

高预应力气动锚杆钻机

张宏财 冯帆 谷志强 周茂普

冀凯河北机电科技有限公司

摘要

为提高煤矿井下锚杆(索)螺母安装效率,降低操作者劳动强度,满足螺母安装转矩 $550\text{ N}\cdot\text{m}$ 的要求,以提升锚杆支护的锚护效率为背景,通过研究现有高效预紧工艺——转矩倍增器或气动扳手二次预紧机具,针对现有工艺流程繁琐、效率低、劳动强度大、安全性差的现象,结合当前螺母预紧机具“反作用力”造成的冲击危害,在总结了通过增大锚杆预紧转矩、降低螺母与托盘间的摩擦和对锚杆施加张拉力3种方式来提高螺母预紧力的基础上,基于气动扳手在回转冲击状态下的运行规律,提出了冲击增扭装置、回转+冲击一体机构、高强度冲击块材料等相关技术及装置,研发出1款集钻孔、搅拌、预紧于一体的高预应力气动锚杆钻机,实现根据实际工况实现转矩自动切换,满足煤矿井下钻孔和高预紧转矩 $550\text{ N}\cdot\text{m}$ 的要求。现场工业性试验表明:高预应力气动锚杆钻机,集成化程度高,一机多用,解决了锚杆支护过程中,需交替更换预紧设备来保证锚杆(索)螺母预紧力的问题,缩短支护时间,优化支护工艺,为下一步支护机具的发展提供了技术支持。

关键词: 高预紧力; 螺母安装; 冲击增扭; 气动锚杆钻机

巷道支护是煤矿安全生产的重要保证,我国煤矿以井工开采为主,需要在井下开掘大量巷道,而且80%以上的煤巷、半煤岩巷、或为松软破碎围岩,或为遇水软化膨胀围岩巷。确保巷道的安全、快速掘进,确保巷道使用期间的畅通、与围岩稳定,确保巷道的支护与维护成本较低等,是建设安全高效矿井的一项重要工作,它关系到工人人身安全及经济效益,具有重要意义^[1]。

随着煤矿开采深度的增加,地温、地压等各类问题逐渐凸显出来,开采深度越大矿山压力越大,传统的U型钢支架、钢梯支护等被动支护方式在深部整体支护效果差,往往短期内巷道变形严重,已逐渐达不到有效控制围岩变形的需要。需要高强支护,提高锚杆预紧力,确保高强锚杆整体支护系统

稳定的关键^[2]。

预紧力是锚杆支护中的重要参数,预紧力在锚杆支护中所起的关键作用是近年来才逐渐被认识并得到重视。在锚杆预紧力施加技术及装置方面,目前主要采用3种方法来提高锚杆预紧力,分别是:增大锚杆预紧转矩、降低螺母与托盘间的摩擦和对锚杆施加张拉力进行预紧^[3]。

目前,直接有效的方式就是增大锚杆预紧转矩,提高锚杆预紧力的技术措施是通过提高螺母安装转矩来实现,而提高螺母安装转矩的方法主要是采用高效预紧机具来完成。螺母安装转矩是由锚杆安装机具的输出转矩决定的,是影响锚杆预紧力的关键因素。

岳峰^[4]则发明了一种锚杆预紧器;雷进等^[5]发明了

作者简介:张宏财(1986—),男,河北邢台人,高级工程师,现任冀凯河北机电科技有限公司研发中心主任。E-mail:jk_zhjss@163.com
通讯作者:冯帆(1988—),男,河北石家庄人,高级工程师,现任冀凯河北机电科技有限公司董事长。E-mail:fengf@jikaigf.com

一种锚杆预紧安装器；许兴亮，等^[6]研发了一种锚杆预紧力的方法及装置。采用锚杆张拉器能够获得比较大的、确定的预紧力值，但是，锚杆张拉器存在明显的缺点：①是增加了锚杆安装设备，②是增加了锚杆张拉工序，而且该工序比较耗时、耗力，影响进度^[7]。

虽然煤矿工作者通过多年的努力在锚杆预紧技术及装置的研究领域取得了较多成果，但锚杆预紧力的施加技术仍然存在一些问题。现有普通气动锚杆机的失速转矩仅为 $200\text{ N}\cdot\text{m}$ ，无法满足锚杆螺母高预紧转矩 $550\text{ N}\cdot\text{m}$ 的要求，需要交替更换设备借助转矩倍增器或气动扳手二次预紧，工艺繁琐，效率低，劳动强度大，安全性差^[8]，锚杆支护如图1所示。

