

## 36 MN 卧式金属挤压机的供锭新机构及其运动特性

刘慧军<sup>1</sup>, 王 鑫<sup>2</sup>, 石如磐<sup>1</sup>

(1. 太重(天津)滨海重型机械有限公司 技术中心, 天津 300452;

2. 太原重工股份有限公司 技术中心, 山西 太原 030032)

**摘要:** 通过对传统的挤压机供锭器进行借鉴、消化和吸收, 研发了一新型卧式金属挤压机供锭器, 该供锭器采用一个四杆机构和两个平行四边形机构组成的移送机构以实现钳口的平动, 利用转动副代替了传统平移伸缩式供锭器的移动副。利用几何方法建立了移送机构的运动学方程, 推导出了坯锭位移、速度及加速度函数; 仿真得到了坯锭的位移曲线、速度-时间函数曲线及加速度-时间函数曲线。结果表明, 坯锭的运行轨迹为类直线运动, 坯锭运动自带减速功能。与传统最常用的平移伸缩式供锭器相比, 新型供锭器的质量降低了 30%, 成本降低了 40%, 设备运行更加可靠, 非挤压时间更短。

**关键词:** 挤压机; 供锭器; 四杆式; 供锭机械手; 状态方程

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.08.022

**中图分类号:** TG315.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2024) 08-0156-05

## A new ingot feeder and its motion characteristics on 36 MN horizontal metal extruder

Liu Huijun<sup>1</sup>, Wang Xin<sup>2</sup>, Shi Rupan<sup>1</sup>

(1. Technology Center, Taizhong (Tianjin) Binhai Heavy Industry Co., Ltd., Tianjin 300452, China;

2. Technology Center, Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd., Taiyuan 030032, China)

**Abstract:** By referencing, digesting and absorbing the traditional ingot feeder for extruder, a new type of ingot feeder for horizontal metal extruder was developed, which achieved the translational movement of jaws by a transfer mechanism composed of a four-bar mechanism and two parallel quadrilateral mechanisms and replaced the moving pair of the traditional telescopic ingot feeder by using a rotating pair. Then, the kinematic equation of the transfer mechanism was established by the geometric method, and the functions of displacement, velocity and acceleration for billet ingot were derived. Furthermore, the displacement curve, speed-time function curve and acceleration-time function curve of the billet ingot were simulated. The results show that the monement trajectory of the billet ingot is a quasi linear motion, and the billet ingot has a deceleration function. Compared with the most commonly used translational telescopic ingot feeder, the weight for the new type of ingot feeder is reduced by 30%, the cost is reduced by 40%, the equipment operation is more reliable, and the non-extrusion time is shorter.

**Key words:** extruder; ingot feeder; four-bar type; ingot feeding mechanical arm; state equation

随着挤压机技术的发展, 各种金属和非金属挤压机不断更新换代, 配套的供锭器技术也有了长足的发展。供锭器是挤压机的上料机构, 用于接收处理好的金属坯锭并将其准确运送至挤压机挤压中心, 要求接锭及供锭准确, 运锭平稳, 动作简单, 运行速度快, 便于操作和维护。传统的挤压机供锭器有很多种结构类型, 较常用的有摆臂式供锭器和伸缩平移式供锭器<sup>[1-4]</sup>。文献 [2] 已经介绍了摆臂式供

锭器和伸缩平移式供锭器的结构和 workflows, 这里不再赘述。摆臂式供锭器的缺点是摆臂为旋转运动, 如供锭距离长则无法使用, 供锭钳口方向转动, 钳口必须夹紧坯锭, 故易在坯锭上留下夹痕。平移伸缩式供锭器的缺点是结构复杂、重量大, 直线导轨的最高允许速度限制了供锭速度, 使得挤压机的非挤压时间无法降低; 直线导轨的长度长, 当料屑、渣滓掉在导轨上, 很容易造成导轨损坏。随着挤压机的挤压工艺要求越来越高<sup>[5]</sup>, 这两种供锭器已经不能很好地满足挤压机供锭的需求。经过对传统供锭器的借鉴和研究, 结合国内外的四连杆机构的设计经验<sup>[6-8]</sup>, 太重(天津)滨海重型机械有限公司

