

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.05.016

自动脱螺纹注塑模液压马达脱螺纹与推板推出动作关系的工程分析

畅国伟¹, 张凤兰²

(1. 顺德职业技术学院, 广东佛山 528300; 2. 哈尔滨中大型材科技股份有限公司, 哈尔滨 150078)

摘要: 针对自动脱螺纹注塑模具中液压马达脱螺纹速度与弹簧驱动的推板推出速度可能存在不同步的问题, 对液压马达脱螺纹动作规律进行了论述, 对弹簧驱动的推板推出动作规律进行了运动学分析, 通过对这两种动作规律的比较得出了一个结论, 即在实际工程应用中选用的液压马达多为低速马达的情况下, 液压马达轴向脱螺纹速度总是制约弹簧驱动的推板推出速度, 从而实现了一种制约同步。根据这个结论, 为避免出现塑件螺纹损坏的情况, 在模具结构允许的情况下, 应尽量选择劲度系数较低的推板弹簧。

关键词: 自动脱螺纹注塑模; 液压马达; 弹簧; 同步; 推板

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)05-0078-05

Engineering Analysis for Relations between Actions of Hydraulic Motor Unscrewing and Ejector Plate Ejecting in Automatic Unscrewing Injection Mould

Chang Guowei¹, Zhang Fenglan²

(1. Shunde Polytechnic, Foshan 528300, China; 2. Harbin Zhongda Profiles and Science Co. Ltd., Harbin 150078, China)

Abstract: Aiming at the problems of that the hydraulic motor unscrewing speed may not match the ejecting speed of the spring-driven ejector plate in automatic unscrewing injection mould, thus the rules of the hydraulic motor unscrewing actions were discussed, and the rules of the spring-driven ejector plate ejecting actions were also analyzed through kinematics. Through the comparison of these two kinds of rules, it comes to the conclusion that under the conditions that the low speed hydraulic motor type is mainly selected in the practical engineering application, the axial unscrewing speed of the hydraulic motor always restricts the ejecting speed of the spring-driven ejector plate, so they realize restricting synchronization. According to the conclusion, in order to avoid damage to the plastic parts thread, under the mould structure allowing conditions, low stiffness coefficient springs should be chosen in the mould for the ejector plate.

Keywords: automatic unscrewing injection mould; hydraulic motor; spring; synchronization; ejector plate

在自动脱螺纹注塑模具中, 液压马达与弹簧推板是普遍的通用结构。在自动脱螺纹过程中, 液压马达起旋转脱出螺纹的作用, 弹簧推板起扶持零件并止转的作用。图1是笔者设计的一套自动脱螺纹注塑模具简图, 图中推板厚34 mm, X 表示推板轴向推出位移。如图1所示, 在完成注塑后带螺纹塑件1从螺纹型芯8脱出的过程中, 液压马达9带动螺纹型芯8旋转, 使塑件从螺纹型芯上旋出, 同时因螺纹的轴向推出作用, 塑件向上运动; 推板4在弹簧5的作用下也向上运动, 起到对塑件止转和扶持的作用。自动脱螺纹的动作要求是螺纹旋出动作使塑件向上脱出的速度和位移应当与推板4在弹簧作用下使塑件向上运动的速度和位移一致。但是实际注塑过程中可能存在两者不同步情况^[1], 这时塑件上的螺纹会出现不同程度的损坏。该问题在工程实

