功QG型跟套管冲击器钻具,可实现冲击器同步跟套管钻进;为解决冲击器取芯钻进问题,研制成功了QXD-165单动双管型和QXC-165双动双管型冲击器取芯钻具<sup>[1]</sup>。所有这些技术的应用已经取得了巨大的经济效益,解决了大量施工难题。

正由于前面所述气动冲击器设备及其工艺方法的创新发展,使其应用领域更为广阔,尤其在工程施工领域,已延伸到锚固工程,大直径基岩嵌岩桩施工,以及铺设水平地下管线施工,坑道围护工程的管棚施工等。

但是,气动冲击器钻进,由于动力消耗大,空压机投资高,因而在我国的推广应用受到了一定的限制。此外,气动冲击器由于其循环介质采用气体为主,其钻进速度和深度受地下水位和水量的影响较大,在直径较大,钻孔较深,对冲洗介质要求严格的石油钻井中,难以广泛推广使用。

## 1.2 液动冲击器及液动冲击旋转钻进技术

液动冲击器利用高压水或泥浆作为动力介质,其应用已有上百年的历史。早在19世纪60年代就有人进行了潜孔式液动冲击器的试制。1900~1905年,俄国工程师B.沃尔斯基,设计了石油钻井的液动冲击器,并开创了液动冲击器的理论研究工作。50年代,美国、加拿大和前苏联等国才研制出几种具有实用价值的液动冲击器<sup>[2]</sup>。后来前苏联在岩芯钻进中大规模应用液动冲击旋转钻进技术。目前,其在该项技术的理论研究和实际应用居世界领先水平。

我国在液动冲击旋转钻进的理论研究方面较国外有一定差距,但是在产品的研制开发方面却优于国外,除研制成功与国外相应的各种类型阀式液动冲击器,还创造性发明了射流式冲击器,射吸式冲击

器。近年来结合水力反循环钻进技术,研制成功了YGQ-89/43型贯通式液动冲击器,可实现冲击旋转水力反循环连续取芯钻进;研制成功了TK-60S, TK-75S, TK-91S, SZ75C, SE95C, SS75C, SZG-59C及SSC-140型等各种型号绳索取芯式液动冲击器<sup>[3]</sup>。

通过介绍可以看出,国内外液动冲击器的直径较小,其性能多数为高频率、低冲击能,主要用于固体矿床勘探的取芯钻进工艺中。近年来,国内外一些石油钻井公司及科研机构都在致力于研究、开发大直径的、适用于深孔的、大冲击功的液动冲击器,以期解决石油钻井中硬地层钻进的技术难题。

## 2 冲击旋转钻进技术的新发展

### 2.1 贯通式气动冲击器及反循环连续取芯(样)钻进新技术

该种类型冲击器属无阀式,其中间贯通,采用双壁钻杆,压缩空气由双壁钻杆的环状间隙进入冲击器的环状间隙,推动冲锤活塞做功,工作废气经排气通道会聚于钻头上部环槽内,再经钻头排气孔排出,特殊设计的反循环钻头引喷器结构在其底部形成负压,从而在中空通道形成反循环连续取芯钻进工艺。这种钻进工艺的主要特点是:(1)潜孔锤中心是贯通的;(2)双壁钻杆实现反循环连续取芯;(3)特殊设计的反循环冲击器钻头可形成连续稳定的气体反循环,压缩空气不从钻具与孔壁泄露,因而不需设置孔口密封器;(4)可及时了解钻孔的地层情况;(5)钻进中井场清洁,减少粉尘污染;(6)应用在水井勘探中可增加出水量;(7)在裂隙发育地层钻进,可防止漏风,保证上返风速与排渣。

### 2.2 FGC-15型大口径湿式闭式气动冲击器及反循环钻进工艺

该钻具设计独特,整个气路系统采用闭式循环,不与循环液混合。使用气水龙头,采用三通道钻杆,由进气管、排渣管、排气管组成。该冲击器比普通冲击器增加了一外管,使从冲击器排出的废气不直接排入孔内,而是沿排气道、排气管而排出孔外;且冲击器设计为中心贯通式,贯通孔和排渣管内径相同,形成反循环通道,岩屑在反循环液流的带动下通过钻头吸渣口、冲击器贯通孔、沿排渣管排出孔外,因而称为闭路湿式反循环钻进。气水循环路径是:高压气体由空压机4→进气口1→进气管14→潜孔锤7→排气管12→排气口→大气。循环液由泥浆循环池→泥浆槽→钻杆与孔壁间环空间隙→钻头

