

岩土工程

球体冲击器及其在回转冲击钻进中的应用研究

鄢泰宁, 吴翔, 卢春华

(中国地质大学, 武汉 430074)

[摘 要] 提出了在大量遇到的中软 - 中硬岩层中采用硬质合金回转冲击钻进的问题, 在论述球体冲击器结构及工作原理的基础上, 介绍了室内外回转冲击钻进试验使机械钻速明显提高的效果, 借助数理统计方法建立了球体冲击器冲击频率与风压、风量之间高度显著的相关关系式, 可用于冲击频率及其它重要工艺参数的预测与控制。全文表明球体冲击器具有很好的推广前景。

[关键词] 球体冲击器 回转冲击钻进 冲击频率 回归方程

[中图分类号] TP634.5

[文献标识码] A

[文章编号] 0495 - 5331(2008)02 - 0097 - 04

1 问题的提出

在地质大调查、浅部矿产普查和工程勘查中, 大量遇到的是中软 - 中硬左右的岩层。在这类岩石中, 目前普遍采用的仍是硬质合金回转钻进工艺。但传统硬质合金钻头及其结构的研究已历时半个多世纪, 进一步提高其纯回转钻进时效的空间已越来越小。因此, 人们想到借鉴在硬岩石中钻效显著的冲击回转钻进方法。但液动或风动冲击器冲击能量大, 必须匹配价格较贵的专用冲击钻头, 而且这类钻头一般不具备切削效应, 在中软 - 中硬岩石中钻效并不明显, 加之液动或风动冲击器结构复杂, 现场调试工作量大, 对操作人员的素质有较高要求, 所以很少在中软 - 中硬岩石中使用。^[1]

前苏联学者首先提出了回转冲击钻进的理念。试验表明, 与同样条件下的纯回转钻进相比, 在回转切削的同时叠加一定频率的冲击载荷可使岩石破碎的扭矩和阻力系数降低。即借助低冲击功的冲击器实施以回转钻进为主, 以冲击钻进为辅的回转冲击钻进, 可明显提高中软 - 中硬岩石的机械钻速, 而且因冲击功小, 可使用普通硬质合金或金刚石钻头, 其钻进规程与普通回转钻进没有太大区别, 从而降低钻探成本, 方便现场操作。^{[2][3]}

2 球体冲击器的结构与工作原理

我们设计的球体冲击器长约 1m, 以压缩空气为

动力, 结构简单, 无弹簧等易损件, 可工作于干旱地区深度不大于 300m 的孔内。

球体冲击器的结构如图 1 所示。上接头 1 与外管 5 组成球体冲击器的外壳。上帽 3、铁砧 9、上升导管 6 及下降导管 7 组成一个环形回路通道, 钢球 8 位于环形回路中, 进气管 13 以很小的角度通向环形回路的下降导管 7, 上升导管 6 的上部钻有排气孔 4。铁砧 9 与下接头 12 用丝扣联接。外壳转动时, 可以通过卡块 10 带动下接头 12 及整个环形回路转动——传递扭矩, 同时又允许整个环形回路、下接头 12 相对于外壳之间有小的轴向相对位移, 以便把钢球的冲击能量传递至岩芯管、钻头。

球体冲击器工作时接在岩芯管上方 (图中未画出), 在地表钻机开始回转的同时, 来自压风机的压缩气流 15 进入冲击器, 沿进气管 13 射入下降导管 7, 具有动压头的气流使位于环形回路最下方的钢球 8 沿导管 6 向上运动, 当钢球 8 经过排气孔 4 后, 大部分气流由排气孔 4 排至外管 5 与上升导管 6、下降导管 7 之间的空腔, 形成气流 16, 而钢球 8 在剩余气流及惯性的作用下跃过上帽 3 的弧顶, 然后在重力加速度的作用下沿导管 7 下降, 在进气管 13 处被高速气流进一步加速, 并撞向铁砧 9, 冲击能量经下接头 12、岩芯管传递至钻头。同时, 排出的气流 16 经排气通道 14 进入岩芯管, 到达孔底完成排除岩粉、冷却钻头的任务。撞击完铁砧的钢球 8 又沿导管 6 上升, 开始一个新的循环。如此反复, 实现回