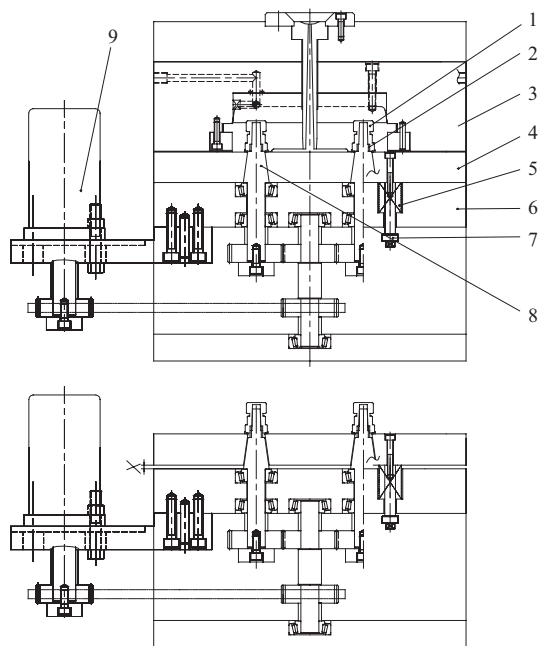
际应用中的解决, 主要是模具设计人员依靠经验进行试错, 用不断更换弹簧类型等方法, 并通过实际试模时塑件螺纹的质量来判断和解决不同步的问题, 而没有一致的统一理论指导。模具工程师对这两个动作同步问题的理解也存在模糊认识。故需要对螺纹脱出动作与推板推出动作之间的关系进行工程分析, 以提供一种可以指导工程应用的理论。

在图1分析的基础上, 可将螺纹脱出速度和推板推出速度之间的关系分为不同步和同步两种情况。

不同步的情况又可细分为螺纹脱出速度高于推板推出速度和螺纹脱出速度低于推板推出速度。

联系人: 畅国伟, 副教授, 主要从事塑料成型工艺、模具设计和制造的科研和教学

收稿日期: 2015-03-10



1—带螺纹塑件; 2—塑件螺纹部分; 3—定模板; 4—推板; 5—弹簧;
6—动模板; 7—限位杆; 8—螺纹型芯; 9—液压马达

图1 笔者设计的自动脱螺纹注塑模具简图

对于前者,塑件会脱离推板,推板因此起不到止转和扶持的作用,塑件就会随同螺纹型芯旋转,塑件底部与推板在分离与摩擦过程中会使其底部参与止转的突起损坏,由此也使得塑件无法从螺纹型芯上脱下;对于后者,推板的推出速度和位移远超过塑件从螺纹型芯上脱出的轴向速度,推板弹簧的推力过大以至于损坏塑件的螺纹,这时塑件被强制脱下。

同步情况是自动脱螺纹注塑模具正常工作时的情况,其也可细分为以下两种:①自然同步,即液压马达的脱出螺纹速度与推板推出的速度刚好一致,这是一种理想的同步情况;②制约同步,即在弹簧的驱动下推板推出的速度和位移本应高于液压马达脱螺纹时塑件螺纹轴向脱出速度和位移,但是推板受塑件的阻挡而与塑件保持接触,因而不得不与塑件同步运动,这时弹簧的推力没有达到能破坏塑件螺纹的程度。

为获得塑件自动脱螺纹时螺纹脱出速度和推板推出速度之间的实际关系,并且在工程应用中能够指导液压马达与推板弹簧的选型,笔者首先论述了液压马达的脱螺纹动作规律,然后研究了推板的推出动作规律,最后对这两个规律进行比较以得出一般性的结论,从而为液压马达和推板弹簧的选型提供工程应用理论指导。

1 液压马达脱螺纹动作规律

液压马达的启动特性并不需要模具设计人员

进行深入的研究,但熟悉和了解液压马达的启动规律对模具设计人员理解脱螺纹动作与推板动作的同步关系有重要作用。由于目前液压马达生产厂家对液压马达宏观长期运行的规律更为关注,因此马达启动过程的资料极少。对于自动脱螺纹模具设计人员来说,更关注的是在很短的时间内螺纹自动脱出时的马达启动规律。由于液压马达领域中的一些文献^[2-3]所讨论的液压马达与目前自动脱螺纹注塑模具所使用的液压马达本质上是相同的,因此,在目前这种情况下,笔者参考了文献[2]和文献[3]对液压马达启动特性的基础性试验研究结果来论述自动脱螺纹注塑模具用液压马达的启动规律。

1.1 液压马达启动扭矩变化规律

液压马达的启动扭矩与系统的启动压力成正比^[2],从能量守恒的角度分析,这种成正比的关系也符合能量守恒原理。通过参考文献[2]的研究结果,可以认为,对于自动脱螺纹模具使用的液压马达来说,当注塑机发出给油信号后,其扭矩呈线性的上升过程。当油路打开后,液压马达从静止到开始转动,扭矩经历了一个从0上升到启动所需值的线性过程。

