

一种改进型非开挖钻机回拉助力装置

林培, 徐松, 牛民

(无锡市钻通工程机械有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要:助力装置是非开挖钻机上选配的辅助装置中非常重要的装置,有时直接决定着非开挖工程的成败。分析现有的主流马达助力装置的不足,设计了一种油缸助力装置。利用双自由度机构,实现在助力时齿形部件自动先啮合钻架齿条再达到油缸助力的目的,远程就能实现助力装置自动切换状态,减少人工,缩减成本。

关键词:助力装置;非开挖钻机;马达助力;油缸助力;双自由度机构

中图分类号:P634.3⁺1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)02-0068-05

An improved back pulling auxiliary device for trenchless drilling rig

LIN Pei, XU Song, NIU Min

(Wuxi Drillto Construction Machinery Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214000, China)

Abstract: The auxiliary back pulling device is a very important one among the optional auxiliary devices on the trenchless drilling rig, which directly determines the success of the trenchless project sometimes. Based on the analysis of the current mainstream motor-assisted device, a hydro-cylinder assisted device was designed. A two-degree-of-freedom mechanism is used to allow the tooth-shaped part automatically to engage the rack of the drill mast first and then the cylinder to provide assistance. Automatic switching can be realized remotely; thus reducing labor and costs.

Key words: power-auxiliary device; trenchless drilling rig; motor-assisted; cylinder-assisted; two-degree-of-freedom mechanism

1 问题的提出

随着煤改气的推进,非开挖铺管工程量剧增,非开挖钻机主流吨位(推拉力)由过去 25、33 t(250、330 kN),倾向于 40、55 t(400、550 kN),加装助力的要求也慢慢成为普遍要求。而现在市场对钻机的价格越来越敏感,这就需要寻求一种马达的替代方案来缩减钻机成本提高竞争力。

助力对于非开挖钻机主要是用在当拉管的过程中出现预料之外的状况,钻机提供的最大拉力已经拉不动地下管路,助力装置临时提供额外的拉力,帮助工程渡过难关。

目前主流的钻机给进回拉方式都采用维护更少、效率更高的高压马达带减速机推动给进架在钻架齿条上前后运动的方案,顺理成章的,现在主流的助力方案就是把马达减速机的数量加倍的方案^[1](见图 1)。成倍的马达提供推力,提供助力直接加倍。

分析已经成型的整机,发现这种助力装置有以下几点不足:

(1)4 个马达减速机组件对给进架上安装孔的位置精度要求较高,马达排量的差异和减速机齿轮啮合点位置的不对称导致输出力产生扭矩使整个给进架在钻架上左右摆动,加剧钻架导轨的磨损。

(2)需要额外的球阀和离合器组件。球阀切断助力马达的供油,在不使用助力的时候,助力马达会分流,必须屏蔽掉,来保证给进回拉正常的速度。马达减速机之间要增加离合器组件,使马达减速机脱离,防止给进架前后动的时候,减速机转动强制带动马达空转磨损马达配油盘,损坏高压马达。球阀和离合器要同时切换,遗忘掉任何一个都很容易造成马达磨损消耗,人工稍烦恼。

(3)高速比重载的减速机在体积不大时本就容易过载损坏,后期维护较多,拆装困难。

收稿日期:2019-12-19 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.02.011

作者简介:林培,男,汉族,1989 年生,助理工程师,机械设计制造及其自动化专业,主要从事非开挖设备设计制造方面的工作,江苏省无锡市滨湖区胡埭工业园北区天竹路 12 号,908640114@qq.com。

引用格式:林培,徐松,牛民.一种改进型非开挖钻机回拉助力装置[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):68-72,77.

LIN Pei, XU Song, NIU Min. An improved back pulling auxiliary device for trenchless drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):68-72,77.