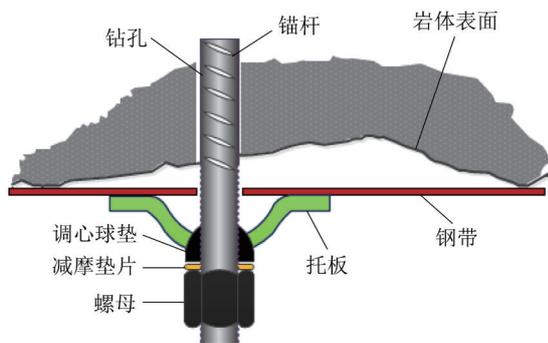


图1 锚杆支护示意

1 预紧机具现状及问题

提高锚杆螺母预紧转矩的3种方法：

1) 采用大转矩的锚杆钻机^[9]。采用大转矩的锚杆钻机，不仅提高锚杆预紧力矩，还能实现锚杆安装一体化，提高施工速度。国外普遍采用锚杆台车（图2）



图2 锚杆台车

或掘锚机组（图3），由于其顶推力和输出转矩很大，基本可以实现高预紧转矩，但体积大，中小断面巷道无法满足使用。

国内手持式气动锚杆钻机（如图4所示）输出失速转矩一般不大于 $200\text{ N}\cdot\text{m}$ ，转矩小，无法满足锚杆高预紧转矩的要求。



图3 掘锚机组



图4 单体气动锚杆钻机

2) 采用转矩倍增器（放大器，图5）。为了提高锚杆钻机的安装转矩，安装锚杆时在气动锚杆钻机上配合应用转矩放大器^[10]可以成倍增加锚杆螺母的预紧转矩。采用转矩倍增器有2个缺点：①由于转矩倍增器存在反转矩问题，施工时，工人需先将钎杆插入锚网中，卡住转矩倍增器反力臂，克服反转矩，劳动强度大，往往有时卡不住，存在反冲击危害，安全性差；②需要单独增加安装转矩倍增器^[11]，初次预紧后，需要加装转矩倍增器进行二次预紧，工序繁琐，锚护效率低。



图5 转矩倍增器

3) 采用转矩扳手。目前煤矿采用较多的是气动扳手（图6）^[12]，气动扳手同样存在2个缺点：①国产转矩扳手笨重，不方便工人施工。尤其是对有顶板锚杆预紧转矩的施工，工人劳动强度大；②需要单独更换气动扳手进行拧螺母作业，设备交替使用繁琐，一定程度上影响了掘进速度。



图6 气动扳手

综上所述，为了解决支护过程中，气动锚杆钻机无法提供螺母的高预紧力，需交替更换预紧设备的问题，优化支护工艺，缩短支护时间，实现巷道快速掘

进,降低劳动强度。通过设备升级,一机多用,为了实现机械集成化,完成及时、主动、高预应力的锚杆支护目标,高预应力气动锚杆钻机应运而生。

2 高预应力气动锚杆钻机整体结构

现在煤矿普遍使用气动锚杆钻机进行支护作业,气动锚杆钻机有体积小、质量小、操作简单、方便等多个优点,已广泛应用,且安全可靠、维修方便。所以在现有气动锚杆钻机基础上进行附加功能研究,具有较大优势。

为满足螺母高预紧力要求,需在气动锚杆钻机中通过配置减速比将转矩达到高预紧力 $550\text{ N}\cdot\text{m}$ 要求,但在上螺母时反转矩很大,根本无法克服,且整机变重,增加工人劳动强度。

在充分调研,研究分析后,以气动锚杆钻机为基本型,取气动锚杆钻机钻孔功能结构,增加冲击增扭装置^[13],使气动锚杆钻机具有自动切换转矩功能,满足螺母高预紧力 $550\text{ N}\cdot\text{m}$ 要求,实现真正意义上集钻孔、搅拌、预紧于一体的高预应力气动锚杆钻机。

高预应力气动锚杆钻机由支腿、操作臂、回转器3大部分组成(图7),支腿提供进给力,操作臂为控制机构,控制支腿升降、回转器马达回转、冲击机构冲击、冷却水开合。回转器为动力输出机构,分别输出钻孔转矩和冲击转矩。高预应力气动锚杆钻机参数如下:

