

# 钻杆自动传送装置的设计研究

康维维, 刘宝林, 胡远彪, 薛启龙, 庞天舒

(中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

**摘要:**综述了钻杆自动化操作技术的研究现状。鉴于目前钻杆库容量小、稳定性差、排放效率低等缺点,提出了一种钻杆操作新方案——通过分隔板将钻杆逐层密排无间隙式存放。该方案包括钻杆排放及钻杆传送分拣装置,就钻杆传送部分,设计了 2 种自动化传送方案,即倾斜滚动传送方案和 V 形槽传送分拣方案;综合比较了 2 种方案的优缺点,选择了 V 形槽传送分拣装置为研究方向;基于实际项目参数,重点对传送过程钻杆的轴向精度误差做了 adams 动力学仿真分析,验证了所设计方案的合理性。

**关键词:**钻探;钻杆自动传送;钻杆自动排放;自动化;仿真分析

**中图分类号:**P634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)08-0044-04

**Design and Research of Pipe Intelligent Automatic Arranging System/KANG Wei-wei, LIU Bao-lin, HU Yuan-biao, XUE Qi-long, PANG Tian-shu** (School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper reviewed the research status of pipe automatic arranging system. In view of small capacity, poor stability and low placing efficiency of the drill pipe storage, a pipe arranging scheme was presented, pipes are arranged layer by layer separated by separator-plate with no gap. The scheme includes drill pipe conveying and sorting devices. Two automatic pipe conveying methods of inclined rolling conveyor and V-shaped groove conveying and sorting were designed. By the comparison of the advantages and disadvantages of these two options, V-shaped groove conveying and sorting device was selected to be the research direction. Based on the actual project parameters, the Adams dynamic simulation analysis was made on the precision error of the drill pipe in the conveying process, the rationality of the design was verified.

**Key words:** drilling; pipe automatic conveying; pipe automatic arranging; automation; simulation analysis

## 0 引言

在地质钻探过程中,钻杆的夹持、提放、搬运以及钻杆间的对接、拧卸都是劳动强度很大的操作,而传统的钻杆操作作业增大了工人的劳动强度,并占据了大量的时间,同时还对工人的生命安全造成威胁。随着科技的飞速发展,机械自动智能化终将应用于地质钻探中,以减轻工人的劳动强度、提高钻探效率、降低工人安全风险,因此自动智能钻杆传送移摆系统成为新的研究领域<sup>[1]</sup>。

目前,国内还没有一套完整的全自动化钻杆传送移摆设备应用于生产中,仍处于需要人工参与的半自动化操作状态<sup>[2-3]</sup>。而在国外,已经有一些全自动化装备应用在实际现场,如 LAIBE CORP 公司的 rod loader,然而其钻杆库存量小,因而工作效率不高,仅局限于浅孔钻探。为了能够满足深孔钻探时钻杆数

量大的特点,工程技术研究人员主要从 2 个方面来研究自动化传送移摆系统:一是钻杆移摆<sup>[4]</sup>系统部分,能够实现抓取、提放、搬运钻杆,并具有对钻杆位置实现竖直方向-水平方向相互转换的功能;二是在钻杆库上下功夫,设计一套兼有存放-排放钻杆功能的钻杆排放系统<sup>[5]</sup>,又称自动排管机,本文针对钻杆排放系统的传送装置部分进行探究设计。

钻杆自动智能操作系统,旨在将钻杆在井口与钻杆存放架之间逐根运移自动化<sup>[6]</sup>。其主要组成有钻杆排放机构、钻杆传送机构、移摆操纵机构。

## 1 传送系统方案设计

### 1.1 排放、传送系统概述

为了能满足钻杆库存量大、存放稳定性高等特点,笔者将通过分隔板将钻杆逐层密排无间隙式存

收稿日期:2015-12-21; 修回日期:2016-06-01

基金项目:国家 863 计划课题“自动化智能化岩心钻探技术与设备研制”(编号:2014AA06A614)