收稿日期: 2024-03-26; 修订日期: 2024-06-21

作者简介: 刘慧军 (1981-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: liuhuijun@tz.com.cn

针对卧式金属挤压机开发了一种新型四杆式供锭器<sup>[9]</sup>, 采用一个四杆机构和两个平行四边形机构组成的移送机构实现运锭。现以太重(天津)滨海重型机械有限公司开发的 36 MN 卧式金属挤压机新型供锭器为例进行说明, 其坯锭直径为  $\Phi 300$  mm, 长度为 500~1200 mm, 坯锭质量为 100~250 kg, 坯锭从供锭位移动到挤压中心, 位移为 2300 mm。

## 1 四杆式供锭器的结构及工作流程

太重(天津)滨海重型机械有限公司开发的卧式金属挤压机四杆式供锭器的结构如图 1 所示。新型四杆式供锭器的工作流程为: 托举油缸 3 将活动钳口 4 与固定钳口 5 托起, 由移送机构 1 将坯锭 8 推入供锭器的活动钳口 4, 并测出坯锭 8 的长度。伺服电机 6 启动, 与滚珠丝杠传动系统 7 共同作用, 使供锭器的活动钳口 4 根据锭长自动伸缩, 保证坯锭 8 的一个端面保持在活动钳口 4 外侧一定距离。

