NK探伤上下料步进移钢机设计分析*

王晓敏[1,2],郑 鹏[1],季 强[2]

(1. 郑州大学机械工程学院,河南 郑州 450001;
2. 包钢集团设计研究院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: NK探伤上下料步进移钢机在多种传统移钢设备的基础上加以改进,借鉴传统移钢设备的优点,形成自己的特点。文章简单介绍了NK探伤上下料步进移钢机结构、工作过程和优点,勾勒出系统的运动原理示意框图,并对其主要部件进行了验证分析,验证了NK探伤上下料使用步进移钢机的合理性。

关键词: NK探伤; 步进移钢机; 齿轮齿条传动; V形槽
中图分类号: TG333.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)05-0082-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.023

Design and Analysis on Stepping Billet Shifter for Feeding and Blanking of NK Flaw Detector

Wang Xiao-min[1,2], *Zheng Peng*[1], *Ji Qiang*[2]

(1. *School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou* 450001, *Henan, China*;
2. *Design and Research Institute of Baotou Iron & Steel (Group) Co.,Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The stepping billet shifer for feeding and blanking of NK flaw detector is improved on the basis of various traditional billet shifers and its own characteristics are formed using their advantages for reference. In this paper, it is briefly introduced its structure, working process and advantages, sketched the schematic block diagram for its motion principle as well as verified and analyzed its main parts so that the rationality of using it is verified.

Key words: NK flaw detector; stepping billet shifer; gear and rack drive; v-groove

移钢机是钢管生产中不可缺少的设备,其结构合理与否直接关系到钢管质量、工艺节奏、工艺步距和生产成本。文中以某公司无缝钢管热处理生产线NK探伤上下料步进移钢机为例进行分析,要求设计出一种能满足工艺节奏、工艺步距、结构简单紧凑且产品质量有保证的移钢机。NK探伤上下料步进式移钢机的功能是将来料从上料工位移送到探伤工位,经探伤机探伤后将钢管移送到下料工位上。

1 NK探伤上下料步进移钢机分析

1.1 探伤上下料步进式移钢机工作过程

当钢管到上料工位时,升降传动系统液压缸伸出,推动摆杆机构摆动,小车装配系统上升,工位槽一托举钢管从上料工位上升;液压马达带动齿轮正向旋转,小车装配移动钢管由上料工位上方到探伤工位上方;升降传动系统液压缸收缩,摆杆机构反向

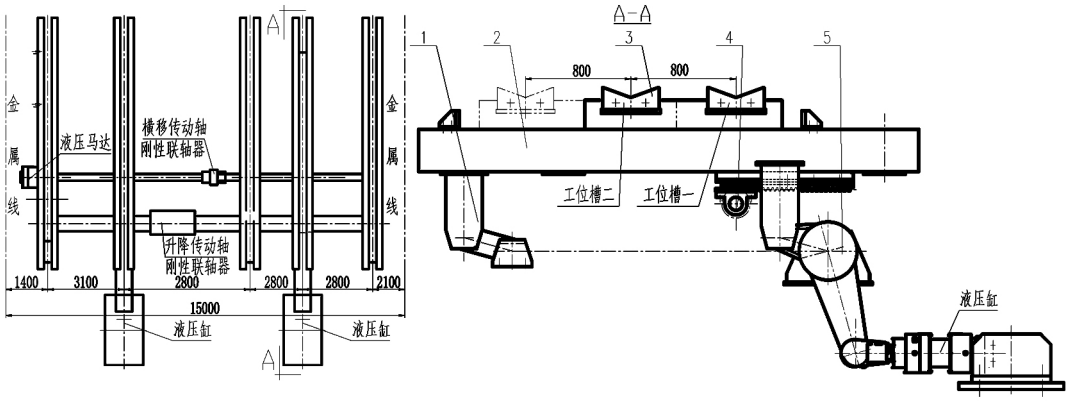
* 收稿日期:2019-03-21
作者简介:王晓敏(1982-),女,内蒙古包头市人,在读硕士,高级工程师,主要从事机械设计工作。

摆动，小车装配系统下降，钢管下降到探伤工位；液压马达带动齿轮反向旋转，小车装配返回初始位置。

探伤后，升降传动系统液压缸伸出，摆杆机构摆动，小车装配系统上升，工位槽二托举钢管从探伤工位上升；液压马达带动齿轮正向旋转，小车装配移动钢管由探伤工位上方到下料工位上方；升降传动系统液压缸收缩，摆杆机构反向摆动，小车装配系统下降，钢管下降到下料工位；液压马达带动齿轮反向旋转，小车装配返回初始位置准备下一个工作循环。