额定气压/MPa	0.5
工作气压范围/MPa	0.4~0.6
额定功率/(kW·h)	3.5 k
额定转速/(r·min ⁻¹)	240
额定转矩/(N·m)	130
失速转矩/(N·m)	195
最大输出转矩/(N·m)	550
噪声/dB	85
耗气量/(m ³ ·min ⁻¹)	4.5
最大顶力/kN	8.6
最小顶力/kN	5.28
整机质量/kg	52

3 回转器结构

回转器(图8)为大转矩锚杆钻机核心部件,主要由减速箱壳体、马达壳体、钻套、套头、板轴、冲击块、限位销、托架、一级减速、二级减速、齿轮马达、消音器等组成,其中板轴冲击块、托架和冲击增扭装置如图9所示。

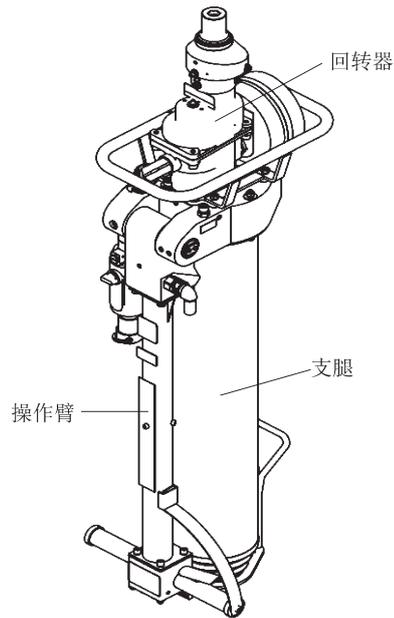


图7 高预应力气动锚杆钻机

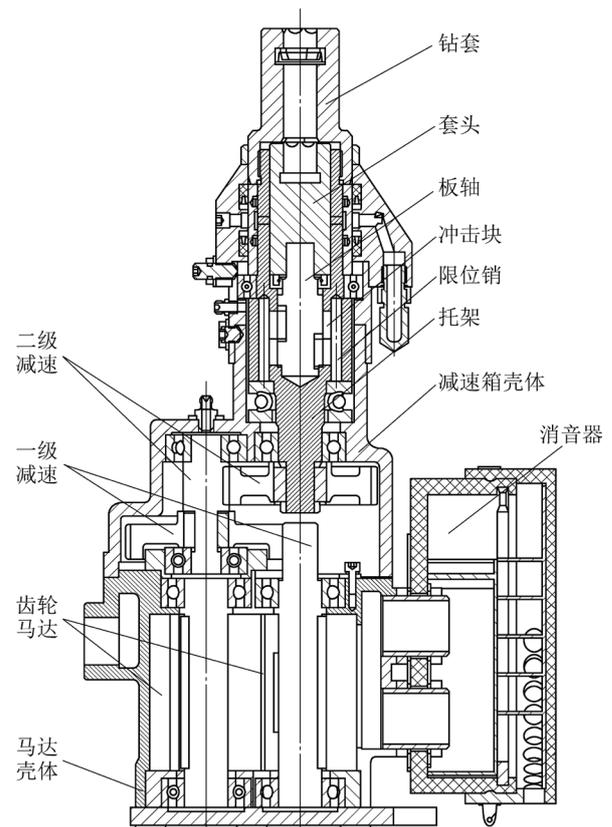


图8 回转器结构

4 回转器设计原理

回转器工作原理:当钻孔作业时,将钎杆插入钻套中,控制操作臂马达阀开关,由压缩空气带动齿轮马达进行旋转,然后经一级减速、二级减速,带动托架、板轴、钻套进行旋转,进行带动钻头进行切削钻孔作业;当钻孔阻力大于冲击增扭装置阻力矩时,此