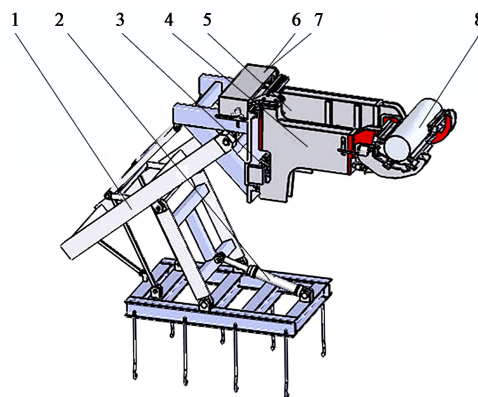


图 1 四杆式供锭器结构示意图

1. 移送机构 2. 驱动油缸 3. 托举油缸 4. 活动钳口 5. 固定钳口  
6. 伺服电机 7. 滚珠丝杠传动系统 8. 坯锭

Fig. 1 Structure schematic diagram of four-bar ingot feeder

驱动油缸 2 驱动移送机构 1, 使得坯锭 8 以类直线轨迹进入挤压中心。图 2 显示了在坯锭初始位置与终点位置时四杆式供锭器的状态。

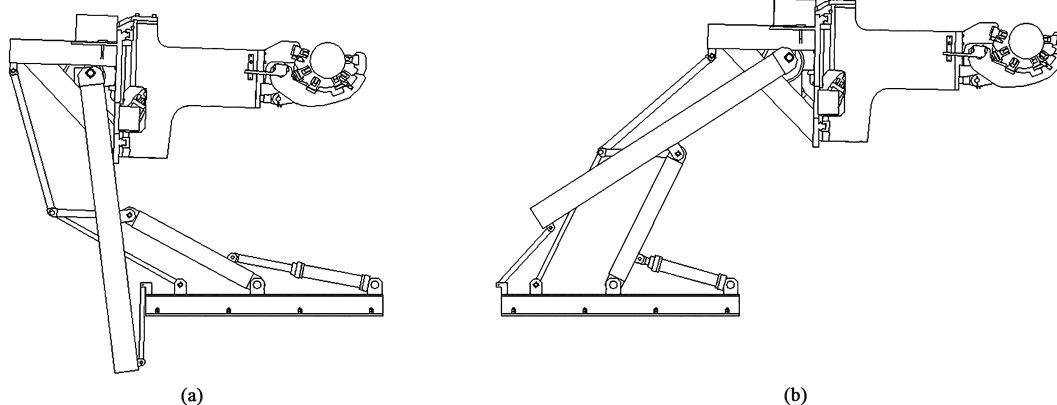


图 2 四杆式供锭器在初始位置 (a) 与终点位置 (b) 的状态

Fig. 2 States of four-bar ingot feeder at initial (a) and final (b) positions

## 2 坯锭运动分析

四杆式供锭器移送机构的运动简图如图 3 所示, 其中,  $ABCD$  为四杆机构,  $G$  点为  $BC$  杆的延长点,  $FDCE$  及  $ECGH$  为两个平行的四边形机构, 平行四边形机构的目的是实现供锭钳口的平动,  $M$ 、 $N$  分别为油缸与机架及  $CD$  杆的铰接点;  $\theta_1$  为  $CD$  杆与水平方向的夹角,  $\theta_{1-w}$  为  $\theta_1$  的外角;  $\theta_2$  为  $BC$  杆与水平方向的夹角,  $\theta_3$  为  $AB$  杆与水平方向的夹角,  $\theta_{2-1}$  为  $AC$  连线与  $CD$  杆的夹角,  $\theta_{2-2}$  为  $AC$  连线与  $BC$  杆的夹角,  $\theta_{2-3}$  为  $EC$  杆延长线与  $CG$  杆的夹角。由于钳口为平动, 坯锭运动轨迹与  $G$  点的运动轨迹相同, 仅需对  $G$

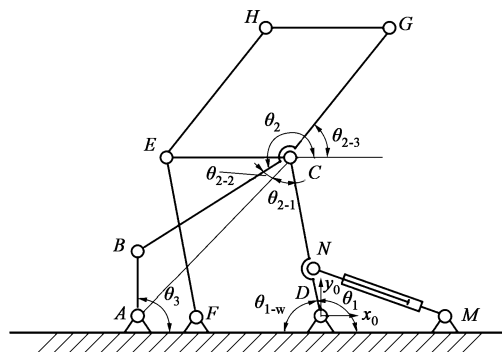


图 3 四杆式供锭器移送机构的运动简图

Fig. 3 Movement schematic diagram of transfer mechanism for four-bar ingot feeder

点进行运动分析即可得到坯锭的运动状态。

## 2.1 铰链位置公式推导

如图3所示,油缸两端点 $MN$ 的长度为 $x$ ,由余弦定理可知:

$$\theta_1 = \arccos\left(\frac{l_{DM}^2 + l_{ND}^2 - x^2}{2l_{DM}l_{ND}}\right) \quad (1)$$

$$\theta_{2-1} = \arccos\left(\frac{l_{CD}^2 + l_{AC}^2 - l_{AD}^2}{2l_{CD}l_{AC}}\right) \quad (2)$$

$$\theta_{2-2} = \arccos\left(\frac{l_{BC}^2 + l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{2l_{BC}l_{AC}}\right) \quad (3)$$

式中: $l_{DM}$ 、 $l_{AD}$ 分别为基座 $D$ 、 $M$ 两点以及 $A$ 、 $D$ 两点间的距离; $l_{ND}$ 为 $CD$ 杆的铰接点 $N$ 至 $D$ 点的距离; $l_{AB}$ 、 $l_{BC}$ 和 $l_{CD}$ 分别为 $AB$ 杆、 $BC$ 杆和 $CD$ 杆的长度; $l_{AC}$ 为 $A$ 、 $C$ 两点间的距离, $l_{AC} = \sqrt{l_{CD}^2 + l_{AD}^2 - 2l_{CD}l_{AD}\cos\theta_{1-w}}$ 。