1.2　探伤上下料步进式移钢机结构

工艺要求采用 5 个小车装配，如图 1 所示为 NK 探伤上下料步进移钢机结构图，主要由摆杆装配、小车梁装配、小车装配、横移传动装配和升降传动装配等五部分组成。



1 – 摆杆装配；2 – 小车梁装配；3 – 小车装配；4 – 横移传动装配；5 – 升降传动装配

图 1　NK 探伤上下料步进移钢机结构

横移传动装配采用一个液压马达驱动；液压马达转动带动横移传动轴转动；横移传动轴上设置齿轮，小车装配系统上设置齿条；为使系统平稳，小车装配设置前后两对车轮；横移传动轴上齿轮与小车装配的齿条啮合，带动小车轮在小车轨道上横移，实现系统横移传动。

为便于加工和安装，横移传动轴分为两个部分，两部分之间采用刚性联轴器联接。小车装配上间隔 800 mm 布置两个 V 形槽板（即工位槽），V 形槽板材质采用 PA – MC。小车梁装配采用槽钢上衬耐磨板作为小车轨道，为便于定期更换耐磨板，耐磨板和槽钢之间用螺钉固定。为控制系统的横移距离，在现场安装调试时，在最左侧的小车梁上间隔 800 mm 安装两个接近开关，小车上安装一个感应钢棒。

升降传动装配采用两个液压缸驱动。升降传动装配和摆杆装配的摆杆与小车梁装配的支撑臂联接，通过液压缸伸缩推动摆杆往复摆动，实现系统升降传动。

液压缸布置在第二和第四小车旁，使整个系统受力均匀平衡。为便于加工和安装，升降传动轴也分为两个部分，两部分之间采用刚性联轴器联接。为控制系统的升降距离，在现场安装调试时，在第四小车旁的底座摆角上安装两个接近开关，液压缸摆臂上安装一个感应钢棒。

1.3　系统的运动原理示意框图

由系统工作过程可知，升降传动装置中的摆杆、摆杆装置和小车梁装配组成一个平行四边形的连杆机构，此机构为采用液压缸推动的双曲柄结构。此时，可把摆杆装配的摆臂看作杆件 1，小车装配、小车梁装配和横移传动装配整体看作杆件 2，升降传动装配中的摆杆上半部分摆臂看作杆件 3，升降传动装配中的摆杆下半部分摆臂看作杆件 4，液压缸杆可看做杆件 5。

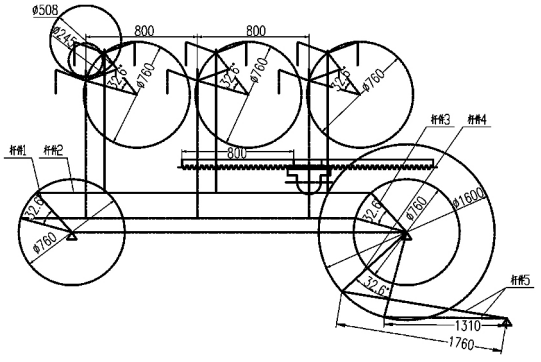


图 2　系统运动原理示意框图

由分析可知杆件2作为连杆整体平动，可随液压缸摆动做圆周运动。液压缸行程为450 mm，带动摆杆在32.6°范围内来回摆动，工位槽随摆杆摆动托举动钢管在32.6°范围内摆动。由上述可得系统的运动原理示意框图，如图2所示。

1.4 探伤上下料步进式移钢机优点

本系统优点为可以准确达到工艺的步距要求，使步距紧凑。

升降传动系统采用液压缸推动四杆机构作升降摆动，横移传动系统采用液压马达回转运动，可实现无极变速和过载保护；可根据产品规格大小调整系统运行速度，当产品为小管时采用较高的速度启停和运行，当产品为大管时采用较低的速度启停和运行，从而满足工艺的节奏要求。

采用粗加工的双工位槽，可以减少需要精加工的齿条的加工长度，且可避免辅助机构的增多，使结构紧凑，降低构件成本。工位槽板采用PA－MC材质，可有效避免钢管和槽板之间硬碰硬。采用升降和横移两套传动系统，连杆机构和齿轮齿条机构相配合，克服了一套传动系统或结构过大，投资大设备重；或传动不平稳，冲击和噪声大的缺点。系统振动和冲击小，设备运行平稳，使产品表面质量得到保证。本系统能承受较大载荷，实现以较少的投资获取较大的社会效益；为现场工人提供较好的劳动环境；结构简单紧凑，设备便于安装和维修，降低了工人的劳动强度。

