

文章编号: 1001-1986(2008)03-0078-03

新型钢球冲击器及其试验效果

陆洪智，鄢泰宁，季 锋

(中国地质大学，湖北 武汉 430074)

摘要: 从固体力学理论着手, 利用岩石变形时的应力计算公式, 分析讨论了“冲击回转”钻进的破岩机理; 介绍了中俄合作开发的“新型钢球冲击器”的结构及工作原理。通过对室内及野外实验数据的分析, 获得了该冲击器的各种参数关系。实践表明, 采用普通硬质合金(或金刚石)钻头加钢球冲击器进行冲击回转钻进, 可明显提高机械钻速, 降低成本。

关 键 词: 冲击回转; 破岩机理; 钢球冲击器

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A

Test results and application of new-type Steel Ball Percussion Tools

LU Hong-zhi, YAN Tai-ning, JI Feng

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper analyzes the rock breaking mechanism of “percussive-rotary drilling” based on the theories of solid mechanics and the stress formula of rock deformation. Besides, it offers a full review of working principle of new-type Steel Ball Percussion Tools co-developed by China and Russia and works out the relations of Percussion Tool’s parameters by analyzing the experiment data gathered in the lab and in field experiments. It is revealed that carbide-alloy (or diamond) drill bits together with steel ball percussion tools used in percussive rotary drilling leads to much improved drilling rate and reduced cost.

Key words: percussive-rotary; rock breaking mechanism; Steel Ball Percussion Tools

众所周知, 采用液动冲击器进行冲击回转钻进是攻克硬—坚硬岩石的有效途径^[1]。为了大幅度提高中硬—硬岩层的机械钻速, 中国地质大学与俄罗斯专家叶戈罗夫合作研究, 开发出一种适合国内硬岩条件的“新型钢球冲击器”, 解决了缺水地区工作介质的问题, 实现高效回转冲击钻进。目前, 中俄双方已共同在中国申报了钢球冲击器的国家专利, 并交付加工, 在生产中推广应用。

收稿日期: 2007-11-19

作者简介: 陆洪智(1974—), 男, 河北唐山人, 博士研究生, 从事钻井研究工作.

统的回转油路中增加了回转压力超限时自行停止给进的保护功能, 有效减少了卡钻现象的发生。

c. 设计的螺旋钻杆扶正装置结构新颖, 扶正套与钻杆同时转动, 摩擦阻力很小, 在使用中表现了优越性, 具有一定的推广价值。

d. 钻机配有电磁起动器和照明灯, 使用方便, 安全性强, 便于钻孔作业和钻机维修。

1 冲击回转钻进的破岩机理

冲击回转钻进就是在回转钻的基础上将具有一定频率的冲击能量施加到回转钻头上, 从而不仅对岩石施加钻压和扭矩, 而且叠加了连续的冲击载荷, 使岩石表面在强烈的预压应力状态下更易于被动载破碎。其过程可分解为:

a. 由固体力学理论得知, 岩石变形时的应力为:

参考文献

- [1] 冯德强. 钻机设计[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- [2] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [3] 胡志坚. 钻机负载自适应液压控制系统的研究[D]. 长春: 吉林大学出版社, 2007.
- [4] 徐绳武. 从节能看液压传动控制系统发展的三个阶段[J]. 液压气动与密封, 2005(5): 21-28.

$$\sigma = E_x + \eta \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

式中 E_x 为岩石弹性模数； dx 为变形； dt 为变形时间； η 为粘系数。

通常，液动冲击器的冲击频率大于 40 Hz，冲击载荷以应力波形式在钻头和岩层中传播。由于冲击器加载时间极短， dt 甚小，作用力又大，致使岩石局部应力、应变高度集中，来不及向周围的岩石传递，极易达到强度极限而破坏。另外，冲击器产生的冲击载荷使岩石内部分子被迫振荡，产生疲劳破坏和强度降低。这种现象在具有预压应力(来自钻压)的条件下更容易形成。某些在静载下表现出较强塑性的岩石，当外载速度很高时也呈现出明显的脆性，对冲击载荷非常敏感，有利于压碎作用与剪切体的产生，从而加速碎岩效果^[2]。

b. 在冲击和钻头回转条件下，每一粒切削具实际处于“斜冲击”状态(图 1)。斜冲击力 F 之法向分力 f 对岩石施加剪切力，而岩石的抗剪强度仅为抗拉强度的 1/8~1/15。实验证明，当施力角 α 为 18~20° 时，斜冲击碎岩所需的冲击功比垂直冲击要小，而凿碎岩石的体积约可增加 50% 以上。其原理正如石匠加工岩石表面时，锤击凿子的同时要将凿子顺冲击方向迅速倾斜一个角度一样。而最优施力角 α 的大小正是选择钻头转速的依据之一。