最终,由线性叠加<sup>[10]</sup>可知 $G$ 点的位置为:

$$\mathbf{r}_{DG} = \mathbf{r}_{CD} + \mathbf{r}_{CG} \quad (4)$$

式中: $\mathbf{r}_{DG}$ 、 $\mathbf{r}_{CD}$ 和 $\mathbf{r}_{CG}$ 分别为 $D$ 、 $G$ 两点, $C$ 、 $D$ 两点和 $C$ 、 $G$ 两点的矢量表达, $\mathbf{r}_{CD} = l_{CD}\mathbf{u}_{CD}$ , $\mathbf{r}_{CG} = l_{CG}\mathbf{u}_{CG}$ ;  $l_{CG}$ 为 $CG$ 杆的长度; $\mathbf{u}_{CD}$ 和 $\mathbf{u}_{CG}$ 分别为 $D$ 、 $C$ 两点和 $C$ 、 $G$ 两点的单位方向矢量表达, $\mathbf{u}_{DC} = [\cos\theta_1 \quad \sin\theta_1]^T$ ,  $\mathbf{u}_{CG} = [\cos\theta_{2-3} \quad \sin\theta_{2-3}]^T$ 。

## 2.2 铰链速度公式推导

对式(1)进行微分,可得:

$$\dot{\theta}_1 = \frac{x\dot{x}}{l_{ND}l_{DM}\sqrt{1 - \left(\frac{l_{DM}^2 + l_{ND}^2 - x^2}{2l_{DM}l_{ND}}\right)^2}} \quad (5)$$

$$\ddot{\theta}_1 = \frac{\dot{x} - x\ddot{x}}{\left[l_{ND}l_{DM}\sqrt{1 - \left(\frac{l_{DM}^2 + l_{ND}^2 - x^2}{2l_{DM}l_{ND}}\right)^2}\right]^2} \quad (6)$$

由图3可知,四杆机构的位置环封闭约束方程可表示为:

$$\mathbf{r}_{CD} + \mathbf{r}_{CB} = \mathbf{r}_{AB} + \mathbf{r}_{AD} \quad (7)$$

式中: $\mathbf{r}_{CB}$ 、 $\mathbf{r}_{AB}$ 和 $\mathbf{r}_{AD}$ 分别为 $C$ 、 $B$ 两点, $A$ 、 $B$ 两点和 $A$ 、 $D$ 两点的矢量表达, $\mathbf{r}_{CB} = l_{BC}\mathbf{u}_{CB}$ , $\mathbf{r}_{AB} = l_{AB}\mathbf{u}_{AB}$ , $\mathbf{r}_{AD} = l_{AD}\mathbf{u}_{AD}$ ;  $\mathbf{u}_{CB}$ 、 $\mathbf{u}_{AB}$ 和 $\mathbf{u}_{AD}$ 分别为 $C$ 、 $B$ 两点, $A$ 、 $B$ 两点和 $A$ 、 $D$ 两点的单位方向矢量表达, $\mathbf{u}_{CB} = [\cos\theta_2 \quad \sin\theta_2]^T$ ,  $\mathbf{u}_{AB} = [\cos\theta_3 \quad \sin\theta_3]^T$ ,  $\mathbf{u}_{AD} = [-l_{AD} \quad 0]^T$ 。

对式(7)取时间导数,得到的速度约束方程为:

$$\mathbf{v}_C + \mathbf{v}_{CB} = \mathbf{v}_B \quad (8)$$

或:

$$l_{CD}\dot{\theta}_1\mathbf{u}_{CD} + l_{BC}\dot{\theta}_2\mathbf{u}_{CB} - l_{AB}\dot{\theta}_3\mathbf{u}_{AB} = 0 \quad (9)$$

式中: $\mathbf{v}_C$ 和 $\mathbf{v}_B$ 分别为 $C$ 点和 $B$ 点的速度; $\mathbf{v}_{CB}$ 为 $B$

点与 $C$ 点的相对速度; $\mathbf{Q}$ 为 $2 \times 2$ 旋转矩阵, $\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 。