图 1 用马达装置助力的给进架

Fig.1 Feeding frame powered by the motor device

(4) 马达助力装置的成本很高, 同样输出力的一组马达减速机至少是油缸组件的 10 倍。

针对马达减速机助力方案的不足, 我公司设计了一种简单的油缸方案(见图 2)^[2]。助力油缸直接替代了钻机动力头的滑竿, 固定在给进架上。齿形挡块卡在钻架齿条上作为定点, 油缸前滑动箱体顶住齿形挡块, 助力油缸伸出提供所需助力^[3]。这种方案基本保留了原部件的结构, 原机型基本不用调换部件就能安装, 但因为一次只能提供短距离的助力, 较长距离则要接续操作, 多次移动齿形挡块在钻架上的位置。助力过程免不了人工多次上上下下 1 m 多高的钻架, 操作比马达助力装置麻烦得多。齿形挡块为独立部件, 在不用助力的时候必须取走, 这期间还有遗失的可能。因此这种方案目前只在很少几种机型上应用, 远没有马达助力装置应用得多。

本文介绍的装置用油缸加简单的机构替代成倍



图 2 简单油缸助力装置

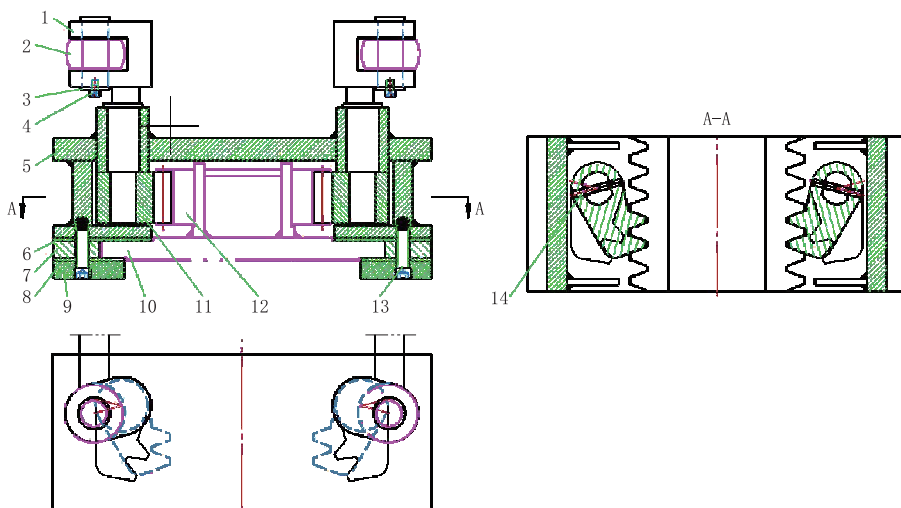
Fig.2 Simple hydraulic cylinder assisted device

的马达减速机方案, 保留了油缸方案的优势, 可以直接附加在原来没有助力的机型上。相对于马达助力装置, 减少大部分部件的同时, 增加钻架自动化程度, 提高钻机的可靠性和可维护性。

2 助力装置的方案

2.1 结构与原理

助力装置主要有两部分组成, 可以沿钻架导轨自由前后滑动的箱体组件和两侧能够摆动的齿形部件组成(如图 3 所示)。箱体下侧的夹板夹在钻架导轨的上下面, 通过调节夹板间距来调节箱体前后移动的难易程度。两侧的齿形部件在箱体上对称布置, 也对称于钻架的齿条, 使油缸助力时两侧对称出力。齿形部件摆动来使齿与钻架齿条啮合使滑动箱体卡在钻架的某一位置或者脱离啮合使滑动箱体自由滑动。给进架上的油缸推动卡住的齿形部件为给进架提供助力^[4]。



1—带 U 形孔传动轴; 2—油缸杆头; 3—油缸销轴; 4—销轴固定螺丝; 5—滑动箱体; 6—箱体上夹板; 7—箱体下隔板; 8—箱体下夹板; 9—箱体下压板; 10—钻架导轨; 11—齿形部件; 12—钻架齿条; 13—夹板调紧螺丝; 14—弹性销