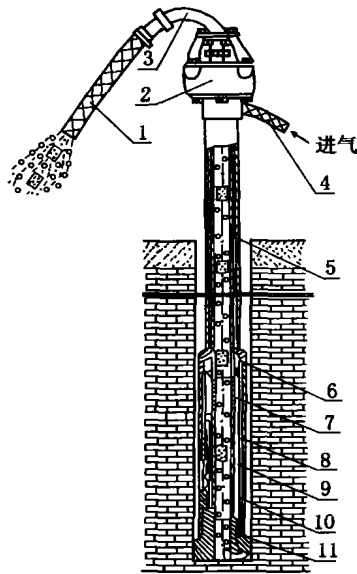


图1 为贯通式气动冲击器及反循环连续取心钻进工作原理

1—排芯(样)管;2—双通道气水龙头;3—鹅颈弯管;4—进气胶管;5—双壁钻杆;6—逆止阀;7—芯管;8—内缸;9—活塞;10—衬套;11—反循环专用钻头

吸渣口→潜孔锤贯通孔及排渣管3→胶管10→砂石泵→泥浆循环池。

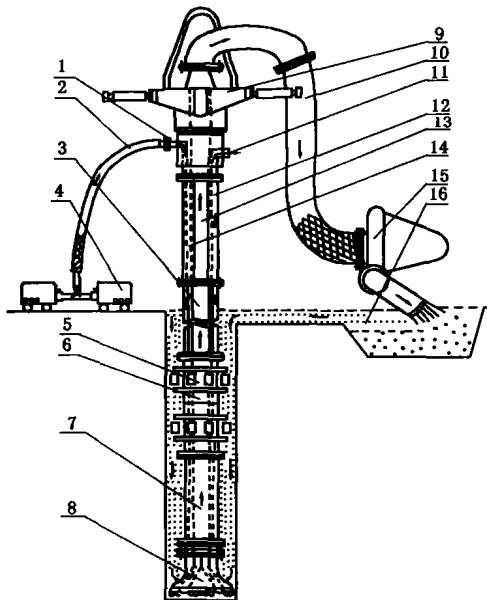


图2 FGC-15型大口径湿式闭式气动冲击器反循环钻进原理

1—进气口;2—高压胶管;3—钻杆;4—空压机;5—导正器;6—加重块;7—冲击器;8—钻头;9—水龙头;10—排渣管;11—排气口;12—排气通道;13—主动钻杆;14—进气通道;15—砂石泵;16—泥浆循环池

动力介质(气体)采用闭式循环,不受孔内水柱

背压影响,使得工作风压低,可用于深水地层钻进。反循环方式既有泵吸反循环,又可采用射流式反循环,通过钻具结构的稍加改进,也可用气举反循环。反循环的作用,既解决了大口径排渣难的问题,又可使孔底排渣干净,岩屑重复破碎少,提高了钻进效率。遇破碎、易坍塌的松散地层,使用泥浆进行护壁,保证了钻孔的稳定。经实践表明,只要保证补水充足,对人工填土的松散地层,也不易发生坍塌现象,且基岩钻进效率高。

### 2.3 大直径多头冲击器

大直径多头冲击器主要用于坚硬岩层及卵砾石层的大直径钻孔的施工,一般由相同规格的数个冲击器组合而成,如图3所示。压缩空气分配到每个冲击器驱动其工作,由于一个冲击器带动一个钻头,钻头质量小,改善了冲击功的传递条件,能量利用率要大大高于单头冲击器,更利于提高碎岩效率。目前美国英格所兰公司的多头冲击器直径由610~1980 mm,冲击器组合数3~16个。

