

文章编号:1673-0062(2009)02-0037-04

水压凿岩机技术的发展及应用概述

李志国^{1,2}, 李夕兵^{1,2}, 王斌^{1,2}

(1. 中南大学 中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083;
2. 中南大学 深部金属矿产开发与灾害控制湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410083)

摘要:介绍了水压凿岩机技术在国内、外的发展及应用现状,并从水压凿岩机工作介质及其特定工作环境出发,阐述了国内水压凿岩机应用技术所面临的主要问题.分析出了水压凿岩机赖以发展的三大关键基础技术:材料、设计和加工制造.同时,指出了水压凿岩机相对气动凿岩机的应用优势及发展前景.

关键词:水压凿岩机;应用;发展现状;基础技术

中图分类号:TH137 **文献标识码:**A

Development and Application Overview of Technology for Hydraulic Drill

LI Zhi-guo^{1,2}, LI Xi-bing^{1,2}, WANG Bin^{1,2}

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China;
2. Hunan Key Laboratory of Resources Exploitation and Hazard Control for Deep Metal Mines, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: Some development achievements and application of hydraulic drill at home and abroad are introduced. Based on the working medium and working environment of hydraulic drill, the main problems faced by domestic hydraulic drill application technology are described. Three key technologies are analyzed in the filed of materials, design and manufacturing technique, which are the foundation of the development of hydraulic drill. Then, the advantage of hydraulic drill relative to pneumatic rock drill and its prospect are pointed out.

Key words: hydraulic drill; application; development situation; basic technology

将高压水用于深井采矿,这一设想的提出是由于必要性和实际考虑.随着开采深度的不断增加,由于通风和冷却等的要求,井下需要送入一定量的生产用水.在竖井立管内的水由于落差产生了大量

水势能,每1 000 m深就有10 MPa的静压.这种静压能可以直接有效地驱动凿岩机等凿岩设备.

早在1876年,法国人冯·布兰特就研制出了水力凿岩机,但未能推广.1920年英国人多曼、

收稿日期:2008-12-26

基金项目:863计划基金资助项目(2006AA06Z134)

作者简介:李志国(1980-),男,河北灵寿人,中南大学博士研究生.主要研究方向:矿山流体机械、采矿工程等.

1962年英国人萨特利夫分别研制了液压凿岩机,直到今天,人们从未放弃对水压凿岩机的研究与发展.特别是20世纪70年代出现的“石油危机”,以及随后出现的全球“生态危机”使世界各国纷纷制定了本国的能源战略和环保战略,指出资源利用的合理化和产品设计的绿色化是产品设计和开发者应该重要考虑的问题.水作为一种天然清洁能源进入了人们的视野,且其优点愈来愈得到认可.特别是近年来材料学、摩擦学、润滑理论与密封技术、计算技术、精密加工技术、表面处理等相关学科的发展^[1],增强了科技工作者研究水压传动的信心,同时,水压凿岩机的研制工作也蓬勃发展.已有数个国家进行了这方面的研究并取得了突破性进展.目前,对水压凿岩机技术的研究已经成为水压传动及控制技术领域重要的研究方向.

1 水压凿岩机技术的发展概况

1.1 国外发展概况

在国外,水压凿岩机技术的发展以南非及加拿大为代表.

南非矿业联合会研究中心(COMRO)自70年代后期即开始研究使用水驱动凿岩机及其他采矿设备.1988年即有一些矿山开始使用水基乳化液(乳化液中98%为水,2%为添加剂)驱动的凿岩机^[2].如KLOOF矿使用的英格索兰WF-035水基凿岩机,重33 kg,总长520 mm,工作压力14~18 MPa,冲击部分输出功率3.5~6 kW,钎尾尺寸22 mm×159 mm,25 mm×159 mm.1992年前后,南非又开发了两种型号纯水压凿岩机,纯水是指天然水,不加任何添加剂.纯水凿岩机取得了和水基凿岩机相似的钻进效率^[3-5].与气动凿岩机相比取得的主要成绩如下:1)每米炮孔能耗只有气动凿岩机的1/20;2)噪声水平比气动凿岩机降低了19~25 dB(A),大幅度降低了噪声;3)消除了油雾;4)设备购置成本降低10%~40%;5)总成本降低20%;6)通过供水管网带走大约25%的井下热量;7)凿岩速为气动凿岩机的2倍.