作者简介:康维维,男,汉族,1989 年生,在读硕士研究生,机械设计制造及其自动化专业,从事自动化钻机装备的设计与研究,北京市海淀区学院路 29 号,1036391645@qq.com;刘宝林,男,汉族,1959 年生,教授,博士生导师,国土资源部深部地质钻探技术重点实验室主任,主要研究方向为钻探技术、钻探工具等。

放。图 1 为钻杆传送的总体结构示意图。钻杆由隔板分层间隔,密排无间隙地存放在钻杆库中。下钻时,升降丝杆末端与最高层钻杆水平位置对齐,排放拨杆将库中钻杆 7 逐根逐层地排放至钻杆库左端,传送架 3 将其传送至待抓位置(传送装置最外端的 V 形槽),自动化移摆机构每次从固定的位置抓取待抓钻杆,移送至井口;起钻时,反之。

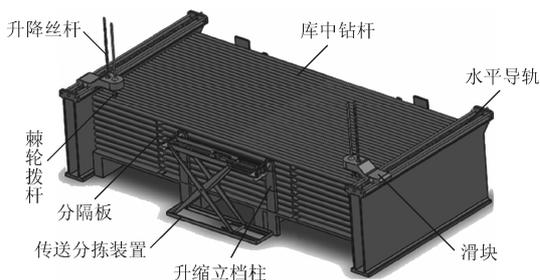


图 1 钻杆排放、传送的结构示意图

### 1.2 设计参数

- 钻杆规格:地质岩心钻杆  $\varnothing 89\text{ mm}$
- 立根长度:6 m
- 立根质量: $35\text{ kg} \times 2$ (2 根单根的质量)
- 每层钻杆数量:30 根
- 钻杆层数:8
- 钻杆层的位置高度:50 ~ 1200 mm

### 1.3 方案设计

在满足自动化传送的前提下,最值得关心的问题是,钻杆在被传送过程中的轴向窜动。如果钻杆轴向窜动位移过大,不仅会影响机械手抓取钻杆的位置精度,甚至碰撞钻杆库边缘导致无法回库。这时钻杆传送装置的设计就显得尤为重要了。针对此装置的设计,本文给出了 2 种方案。

#### 1.3.1 方案一:倾斜滚动传送方案

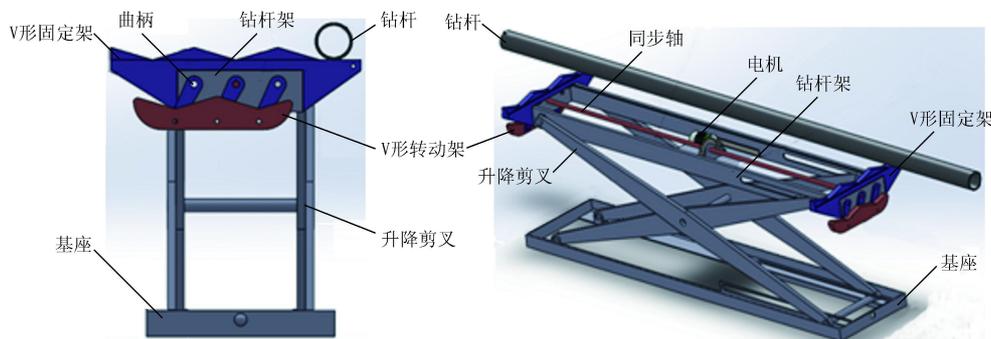


图 3 V 形槽传送分拣装置

该方案的工作原理:下钻加钻杆时,右方的钻杆库将库中钻杆向外排放至传送架右端(钻杆 4 的位

置),机构伸展使活动架倾斜,钻杆随之滚动至左端的挡块处;接着,斜楔垂直向上运动至与挡块平齐位置,最左端的第一根钻杆伴随着被托起,并滚到钻杆槽 1 中,方便移摆机械手能够多次精确无误的抓取、加装钻杆。斜楔向下运动,第二根钻杆伴随着向左滚动至斜楔的正上方;第一根钻杆被抓取之后,斜楔再次向上运动将第二根钻杆转移到钻杆槽中;依次规律,通过斜楔的往复升降传送钻杆。在此传送架的下方加装升降机构,即可传送不同高度的钻杆层。起钻卸钻杆时,机构收缩使活动架向右倾斜,挡块沿顺时针方向旋转  $90^\circ$ ;机械手将钻杆逐根放在钻杆槽中,通过辅助手爪及连杆机构的往复运动,将钻杆逐根传送到活动架上方,钻杆顺势向钻杆库方向滚动,钻杆自动排放机构将钻杆存放回钻杆库中。