图 3 助力装置结构示意图

Fig.3 Structure of hydraulic cylinder assisted device

2.1.1 助力装置与给进架整体结构分析

助力装置的运动简图^[5]如图4所示。

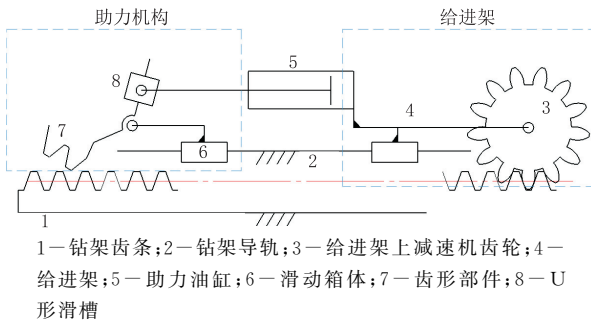


图4 油缸助力装置机构示意

Fig.4 Sketch of the hydraulic cylinder assisted device

油缸(5)杆体和齿形部件(7)通过一个U形孔相连,油缸(5)杆的直线伸出带动齿形部件(7)的摆动。油缸(5)缸体与给进架(4)相连,给进架(4)上自有的马达减速机齿轮(3)转动带动给进架(4)和油缸(5)前后移动。

该机构有8个部件,部件(1)和(2)为钻架上固定的齿条和导轨,活动部件数为6,有3个转动副,4个移动副,低副数为7,高副数为1。

故图4机构的自由度^[6]应为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 7 - 1 = 3$$

式中: n ——活动部件数目; P_L ——低副的数目; P_H ——高副的数目。

整个装置助力机构部分增加了2个自由度,一个是齿形部件(7)在箱体(6)自由摆动,一个是整个箱体(6)在导轨(2)上前后移动,通过控制箱体下侧夹板的松紧使箱体上的齿形部件优先摆动。

正常施工不用助力的时候,油缸(5)缩到底,齿形部件(7)脱离钻架齿条(1),使箱体(6)靠在给进架(4)上,部件(5)与(4)、(6)与(4)相贴合成1个部件,此时活动部件数为4,有3个转动副,2个移动副,5个低副,1个高副。

故此时机构的自由度应为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

助力装置整体随给进架前后移动。

紧急需要助力时,直接油缸(5)伸出,齿形部件(7)摆动,使齿形部件(7)先卡在钻架齿条(1)上。此时部件(6)、(7)、(8)与钻架(1)、(2)成固定部件,活动部件数为3,有1个转动副,2个移动副,3个低副,1个高副。

机构的自由度应为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

给进架齿轮的转动和助力装置油缸的伸出共同为回拉方向输出力,提供助力。

油缸(5)伸到行程位置回缩时,齿形部件(7)先脱离齿条(1),箱体(6)自由滑动,油缸(5)再拉动箱体(6)靠上给进架(4),结束一次助力过程。每次油缸伸缩,给进架都向后退一段距离。顺次伸缩油缸就实现了连续回拉助力。

2.1.2 助力齿形部件优先摆动的条件

对齿形部件受力分析如图5所示。

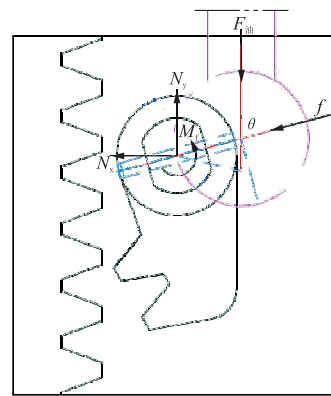


图5 对齿形部件受力分析

Fig.5 Force analysis of the gear parts

所受摩擦力 f 是油缸输出力在U形槽上正压力所产生的,故:

$$f = \mu_1 F_{\text{油}} \cos \theta$$

式中: μ_1 ——U形槽与油缸杆之间的摩擦系数,0.1~0.15^[7]; $F_{\text{油}}$ ——油缸输出力; θ ——油缸力与U形槽夹角。

油缸伸出时,助力箱体在摩擦力的作用下保持不动,箱体上下夹板的夹紧力 N 产生摩擦力,又由于对称布置,箱体对齿形部件 y 向作用力 N_y 为:

$$N_y = \mu_2 N / 2$$

式中: N ——箱体对钻架导轨的夹紧力; μ_2 ——箱体与钻架导轨之间的摩擦系数,0.1~0.15。

假设齿形部件与箱体的上接触环面磨合接触,总摩擦力矩^[8] M_f 为上端面因自重产生的摩擦阻力矩和径向力产生的摩擦阻力矩之和^[9]:

$$M_f = \mu_3 P \frac{D+d}{4} + \mu_v f \frac{d}{2} = \mu_3 P \frac{D+d}{4} + \mu_v \mu_1 F_{\text{油}} \cos \theta \frac{d}{2}$$