随后,CANMET根据加拿大矿井较浅,井下温度不高等具体条件,对原南非使用的水压凿岩机进行了改进^[6],使循环水量达到动力水量的80%,由CANMET设计,Conmico公司制造的泵站,包括一台57 kW电动机,水泵压力为20.68 MPa,水泵流量可达136 L/min,水压可调,水箱容积375 L,2台过滤器,精度为10 μm,并装有熔断器,

在软管发生破裂时,自动停机.一台水泵驱动2台凿岩机,凿速比气动凿岩机提高50%,噪声峰值为104 dB(A),比气动凿岩机低20 dB(A),振动、粉尘、油雾都比气动凿岩机大为降低.能耗相当于同等规格气动凿岩机的1/4.

1.2 国内发展概况

目前,我国的水压凿岩机应用技术仅处于研制及试验阶段,尚未达到工业推广应用水平.在支腿式水压凿岩机的研制上,先后有十几个单位参与,涉及冶金部、煤炭部、有色金属总公司、机械部等,包括大学、科研院所、工厂、公司等,历时20多年.到目前为止,绝大多数参与者已放弃,浙江开山公司,温州乐清采矿机械厂仍在坚持^[7];其中乐清采矿机械厂的YYTZ26型水压凿岩机组已开挖各种隧道超过5 000 m,但在井下矿山长期地、大量地使用报道仍未见到,这与支腿式水压凿岩机需配备笨重的液压泵站,且管路不宜超过20 m有极大关系.湘潭凿岩设备研究所也于90年代前期研制了YST23型支腿式水压凿岩机.中国地质大学(北京)于90年代初研制了无阀式水压凿岩机.在0.3~1.4 MPa泵压,5~10 L/min流量范围内进行试验,测得冲击频率为200~1 500次/min,振幅为5~7 mm^[8].长沙矿冶研究院与有关单位合作,于1998年开始研制气液联动凿岩机,于1999年研制出第一台样机,与露天钻车配套进行了露天穿孔试验,试验取得了良好的结果.作为“十五”国家科技攻关项目,进行了地下中深孔气液联动凿岩设备的研制,在鲁中冶金矿业集团公司投入使用3台^[9].湖南科技大学振动、冲击与诊断研究所提出动力学融合设计概念^[10],对水压凿岩机各部件的设计方法及机械加工工艺做了大量研究^[11],设计研制出配套22 mm杆的YTS-25型水压凿岩机,其冲击能量 $E=75$ J,冲击频率 $f=35$ Hz,冲击速度 $v_0=7$ m/s.并开展了动力学仿真分析及试验研究^[12-13],取得了初步成功.我单位于2006年申请了“863”计划项目——水势能直接驱动的深部金属矿采掘技术与装备,在前期相关工作^[14-15]的基础上,成功研制水压破碎锤一台,其工作压力为10~15 Pa,冲击能 ≥ 52 ,冲击频率23 Hz,经测试综合性能达到了预期目标.目前正在试制一台导轨式水压凿岩机,预计年底将完成样机加工制造,相关性能测试将陆续展开.

总之,国外水压凿岩机应用技术基本已达工业推广水平.而国内相关技术尚处于发展阶段,只有少量的研究报道,尚未见到工业应用报道.

2 水压凿岩机原理特性及应用评价

2.1 水压凿岩机原理特性及当前面临的问题

水液压技术遵循液压技术的基本原理^[16],包括 Pascal 原理、流量连续性方程和能量守恒定律等等,其元件、系统及传动控制方式在总体上(或原理上)应该与油压的相同或相似,做为水液压技术的一项特定应用设备水压凿岩机也不例外。这在一定程度上减少了水压凿岩机元件及系统研发的工作量,缩短现代水液压技术的研发应用进程。

尽管水压凿岩机与常规液(油)压凿岩机基本原理一致,但现在普遍使用的基于矿物基型液压油的液压元件不能直接或改进后用于天然水,这已成为定论^[17]。天然水在理化特性上与液压油存在的巨大差异^[18],使水压元件及系统面临一系列技术难题:

1) 然水中含有许多腐蚀因子,腐蚀性强。25℃时,淡水的电导率约为 $1.0 \times 10^{-3}/(\Omega \cdot \text{cm})$,海水的为 $5.3 \times 10^{-2}/(\Omega \cdot \text{cm})$,比液压油的高出约 10^{10} 倍。将引起材料化学和电化学腐蚀、微生物腐蚀等,并大大降低材料强度;

2) 水的润滑性能差,润滑膜厚度只有油的 $1/20 \sim 1/3$,粘压系数为 $0.75/\text{GPa}$,只有液压油的 $1/30$,易引起边界摩擦或干摩擦,导致严重的粘着磨损、疲劳磨损、磨粒磨损及腐蚀磨损;