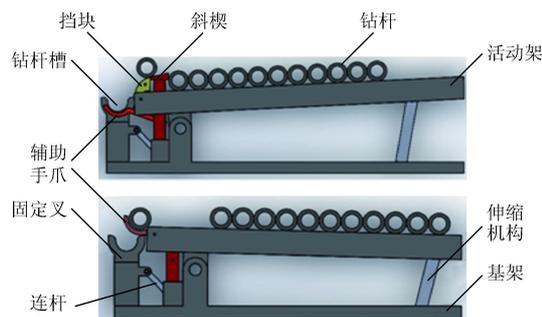


图 2 倾斜滚动传送示意图

#### 1.3.2 方案二:V 形槽传送分拣方案

该装置的主要部件有(见图 3):2 个 V 形固定架、2 个 V 形转动架、同步轴、电机、曲柄、钻杆架及升降剪叉组成。仅有驱动电机的转动、升降剪叉的垂直运动 2 个自由度。

置),驱动电机每转动转一个周期,由 V 形转动架 5、曲柄 2、钻杆架 3 组成的平行四边形机构将钻杆 4

沿着V形固定架向左移动一个V形槽;如图4所示,曲柄沿逆时针方向每旋转一周,钻杆向左移送一个V形槽的距离;曲柄旋转第二周,第一根钻杆被传送到最左端的V形槽内,同时开始传送第二根钻杆,移摆机械手可以高精度的抓取置于最左端V形

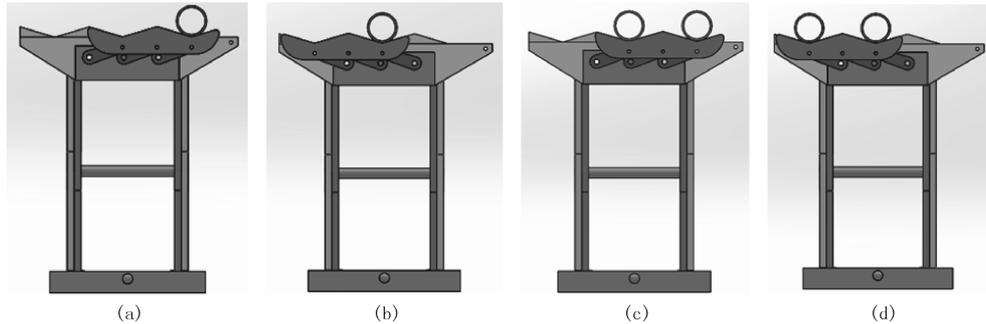


图4 传送分拣过程

### 1.3.3 方案对比及选择

从原理上讲,方案一包含4个自由度(活动架的左右倾斜、挡块的回转运动、斜楔的升降运动、辅助手爪的回转运动),是依靠钻杆自身重力沿倾斜架滚动来实现钻杆的往返传送,方案二包含2个自由度(曲柄的回转运动、钻杆架3的升降运动),依靠由V形转动架、曲柄、钻杆架组成的平行四边形机构逐根摆送钻杆,两种方案都能满足传送的功能要求。

方案一中,受地面不平整、振动等诸多因素的影

响,6 m长的立根滚动时,易出现滚偏、侧向滑移现象,钻杆两端滚动未达到同步,造成很大的轴向偏移,从而移摆机械手不能精确地抓取钻杆;特别是在起钻回收过程中,此轴向偏移会引起钻杆与钻杆库侧壁卡滞现象,甚至钻杆无法返回至钻杆库。