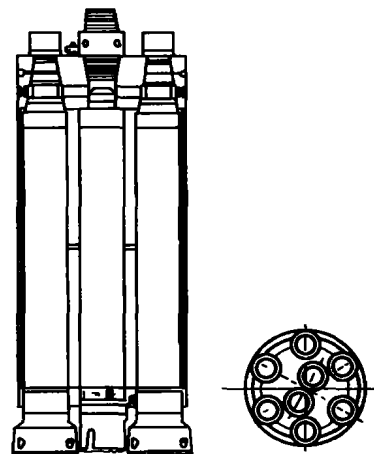


图3 大直径多头冲击器

### 2.4 MACH 复式冲击器钻具系统

该钻具系统由日本TONE公司研制,意为冲击器与液体反循环钻进相结合,是由多个冲击器连接在一起的组合式钻具,一般为3个,最大的钻具直径达1500mm。其另一特点是在每个钻头之间加有牙轮钻头,辅助碎岩,增加切削作用,有利于基岩或砾石的破碎(图4)。

### 2.5 三连轴气动冲击器施工连续墙

这种三连轴冲击器由动力头经过两级减速器驱动并布置的钻杆和3个冲击器分别绕各自的回转中心旋转,空压机来的压缩空气经分配分别进入3个冲击器驱动冲击器实现冲击,这样3个冲击器各

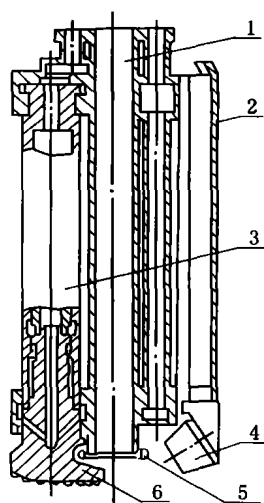


图4 MACH 复式冲击器钻具系统

- 1—中心管;2—导向板;3—潜孔锤;  
4—牙轮;5—限位环;6—球齿钻头

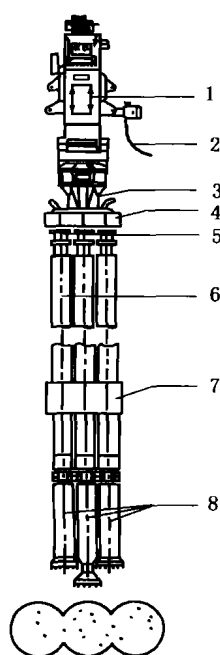


图5

图5 三连轴冲击器

- 1—动力头;2—空气入口;3—第一减速器;4—第二减速器;  
5—减振器;6—钻杆;7—扶正器;8—三连轴冲击器

图6 液动贯通冲击器

- 1—上接头;2—芯管;3—活阀;4—冲锤;5—外缸;6—砧子;  
7—节流环;8—钻头

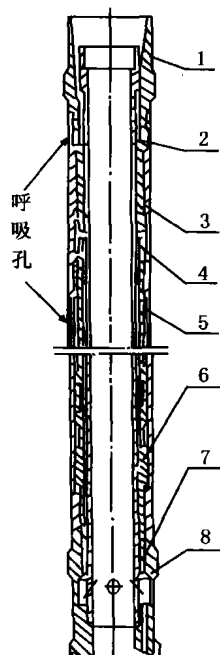


图6

自实现了冲击回转碎岩,钻出的钻孔断面如图5所示的横向连续的排孔,形成连续槽型墙体,槽的宽度取决于单个冲击器的直径。这种工具是在基岩中连续墙成槽的有效施工手段。

## 2.6 液动贯通式潜孔锤水力反循环连续取心钻进技术

双壁钻杆水力反循环连续取芯新工艺是一种先进的钻进工艺。荷兰、前苏联、德国、澳大利亚等国自70年代后成功地将此项新工艺应用在地质勘探钻孔中,特别是在第四系非固结地层中应用更为广泛。我国从1985年开始研究这项新工艺,已经形成了相应的国产化钻具和配套工艺,生产应用中取得了良好的效果。但是,在固结岩层中钻进,经常发生岩芯卡堵现象,影响钻进效率。为此我国研制成功了液动贯通式冲击器,其为阀式双作用类型,整个冲击器中心是贯通的,配合双壁钻杆,可以实现反循环连续取芯钻进工艺。由于冲击器产生的冲击振动可减少岩芯堵塞,在硬岩、破碎地层及砾石地层中钻进取得了良好的效果,有效提高了钻进效率。液动贯通式冲击器的结构原理如图6所示。

