

挤出机载荷特性分析

宗殿瑞

(青岛科技大学, 山东 青岛 266042)

摘要: 从摩擦载荷、惯性载荷和环境载荷三方面, 分析了挤出机负载峰值力矩和均方根力矩的特性, 载荷分析为挤出机的设计和执行机构的合理选取提供依据。相对传统的类比、实测设计方法, 载荷分析可为机械设计提供更准确的数据, 提高机械的性能/成本比。

关键词: 挤出机; 载荷; 特性分析

中图分类号: TQ330.4⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2002)09-0549-04

挤出机载荷是传动系统设计的一个重要原始数据, 直接关系到挤出机的强度和成本。在传统挤出机设计中, 都是借助类比、实测等方法, 但这些方法不是提供的数据不准确, 就是增加设计的难度。虽然类比法能减小许多工作量和机器设计的失败率, 但会对机器的成本和性能带来一定的影响。本工作就是对挤出机的载荷进行分析。

1 典型载荷分析

作用在机械装置上的典型载荷有摩擦载荷、惯性载荷和环境载荷。

(1) 摩擦载荷

摩擦载荷是两物体接触面上存在的一种阻止运动的力或力矩。最大静摩擦力 F_s 按库仑摩擦定律计算:

$$F_s = f_s N \quad (1)$$

式中 N ——法向压力;

f_s ——静摩擦因数, 由实验测得, 一般为 0.1~0.3。

动摩擦力 F_d 的计算与库仑定律相同:

$$F_d = f N \quad (2)$$

式中 f ——动摩擦因数, 由实验测得, 一般为 0.1~0.3。

(2) 惯性载荷

惯性载荷是由于物体具有加速度或角加速度

产生的。对于一个传动装置(如图1所示), 设 l 为低速轴, J_l 为转动惯量, h 为高速轴, 传动比 $i_{hl} = \Omega_h / \Omega_l > 1$, J_{hl} 为 J_l 折算到高速轴 h 上的转动惯量, 根据能量平衡原理, 有

$$\frac{1}{2} J_l \Omega_l^2 = \frac{1}{2} J_{hl} \Omega_h^2$$

因此得 $J_{hl} = J_l / (i_{hl}^2 \cdot \eta)$ (3)

式中 Ω ——角速度;

η ——传动效率。

同理, 高速轴 h 的转动惯量 J_h 折算到低速轴上的转动惯量为

$$J_{hl} = J_h \cdot i_{hl}^2 \cdot \eta \quad (4)$$

惯性力矩 M 为

$$M = J \epsilon \quad (5)$$

式中 ϵ ——角加速度。

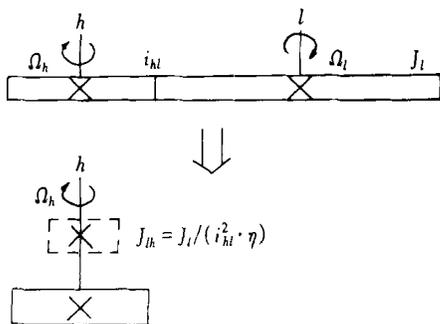


图1 转动惯量的折算(低速轴向高速轴)

(3) 环境载荷

除了摩擦载荷和惯性载荷以外的载荷为环境载荷。对挤出机而言, 有输入胶片的均匀性、胶料

作者简介: 宗殿瑞(1968-), 男, 山东德州人, 青岛科技大学讲师, 学士, 主要从事机械工程及自动化方面的研究工作。

配方和胶料温度等。对设计某种功能的挤出机而言,胶片的均匀性是不固定的,而胶料配方和胶料温度是容易控制的,因此影响挤出机性能的环境载荷主要是胶片的均匀性。

2 挤出机的工作特性^[1]

挤出机驱动功率主要消耗在三方面:①胶料克服机头阻力;②螺杆对胶料的剪切摩擦;③传动系统的机械摩擦。确定其功率的经验公式为:

(1)热喂料挤出机

$$P = KD^2n \quad (6)$$

(2)冷喂料挤出机

$$P = 10^{-5}KD^3 \frac{L}{D}n \quad (7)$$

式中 D ——螺杆直径, cm;

$\frac{L}{D}$ ——螺杆长径比;

n ——螺杆转速, $r \cdot \min^{-1}$;

K ——系数。

由此可以看出,挤出机消耗功率 P 随着螺杆转速的提高而增大,转矩 $M = P/n$, 是恒定的。但当螺杆转速超过一定值后,功率的增大有所下降,如图 2 所示。

挤出机工作特性与传动系统工作特性的匹配有 3 种情况,如图 2 所示。图 2(a)所示的情况在低速时效率太低;图 2(b)所示的情况在实际转速大于一定值时,机器带不动;图 2(c)所示的情况匹配较好。

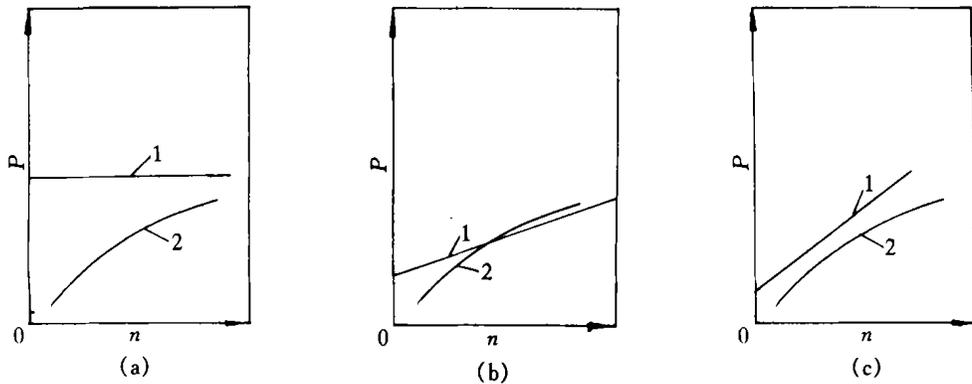


图 2 挤出机的工作特性与传动系统的工作特性

1—传动特性曲线; 2—挤出机工作特性曲线

3 挤出机负载力矩特性

3.1 负载的峰值力矩特性

折算到电动机轴上的负载峰值力矩 M_{fp}^m 为:

$$M_{fp}^m = \frac{M_{wp}}{i_t \eta} + \frac{M_{fp}}{i_t \eta} + (J_m + J_G^m + \frac{J_1}{i_t^2 \eta}) i_t \epsilon_{fp} \quad (8)$$

式中 M_{wp} ——作用在螺杆上的峰值环境载荷力矩;

M_{fp} ——作用在螺杆上的峰值摩擦力矩;

ϵ_{fp} ——螺杆的峰值角加速度;

J_m ——电动机轴上的转动惯量;

J_G^m ——传动系统折算到电动机轴上的转动惯量;

J_1 ——螺杆上的转动惯量;

η ——传动系统的效率;

i_t ——从电动机轴到螺杆的总传动比, 等于电动机的转速与负载转速之比。

由此可知,折算到电动机轴上的峰值力矩是总传动比的函数,如图 3 所示。

3.2 负载的均方根力矩特性

折算到电动机轴上的负载均方根力矩

$M_{lr}^{m[2]}$ 为:

$$M_{lr}^m = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\frac{M_w}{i_t \eta})^2 dt + \frac{1}{T} \int_0^T (\frac{M_f}{i_t \eta})^2 dt + \frac{1}{T} \int_0^T [(J_m + J_G^m + \frac{J_1}{i_t^2 \eta}) i_t \epsilon]^2 dt} \quad (9)$$

