

偏心连杆振动输送机两种激振方式的力学行为分析

胡开文 亓四华 葛孝和

合肥经济技术学院

摘 要

偏心连杆振动输送机(以下简称振机),因其良好的性能在卷烟厂制丝线上获得广泛应用。其常见的激振方式有刚性连杆直接激振和弹性连杆间接激振两种形式。由于激振方式不同,对振机的性能影响较大。本文对上述两种激振方式的力学行为作了对比分析,并着重对激振弹簧等元件的功能进行了探讨,以便为该设备在选用、引进、吸收、改造和维修时提供参考依据。

关键词: 激振弹簧 激振阻尼 稳态响应

偏心连杆振动输送机,性能优越,在振机中,偏心连杆为振机的振动系统传递激振力或位移。依连杆是刚性的或是弹性的而分别形成刚性连杆激振和弹性连杆激振,前者为直接激振,后者为间接激振。由于采用弹性连杆的振机,工作时传动机构所受的力较小;当采用双体或多体形式时,振机的平衡性亦较好,故目前卷烟厂制丝线所用的莱克线(LEGG)、虹霓线(HAUNI)和科马斯线(COMAS)以及以它们为基型的国产化ZS1制丝线中所用的振机几乎都是采用弹性连杆间接激振振机。上述两种激振方式所对应的振动力学模型及振机机构见表1。弹性连杆是在刚性连杆上串接一中间元件——连杆弹簧而组成的。振机的激振运动便是通过该中间元件再传递到振体上,从而引起振动系统的振动。上述中间元件可用其等效弹簧和等效阻尼来代替,如表2序号2所示。由于该弹簧和阻尼在振机中起激振作用,因此又称为激振弹簧和激振阻尼。虽然激振弹簧和阻尼在整个振机结构中所占的体积不大,但它对整个振机能否启振及振机的性能好坏有着关键性的影响。

1 刚性连杆直接激振

如表2所示,振机振动系统的激振力是通过驱动机构的连杆而获得的。其中序号1是刚性连杆直接激振。它是通过刚性连杆将驱动机构提供的激振力 $F(t) = F \sin \omega t$ 直接传递给振机的振动系统的。因此,振动系统实际获得的激振力 $F(t)$ 就等于驱动机构提供的激振力,即:

$$F(t) = F \sin \omega t \quad (1)$$

根据振动理论,刚性连杆直接激振其振动方程为

$$m\ddot{X} + C\dot{X} + K_1X = F \sin \omega t \quad (2)$$

式中有关符号说明及方程式(2)的解见表1。

表1 两种激振方式的有关参数、振动方程及其稳态解的比较表

序号	项 目		I 刚性连杆		II 弹性连杆		I 与 II 比较及说明
1	振动方程		$m\ddot{X}+C\dot{X}+K_1X=F(t)$		$m\ddot{X}+(C_1+C_{12})\dot{X}+(K_1+K_{12})X=F(t)$		形式一致
2	方程解		$X=Asin(\omega t+\varphi)$		$X=Bsin(\omega t+\psi)$		
3	激振	位 移			$u(t)=U\sin\omega t$		I : 直接激振 II : 间接激振
		力	$F(t)=F\sin\omega t$		$\mu_{12}=0 \quad F(t)=K_{12}U\sin\omega t=aK_1U\sin\omega t$ $K_{12}=0 \quad F(t)=C_{12}\omega U\cos\omega t=\beta C_1\omega U\cos\omega t$ $\mu_{12}\neq 0 \quad F(t)=\sqrt{(aK_1)^2+(\beta C_1\omega)^2}U\sin(\omega t+\psi)$ $K\neq 0_{12}$		
4	振动系统	刚度系数 阻尼系数 固有频率	$K=K_1$ $C=C_1$ $P=P_1=\sqrt{\frac{K_1}{m}}$		$K=K_{12}+K_2=(1+a)K_1$ $C=C_1+C_{12}=(1+\beta)C_1$ $P=\sqrt{\frac{K_1+K_{12}}{m}}=\sqrt{(1+a)}P_1$		增 大
5	静位移		$q=q_k=\frac{F}{K_1}$		$C_1=0$ $C_{12}=0$ $C_{12}=0$	$q_k=\frac{K_{12}}{K_1+K_{12}}U=\frac{a}{(1+a)}U$	不 同
					$K_{12}=0$	$q_c=\frac{C_{12}}{C_1+C_{12}}U=\frac{\beta}{(1+\beta)}U$	
					$C_{12}\neq 0$ $K_{12}\neq 0$	$q_{kc}=\left[\frac{a}{(1+a)^2}+4D^2\frac{\beta}{(1+\beta)^2}\lambda^2\right]^{\frac{1}{2}}U$	
6	稳态	振 幅	$C_1=0 \quad A=q_1V_1=q_1\frac{1}{1-\lambda^2}$ $C_1\neq 0 \quad A=q_1V_1$	$C_1=0$ $C_{12}=0$	$B=q_kV_1=q_k\cdot\frac{1}{1-\lambda^2}$	形式一致	
				$C_{12}=0$	$B=q_kV_1$		
				$K_{12}=0$	$B=q_cV_2$		
				$C_{12}\neq 0$ $K_{12}\neq 0$	$B=q_{kc}V_1$		
7	响 应	相 位 角	$C_1=0 \quad \varphi=0$ $C_1\neq 0 \quad \varphi=\arctg\frac{2D\lambda}{1-\lambda^2}$	$C_1=0$ $C_{12}=0$	$\psi=0$	相 同	
				$C_1=0$	$\psi=\arctg\frac{2D\lambda}{1-\lambda^2}$	形式一致	
				$K_{12}=0$			
				$C_{12}\neq 0$ $K_{12}\neq 0$	$\psi=\arctg 2D\lambda\frac{\beta(1+a)}{a(1+\beta)}$	不 同	
表中： m —惯性质量； ω —激振频率； P —固有频率； P_0 —临界频率 $\lambda=\frac{\omega}{P}$ —频率比； K_1 —主弹簧刚度系数； K_{12} —激振弹簧刚度系数； $a=\frac{K_{12}}{K_1}$ —激振弹簧刚度系数比； C_1 —主阻尼系数； C_{12} —激振阻尼系数； $\beta=\frac{C_{12}}{C_1}$ —激振阻尼系数比； $D=\frac{C}{2mP_0}$ —阻尼率； $V_1=\frac{1}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2+(2D\lambda)^2}}$ $V_2=2D\lambda V_1$ ——放大系数							

2 弹性连杆间接激振

表2中的序号2为弹性连杆间接激振。振动系统的振动力是通过中间元件——激振弹簧和激振阻尼获得的。其弹簧的刚度系数为 K_{12} ，传动阻尼的阻尼系数为 C_{12} 。

若激振点 D（见表1）的运动方程为

$$u(t) = U \cdot \sin \omega t \tag{3}$$

这时，连杆弹簧的长度的相对变化为 $(u-x)$ 。由此可知，振动质量 m 上受到的力有：①主振弹簧的弹性力 $-K_1x$ ；②连杆弹簧的弹性力 $K_{12}(u-x)$ ；③线性阻尼力 $-C_1\dot{x}$ 和 $-C_{12}(\dot{u}-\dot{x})$ 。此时，振机的振动方程为： $m\ddot{X}=K_{12}(u-x)-K_1X-C_1\dot{X}-C_{12}(\dot{u}-\dot{X})$ 。经整理可得：

$$\begin{aligned} m\ddot{X}+C_1\dot{X}+K_1X &= F(t) \\ F(t) &= K_{12}(u-x)+C_{12}(\dot{u}-\dot{X}) \\ \text{将 (3) 式代入上式可得} \\ m\ddot{X}+(C_1+C_{12})\dot{X}+(K_1+K_{12})X &= K_{12}U\sin\omega t+C_{12}\omega U\cos\omega t \\ &= \sqrt{(K_{12})^2+(C_{12}\omega)^2}U\sin(\omega t+\phi) \end{aligned} \tag{4}$$

上述方程中符号说明及方程式的解见表1。

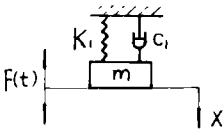
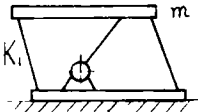
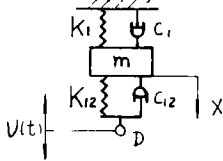
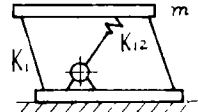
3 分析与讨论