由于 $\mathbf{u}_{AB} \perp \mathbf{Qu}_{AB}$ ,因此,对式(9)两端同乘 $\mathbf{u}_{AB}^T$ ,可消除 $l_{AB}\dot{\theta}_3\mathbf{Qu}_{AB}$ ,进而得到:

$$\dot{\theta}_2 = -\frac{l_{CD}\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{Qu}_{CD}}{l_{BC}\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{Qu}_{CB}}\dot{\theta}_1 \quad (10)$$

同理可得:

$$\dot{\theta}_3 = \frac{l_{CD}\mathbf{u}_{CB}^T\mathbf{Qu}_{CD}}{l_{AB}\mathbf{u}_{CB}^T\mathbf{Qu}_{AB}}\dot{\theta}_1 \quad (11)$$

因此,可得 $G$ 点的速度为:

$$\mathbf{v}_G = \mathbf{v}_C + \mathbf{v}_{CG} = l_{CD}\dot{\theta}_1\mathbf{Qu}_{CD} + l_{CG}\dot{\theta}_2\mathbf{Qu}_{CG} \quad (12)$$

式中: $\mathbf{v}_{CG}$ 为 $C$ 点与 $G$ 点的相对速度。

## 2.3 铰链加速度公式推导

对式(9)进行微分,可得加速度约束方程:

$$l_{CD}\ddot{\theta}_1\mathbf{Qu}_{CD} - l_{CD}\dot{\theta}_1^2\mathbf{u}_{CD} + l_{BC}\ddot{\theta}_2\mathbf{Qu}_{BC} - l_{BC}\dot{\theta}_2^2\mathbf{u}_{BC} + l_{AB}\ddot{\theta}_3\mathbf{Qu}_{AB} - l_{AB}\dot{\theta}_3^2\mathbf{u}_{AB} = 0 \quad (13)$$

由于 $\mathbf{u}_{AB} \perp \mathbf{Qu}_{AB}$ ,因此,对式(9)两端同乘 $\mathbf{u}_{AB}^T$ ,可消除 $l_{AB}\ddot{\theta}_3\mathbf{Qu}_{AB}$ ,即:

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{-l_{CD}\ddot{\theta}_1\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{Qu}_{CD} + l_{CD}\dot{\theta}_1^2\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{u}_{CD} + l_{BC}\dot{\theta}_2^2\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{u}_{BC} - l_{AB}\dot{\theta}_3^2\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{u}_{BC}}{l_{BC}\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{Qu}_{BC}} \quad (14)$$

同理可得:

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{-l_{CD}\ddot{\theta}_1\mathbf{u}_{CB}^T\mathbf{Qu}_{CD} + l_{CD}\dot{\theta}_1^2\mathbf{u}_{CB}^T\mathbf{u}_{CD} + l_{BC}\dot{\theta}_2^2 - l_{AB}\dot{\theta}_3^2\mathbf{u}_{AB}^T\mathbf{u}_{BC}}{l_{AB}\mathbf{u}_{CB}^T\mathbf{Qu}_{AB}} \quad (15)$$

对式(12)进行微分,可得 $G$ 点的加速度 $\mathbf{a}_G$ 为:

$$\mathbf{a}_G = l_{CD}\ddot{\theta}_1\mathbf{Qu}_{CD} - l_{CD}\dot{\theta}_1^2\mathbf{u}_{CD} + l_{CG}\ddot{\theta}_2\mathbf{Qu}_{CG} - l_{CG}\dot{\theta}_2^2\mathbf{u}_{CG} \quad (16)$$

## 2.4 仿真分析

基于图3坐标系,对铰链( $G$ 点)进行运动仿真,取油缸速度为 $270 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,仿真结果如图4、图5和图6所示。由图4可知,铰链的水平位移为 $2320 \text{ mm}$ ,竖直位移仅为 $48 \text{ mm}$ ,竖直方向的位移相对较小,铰链做类直线运动。由图5及图6可以知,由于四杆机构的固有特性<sup>[5]</sup>,四杆式供锭器移送机构中铰链接近挤压中心时会自动减速,使移送铰链过程更加平稳。