式中: μ_3 ——齿形部件与箱体上接触面之间的摩擦系数,0.1~0.15; P ——齿形部件的自重; D 、 d ——齿形部件与箱体上接触环形面的大小径; μ_v ——当

量摩擦系数^[10], $\mu_v = (1 \sim \pi/2)\mu_3$ 。

齿形部件在竖直方向上的合力 $F_{齿y}$ 与所受扭矩 $M_{齿}$:

$$F_{齿y} = f \cos\theta - N_y = \mu_1 F_{油} \cos^2\theta - \mu_2 N / 2$$

$$M_{齿} = F_{油} r - M_f \approx (F_{油} - \mu_3 P) r$$

式中: r ——齿形部件回转中心与油缸轴线的中心距, $r \approx (D+d)/4$ 。

因摩擦系数小可忽略含 $\mu_v \mu_1$ 项, 只需要 $F_{油} > \mu_3 P$, 即油缸输出力超过齿形部件自重产生的摩擦力, 就可以保证 $M_{齿} > 0$ ^[11], 使齿形部件摆动。调节夹紧力 N , 尽力减小齿形部件与箱体上接触面之间的摩擦, 加大箱体与钻架导轨之间的摩擦, 使得 $F_{齿y} \leq 0$ 的同时 $M_{齿} > 0$, 达到齿形部件优先转动的目的。

2.1.3 助力齿形部件顺利啮合论证

齿轮能正确啮合的条件是两轮的模数和压力角应分别相等。钻机钻架上使用的是标准模数的齿条, 齿形部件采用相同的齿形, 只要运动过程中不产生干涉就能够顺利啮合。

利用 SolidWorks 的 Motion 对齿形部件与齿条啮合进行运动分析^[12], 检查两齿形部件的干涉情况。如图 6 所示, 约束设为固定齿形部件, 顶点 A 在下齿面上, 齿形部件回转轴心与齿条底面的距离和齿条与齿形部件侧面共面。顶点 A 在齿条上的运动轨迹为曲线 L1, 以此设置直线马达。齿条上的两顶点 B 和 C 在齿形部件上形成的轨迹为曲线 L2 和曲线 L3。

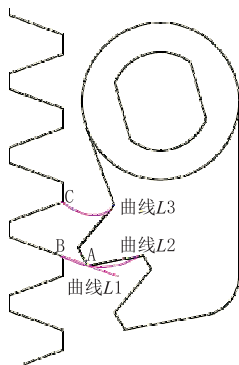


图 6 对齿形部件啮合干涉分析

Fig.6 Analysis for engagement interference of the pin and rack

运动轨迹 L3 始终在齿形部件外侧, 与齿形部件齿面有唯一交点。这说明当齿形部件沿下齿面滑动时, 齿条顶点 C 始终远离齿形部件的齿面, 没有发生干涉, 只有在啮合到位时顶点 C 与齿形部件齿面接触。

油缸伸出时, 会遇到如图 7(a) 齿顶住齿条, 油缸推动箱体下移, 齿形部件的优先摆动使顶点 C 与齿形部件一直接触, 如图 7(b) 所示。顶点 A 相对于齿条还要助力箱体相对下移才会接触到齿条下齿面, 达到曲线 L1 的位置, 此时必定不会有干涉, 油缸可以推动箱体移动顺利完成啮合。油缸回缩时, 齿形部件优先摆动, 如图 7(c) 所示, 顶点 A 在齿面上滑动, 没有干涉产生, 如图 7(d) 所示, 可以顺利脱离啮合。