从工程的角度看,可以认为这一过程是一个影响因素复杂的动态过程^[4]。液压油压力的升高随时间增加以线性规律变化,因为注塑机液压泵输出的液压油压力变化规律与液压马达的启动扭矩规律相同并以线性规律变化(液压马达是液压泵的反向工作机构),当注塑机液压系统液压泵的输出扭矩随时间线性增加时,输出的液压油压力也会随时间以线性的方式增加。因此可以认为自动脱螺纹模具使用的液压马达启动扭矩是随时间线性增加的。

1.2 液压马达启动转速变化规律

在自动脱螺纹过程中,脱螺纹阻力扭矩可估算为一个定值,但液压马达启动后,扭矩会经过一个随时间线性增加的过程从而达到这个阻力扭矩的值。在达到这个阻力扭矩值之前,由于机械系统的间隙等因素,液压马达会有一个微小的转角。

通过参考文献[3]的研究结果,可以认为自动脱螺纹注塑模中自动脱螺纹扭矩为定值时液压马达转速随时间增加发生了如图2所示的变化。这种变化规律作为一般性实验结论在工程应用中对液压马达启动过程及转速随时间变化规律的认识有基础性的示范作用^[5],揭示了一般液压马达转速变化随时间的变化关系^[3]。

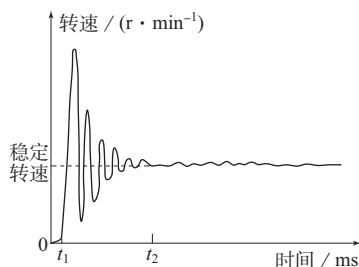


图2 脱螺纹注塑模中扭矩为定值时液压马达转速随时间的变化曲线

从图2可以看出,脱螺纹阻力扭矩为定值时,液压马达的转速在极短的时间内迅速升高,而后经过一个较短的震荡周期进入平稳期。图2对于模具工程技术人员理解液压马达的启动过程有直观的意义。

图2所示的曲线也反映了启动时扭矩在达到阻力扭矩值之前液压马达产生微小的转角这一事实,这一情况可从图2曲线上 t_1 之前的一小段近似于直线的部分看出。在最初启动的短暂时间内,虽然设定的扭矩为定值,但是液压马达启动之前到实现有实际输出扭矩这一段时间内,扭矩是从0线性增加到设定值的,这时马达已经有轻微的启动,所以有微小的转角变化。

根据图2,用于自动脱螺纹的液压马达启动转速变化规律基本上可以描述为3个阶段:① t_1 之前,线性启动阶段,这个阶段时间很短,一般在 $0.005\text{ s}^{[3]}$ 左右;②从 t_1 至 t_2 ,转速震荡阶段;③ t_2 之后,转速稳定阶段。自动脱螺纹注塑模具可能会选用不同类型的液压马达,其启动时间虽然会有差异,但是均会遵守上述的一般规律。

从图2还可以观察到一个重要的现象,即用于脱螺纹的液压马达启动时间很短,其经过很短时间(如 $0.025\text{ s}^{[3]}$)的转速振动变化,随即进入稳定的转速区间。

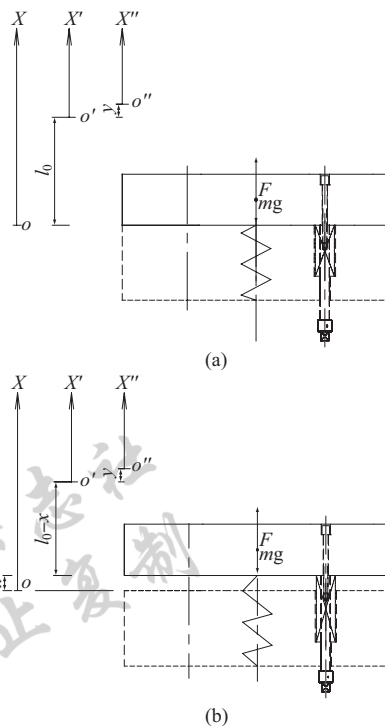
2 弹簧驱动的推板推出动作规律

在了解了液压马达的转速随时间变化的规律后,还需要深入了解弹簧驱动的推板的推出动作规律以进行比较。弹簧驱动的推板推出动作规律可根据对推板的运动学分析而得到,推板在进行推出动作时的运动符合弹簧振子的运动规律^[6]。