式中 M_w ——作用在螺杆上的瞬时环境载荷力矩；
 M_f ——作用在螺杆上的瞬时摩擦载荷力矩；
 ϵ_1 ——螺杆的瞬时角加速度；
 T ——载荷变化的周期。

式(9)中的3项负载分析如下。

(1)均方根环境载荷力矩

令螺杆上的均方根环境载荷力矩为 M_{wr} ，且

$$M_{wr}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T M_w^2 dt$$

$$M_w^2 = \frac{1}{T} \int_0^T M_w^2 dt = \int_0^T (C\sigma^2)^2 dt / T = \int_0^T (C\sigma^2)^2 p(\sigma) d\sigma = \int_{-\infty}^{+\infty} C^2(\bar{\sigma} + \Delta\sigma)^4 p(\sigma) d\sigma$$

$$= C^2 \int (\bar{\sigma}^4 + 4\bar{\sigma}^3\Delta\sigma + 6\bar{\sigma}^2\Delta\sigma^2 + 4\bar{\sigma}\Delta\sigma^3 + \Delta\sigma^4) p(\sigma) d\sigma$$

因为 $|\Delta\sigma| \ll \bar{\sigma}$
 则有 $M_{wr}^2 = C^2(\bar{\sigma}^4 + 6\bar{\sigma}^2\sigma^2)$
 $= (C\bar{\sigma}^2)^2 [1 + 6(\frac{\delta}{\bar{\sigma}})^2]$ (13)

式中， δ 为胶料量 σ 的标准差。

令 $M_w = C(\bar{\sigma})^2$, $\beta = \sqrt{1 + 6(\frac{\delta}{\bar{\sigma}})^2}$
 则 $M_{wr}^2 = (\beta M_w)^2$ 或 $M_{wr} = \beta M_w$ (14)

式中 M_{wr} ——稳态力矩；
 β ——系数。

(2)均方根摩擦力矩

令螺杆上的均方根摩擦力矩为 M_{fr} ，且 $M_{fr}^2 =$

$$\frac{1}{T} \int_0^T M_f^2 dt$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T (\frac{M_f}{i_t \eta})^2 dt = (\frac{M_{fr}}{i_t \eta})^2$$
 (15)

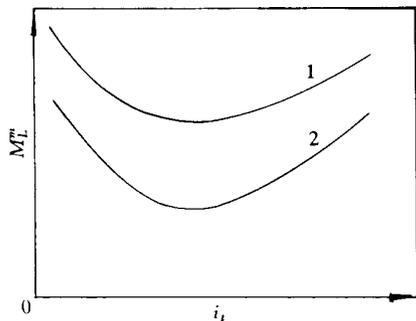


图3 负载的力矩特性

1— $M_{fr}^m - i_t$; 2— $M_{fr}^m - i_t$

则有 $\frac{1}{T} \int_0^T (\frac{M_w}{i_t \eta})^2 dt = (\frac{M_{wr}}{i_t \eta})^2$ (10)

通常瞬时环境载荷力矩是胶料量 σ 的二次函数，即

$$M_w = C\sigma^2$$
 (11)

式中， C 为比例系数。

胶料量的变化是随机的，假定其分布服从正态分布，如图4所示，图4中 $p(\sigma)$ 为对应的概率。显然胶料量 $d\sigma$ 的概率即为对应时间的比率 dt/T 。因此可以计算出：

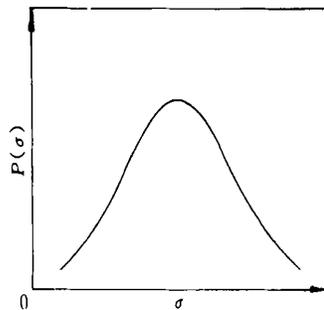


图4 胶料量的分布

因为 M_f 的变化规律不清楚，为安全起见，在估算时假定它等于静摩擦力矩 M_{fs} ，则

$$M_{fr} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T M_{fs}^2 dt} = M_{fs}$$
 (16)