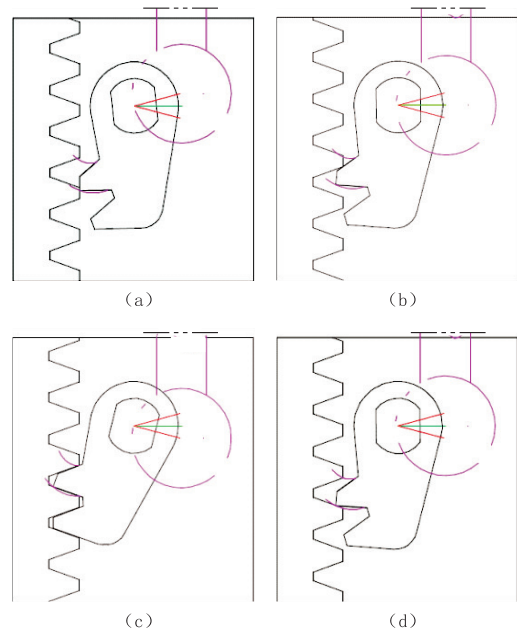


图 7 齿形部件与齿条啮合情况

Fig.7 Engagement of the pin and rack

2.2 油缸助力的液压油路

钻机的变排量给进马达由开式变量泵和比例阀配合供油, 给进马达的 3 个油口 AB 口控制马达旋向, 控制给进架给进回拉方向, 还有一个卸油口直联油箱^[13]。油缸助力的单向施力的特性就使油缸不能让给进架前进的时候油缸伸出, 卡住给进架前侧的助力箱体。使油缸通过两路四通阀由给进马达回拉时供油端供油^[14]。如图 8 所示。给进架前进时供油端低压, 即使误操作使换向阀通电^[15], 油缸也无法伸出, 确保施工安全。

3 装置优势

(1) 采用两自由度的机构解决了使用助力装置必须要人工操作的限制, 增加了钻机自动化程度。马达助力装置操作繁琐, 操作人员必须要先爬上钻架打开油路球阀和扳下离合器, 才能进行助力操作。

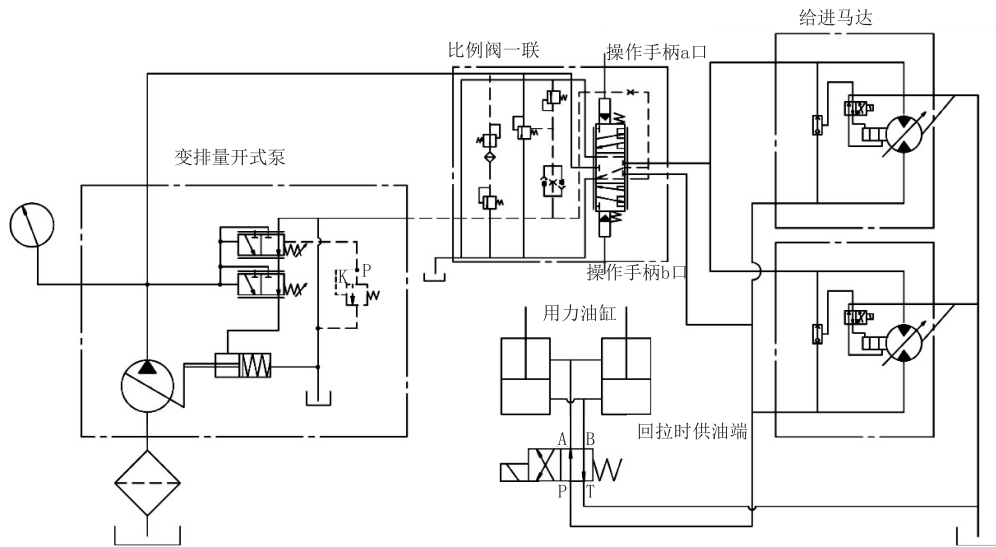


图8 钻机给进马达油路分支

Fig.8 Hydraulic circuit branch for the rig feed motor

用完之后,又必须断掉油路和离合,而且不能遗漏任何一个操作,没断掉油或者离合脱离都会造成马达损坏。

(2)油缸装置的部件更简单,加工难度小。油缸装置都是小部件,加工简单,马达助力需要整个给进架加长,整体加工要求也更高。

(3)油缸故障率低,出现故障也很直观,而且油缸出现故障有一定的过程,不会猛然爆发,安全性有保证。根据售后的反馈,马达的损坏,很多都是成对损坏。马达的负载大,受到液压冲击,内部零件碎片会进入油路,损坏油路里其他马达和换向阀。而且马达的损坏不易察觉,就算只是单个马达正常工作也不会有明显的表现。