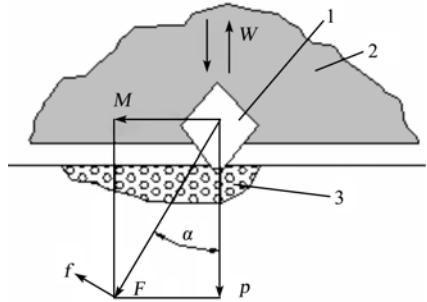


图 1 冲击回转钻进对岩石施加斜冲击的示意图

Fig. 1 Inclined percussion in percussive-rotary drilling to the rock

1—金刚石；2—钻头胎体；3—岩石；W—冲击器造成的往复冲击；P—钻压；M—回转力；F—斜冲击力； α —施力角；f—F 之法向分力

c. 冲击回转钻进是钻压与转速低于纯回转钻进，而泥浆泵的泵量、压力又较高于常规回转钻进，这样孔底岩屑重复破碎的机会就会减少，碎岩效率也将增高。对金刚石钻头而言，由于金刚石在冲击作用下比较易于从胎体中出露，钻速也明显提高。但对于缺水地区，这种方法受到很大的限制。

2 新型钢球冲击器结构

这里介绍的新型钢球冲击器与常规液动冲击器

相比，一是工作介质利用压缩空气，解决了缺水地区工作介质问题；二是钢球冲击器结构中没有阀体、连杆、活塞和弹簧，仅以钢球作为冲击元件，所以结构简单，维护容易。工作时，钢球在其自重和高速循环介质(常采用空气)给予的推力作用下打击铁砧，从而完成冲击功能。

钢球冲击器的结构如图 2 所示。它包括：由上接头 1 和外管 2 组成的外壳、下降导管 3 和上升导管 4、上帽 5、铁砧 6、钢球 7、下接头 8、传递扭矩的接头 9 和密封件 10。借助上帽 5 和铁砧 6 上的通道把导管 3 和 4 连成一个回路，通道的横截面正好与管 3、4 的内腔相等。在导管 3 的内腔中设有压缩空气的入口 11，而在另一导管 4 上设有压缩空气出口 12。铁砧 6 与下接头 8 相连，接头 8 再与钻具刚性相连。在接头 8 和外管 2 之间装有专用接头 9，它可在向钻具传递扭矩的同时，保证冲击机构(零件 3—10)可相对于外壳(零件 1—2)有一定的轴向位移。

导管 3、4 及其在上帽 5 和铁砧 6 处的封闭通道直径为 d_k ，它略大于钢球的直径 d_m (图 2c)，即 $d_k = d_m + \delta$

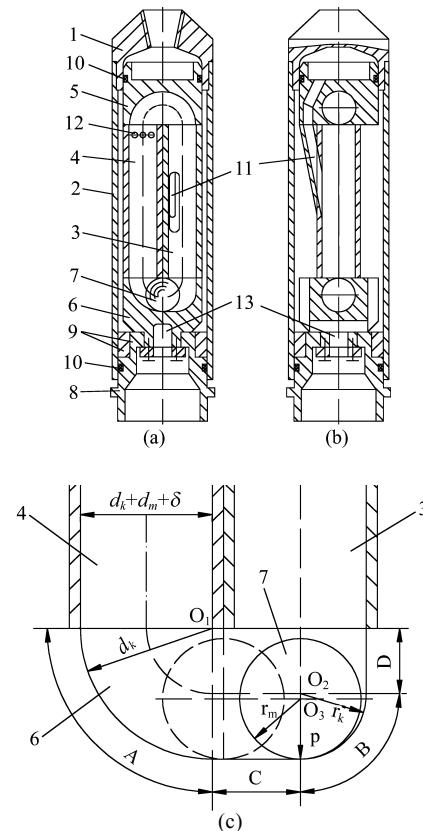


图 2 新型钢球冲击器的结构示意图

Fig 2 Structural representation of Steel Ball Percussion Tools
a—正视图；b—侧视图；c—铁砧 6 处剖面图
1—上接头；2—外管；3—下降导管；4—上升导管；
5—上帽；6—铁砧；7—钢球；8—下接头；9—传递
扭矩的接头；10—密封件；11—压缩空气入口；
12—压缩空气出口；13—通道

δ , ϕ 的值取决于冲洗介质的粘度。封闭通道在上帽 5 处的部分是半径为 d_k 的半个圆环 ,而在铁砧 6 处的部分则是左右不对称的结构 ,由 4 部分组成 : A 为位于导管 4 下端的半径为 d_k 的 1/4 个圆环 ;B 为位于导管 3 下端 ,与之相切的半径为 r_k 的 1/4 个球面 ($r_k=d_k/2$) ;C 为连接A段圆环和B段球面的水平段 ;D 为连接导管 3 下端和B段球面的垂直段。

为了驱动冲击装置 ,压缩空气从地表沿着钻杆 (图中未画出) 经过上接头 1 和入口 11 进入导管 3。在具有动压头的射流作用下 ,位于铁砧通路中的钢球 7 向导管 4 位移 ,并被气流驱使沿着封闭回路运动。当钢球高于出口 12 时 ,由于压缩空气排出而失去一部分动能 ,使得钢球在上帽附近能量减小。当钢球沿着导管 3 向下运动时 ,它在经入口 11 进入的压缩空气作用下被加速到最大速度并撞向铁砧 B、C 段相连接的位置。图 2c 中用箭头 P 标出了附加冲击力的作用点 ,P 力的方向与钻具的轴向一致 ,使冲击能完全可以通过刚性连接的岩心管传递给孔底钻头。完成驱动钢球上移任务的压缩空气由出口 12 排出 ,进入导管 4 与外管 2 之间的间隙 ,沿通道 13 进入孔底。为了防止压缩空气的泄漏 ,在装置中设有密封件 10。