3) 天然水的粘度低,50℃时,其运动粘度约为 $0.56 \text{ mm}^2/\text{s}$,只有典型液压油的 $1/120 \sim 1/30$ 。在同等压力、同等间隙量的情况下,水的泄漏量是油的 $30 \sim 120$ 倍,使元件内部泄漏损失大大增加。再加上较高的工作压力导致的高速水流、水滋长的微生物,产生的水垢等,引起冲蚀磨损;

4) 水的饱和蒸汽压高于油,50℃时,其汽化压力为 0.012 MPa ,比液压油的高出约 10^7 倍,会产生严重气蚀;

5) 水的弹性模量为 2.4 GPa ,是液压油的 $1.5 \sim 2.4$ 倍;密度为 $1 \sim 1.025 \text{ g/cm}^3$,比液压油高出 $10\% \sim 15\%$,水中声速为 1550 m/s ,比油高 10% ,更容易产生水锤现象与冲蚀问题,引起严重振动和噪声等。

图 1 从水压凿岩机工作介质理化特性及其特定工作环境出发,逐步分析出了水压凿岩机赖以发展的三大关键技术:材料、设计和加工制造。

与国际上发达水平相比,我国水压凿岩机应用技术的研究相对还比较落后,现有的液压元件和系统不能直接或改进后用于水压设备,需要重

新研制与水相适应的水压元件及系统。为研制出高性能的水压凿岩机元件和系统,必须结合水的理化特性,以材料、设计和加工制造等为基础,认真分析研究水压凿岩机面临的一系列关键技术问题,如:水压元件中的腐蚀及磨损问题、泄漏及密封问题、水压凿岩机及系统气蚀、水击发生的机理、危害及控制策略研究、工程材料在水压凿岩机中的应用研究、水压凿岩机元件的污染机理、危害及控制策略研究、水压凿岩机元件及系统的计算机仿真、水压凿岩机系统综合特性的评估策略与方法研究等。抓住主要课题进行重点研究,以避免研究工作的盲目性,少走弯路。

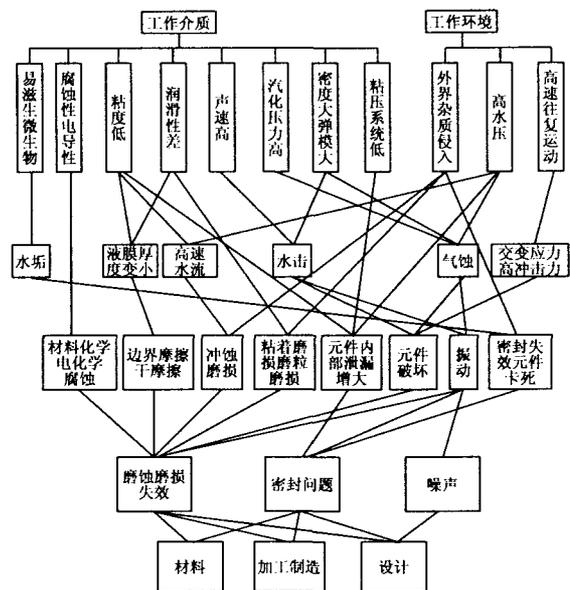


图 1 水压凿岩机关键基础技术分析
Fig. 1 Basic technology of hydraulic drill

2.2 水压凿岩机的应用优势

水压凿岩机应用技术虽然仍面临大量的技术问题,但由于其特定的应用环境及独特的工作介质,决定了其相对于气动及常规液(油)压凿岩机的独特优势^[19]。综观国内外数十年来,水压凿岩机的发展及应用史,可见其优异的绿色特性。

1) 环境保护 凿岩机完全利用纯水工作,完全与环境相容,无论在陆地、海洋还是在空中使用,系统中水的泄漏或排放不会对环境造成任何污染,消除了油的泄漏污染。

2) 劳动保护 天然水不燃,没有火灾危险可以放心地用于高温、明火和易燃易爆场合,不产生有毒的介质蒸汽危害工人的身体健康,有利于消除安全隐患,实现劳动保护。

3) 节省资源 用天然水作为液压介质节约了

宝贵的石油资源,同时水随处可取,节省了介质生产、购买、运输、储存、维护以及用后处理所发生的一切人力、物力、资金及资源的消耗。

4) 节省能源 在水环境下工作的水压系统可以设计成类似于气动系统的开路结构,直接从周围环境中吸水,水在系统中经过一次工作循环后又直接排放到环境中去,可省去水箱、回水管和冷却装置,回水背压小,而且无需压力补偿设计即可自动补偿压力。水的粘度低,系统的沿程阻力损失小,远距离传送的损失小;水的弹性模量大,压缩损失小,因此水压系统的效率可大大提高,降低了能源消耗。在适宜的环境下,水压凿岩机可直接利用矿井下的水位落差,减小水泵的功率,或完全利用自然水头。