2 系统主要部件的设计验证

本系统需要计算分析处较多，本文仅对小车间距布置和采用液压缸的数量进行验证分析，其余部分不再一一论证。

2.1 验证小车间距布置的合理性

钢管最短6 m，钢管最长15 m，每根钢管至少需2个小车装配支撑。钢管被支撑情况有：恰好由两个小车支撑、由两个小车支撑带悬臂、由三个小车支撑等多种情况。篇幅所限，文中仅以钢管恰好由两个小车装配支撑时为例进行受力分析说明。

当钢管恰好由两个小车装配支撑时的受力分析如图3。此时，挠度$f_x=\frac{qL^3x}{24EI}(1-2\zeta^2+\zeta^3)$[1]，$\zeta=\frac{x}{L}$，当$x=\frac{L}{2}$时$f_{max}=\frac{5qL^4}{384EI}\leqslant\frac{L}{1\,000}$（工艺要求）。

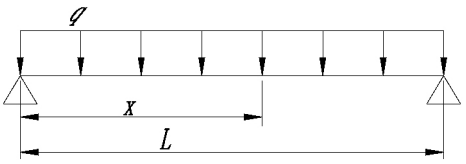


图3 单根来料恰好由两个小车装配支撑时的受力分析

式中：$q=mg=\rho\pi(D^2-d^2)Lg$[1]；$m=\rho V$；$V=\pi(D^2-d^2)L$[1]；$I=\frac{\pi(D^4-d^4)}{64}$[1]；$\delta=\frac{D-d}{2}$；$m$为质量；$\rho$为密度，$\rho=7.85\ t/m^3$；为体积，g取9.8 m/s²；$E$为材料弹性模量，$E=210$ GPa；I为钢管截面惯性矩，D为钢管外径，D由已知条件可知为Φ245～Φ508 mm；d为钢管内径，为钢管壁厚，由已知条件可知为6.1～60.0 mm；L为小车间距，由已知条件可知小于15 000 mm（金属线间距）。把以上公式代入可得：$f_{max}=\frac{5\rho\pi(D^2-d^2)gL^5}{384EI\frac{\pi(D^4-d^4)}{64}}\leqslant\frac{L}{1\,000}$，整理可得：$\frac{L^4}{D^2+(D-2\delta)^2}\leqslant\frac{3E}{25\,000\rho g}$；分析可知，当$D$最小取Φ245 mm，$\delta$最大取60 mm，$d$最小取Φ125 mm时，$L$最小，此时，可得$L\leqslant4\,191.8$ mm。由图1可知，小车最大间距为3 100 mm，所以小车间距布置是合理的。

2.2 验证采用双液压缸的合理性

如图4，F_{1t}为F_1运动轨迹切线方向上的分量，θ为F_{1t}和F_1之间的夹角；F_{2t}为F_2运动轨迹切线方向上的分量，α为F_{2t}和F_2之间的夹角；F_1由起始位置移动到终点位置时变为F'_1，其余相应符号意义与此相同。

通过对杆件3、4进行受力分析可知：$F_{1t}=F_1\cos\theta$；$F_{2t}=F_2\cos\alpha$；其中F_2由液压缸推力产生，F_1由钢管重量、小车装配重量、小车梁装配重量及横移传动装配重量等产生，因系统采用5个小车装配系统，当系统上有两根最重钢管，钢管和横移传动装配移动到F_1上方时F_1达到最大，考虑偏载、承载不均匀等因素影响，极限可得$5F_1=(2\times m_1+m_2+m_3+m_4)g$；其中$m_1$为单根钢管的最大重量，$m_1=7\,434$ kg；m_2为小车重量，$m_2=603$ kg；m_3为小车梁重量，$m_3=938$ kg；m_4为横移传动装置重量，$m_4=1\,387$ kg；R_1为杆件3的回转半径，即F_2作用点到支点之间的距离，$R_1=380$ mm；R_2为杆件4的回转半