2.1 弹簧驱动的推板简谐运动方程

图3是根据图1所作的弹簧推动推板运动示意图。图3中实体框代表图1中的推板4,虚线框代表图1中的动模板6; O'' 为弹簧在原长时的原点, O' 点为弹簧推力 F 与推板的重力 mg (m 为推板质

量, g 为重力加速度)的平衡点, O 点为推板与动模板接触压紧时的起始点; l_0 为 O' 点到 O 点的距离, x 为推板推出过程中的位移, y 为弹簧预压长度值,若设 k 为弹簧劲度系数,则有 $yk=mg$ 。



a—推板未推出时, $F=k(l_0+y)$; b—推板推出时, $F=k(l_0+y-x)$

图3 弹簧驱动推板运动示意图

弹簧推动推板的运动是简谐振动。为简化分析过程,不考虑推板导柱导套等的摩擦。根据推板的受力情况可得在重力和弹簧推力双重作用下的振子(推板)的动力学方程,如式(1)所示。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = k(l_0 - x + y) - mg \quad (1)$$

式(1)中 t 为时间,由 $yk=mg$,则式(1)变为:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = kl_0 \quad (2)$$

其解为 $x = -l_0 \cos(\omega_0 t) + l_0$,其中 ω_0 为角频率,其表达式为 $\omega_0^2 = k/m$ 。

弹簧总简谐振动周期 T 为:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3)$$

推板在某一点的速度 V 为:

$$V = 2\omega_0 l_0 \sin(\omega_0 t) \quad (4)$$

实际推板的运动因模具构造的原因,仅完成不到弹簧 T 的 $1/4$,如图4中实线部分。因为受模具推板限位杆7的限制,其实际运动距离比 $1/4$ 周期所对应的还要小,为简化分析以弹簧 T 的 $1/4$ 作为推板推出时间。

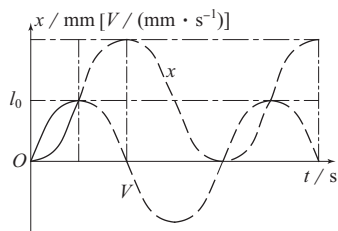


图4 弹簧驱动推板位移与速度变化周期

2.2 常用模具结构下的推板推出时间计算

以图1的推板为例,计算其在弹簧驱动下的推出时间。图1中推板尺寸为350 mm×300 mm×34 mm,其质量为27.8 kg。弹簧尺寸的选择按照弹簧预压长度为 y 时其推力与推板重力的平衡来选择。弹簧总压缩量为 y 与弹簧行程相加。

根据弹簧预压时与推板重力的平衡,4支弹簧尺寸初选为外径20 mm,内径10 mm,原长50 mm,按照工具软件的试算取 y 为5.43 mm,则每支弹簧所承受的推板重力 $=27.8 \times 9.8 / 4 = 68.11$ N;弹簧行程选为10 mm(约大于旋出螺纹长度),弹簧 $k = 68.11 \times 10^3 / 5.43 \approx 12544$ N/m;经式(3)计算得到4支弹簧的 $T = 0.14$ s;由于弹簧驱动推板推出时需要的时间为其周期的1/4,所以推出时间约为0.035 s。按照上述方法计算得到的其它不同质量推板所对应的弹簧相关参数及推出时间如表1所示。

表1 不同质量推板所对应的弹簧相关参数及推出时间

项 目	推板质量/kg		
	50	80	100
弹簧预压力/N	122.5	196.0	245.0
y /mm	6.48	7.15	7.67
弹簧行程/mm	10	10	10
弹簧型号 ¹⁾	黄 30 16 75	黄 35 20 70	黄 35 20 60
k /(N·m ⁻¹)	18 904	27 412	31 942
T /s	0.16	0.17	0.18
推板推出时间/s	0.040	0.042	0.045