比较方程式（4）和（2）可知，两个方程式形式是一致的，故它们解的形式是一样的。但由于这两个方程所对应的振机在激振结构上的不同，造成两者有关参数已有很大差别；振机的性能亦有很大的不同。现将两者的有关参数、振动方程及其稳态响应等对比列于表1。由表1可知：

（1）刚性连杆激振，驱动机构提供的是激振力，而刚性连杆激振，驱动机构提供的是激振位移，该位移通过激振弹簧或激振阻尼变成激振力，即：刚性连杆激振是直接激振，而弹性连杆激振是间接激振。

（2）弹性连杆激振的振机较刚性连杆振机在其余参数不变的情况下综合刚性系数 K 及综合阻尼系数 C 均有所增大，其增大系数分别为 $(1+\alpha)$ 和 $(1+\beta)$ 。而振动系统的固有频率因其综合刚度系数增大亦有所增大，其增大系数为 $\sqrt{1+\alpha}$ 。

表2 刚性连杆和弹性连杆激振的激振方式、力学模型和振机结构对照表

序号	激 振 方 式	振动力学模型	振 机 结 构
1	刚性连杆 (直接激振)		
2	弹性连杆 (间接激振)		

（3）弹性连杆激振的振机与刚性连杆激振振机相比，在激振力方面有根本的不同。

下面对在弹性连杆间接激振条件下, 两种十分有用的特殊情况作讨论。

a 当激振仅通过一个无阻尼的弹性元件时:

这时 $C_{12}=0$, $K_{12}\neq 0$, 激振力幅 $F=K_{12}U=\alpha K_1U$, 激振力幅与 α 、 K_1 和 U 成正比。

当连杆弹簧失效时, 由于 $K_{12}=0$, $\alpha=K_{12}/K_1=0$, 将使激振力幅 $F=0$, 这时振动系统就无法获得激振力, 振机将无法启振, 从而不能正常工作。

当 K_{12} 相当大, 乃至 $K_{12}\rightarrow\infty$, 这时连杆弹簧趋于刚性时, 弹性连杆也就成为刚性连杆了, 其激振力应是 $F(t)=F\sin\omega t$, 而不能按间接激振力 $F(t)=K_{12}(u-x)+C_{12}(\dot{u}-\dot{x})$ 来计算了。

当振动系统的 K_1 和 U 不变时, 由 $F=\alpha K_1U$ 可知, 提高 K_{12} 值, 即提高 $\alpha=K_{12}/K_1$ 比值, 就可以得到较大激振力。由此可知, 对于弹性连杆激振的振机, 只要适当提高 K_{12} 值, 就可以产生较大激振力, 因此, 振机容易启振, 同时, 可使振机需要驱动机构提供的激振力减小, 从而使振机驱动电机功率减小, 使整个振机重量、体积亦大为减小。所以, 烟厂中的振机多数都是弹性连杆激振。

b 当激振仅通过一个无弹性的阻尼器 C_{12} 时:

这时, $K_{12}=0$, $C_{12}\neq 0$, 激振力幅 $F=C_{12}\omega U=\beta C_1\omega U$, 这时的激振力的力幅不再是与激振频率无关了。激振力幅与 β 、 C_1 、 ω 和 U 成正比。不难理解, 其分析与上述 (1) 的情况类似, 不再赘述。值得注意的是, 由于中间元件对振机性能影响很大, 故在实际振机中, 中间元件参数选取要综合多方面的考虑。

(4) 弹性连杆振机与刚性连杆振机两者的稳态响应及相位角亦有较大的不同。

Analyses on the Mechanic Behaviour of the Two Methods in Exciting Vibration Conveyors with Eccentric Connecting—rod

Hu Kaiwen Qi Sihua Ge Xiaohe

Hefei Institute of Economics and Technology

Abstract

Vibration conveyors with eccentric connecting—rod are widely applied in production line of cigarette factories. The general ways for exciting vibration is acted by the stiff connecting—rod or the elastic connecting—rod, in turn, called directly exciting vibration or indirectly exciting vibration. Their effects properties are different because their forms of exciting vibration are different. This paper analyses and compares the mechanic behaviour of exciting vibration by the stiff connecting—rod or elastic connecting—rod, and discusses the functions of elements of exciting vibration. So it had met the demand for application.

Key words: Spring of exciting vibration, Damping of exciting vibration, Steady—state response.