(3)均方根惯性力矩

令折算到电动机轴上的均方根惯性力矩为 M_{jr}^m , J_r^m 为电动机轴上的总转动惯量，且 $(M_{jr}^m)^2 =$

$$\frac{1}{T} \int_0^T (J_r^m i_t \epsilon_1)^2 dt$$

如果螺杆上的角加速度按正弦规律变化，则有：
 $(M_{jr}^m)^2 = \frac{1}{T} \int (J_r^m i_t \epsilon_{1p})^2 \sin^2(\omega t) dt = \frac{(J_r^m i_t \epsilon_{1p})^2}{2}$ (17)

或 $M_{jr}^m = J_r^m i_t \epsilon_{1r}$ (18)

式中， ϵ_{1r} 为螺杆上的均方根角加速度，为

$$\epsilon_{1r} = \frac{\epsilon_{1p}}{\sqrt{2}}$$

由以上分析可得:

$$M_{lr}^m = \sqrt{\left(\frac{\beta M_w}{i_t \eta}\right)^2 + \left(\frac{M_{fs}}{i_t \eta}\right)^2 + \left[(J_m + J_G^m + \frac{J_1}{i_t^2 \eta}) i_t \epsilon_{lr}\right]^2} \quad (19)$$

其对应曲线如图 3 所示。

4 结论

挤出机的载荷情况是比较复杂的,通过对挤出机负载的峰值力矩特性分析,可以看出峰值力矩特性反映出电动机最大负载的工作状态;通过对挤出机负载均方根力矩的特性分析,不难看出它对应于电动机长期连续在变载荷工作状态下的情况。依此设计的 $\Phi 90$ 单头螺杆冷喂料挤出机

的电动机转速为 $900 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 功率为 50 kW, $\Phi 115$ 的电动机功率为 67 kW, 比传统方法选取的功率都小, 经过使用运行情况良好。

参考文献:

- [1] 唐国俊, 李建镇. 橡胶机械设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990.
- [2] 师汉民. 机械系统动态模型[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

收稿日期: 2002-03-31

Analysis for loading characteristics of extruder

ZONG Dian-rui

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The characteristics of the packed moment and equal root moment for extruder loading has been analyzed in respect of frictional loading, inertial loading and environmental loading to provide basis for the extruder design and the choice of executive mechanism. The loading analysis can provide more accurate data for machinery design to improve performance/price ratio when compared to the traditional analogy or practical measurement method.

Keywords: extruder; loading; characteristic analysis

《现代塑料加工应用》征订启事

《现代塑料加工应用》是国家科委和国家新闻出版署批准发行的全国性专业技术刊物,由中国石化集团公司主管,扬子石化公司、扬子石化公司研究院主办。国内外公开发行,已被一些权威数据库收录。

《现代塑料加工应用》准确报道树脂合成、塑料改性、塑料加工应用、工程塑料应用、塑料助剂、塑料机械及模具、塑料性能及测试等方面的研究成果和工业生产上的技术进步,国内外塑料加工应用最新进展、市场动态、发展方向及新知识、新工艺、新技术、新设备、新材料、新产品、新经验,并兼顾不同层次读者的需要,成为在行业中有影响的杂志之一,多年来深受广大读者的欢迎!

本刊为双月刊,双月 20 日出版。全年订价: 30.00 元。

国内统一刊号: CN 32-1220/TQ, 国内邮发代号: 28-209。全国各地邮局均可订阅,逾期未订者可直接向本刊编辑部订阅。

国际标准刊号: ISSN 1004-3055, 国际总发行: 中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱), 国外发行代号: 4716BM (邮编: 100044)。广告许可证号: 3201004970084。

本刊地址: 南京市大厂区平顶山邮局 4801 信箱, 邮编: 210048。

电话: (025)7783344; 传真: (025)7784305; E-mail: SLBJ @ YPC. com. cn; XDSL9788 @ yahoo. com.