槽中的钻杆。传送过程中,钻杆与V形槽之间相对静止,没有滚动、滑动等现象。起钻卸钻杆时,只需电机沿顺时针方向回转,将钻杆传送到钻杆库,排放机构自动存放钻杆。同理,抓取不同高度的钻杆层由升降剪叉6来实现。

响,6 m长的立根滚动时,易出现滚偏、侧向滑移现象,钻杆两端滚动未达到同步,造成很大的轴向偏移,从而移摆机械手不能精确地抓取钻杆;特别是在起钻回收过程中,此轴向偏移会引起钻杆与钻杆库侧壁卡滞现象,甚至钻杆无法返回至钻杆库。

方案二中,钻杆的传送和分拣仅仅由一平行四边形机构来完成,并且这两个动作是同时进行的。传送过程中,钻杆与V形槽之间相对静止,没有滚动、滑动等现象,传送平稳,并且钻杆两端传送同步。两种方案的异同点如表1所示。

表1 两种方案异同点对照

相同点	功能相同,都具有传送钻杆的功能,并且能从密排的钻杆中分拣出单根,方便移摆机械手抓取
不同点	(1) 机构复杂程度不同。方案一包含4个自由度,钻杆的传送和分拣需要分多步进行;方案二包含2个自由度,在传送的同时分拣钻杆单根; (2) 钻杆的运动形式不同。方案一,钻杆以滚动与滑动相结合的形式传送,易导致钻杆发生较大的轴向窜动;方案二,钻杆与每个V形槽相对静止,伴随着V形架的转动实现钻杆的传送,轴向稳定性好

总体来说,方案二机构简单,传送的同时分拣钻杆单根,并且钻杆轴向稳定。为了传送装置能够安全、高自动化、高精度地运作,优先选用方案二。为了验证其合理性,下边是围绕方案二所作的动力学仿真分析,主要参数为钻杆的轴向窜动位移、钻杆与V形架间的接触力变化情况。

## 2 建模、仿真分析

### 2.1 建模、仿真

为了探究传送机构在既定速度下钻杆传送的稳定性,采用动力学仿真软件ADAMS对传送机构的简化模型进行仿真(见图5)。



图5 ADAMS建模

在solidworks中将模型简化处理,再将传送机构以parasolid格式导入ADAMS中,并设置重力、栅格、单位,各个仿真参数设置如表2所示。实际传送装置有2~3个V形槽即可,但为了保证能够准确

地仿真钻杆传送的平稳性,特意将 V 形转动架设置多个 V 形槽。

表 2 仿真参数设置一览

材料属性	钢材	电机转速/ $(^{\circ}) \cdot s^{-1}$	20
接触力计算方法	冲击函数法	摩擦力计算方法	库仑法
刚度/ $(N \cdot m^{-1})$	$1.0 \times 10^8$	静态系数	0.3
阻尼/ $(N \cdot S \cdot mm^{-1})$	$1.0 \times 10^4$	动态系数	0.1
力指数	2.2	静滑移速度/ $(m \cdot s^{-1})$	0.1
穿透深度/m	$1.0 \times 10^{-4}$	动滑移速度/ $(m \cdot s^{-1})$	1.0
转动副数目	12	固定副数目	1
驱动数目	2	接触力数目	3

## 2.2 仿真后处理

### 2.2.1 钻杆运动曲线(图 6)

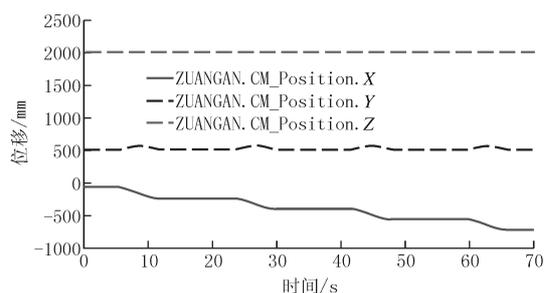


图 6 钻杆沿各向的位移曲线

如图 6 所示,钻杆在 Z 轴方向位移曲线为一水平直线,验证了此装置减小轴向位移误差的优越性。

结合钻杆在 X 轴和 Y 轴方向的位移—时间关系可以得出其运动过程如下:

在 0 ~ 6 s, 钻杆处于静止状态;

在 6 ~ 11.5 s, 钻杆被 V 形转动架逐渐举起,并沿逆时针方向旋转;

在 11.5 ~ 24 s, 钻杆处于静止状态;

在 24 ~ 29.5 s, 钻杆再次被 V 形转动架逐渐举起,并沿逆时针方向旋转;

.....