5) 简化设备 凿岩机传动介质与冲洗介质统一,相比气动及油压凿岩机,其设备得到了简化;且冲洗水压高,炮孔冲洗干净。

3 结论及展望

现代水压凿岩机应用技术是一门新兴多学科交叉应用技术,需要综合运用材料学、摩擦学、流体力学、理论力学、控制理论、计算技术、精密加工及精密测量技术等相关学科的知识成果,进行大量的基础技术研究。要构建和完善我国具有自主知识产权的水压凿岩机应用基础知识平台,为其大规模工程应用奠定坚实的技术基础,还有大量的基础研究工作要做,需要大量的人力、物力和财力投入。

相比国外,我国水压凿岩机相关应用技术的研究相对还比较落后,但在其他相关水压传动领域已取得了可喜成果。特别是一些应用领域已表现出强烈的应用需求,如海洋开发、海军装备、消防、供水、冶金和核能工业等,极大地推动了我国水液压技术的发展。水压凿岩机相关技术在主动吸取水压传动及其它液压领域的研究成果与经验的基础上,必将在这一趋势带动下取得长足发展。水压凿岩机作为一种节约能源、清洁环保的绿色产品,已引起人们极大的兴趣。随着科学技术的进步,新材料、新技术的不断涌现,水压传动技术的发展,水压凿岩机必将逐步取代现有的气(液)压凿岩机系统。

参考文献:

[1] 王新华,魏源迁,李剑锋,等. 水压传动技术发展的现

状及其应用前景[J]. 机床与液压,2003(6):3-8.

- [2] Paraszczak J. Comparative experiment between water - powered jackleg drill and pneumatic drills [J]. Mining Engineering,1994(8):999-1002.
- [3] Pearse G. Hydro - power at Kloof [J]. Mining Magazine, 1990(11):436-437.
- [4] 李庆元,张凤荣,陈浩然,等. 南非的矿业(上)[J]. 有色金属,1993(2):36-41.
- [5] 查德威克 J,高战敏,译. 南非金矿井的深度开采技术 [J]. 国外金属矿山,1997(6):29-34.
- [6] 孔 健,译. 液压凿岩机来到加拿大[J]. 国外金属矿山,1995(10):61-62.
- [7] 周志鸿,窦忠强,闫建辉. 水压凿岩机的发展与应用 [J]. 凿岩机械气动工具,2002(2):59-61.
- [8] 薛 军. 液动冲击器与液压凿岩机的比较与启示 [J]. 探矿工程,1994(2):39-40.
- [9] Paraszczak J. Comparative experiment between water - powered jackleg drill and pneumatic drills [J]. Mining Engineering,1994(8):999-1002.
- [10] 刘德顺,岳文辉,伍先明,等. 冲击凿岩机动力学融合设计[J]. 湘潭矿业学院学报,2003,18(9):33-35.
- [11] 伍先明,刘德顺. 水压凿岩机的结构设计及试制 [J]. 机床与液压,2007,35(5):119-121.
- [12] 岳文辉,刘德顺,伍先明,等. 环境友好型全水压冲击凿岩机动力学建模与数值仿真[J]. 中国工程科学, 2007,9(8):57-61.
- [13] 伍先明,刘德顺. 水压凿岩机冲击部件结构形状、轴向推力、转钎角度与凿岩效率的试验研究[J]. 振动与冲击,2007,26(8):154-157.
- [14] 周梓荣,李夕兵,刘迎春. 水压凿岩机及其冲击机构关键技术[J]. 矿冶工程,2004,24(8):14-17.
- [15] 周梓荣,李夕兵,刘迎春. 支腿式水压凿岩机的研究与试验[J]. 中国机械工程,2004,15(7):1236-1239.
- [16] Erik Trostmann. Water hydraulic control technology [M]. NewYork:Marcel Dekker Inc,1996.
- [17] Terävä J, Kuikko T, Vilenius M. Development of sea water hydraulic power pack. proc [C]//4th Scandinavian Int Conf on Fluid Power, Tampere, Finland, Sept, 1995:978-991.
- [18] Terävä J, Kuikko T, Vilenius M. Development of sea water hydraulic power pack. proc [C]//4th Scandinavian Int Conf on Fluid Power, Tampere, Finland, Sept, 1995:978-991.
- [19] 杨曙东,李壮云,朱玉泉. 水压传动的主要课题与研究进展[J]. 中国机械工程,2000,11(9):1070-1073.