[收稿日期] 2006 - 08 - 23; **[修订日期]** 2006 - 12 - 11。

[基金项目] 中国地质调查局项目 (编号 20030170129) 资助。

[第一作者简介] 鄢泰宁 (1945 年 —), 男, 1981 年毕业于武汉地质学院, 获硕士学位, 教授, 现主要从事钻探工程教学与科研工作。

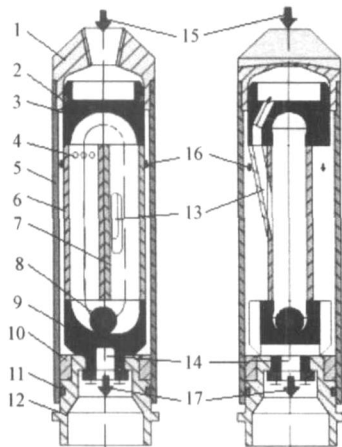


图 1 球体冲击器的工作原理示意图

1—上接头;2—上密封圈;3—上帽;4—排气孔;5—外管;6—上升导管;7—下降导管;8—钢球;9—铁砧;10—卡块;11—下密封圈;12—下接头;13—进气管;14—排气通道;15—进气流;16—内外管间的气流;17—出气流。

转冲击钻进。

球体冲击器的铁砧是传递钢球冲击能量的关键构件,其结构形状、尺寸参数的设计直接影响能量的传递效率及球体冲击器的整体性能。设球体冲击器的环形通道横截面直径为 d_k ,它略大于钢球的直径 d_m , $d_k = d_m + \delta$, δ 的值取决于冲洗介质的粘度。把上帽 3 的环形通道设计成半径为 d_k 的半圆,而把铁砧部分的环形通道设计成左右不对称的 4 段式结构(图 2):

A——位于上升导管 6 下端的半径为 d_k 的 1/4 圆环;

B——位于下降导管 7 下端的半径为 r_k 的 1/4 圆环;

C——连接 A 段圆环和 B 段圆环的直线段,与水平线之间的夹角为 $2^\circ \sim 3^\circ$;

D——连接下降导管 7 与 B 段圆环的直线段。

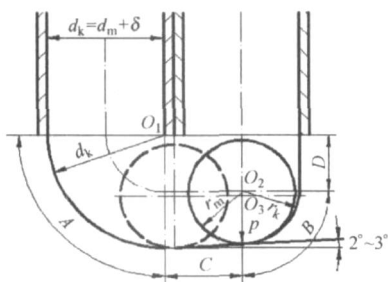


图 2 铁砧纵剖面结构图

虽然铁砧的 4 段式结构加工更复杂,但钢球的

冲击能量可最大限度地通过铁砧传递给下部钻具。因为钢球的撞击点基本位于弧 B 与直线段 C 的连接处,使钢球的绝大部分撞击力沿竖直方向传递,有利于钻头破碎岩石。而且直线段 C 与水平方向的夹角很小,仅为 $2^\circ \sim 3^\circ$;由此产生的小水平分力有利于保证钢球运行的连续性。如果铁砧的纵剖面设计成左右对称的形式,则有很大一部分冲击能以水平分量的形式浪费了,且会引起钻具横向振动的负面效果。

从球体冲击器的工作原理可以看出:供给球体冲击器的风量越大,球体冲击器的工作频率就越高,同时冲击能量也就越大;孔内水量越大,所需的风量、风压也就越高;保证钻杆接头的可靠密封,防止压缩空气泄漏,是用好球体冲击器的重要条件。^{[4][5]}

3 球体冲击器在回转冲击钻进中的应用研究

3.1 球体冲击器实现回转冲击钻进的试验研究

首先在实验室对 $\Phi 168\text{mm}$ 的球体冲击器进行了台架试验。为便于对比,分别用普通 K172M 硬质合金钻头、K172M 钻头 + 球体冲击器在混凝土块上(可钻性 VI~VII 级)试钻(结果见表 1),室内试验表明,冲击频率是决定回转冲击钻进效率的重要指标,可使平均钻速提高 39%。然后,在某矿区进行了普通 $\Phi 112$ 硬质合金肋骨钻头 + $\Phi 108$ 球体冲击器的生产试验。结果表明,在可钻性 IV~V 级的岩石中机械钻速达 7.8m/h ,与同矿区未加球体冲击器的普通 $\Phi 112\text{mm}$ 硬质合金肋骨钻头相比机械钻速增长了 46%。而且由于在钻进的同时叠加了冲击振动,可有效防止岩芯自卡,从而保证了岩芯采取率达 100%。