注:1) 弹簧型号中的第1个数字表示外径,第2个数字表示内径,第3个数字表示原长,单位均为mm。

从表1可以发现不同质量推板的推出时间相差不大。其原因在于式(3)中的 m 与 k 值之间有 $yk=mg$ 的关系,而这个关系是工程设计中选择弹簧的依据,所以弹簧的 y 与 m 之间也存在“选择”关系,则有 $k=mg/y$,将其代入式(3)可得:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{y}{g}} \quad (5)$$

根据式(5)可知,推板推出的时间仅与弹簧的 y 有开方关系,由于 y 的单位一般为mm,且表1中的 y 相差不大,因此推出时间相差不大。

由以上计算可知,如果弹簧的 y 选为6~8 mm,

则推板推出时间约为0.04 s。对于中小型自动脱螺纹注塑模具来说,通过式(5)计算弹簧推板推出时间具有实际的指导意义,由于实际应用时弹簧的 y 大多选为6~8 mm,因此多数自动脱螺纹注塑模具所用的推板推出时间应为0.04 s左右。

3 液压马达脱出螺纹动作与弹簧推板推出动作之间关系的分析

根据以上分析,从工程应用的角度看,弹簧驱动推板的推出速度相比于液压马达启动后脱螺纹的速度要快很多,因为根据图2可知液压马达需要一段时间来达到稳定转速,当时间达到0.04 s后,推板推出动作基本完成,而此时液压马达可能刚达到稳定转速。

假设液压马达启动即达到其稳定转速,由于一般情况下液压马达到链条到齿轮系统的转速比为1:1,因此液压马达的转速就是脱螺纹的转动速度。

设螺纹脱出圈数为 s ,液压马达的转速为 n ,则总脱螺纹时间为:

$$t_a = s/n \quad (6)$$

在理想的自然同步情况下, $t_a = (1/4)T$,将其代入式(5)可得:

$$t_a = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{y}{g}} \quad (7)$$

根据式(7),可在选择弹簧之后根据弹簧的 y 来计算 t_a ,然后估算液压马达转速的上限理论值。以弹簧的 y 为8 mm, $s=10$ 计算,由于弹簧驱动推板推出时间为0.04 s左右,则若要达到理想的自然同步的情况,相应的 t_a 也应为0.04 s,则由式(6)可得液压马达的转速理论上限值为250 r/s,即为15 000 r/min。实际上液压马达经过一个短暂的时间如0.025 s^[3]之后其转速才趋于稳定,因此如果考虑启动因素,则这个上限理论值应当更高。按照转速的上限理论值选出的液压马达,可以实现脱螺纹速度与推板推出速度之间的自然同步。但是相对于实际应用的液压马达,所计算的转速上限理论值过高。在实际应用中,经常选用的反而是低速的液压马达,一般情况下很少超过800 r/min,而即使对于螺纹圈数较少的模具,其转速上限理论值也远远高于这个数值。通过转速理论上限值与实际的选用值比较可以知道,工程实际应用中,自动脱螺纹注塑模推板的推出动作总是受到塑件的阻挡,即受到液压马达脱螺纹速度的制约,这是经过分析得出的第1个重要结论。因此,在自动脱螺纹注塑模正常工程

应用中,液压马达脱螺纹的速度与推板推出速度之间的关系只能是制约同步的情况,即实际螺纹脱出速度总是小于推板的“自然”推出速度,正常情况下弹簧推力尚不足以使塑件螺纹损坏,因此推板的动作跟随塑件实现制约轴向同步。

4 液压马达与推板弹簧的选择依据

4.1 液压马达选择依据

从工程应用经验知道,过高的马达转速使其启动时的转速波动范围也大,会造成塑件螺纹的损坏,另外从一般机械应用角度讲,刚刚完成冷却的塑件螺纹强度偏低,选用低速马达也不容易造成零件螺纹的损坏。因此,虽然高转速的液压马达与推板能够达到理想的自然同步的情况,但高转速的液压马达极容易损坏塑件螺纹,且其成本过高。因此实际工程应用中,还是应按照实际的经验来选择液压马达。实际中液压马达的选择可依据其输出扭矩和转速范围参数进行选择,多选用低速大扭矩马达。