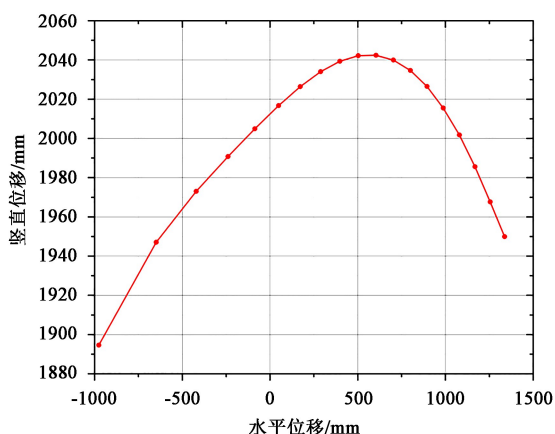


图 4 坯锭的位移曲线

Fig. 4 Displacement curve of billet ingot

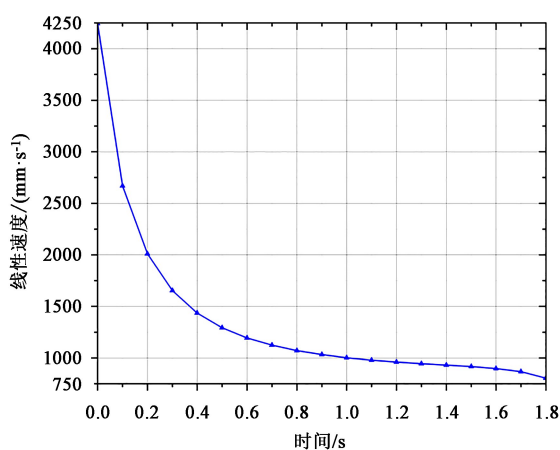


图 5 坯锭的速度-时间曲线

Fig. 5 Speed-time curve of billet ingot

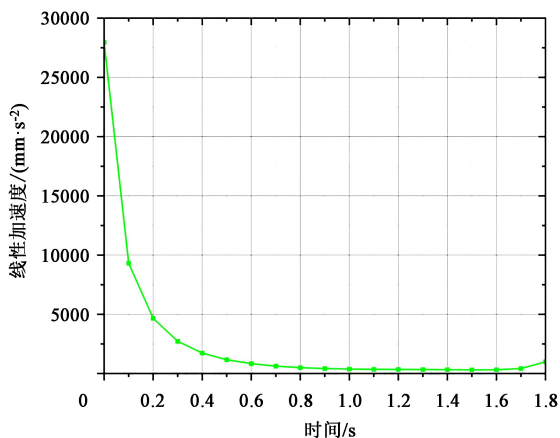


图 6 坯锭的加速度-时间曲线

Fig. 6 Acceleration-time curve of billet ingot

### 3 四杆式供锭器与传统供锭器的对比

如图 7 所示, 四杆式供锭器可以实现平移伸缩

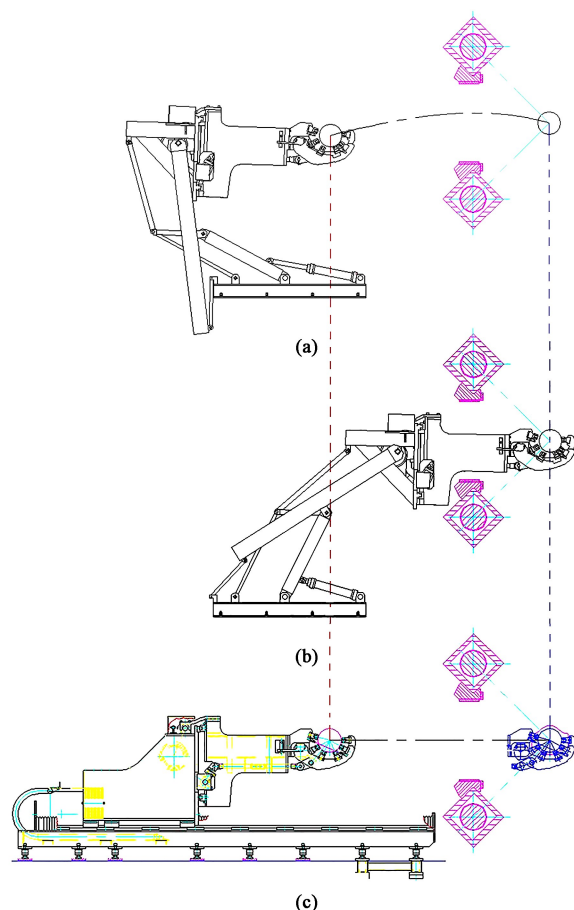


图 7 四杆式供锭器与传统平移伸缩式供锭器的运动对比

(a) 四杆式供锭器的初始位置 (b) 四杆式供锭器的终点位置  
(c) 传统平移伸缩式供锭器的初始及终点位置

Fig. 7 Motion comparison between four-bar ingot feeder and translational telescopic ingot feeder

(a) Initial position of four-bar ingot feeder

(b) Final position of four-bar ingot feeder

(c) Initial and final positions of translational telescopic ingot feeder

式供锭器的功能, 既采用了摆臂式供锭器的转动副, 又实现了平移伸缩式供锭器中钳口的平动。相对于传统常用的平移伸缩式供锭器, 四杆式供锭器有如下优势。