在 29.5 ~ 42、42 ~ 47.5、47.5 ~ 60、60 ~ 65.5 s 各个时间段一直重复上述运动过程,不再赘述。电机旋转速度为  $20^{\circ}/s$ ,每旋转  $360^{\circ}$ ,钻杆向 X 方向移动一个 V 形槽的位移,计算得所用时间为 18 s,从图中易得其运动周期接近 18 s。

### 2.2.2 接触力

图 7 为钻杆与 V 形固定架之间的接触力随时间的变化曲线。与位移—时间曲线相比较,两图时间段几乎是一致的。同样可以看出,Z 向接触力几乎为零,再次验证钻杆轴向位移不发生变化的优势。

在 0 s 时,由于惯性力的作用,钻杆与固定架之间的接触力瞬间大于钻杆本身重力,与 Y 向接触力相对应;传送过程中,钻杆一直在做静止—运动—静止的重复间歇运动。在运动形式转变(静止到运动、运动到静止)时,X 向接触力会突然升高;运动形式不发生改变时,X 向接触力几乎不变,其传送过程平稳。

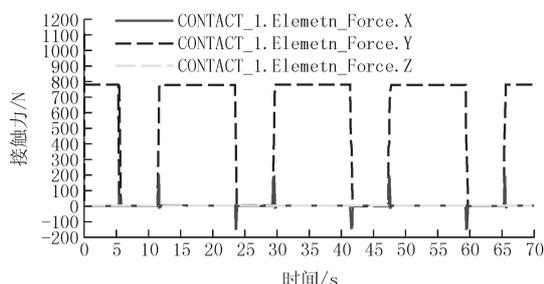


图 7 钻杆与顶架间的接触力曲线

## 3 结论

(1) 鉴于钻杆存放稳定性高、库存量大的要求,本文设计与钻杆存放架相配套的传送装置,解决了钻杆自动化传送的难题。

(2) 为了保证传送过程中的钻杆轴向精度,设计了钻杆传送装置,通过对倾斜滚动传送架和 V 形槽传送分拣两种方案进行优缺点分析,并导入 adams 进行验证,仿真结果验证了 V 形槽传送分拣方案的可行性。

(3) 本文对圆柱状物体的自动化操作具有借鉴意义,其不同之处主要表现在钻杆质量大,长度大。

## 参考文献:

- [1] 陈根龙,张金昌,刘凡柏,等. 3500 m 钻机移摆管设计及动力学仿真研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):56-60.
- [2] 姜鸣,曹言梯,周声强. 陆地钻机钻杆自动操作系统的设计方案[J]. 石油机械,2008,36(8):95-98.
- [3] 刘平全,崔学政,董磊. 钻探平台的钻杆操作方式及其自动化操作系统[J]. 中国海洋平台,2010,25(1):51-56.
- [4] 王伟,孙姿禄. 地质钻探自动化移摆钻杆系统的研究[J]. 吉林地质,2012,31(3):116-118.
- [5] 杨月明. 斜直井钻机钻杆自动存取操作系统的设计研究[D]. 黑龙江大庆:东北石油大学,2013.
- [6] 朱吉良. 钻杆自动传送系统结构与仿真分析[D]. 吉林长春:吉林大学,2012.
- [7] Andrew Virgil Gerber. Apparatus and Method for Handling PIPE. US Patent,20120118639 A1[P]. 2012-05-17.
- [8] Paul Stephen Tetley. Cartridge Tubular Handling SYSTEM. US Patent,8215888 B2[P]. 2012-07-10.
- [9] William V. Rush. Rod Loader with Transfer Member Raised and Lowered in Concert with Rod LIFT. US Patent,6474932 B1[P]. 2002-11-05.