4.2 推板弹簧选择的依据

由以上推论可以知道,在选定了工程上用于脱螺纹的液压马达后,应当选择推出塑件时不造成塑件破坏的弹簧,这是得到的第2个重要结论。液压马达脱出螺纹的动作与推板推出的动作能够同步是自动脱螺纹注塑模具设计的理想目的,但是经过分析已经知道,在使用液压马达和弹簧驱动的推板这一对结构时,实际的情况永远是上述分析的液压马达脱出螺纹的轴向速度低于弹簧驱动推板推出的速度,因而推板受塑件的阻挡而与塑件保持接触,形成制约同步。

这样实际的弹簧的选择应当是在完成推出动作的前提下,弹簧劲度系数越低越好,劲度系数较低时可选用较大的预压长度。式(7)是一个递增函数,因而采用越大的预压长度,推板推出时间会长一些,从而减少推板“过推”造成的塑件损坏,避免上述不同步情况中的第2种情况发生。但弹簧预压长度并不是越高越好,采用较大的弹簧预压长度需要采用较长的弹簧,而模具结构客观限制这一要求。综合考虑两方面因素,在模具结构允许的条件下,尽量选择劲度系数低的弹簧。这种思路为自动脱螺纹

注塑模具设计时推板弹簧的选择提供了指导。

5 结论

在自动脱螺纹注塑模具中,由于实际选用的液压马达大多为低速马达,因此液压马达轴向脱螺纹的速度在工程应用中总是制约弹簧驱动的推板推出速度,形成一种制约同步;与液压马达配套的推板弹簧应当在模具结构和推板质量所允许的条件下尽可能选择劲度系数较低的弹簧,为平衡推板质量此时可以采用较大的弹簧预压长度。

参考文献

- [1] 畅国伟. 外形非轴对称注塑件螺纹起始点一致性定位或规定角度转动实现方法[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(7): 62-67.
Chang Guowei. Realizing method of thread start point consistent positioning or rotating specified angle for injection molding parts with non-axisymmetric outer shapes[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(7): 62-67.
- [2] Dann R T, 齐栋. 大扭矩液压马达的启动特性的测定[J]. 液压与气动, 1977(5): 60-64.
Dann R T, Qi Dong. Starting characteristics measuring of high torque hydraulic motors[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 1977(5): 60-64.
- [3] 刘树道, 董铸荣. YM_0.4型液压马达启动特性仿真与实验[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2002, 30(4): 29-32.
Liu Shudao, Dong Zhurong. MATLAB computer simulation and experement of the starting dynamic characteristic of the hydraulic motor with low speed and high torque[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2002, 30(4): 29-32.
- [4] 席景翠, 安高成, 王明智. 低速大扭矩液压马达启动特性探讨[J]. 中国机械工程, 2008, 19(24): 2 929-2 933.
Xi Jingcui, An Gaocheng, Wang Mingzhi. Study on starting performance for high-torque low-speed hydraulic motors[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(24): 2 929-2 933.
- [5] 廖米和. 简单的低速大扭矩液压马达试验台[J]. 中国科技纵横, 2014(17): 81-82.
Liao Mihe. Simple low speed high torque hydraulic motor test stand [J]. China Science & Technology Overview, 2014(17): 81-82.
- [6] 林淑淇, 郑少燕, 李德安, 等. 基于PASCO系统的简谐运动特性研究[J]. 物理通报, 2014(2): 83-85.
Lin Shuqi, Zheng Shaoyan, Li De'an, et al. Study on the characteristics of simple harmonic motion based on PASCO system [J]. Physics Bulletin, 2014(2): 83-85.

宁夏金昱元年产40万t聚氯乙烯多联产项目启动

日前,宁夏金昱元公司40万t/a聚氯乙烯多联产循环经济项目启动及80万t/a电石项目一期工程奠基仪式在固原市举行。

金昱元公司盐化工循环经济项目计划总投资65亿元,

包括聚真空制盐、氯乙烯多联产、电石、电石渣制水泥等项目,全部项目2017年9月建成投产。项目以盐化工循环经济多联产为基础,以乙炔系列、甲醇系列、氯碱系列三大产品链为主线,实现多联产的循环经济产业链。项目全部建成后,年可实现工业总产值70亿元。(中化报)