(1) 结构简单, 成本低。平移伸缩式供锭器中, 底座、防尘罩、活动架和齿轮齿条机构<sup>[11]</sup>占供锭器总质量的 2/3, 四杆式供锭器移送机构实现了上述机构的功能, 质量仅为平移伸缩式供锭器的 1/2, 供锭器总质量减轻 30% 以上。且四杆式供锭器的移送机构可以通过调节油缸与摇杆铰接点的位置来调节增速比, 不仅增加了设计的灵活性, 加工难度也比齿轮齿条增速机构小很多。四杆式供锭器中, 轴承的价格从几十元到数百元不等, 而平移伸缩式供锭器中的直线导轨行程较长, 价格动辄数万元, 用轴承代替直线导轨, 成本大幅降低。综上所述

述, 相对于平移伸缩式供锭器, 四杆式供锭器的总成本降低 40% 以上。

(2) 设备更耐用, 使用寿命更长。平移伸缩式供锭器中, 供锭速度为直线导轨的最高允许速度, 载荷也较大, 这就导致导轨的寿命降低, 而且导轨较长, 可接触面积大, 有料屑、渣滓掉到导轨上, 易损坏导轨而造成停产。而四杆式供锭器采用滚动轴承, 当坯锭速度与平移伸缩式供锭器相同时, 轴承转速为  $9 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 其转速相对较低 (极限转速可达  $5000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ), 从而提高了使用寿命; 并且轴承可接触面积小, 密封更加方便, 料屑、渣滓也不会对其产生影响。

(3) 非挤压时间短。非挤压时间是挤压工艺中比较重要的参数, 生产过程中应尽量减少非挤压时间<sup>[12]</sup>。如前文所述, 四杆式供锭器中轴承转速还可以大幅提升, 从而加快供锭速度, 减少非挤压时间, 最终实现挤压机械效率的提升。

## 4 结 论

(1) 由四杆机构和两个平行四边形机构组成移送装置的供锭器, 结合了摆臂式供锭器与平移伸缩式供锭器的结构特点, 用转动副代替移动副, 实现了坯锭的类直线运动与供锭钳口的平动, 结构简单、巧妙。