径，即 F_2 作用点到支点之间的距离，R_2 = 800 mm。考虑理想状态，系统匀速运转，液压缸匀速推拉，由杠杆平衡条件[2]可得，在任何位置，$5F_{1t}R_1 = F_{2t}R_2$；当液压缸推动杆件 4 由 F_2 位置移动到 F'_2 位置时，杆件 3 由 F_1 位置移动到 F'_1 位置，α 由 15.453 8° 到 77.778 6°；θ 由 15.365 1° 到 47.965 1°。

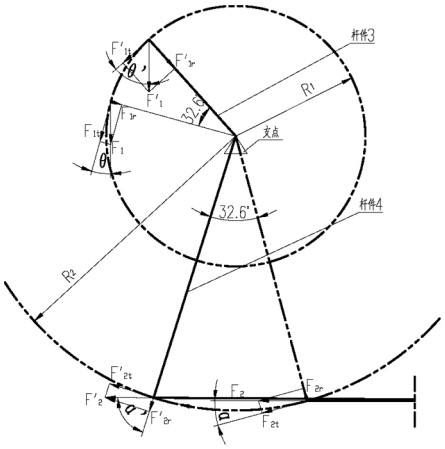


图 4　杆件 3、4 受力分析

综上可得：

$$F_2 = \frac{(2 \times m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\, gR_1\cos\theta}{R_2\cos\alpha}$$

，由分析可知，当杆件 4 在 F'_2 位置时，杆件 3 在 F'_1 位置，α 为 77.778 6°；θ 为 47.965 1° 时，F_2 为最大，此时 F_2 = 267.4 kN。因系统为带曲柄连杆机构的带载快速启动，故载荷系数 1.8 ~ 2.5[1]，得液压缸系统最大输出载荷 $F_c = (1.8 \sim 2.5)\, F_2$ = 481.4 ~ 668.5 kN。本系统采用的液压缸为缸径180 mm，杆径125 mm，在油压 16 MPa 时推力为 407.15 kN，液压缸的总效率 $\eta_t = \eta_m\eta_v\eta_d$[1]，机械效率 η_m 为 0.90 ~ 0.95，取 0.90，活塞密封为金属环时容积效率 η_v 取 0.98，排油不直接回油箱时作用力效率 η_d 取 0.97（经验），由此得总效率 η_t 为 85%，则单个液压缸的推力为 346 kN，两个液压缸的推力为 692 kN，346 kN < F < 692 kN，所以系统采用双液压缸是合理的。

3　结束语

实践证明，本系统能准确满足工艺上节奏和步距的要求；设备运转平稳冲击小，产品表面质量能得到保证。通过简单的往复运动，实现较为复杂的工艺运动要求，结构简单、紧凑，为企业生产起到降本增效的功用。因为系统采用液压驱动，要注意检修、维护，确保各构件密封良好，以防止液体泄露造成资源浪费和环境污染。

参　考　文　献

[1] 成大先. 机械设计手册（第四版）[M]. 北京：化学工业出版社，2003.
[2] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学[M]. 北京：高等教育出版社，1981.

（上接第 11 页）

绿色矿山是一项系统性工程，在今后的矿山建设周期中，我们不仅仅要考虑资源开发利用这一因素，更要考虑废弃物资源化利用、生态修复、地质灾害防治、数字化矿山建设等要素，将这些要素视作一个整体，彼此相互联系，又互为条件，为矿山贴上高新技术的标签，从传统的线性经济模式转变为循环经济模式，从传统矿山转变为生态矿山。

4　结束语

为实现矿产资源开发利用与经济社会环境相和谐，促进矿业经济进步，全面推进绿色矿山建设，白云鄂博西矿严格按照国家级绿色矿山建设的相关要求，不断加强科技创新，提高资源综合利用率，从技术和管理方面提升节能减排和环境保护力度，并将保护生态环境贯穿到矿产资源开发利用的全过程，真正实现资源利用率高、对环境负面影响小、综合效益大的绿色矿山，为白云鄂博矿区绿色矿山建设提供了借鉴经验。

参　考　文　献

[1] 雷东，王泽元，白晓敏，等. 绿色矿山建设与发展的新要求[J]. 河南建材，2018，(05)：437－439.
[2] 唐绍义. 白云鄂博西矿矿浆输送管道的应用[J]. 现代矿业，2018，(02)：145－148.
[3] 刘占全，王德胜，郑建军. 巴润矿矿岩可爆性分区研究[J]. 中国矿业，2012，(03)：48－51.
[4] 崔凤，宋立民. 白云鄂博西矿含铁岩石选矿试验研究[J]. 包钢科技，2017，(03)：29－31，69.