在不同的风压 P 、风量 Q 条件下,测得球体冲击器的冲击频率 f 见表 2。必须指出,由于压缩空气具有很大的可压缩性,压力不同,其体积流量也就不同。所以应先算出流过的压缩空气质量,再根据温度和压力来换算出相应的体积流量。可根据下式来计算流过的压缩空气质量:^[5]

$$A = \frac{Q \cdot 95m}{x P_1 \Phi (P_2 / P_1)} \quad (1)$$

式中: A —供气管截面积; m —流过节流通道的空气质量; x —系数 F , $x = \left[\frac{2gk}{(k-1)RT} \right]^{0.5}$; $K=1.4$ —等熵指数; R —通用气体常数; T —温度; P_1 —节流通道前的压力; P_2 —节流通道后的压力。

表 1 球体冲击器试验效果

工具类型	进尺 (cm)	钻进时间 (s)	机械钻速 (m/h)	钻速增量 (%)	岩芯采取率 (%)
普通 K72M钻头	10	55	6.54	—	100
K72M钻头 + 球体冲击器	10	37	9.72	+49	100
K72M钻头 + 球体冲击器	15	62	8.7	+33	100
球体冲击器合计	25	99	9.09	+39	100

表 2 球体冲击器工作过程的参数测试结果

供气管直径 D (mm)	风量 Q (m³/min)	风压 P (10⁻¹MPa)	冲击频率 f (s⁻¹)
10.0	0.54	2.5	4.2
	0.31	1.5	2.0
	1.91	0.8	1.6
15.3	1.25	2.5	4.6
	0.73	1.5	2.5
	0.82	0.8	1.9
20.0	3.27	2.5	5.0
	2.14	1.5	2.6
	1.24	0.8	2.0
26.7	5.83	2.5	5.1
	3.81	1.5	2.8
	2.21	0.8	2.2
28	6.41	2.5	5.3
	4.19	1.5	3.0
	2.43	0.8	2.3

不同通道直径 D 条件下,风压 P 对球体冲击器冲击频率的影响如图 3 所示。

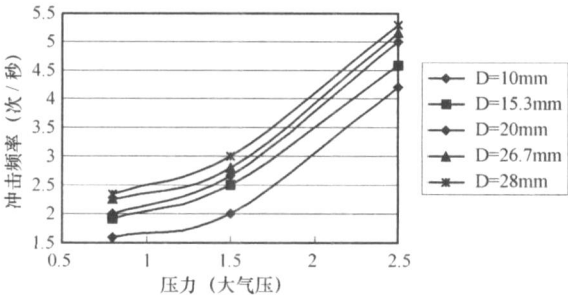


图 3 不同通道直径 D 条件下,压力 P 对冲击频率 f 的影响

3.2 球体冲击器频率与压缩空气参数之间的相关关系

球体冲击器的工作过程取决于一系列随机因素,其中有些影响是无法进行理论计算的。由于球体冲击器的冲击频率对钻进效果的影响至关重要,因此,我们可借助数理统计方法通过实验设计来寻找冲击频率 f 与压缩空气的流量 Q 及压力 P 之间的关系: $f = f(P, Q)$ 。

设冲击频率 f 与压缩空气的流量 Q 、压力 P 之间存在着下述关系:

$$f = a + b_1 P + b_2 Q \tag{2}$$

式中: a —常数项, b_1 、 b_2 —分别是 f 对 P 和 Q 的偏回归系数,可根据最小二乘法原理求出 a 和 b_1 、 b_2 。

由于事先并不知道冲击频率 f 与 Q 、 P 之间是否真正存在着线性关系。因此,在获得了最小二乘估计之后,需要进一步检验回归方程的显著性,这就是数理统计中的 F 检验。若算得的 F 值大于查表值 $F_{\alpha, (2, n-3)}$ 的值 (取 $\alpha = 0.05$), 则说明回归方程 (2) 是高度显著性的。