(2) 利用几何方法建立了机构的运动学方程, 推导出了坯锭位移、速度及加速度函数。仿真得到了坯锭的位移曲线、速度-时间函数曲线及加速度-时间函数曲线。结果表明, 该机构坯锭做类直线运动, 运锭过程自带减速功能。

(3) 相对于传统最常用的平移伸缩式供锭器, 新型供锭器的质量降低了 30%, 成本降低了 40%, 设备运行更加可靠, 非挤压时间更短。

### 参考文献:

- [1] 魏军. 金属挤压机 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.  
Wei J. Metal Press [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [2] 石如磐, 李其秀. 挤压机供锭器的研究进展 [J]. 锻压装备与制造技术, 2012, 47 (2): 53-54.  
Shi R P, Li Q X. Research progress on extruder ingot feeder [J]. China Metal forming Equipment & Manufacturing Technology, 2012, 47 (2): 53-54.
- [3] 邢建斌. 一种用于铝合金挤压机的自适应机械手 [P]. 中

国: CN200920254497, 2010-07-07.

Xing J B. An adaptive robotic arm for aluminum alloy extrusion press [P]. China: CN200920254497, 2010-07-07.

- [4] 郭玉玺, 李景莉, 赵国栋. 短行程铝挤压机前上料系统及夹钳式自适应供锭机械手 [J]. 有色金属加工, 2005, 34 (3): 29-32.  
Guo Y X, Li J L, Zhao G D. Short stroke aluminum extrusion press front feeding system and clamp type adaptive ingot feeding manipulator [J]. Nonferrous Metals Processing, 2005, 34 (3): 29-32.
- [5] 高军, 赵国群, 李丽华. 铝合金型材挤压技术现状与发展趋势 [J]. 汽车工艺与材料, 2002, 4 (6): 21-24.  
Gao J, Zhao G Q, Li L H. Status and development trend of extrusion technology of aluminum alloy profile [J]. Automobile Technology & Material, 2002, 4 (6): 21-24.
- [6] 凌锋, 吴晓明, 谢双显, 等. PRO/E 在平面四连杆机构运动分析中的应用 [J]. 装备制造技术, 2008 (12): 90-92.  
Lin F, Wu X M, Xie S X, et al. The application of PRO/E dynamic simulation in four-bar mechanism kinematics analysis [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2008 (12): 90-92.
- [7] 吕明青, 邵珠峰, 徐道春, 等. 基于遗传算法的六连杆机构尺寸优化设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (7): 184-193.  
Lyu M Q, Shao Z F, Xu D C, et al. Optimization design on dimension of six-link mechanism based on genetic algorithm [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (7): 184-193.
- [8] 鹿新建, 黄辉祥, 谭启檐, 等. 高速精密压力机多连杆驱动机构的运动学特性 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (7): 194-199.  
Lu X J, Huang H X, Tan Q Y, et al. Kinematics characteristics of multi-link driving mechanism for high speed precision press [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (7): 194-199.
- [9] 刘慧军, 刘志华, 薛鹏. 用于挤压机的供锭装置 [P]. 中国: CN201911042610.7, 2021-06-29.  
Liu H J, Liu Z H, Xue P. Ingot supply device for extrusion press [P]. China: CN201911042610.7, 2021-06-29.
- [10] 孙桓, 陈作模, 葛文杰. 机械原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.  
Sun H, Chen Z M, Ge W J. Mechanical Principles [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [11] 李其秀. 铝挤压机供锭机械手主行程传动装置 [P]. 中国: CN201020586348.0, 2011-05-11.  
Li Q X. Main stroke transmission device of ingot supply manipulator of aluminum extrusion press [P]. China: CN201020586348.0, 2011-05-11.
- [12] 陈世雄, 储伯温. 缩短固定非挤压时间, 提高挤压效率 [J]. 铝加工, 2004 (2): 44-48.  
Chen S X, Chu B W. Shortening fixed non extrusion time and improving extrusion efficiency [J]. Aluminium Fabrication, 2004 (2): 44-48.