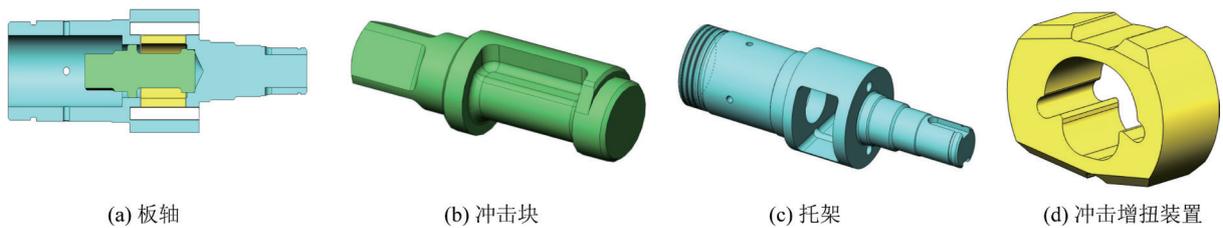


图9 回转器部分部件

时会启动冲击增扭装置，实现自动转矩转换^[14]，提高钻孔效率。

当拧螺母作业时，起初，当螺母未贴紧托盘时阻力矩很小，板轴和托架一起旋转，此时冲击结构为空载状态，当螺母与托盘贴紧后，螺母和托盘之间会产生一个旋转方向相反的摩擦力矩，此时螺母不再有较大的角位移，板轴可近似认为固定不动，板轴所受的阻力矩迅速增大，冲击块对板轴的不断冲击，使板轴产生一次次的角位移，直至螺母被完全拧紧。

输出转矩的稳定性、可靠性是制约高预应力气动锚杆钻机使用寿命的关键因素，而影响高预应力气动锚杆钻机输出转矩的主要因素如下：气动马达的功率；托架、冲击块和板轴的总质量；冲击块的材料。

气动马达的功率取常规锚杆钻机功率，同时排除托架和板轴的影响，所以影响输出转矩及寿命的因素为冲击块，而冲击块的材料、性能是研究的重点。

冲击块受力如图10所示。冲击块与板轴冲击时，冲击块上的圆弧 AB 与板轴的凸面相切，切点为 T ， T 点也称为冲击点，板轴对冲击块的反作用力 F 通过 T 点，沿着板轴的凸面的法线方向指向冲击块； F_1 和 F_2 分别为2个限位销对冲击块的支反力； R_c 为以 O 点为圆心过 T 点的圆的半径，也称冲击半径。

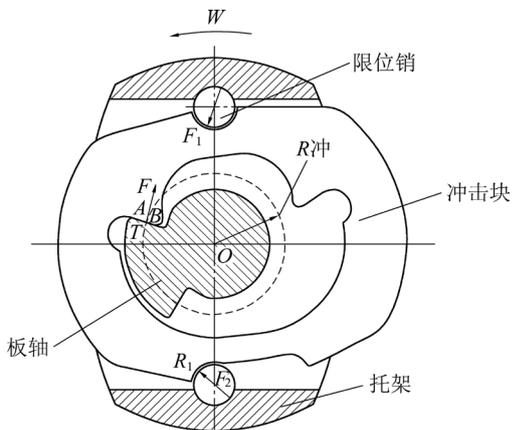


图10 冲击块受力示意

冲击块由于形状复杂，同时由于制造误差，测绘误差，初始设计的冲击块形状与原设计相差较大，如果直接用初始设计的冲击块，会导致大转矩锚杆钻机输出转矩不足，冲击块的局部位置应力大，易失效（图11）。

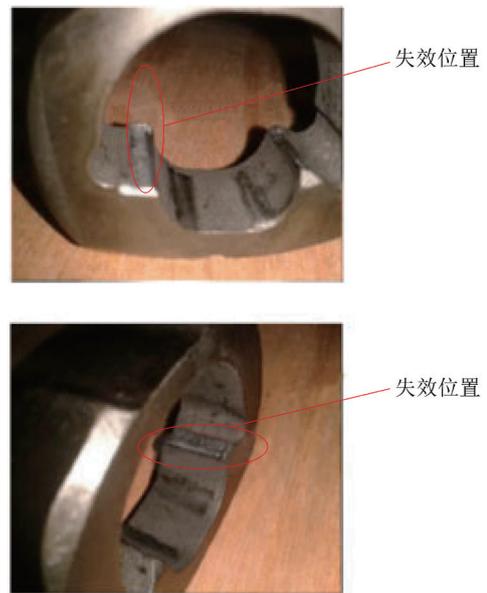


图11 冲击块失效位置

大转矩的输出转矩 $M=2FR_c$ （2个冲击块）。可以发现， R_c 增大，输出转矩也增大， R_c 与冲击腔形状有关（目前取23 mm； F 与气动锚杆钻机的功率以及冲击装置的质量有关。

根据 $M=2FR_c$ （2个冲击块）得： $F=11\ 956\text{ N}$ 。

根据冲击工况选用20CrMnTi和20Cr2Ni4A两种材质进行分析，经有限元分析得到2种材料的冲击块应力云图，从20CrMnTi冲击块应力云图（图12）可以看出最大应力为475 MPa；从20Cr2Ni4A冲击块应力云图（图13）可以看出最大应力为447 MPa。相对于20CrMnTi冲击块应力下降了5.8%，根据分析结果选用20Cr2Ni4A材质的冲击块。