(4)装置成本低,而且可以作为附件,加装在旧机器上,不用太大的改动,容易普及。

(5)油缸安装拆卸简单,维修方便。油缸体积小,管料细且软,对拆装影响小。而马达装置不仅马达减速机拆卸需要吊装,油管也很硬很难弯曲,给装卸维修带来大麻烦。

(6)油缸助力提供的力量适度,不会太大导致钻架变形,避免钻机施工能力相互覆盖。

4 结语

本文提出的油缸助力装置简化了工人的操作,有效地提升了钻机整体的竞争力,也为助力装置的普及创造了可能。油缸助力装置用两自由度的机构通过调节阻力使其中一个运动优先的方式达到了功

能要求,对类似的需要助力的机构或者需要单方向随动的机构有一定的借鉴意义,为同行们提出了一个可行的设计方向。

参考文献(References):

- [1] 贾鹏翔.一种用于水平定向钻机的回拖增力系统:201420317637.9[P].2014-12-24.
JIA Pengxiang. Backwards-drawing reinforcement system used for horizontal directional drilling machine: 201420317637.9 [P]. 2014-12-24.
- [2] 深圳钻通.产品展示[EB/OL].<http://www.drillto.net/products-details.asp?typeID=543957395&id=91>.
Shenzhen Drillto. Product display [EB/OL]. <http://www.drillto.net/products-details.asp?typeID=543957395&id=91>.
- [3] 王晨,贾鹏翔,黄国福.一种非开挖铺管钻机的回拉助力机构:201620819848.1[P].2016-07-29.
WANG Chen, JIA Pengxiang, HUANG Guofu. Assist drive device that pulls back of non-excavation pipe laying rig: 201620819848.1[P]. 2016-07-29.
- [4] Neil Sclater. Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook [M]. Beijing: China Machine Press, 2007:347.
- [5] 郑文纬,吴克坚.机械原理(第七版)[M].北京:高等教育出版社,1997.
ZHENG Wenwei, WU Kejian. Mechanical principle (7th Edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 1997.
- [6] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2016.
CHENG Daxian. Handbook of mechanical design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.
- [7] 常用摩擦系数表[EB/OL].<https://wenku.baidu.com/view/b5caf0754b73f242326c5f10.html?from=search>.
Common friction coefficient table[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/b5caf0754b73f242326c5f10.html?from=search>.

(下转第77页)