## 2.7 冲击器同步跟套管钻进工艺

冲击器同步跟套管钻进工艺主要是为了解决坚硬破碎松散地层或卵砾石地层的护壁难而采取的方法。这种钻进方法既发挥了冲击碎岩效率高的优点,又有利于保护孔壁。图7是一种冲击器跟套管钻具,使用常规的冲击器,主要在冲击器的下部设计

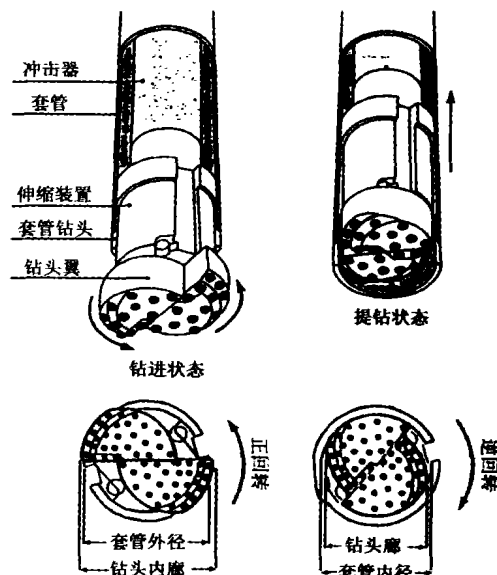


图7 跟套管钻具原理示意图

一种伸缩的扩孔装置并配相应的扩孔钻头,当冲击器钻具逆时针正回转时,依靠孔壁对钻头的摩擦力,两个半合式钻头向外移动扩展,到最大位置时被导正器的挡块限位,钻头的外径大于套管的内径,以利于套管顺利跟进。当套管外壁的阻力较大,套管停止前进时,内层钻具继续向前破碎岩石,直到导正器

的上台肩与套管钻头上的台肩接触。此时导正器将冲击器传来的冲击力部分施加给套管钻头,再加上钻压的作用,迫使套管钻头带动整个套管柱与钻具同步跟进,保护已钻孔段的孔壁。钻出的岩粉经套管与钻具的环状间隙排出孔外。当钻具顺时针反回转时,两个半合钻头收拢,钻头外径小于套管内径,可将冲击器及其钻头顺利提出孔外。

## 2.8 水平穿越式气动冲击器

世界上的现代化城市无不具有由排污管、水管、煤气管、通信和电力管线等组成的庞大的地下管网系统,所有管网系统的寿命都是有限的,使用到一定时间就必须进行修复或更换。传统的方法是开挖法,随着技术的进步,非开挖铺管方法已经成为施工地下管道必不可少的技术手段。非开挖铺管技术种类很多,水平穿越式气动冲击器(冲击矛)是一种简单而有效的方法。其铺管工艺为,首先在欲铺设管线地段的两端挖入射坑和接收坑,坑的大小可根据冲击器的大小、铺管深度、管的类型以及操作方法而

定。将水平冲击器放入入射坑,置于发射架上,用瞄准器调整好冲击器的方向和深度,启动冲击器,冲击器沿着预定方向进入土层,随冲击器的前进将欲铺设管线拉入孔内。冲击器到达接收坑后,卸下冲击器,管线留在孔内,铺管完毕。图8所示我国研制的水平冲击器,冲击器以压缩空气作为动力源,驱动冲击器工作,活塞冲锤产生的冲击力使钻头压实土层,形成钻孔。工作时,压缩空气经风管,配气阀内孔进入后气室,由于活塞两端存在面积差,活塞在压力差的作用下向后移动。当中心排气孔被配气阀封住,压气就不能进入前气室,活塞靠惯性及前气室的气体膨胀继续后移,此时前气室与大气相通,后气室压缩空气膨胀做功,推动活塞冲锤向下撞击砧子。配气阀又脱离活塞中心孔,活塞又开始回程。如此循环往复。当冲击器在孔中遇阻,一种特殊设计的机构可以将配气阀向后拉动一定的距离,这样活塞向前运动就不能撞击到砧子,而回程时可以撞击冲击器后盖,冲击器从孔中推出来。