5 工业性试验结果分析

高预应力气动锚杆钻机并于2019年1月至3月

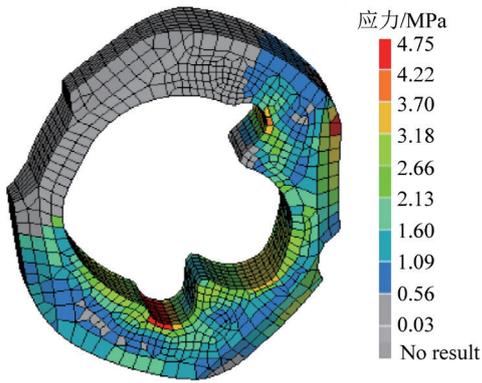


图12 20CrMnTi冲击块应力云图

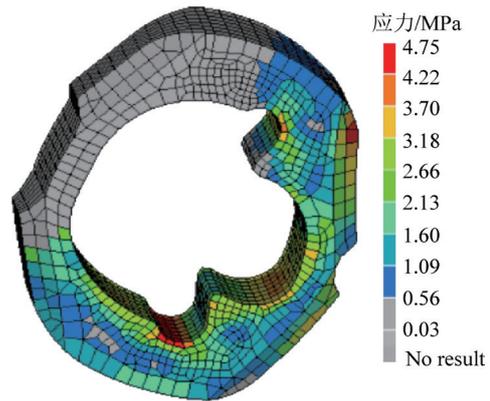


图13 20Cr2Ni4A冲击块应力云图

在窑街煤电金河煤矿和山西晋城太阳煤矿进行工业性试验, 锚杆直径 $\phi 22$ mm, 强力螺母M24, 顶板为破碎性顶板, 平均预紧螺母50次/d, 预紧时间9~11 s, 最大转矩560 N·m冲击块使用次数2500次, 工业性试验结果如下: 当冲击时间为9、10、11 s时, 转矩分别为550、555、560 N·m。平均转矩为555 N·m, 满足煤矿需求, 且性能稳定。

6 结论

1) 高预应力气动锚杆钻机是一款集钻孔、锚杆

安装、螺母大转矩预紧于一体的气动锚杆钻机, 操作简单方便, 无反作用力, 安全可靠。

2) 解决了支护过程中, 气动锚杆钻机无法提供螺母的高预紧力, 需交替更换预紧设备的问题, 支护效率提高50%。

3) 从使用情况分析, 一机多能, 优化支护工艺, 工艺简单, 降低了劳动强度。

■ 责任编辑: 赵 瑞



参考文献

- [1] 康天合. 锚杆支护理论与技术及安全问题 [D]. 太原: 太原理工大学, 2009.
- [2] 薛 刚, 杨发兵, 王 飞. 高强锚杆预紧力影响因素分析研究 [J]. 能源与环保, 2017,39(12):282-285.
- [3] 康红普, 姜铁明, 高富强. 预应力在锚杆支护中的作用 [J]. 煤炭学报, 2007,32(7):673-678.
- [4] 岳 峰. 锚杆预紧器. 中国, 200620123020[P].2007-12-05.
- [5] 雷 进, 田崇平. 锚杆预紧安装器. 中国, 00215529.X[P].2001-06-27.
- [6] 许兴亮, 张 农. 一种施加锚杆预紧力的方法及装置. 中国, 201310173331.0 [P]. 2013-08-14.
- [7] 孙雪峰. 提高锚杆预紧力技术及装置的研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2014.
- [8] 邓 乐, 毋 琳. 煤矿锚杆钻机的现状与发展方向 [J]. 中州煤炭, 1999,5:7-8.
- [9] 王 强, 吴拥政. 煤矿井下锚杆预紧力控制研究 [J]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011,39(1):29-32.
- [10] 范要辉. 锚杆钻机2.5倍扭矩放大器的研究与分析 [J]. 科技与企业, 2014(23): 156.
- [11] 孔 鹏, 王 坤. 扭矩倍增器传动效率与锚杆预紧扭矩关系的研究 [J]. 煤, 2018,27(12):13-15.
- [12] 杨德勇. 新型定扭矩气动扳手及其参数化CAD研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2002.
- [13] 谭 华, 胡广. 大扭矩冲击扳手冲击系统的优化研究 [J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2016, 29(3):40-42.
- [14] 赵振保. 新型变速变扭矩气动钻机的研制 [J]. 煤矿机械, 2008,29(12):111-113.