为了建立冲击频率 f 与 Q 、 P 之间的关系,表 3 中给出了试验时主要参数的变化范围。根据测得的球体冲击器工作过程参数,用二元线性回归分析计算出的球体冲击器冲击频率的经验公式为:

表 3 风压 P 与风量 Q 的变化范围

参数	变化范围
压缩空气压力 $P/10^{-1}\text{MPa}$	0.8~2.5
压缩空气流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	0.3~6.4

$$f = 0.335 + 0.19Q + 1.46P \tag{3}$$

算得 (3) 式的相关系数 $R = 0.97$, F 检验值 = 95.5, 查 F 分布表可得 $F_{0.05, (2, n-3)} = 3.81$, 因为 $F > F_{0.05, (2, n-3)}$, 表明我们建立的冲击频率数学模型是高度显著的。

把实验测得的数据与按回归方程 (3) 式算出的结果一并显示于图 4, 可见计算值与实验值吻合得很好。

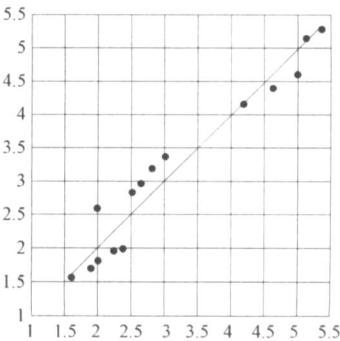


图 4 实验数据与计算值对比曲线图
(注: 图中散点为实测值, 直线为经验公式计算值)

4 结论

4.1 台架试验和初步野外试验表明,结构简单的球体冲击器与野外队广泛使用的钻机、压风机、普通硬质合金钻头搭配,表现出稳定的工作状态。对于大量遇到的中软-中硬岩石采用普通硬质合金钻头+球体冲击器进行回转冲击钻进,可大幅度提高机械钻速,保证岩芯采取率并降低成本。

4.2 采用球体冲击器不会影响正常的钻进工艺过程。钻压、转速仍可通过地表钻机来调整。球体冲击器的冲击频率和冲击功则可通过改变压缩空气的压力和流量来控制。供给的风量越大,则球体冲击铁砧的频率越高,冲击能量越大,破碎岩石的效果也越好。

4.3 借助数理统计方法建立了球体冲击器冲击频率与风压、风量之间高度显著的相关关系式,对实验数据和利用所建关系式计算结果进行了比较,

得出两者吻合程度很好的结论。该关系式可用于回转冲击钻进重要参数的预报和控制。

4.4 本文提出的球体冲击器是一种适用于中软-中硬岩石回转冲击钻进的新型高效技术手段,台架试验和初步野外试验表明它具有很好的推广前景。

[参考文献]

- [1] 鄢泰宁主编. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2001.
- [2] 王人杰等. 液动冲击回转钻探[J]. 北京:地质出版社, 1988.
- [3] И. С. Афанасьев, Г. А. Блинов, П. П. Поромарев и др., Справочник по бурению геологоразведочных скважин[M]. Санкт-Петербург: НЕДР, 2000.
- [4] 菅志军, 张祖培, 戴树林, 等. 泡沫潜孔锤在水文水井钻探中的应用前景[J]. 地质与勘探, 2001, 37(5): 77-78.
- [5] 菅志军, 张玉霖, 王茂森, 等. 冲击旋转钻进技术新发展[J]. 地质与勘探, 2003, 39(7): 78-83.

STEEL BALL PERCUSSION DEVICE AND ITS APPLICATION

YAN Tai - ning , WU Xiang, LU Chun - hua

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract: Problems of drilling middle soft to middle hard rock formation with hard alloy rotary percussion drilling have been put forward. Effects of outdoor and indoor rotary percussion drilling tests on steel ball percussion device with obviously improved penetration rate has been introduced, based on dissertating structure and working principle of steel ball percussion device. Correlation between blow frequency and air pressure, air quantity has been set up, using method of mathematical statistics, which can be used to forecast and control blow frequency and other important technological parameters. It is indicated that steel ball percussion device has a good generation prospect.

Key words: steel ball percussion device, rotary percussion drilling, blow frequency, regression equation