- 展[J]. 建筑科学与工程学报, 2017, 34(6): 93-103.
YANG Shulan, LIU Weiqing, FANG Yuan. Research progress of characterization method of performance of fiber reinforced polymer[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2017, 34(6): 93-103.
- [5] 张汝光. 纤维增强复合材料性能[J]. 玻璃钢, 1998(2): 36-41.
ZHANG Ruguang. Properties of fiber reinforced composites[J]. Fiber Reinforced Plastics, 1998(2): 36-41.
- [6] 于爱民, 李趁趁, 高丹盈. 纤维增强聚合物基复合材料加固锈蚀钢筋混凝土圆柱轴心受压性能[J]. 复合材料学报, 2018, 35(5): 1315-1324.
YU Aimin, LI Chenchen, GAO Danying. Axial compressive behavior of corroded reinforced concrete columns strengthened by fiber reinforced polymer composite[J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 2018, 35(5): 1315-1324.
- [7] 宋敏. 冲击加载下钢筋混凝土梁的结构响应与数值模拟[D]. 太原: 太原理工大学, 2018: 67.
SONG Min. Structural response and numerical simulation of reinforced concrete beams under impact loading[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2018: 67.
- [8] 沈立娜, 阮海龙, 欧阳志勇, 等. 短碳纤维增强金刚石钻头铁基胎体性能的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(3): 77-79.
SHEN Lina, RUAN Hailong, OUYANG Zhiyong, et al. Study on iron-based matrix performance of short carbon fiber reinforced diamond bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(3): 77-79.
- [9] 马恺泽, 刘亮, 刘超, 等. 高强混合钢纤维混凝土的力学性能[J]. 建筑材料学报, 2017, 20(2): 261-265.
MA Kaize, LIU Liang, LIU Chao, et al. Mechanical properties of hybrid steel fiber reinforced high strength concrete[J]. Journal of Building Materials, 2017, 20(2): 261-265.
- [10] 王海涛, 王立成. 钢纤维高强轻骨料混凝土弯曲韧性与抗冲击性能[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(6): 1082-1086.
WANG Haitao, WANG Licheng. Flexural toughness and impact resistance of steel fiber reinforced high-strength lightweight aggregate concrete[J]. Journal of Building Materials, 2013, 16(6): 1082-1086.
- [11] 王栋材, 阎宝岐. 冲击韧性本质及形状尺寸因素的探讨[J]. 包钢科技, 1983(3): 56-64.
WANG Dongcai, YAN Baoqi. Discussion on the nature of impact toughness and shape size[J]. Science & Technology of Taotou Steel (Group) Corporation, 1983(3): 56-64.
- [12] 嵇醒. 断裂力学判据的评述[J]. 力学学报, 2016, 48(4): 741-753.
JI Xing. A critical review on criteria of fracture mechanics[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2016, 48(4): 741-753.
- [13] 杨仁树, 苏洪. 相互贯穿裂纹动态断裂的实验研究[J]. 振动与冲击, 2017, 36(13): 135-139.
YANG Renshu, SU Hong. Tests for dynamic fracture of interconnected cracks[J]. Journal of Vibration and Shock, 2017, 36(13): 135-139.
- [14] 范文捷, 刘芳. 界面结构对 PDC 抗冲击性能的影响[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2011, 31(4): 84-87.
FAN Wenjie, LIU Fang. Influence of the interface joint structure of PCD on its impact resistance[J]. Diamond and Abrasives Engineering, 2011, 31(4): 84-87.
- [15] 阎冠欣. 热压高磷铁基胎体性能及其金刚石钻头研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5): 75-77, 80.
YAN Guanxin. Study on the performance of hot pressed high phosphorus iron alloy matrix and the diamond bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(5): 75-77, 80.
- (编辑 王建华)
-
- (上接第 72 页)
- [8] 张元元. WT2 挖掘装置回转阻力矩的分析计算[J]. 南京建筑工程学院学报, 1996(3): 79-83.
ZHANG Yuanyuan. The analysis and calculation of gyroscopic moments for WT2 excavating mechanism[J]. Journal of Nanjing Architectural and Civil Engineering Institute, 1996(3): 79-83.
- [9] 余国城, 何西泠. 用压力叠加法求解回转支承装置的摩擦阻力矩[J]. 建筑机械, 1997(5): 20-22.
YU Guocheng, HE Xiling. Using the pressure superposition method to solve friction resistance moment of the slewing bearing device[J]. Construction Machinery, 1997(5): 20-22.
- [10] 张一同, 孙寿文. 径向轴颈当量摩擦系数的计算[J]. 黑龙江商学院学报, 1987(2): 63-67.
ZHANG Yitong, SUN Shouwen. Calculation of equivalent friction coefficient of the radial journal[J]. Journal of Heilongjiang Commercial University, 1987(2): 63-67.
- [11] 金尚年, 马永利. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
JIN Shangnian, MA Yongli. Theoretical mechanics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [12] 姜岳键. 基于 SolidWorks Motion 运动仿真跟踪路径的应用[J]. 机械研究与应用, 2014(2): 187-188.
JIANG Yuejian. Application of tracking path of Motion simulation based on SolidWorks[J]. Mechanical Research & Application, 2014(2): 187-188.
- [13] 冯德强. 钻机设计[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 10.
FENG Deqiang. Drilling rig design[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993: 10.
- [14] 杨曙东, 何存兴. 液压传动与气压传动[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2014: 187.
YANG Shudong, HE Cunxing. Hydraulic transmission and pneumatic transmission[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2014: 187.
- [15] 张春林. 机械创新设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
ZHANG Chunlin. Machine innovative design[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- (编辑 王建华)