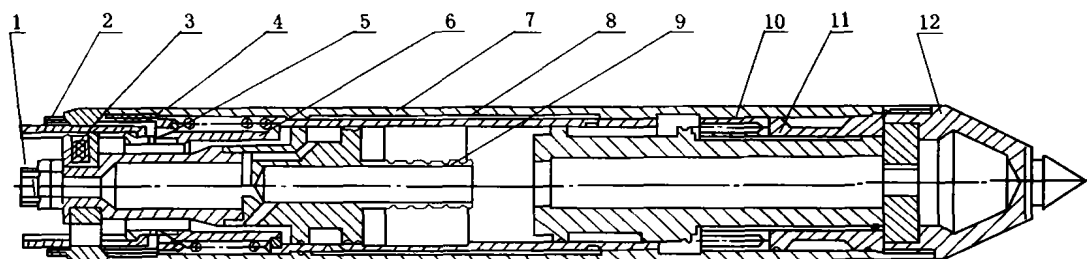


图8 水平穿越式气动冲击器

1—中心进气筒;2—提拉环;3—锁定销;4—上接头;5—提拉接头;6—提拉筒;7—外缸;8—内缸;9—配气阀;  
10—活塞;11—衬套;12—冲挤钻头

水平冲击器铺管机具简单,操作维修方便,施工成本低,铺管速度快,已广泛应用于我国的地下管线施工中,取得了巨大的经济效益。

## 2.9 绳索取心液动冲击器

将绳索取芯与液动冲击器相结合,充分利用冲击回转钻进碎岩优势,提高坚硬及打滑地层的钻进

效率,同时冲击振动又可以减少岩芯堵塞;深孔中钻进,由于使用绳索取芯,大大缩短了取芯所用的辅助时间,是一种高效的钻进方法。图9是我国研制的绳索取芯液动射流冲击器结构,设计时增加了绳索取芯所需的弹卡机构,整个冲击器总成和岩芯管可以用绳索提出地面。

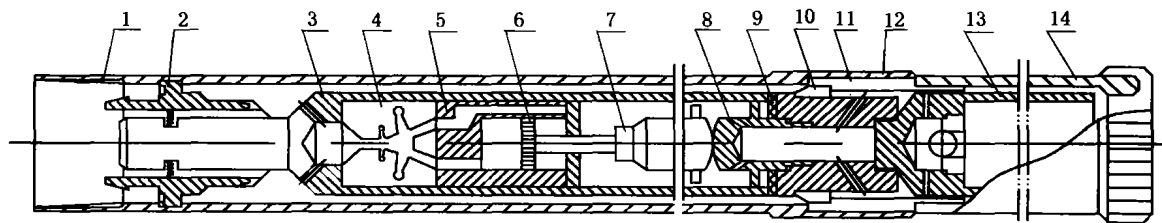


图9 绳索取心液动射流冲击器

1—钻杆;2—弹卡;3—上接头;4—射流元件;5—缸体;6—活塞;7—冲锤;8—砧子;9—冲程调节垫;  
10—传震环;11—承震环;12—花键轴;13—内岩心管

### 3 冲击旋转钻进技术的发展趋势

除上述新技术外,为满足海底资源勘探的需要,一些国家已经研制出了海底取样液动冲击器;为解决深部油气钻井硬地层钻进难题,油气井深井钻进的液动冲击器及其钻井工艺的研究也成为热点研究课题;为适应干旱、缺水地区的钻井施工,研究人员已经着手研究气液混合介质的冲击器及其钻井工艺。总之,随着技术的进步,钻进施工领域的进一步扩展,冲击器及冲击旋转钻进技术将具有更加广泛的发展空间。其发展方向和趋势体现在:(1)冲击器由小的单次冲击功向大单次冲击功发展。(2)冲击器的适用深度,由浅井向深井发展,钻孔的直径由小到大。(3)与多种钻井工艺相结合,包括与反循环钻井工艺相结合,解决大直径钻孔的排粉问题;与跟套管钻进工艺相结合,解决松散、破碎地层的护壁问题;与爆破相结合,解决大直径漂石、孤石地层钻进难题。(4)多种驱动介质的冲击器,包括气体、液