由于来自压风机的全部压缩空气或其它冲洗介质 ,始终沿着封闭通道的大部分行程定向运动 ,所以可保证整个装置的运行可靠性 ,并使钢球下移时获得最大的冲击速度。为了使钢球在封闭通道中运动自如 ,必须保持通道回路各点的直径相等 ,并让 $d_k > d_m$ 。同时要根据冲洗介质的粘度来选择 ϕ 值 ,对于空气可选小值。出口 12 在导管 4 中的高度设计要考虑冲洗介质的性质和钢球的质量 ,其临界条件是 ,钢球沿导管 4 上移时能靠惯性冲过出口 12 ,并以最小的能量冲击上帽的顶面。所以 ,钢球的质量越大 ,冲洗介质的粘度越小 ,则出口 12 在导管 4 中的位置应越高 ;而出口 12 的面积则取决于冲洗介质的性质和排量。

3 试验效果及应用

在结构分析的基础上 ,结合中国国情和国家标准 ,完成了Φ108 和Φ168 “新型钢球冲击器” 的样机设计与制造。在实验室对“新型钢球冲击器”进行了台架试验。为便于对比 ,分别用普通Φ172 mm 硬质合金钻头、普通Φ172 mm 硬质合金钻头+Φ168 mm 钢球冲击器在混凝土块上(可钻性 — 级)进行回转冲击的空气钻进 ,试验结果(表 1)表明 ,不必使用价格较贵的球齿冲击钻头 ,只需在普通硬质合金钻头基础上叠加高频低冲击功 ,就可使机械钻速提高 33%~49% ,而且保证岩心采取率达 100%。

另外 ,在某矿区可钻性 — 级的中硬岩石中 ,进行了普通Φ112 mm 硬质合金肋骨钻头+Φ108 mm

钢球冲击器的生产试验。结果显示 ,钢球冲击器表现出可靠的工作稳定性 ,机械钻速达 7.8 m/h ,与同矿区未加钢球冲击器的同口径普通钻头相比机械钻速增长了 46%。

表 1 新型钢球冲击器试验效果

Table 1 Test result of new-type Steel Ball Percussion Tools

工具类型	进尺 / cm	钻进时 间 / s	机械钻速 / m · h ⁻¹	钻速增 量 / %	岩心采 取率 / %
普通 Φ172 钻头	10	55	6.54	-	100
普通 Φ172 钻头 +钢球冲击器	10	37	9.72	+49	100
普通 Φ172 钻头 +钢球冲击器	15	62	8.7	+33	100

室内外的试验充分说明 ,新型钢球冲击器是一种可以在中硬—硬岩层中实现回转冲击钻进的新型钻具。它的冲击频率较高 ,但冲击功不大 ,所以不必更换专用钻头便可明显提高机械钻速。它结构简单 ,工作稳定可靠 ,几乎没有需要更换的易损件 ,操作非常方便。而更换不同质量的钢球或改变循环介质的流量 ,便可调节钢球冲击器的冲击功和冲击频率 ,使钢球冲击器适应不同硬度的岩层。因此 ,这种钢球冲击器将具有很好的应用前景。

工作中 ,供给钢球冲击器的压缩空气风量越大 ,则球体冲击铁砧的频率越高 ,冲击能量也越大。孔内水量越大 ,则压风机所需的风压越高。如果钻杆锁接头密封不严 ,该钻具的有效钻进深度将下降。

4 结论

a. 在回转的基础上施加冲击能量 ,将使岩石表面在强烈的预压应力状态下更容易动载破碎 ,大幅度提高机械钻速。但用于硬—坚硬岩层的液动冲击器结构复杂 ,单位冲击功大 ,需要配专用钻头。对于大量遇到的中硬左右岩层 ,采用普通硬质合金(或金刚石)钻头+钢球冲击器进行回转冲击钻进 ,可明显提高机械钻速 ,降低成本 ,具有很好的应用前景。

b. 中俄合作开发的“新型钢球冲击器”利用球体在冲洗介质推动下沿封闭回路运动并撞击铁砧 ,结构简单^[3] ,其冲击能量足以钻进中硬岩层。

c. 采用新型钢球冲击器 ,解决了缺水地区工作介质的问题 ,还能实现高效回转冲击钻进。

参考文献

- [1] 王人杰. 液动冲击回转钻探[M]. 北京 : 地质出版社 , 1988.
- [2] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉 : 中国地质大学出版社 , 2001.
- [3] АФАНАСЬЕВ И С, БЛИНОВ Г А, ПОРОМАРЕВ П Пи др. Справочник по бурению геологоразведочных скважин[M]. Санкт-Петербург : НЕДР, 2000