体、气液混合及液压冲击器并存。(5)应用领域更加广泛,由小口径的地质勘探孔施工到复杂条件的工程施工,以及大直径的基岩桩孔、水文水井、石油钻井、地热钻井、海底取样钻进、科学钻探等。(6)钻孔方位由主要的垂直孔向水平及定向可控拓宽,为此需研制可控方向的冲击器。(7)适用于多种地层及钻井工艺的新型钻头的研制及新材料在钻头切削齿上的应用,以进一步提高冲击旋转钻头的效率及延长其使用寿命。(8)适应冲击旋转钻井工艺的设备 and 附属设备的专业化、系列化。(9)研究设计由传统的经验、类比方法到计算机辅助设计,以进一步增加冲击器设计的科学化,缩短研制周期。

#### [参考文献]

- [1] 耿瑞伦,陈星庆. 多工艺空气钻探[M]. 北京:地质出版社, 1995.
- [2] 王人杰,蒋荣庆,韩军智. 液动冲击回转钻进技术[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [3] 王人杰. 液动锤钻探技术实践与展望[J]. 探矿工程,1994(4).

## THE NEW DEVELOPMENT OF PERCUSSION - ROTARY DRILLING TECHNIQUE

JIAN Zhi-jun<sup>1</sup>, ZHANG Yu-lin<sup>1</sup>, WANG Mao-sen<sup>2</sup>, DAI Shu-lin<sup>2</sup>

(1. China Oilfield Services Limited, Beijing 101149; 2. Jilin University, Changchun 130026)

**Abstract:** The percussion - rotary drilling technique is one of the most effective drilling methods. It has made a great progress in recent years. This paper demonstrates developing history of the technique, introduces some new types of percussion - rotary drill and operating technology, and analyzes developing trend.

**Key words:** percussion - rotary drill, percussion - rotary drilling technique, developing trend

## 历届世界“地球日”主题

|        |                             |        |                   |
|--------|-----------------------------|--------|-------------------|
| 1974 年 | 只有一个地球                      | 1987 年 | 环境与居住             |
| 1975 年 | 人类居住                        | 1988 年 | 保护环境、持续发展、公众参与    |
| 1976 年 | 水:生命的重要源泉                   | 1989 年 | 警惕,全球变暖!          |
| 1977 年 | 关注臭氧层破坏、水土流失、土壤退化和滥伐森林      | 1990 年 | 儿童与环境             |
| 1978 年 | 没有破坏的发展                     | 1991 年 | 气候变化——需要全球合作      |
| 1979 年 | 为了儿童和未来——没有破坏的发展            | 1992 年 | 只有一个地球——一齐关心,共同分享 |
| 1980 年 | 新的 10 年,新的挑战——没有破坏的发展       | 1993 年 | 贫穷与环境——摆脱恶性循环     |
| 1981 年 | 保护地下水和人类食物链;防治毒化学品污染        | 1994 年 | 一个地球,一个家庭         |
| 1982 年 | 纪念斯德哥尔摩人类环境会议 10 周年——提高环境意识 | 1995 年 | 各国人民联合起来,创造更加美的世界 |
| 1983 年 | 管理和处置有害废弃物;防治酸雨破坏和提高能源利用率   | 1996 年 | 我们的地球、居住地、家园      |
| 1984 年 | 沙漠化                         | 1997 年 | 为了地球上的生命          |
| 1985 年 | 青年、人口、环境                    | 1998 年 | 为了地球上的生命——拯救我们的海洋 |
| 1986 年 | 环境和平                        | 1999 年 | 拯救地球,就是拯救未来       |
|        |                             | 2000 年 | 环境千年,行动起来吧        |
|        |                             | 2001 年 | 保护地质遗产和地质环境       |
|        |                             | 2002 年 | 善待地球              |