

橡胶冷喂料挤出机温控系统设计计算探讨

张 沛,陈家庆,王新峰
(北京石油化工学院 机械工程系,北京 102600)

摘要: 介绍了橡胶冷喂料挤出机温控系统的组成和温控原理,探讨了挤出机冷却流道和温控装置的设计特点以及设计计算方法。挤出机温控系统设计基于热平衡方程和传热方程的基本原理,包括流道设计和温控装置设计。

关键词: 挤出机; 温度控制; 设计计算

中图分类号: T Q330. 4⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2001) 12-0731-05

1 橡胶冷喂料挤出机温控原理

胶料温度的控制是橡胶加工中最重要的操作条件,有人甚至把温度精确控制称为橡胶加工的生命线。冷喂料挤出过程中胶料温度的控制尤为重要。冷喂料挤出过程中,胶料大致经历 3 个阶段,即加料段、塑化段(或称软化段)和挤出段。胶料在 3 个阶段的状态和温度是不同的。加料段胶料温度较低,挤出段胶料呈可流动状态,温度较高。由挤出原理可知,加料段的温度过高时,既不利于螺杆进料,又可能导致挤出时胶料温度过高,乃至降解;加料段温度过低时(如在室温),也不利于胶料输送,同时影响塑化效率。经验证明,当加料段胶料的温度控制在一定范围时,胶料与机筒的摩擦因数较大,输送效率较高。挤出段胶料的温度对挤出速率和制品质量的影响最大,温度过低则无法成型或者挤出制品的物理性能和表观质量差,温度过高则容易降解甚至焦烧,因此必须对挤出过程的温度予以控制。

由于各段胶料所需温度不同,挤出机机筒的温度一般采用分段控制。大中型挤出机可分 3~5 段或更多,小型可分 1~3 段。胶料的温升来源于螺杆的摩擦和剪切生热以及外部热源的加热。因此在挤出过程中控制胶料温度有两

个途径:一是控制胶料的内摩擦热,二是使用外部温控装置与胶料进行热交换。挤出过程中,螺杆对胶料的剪切作用导致胶料产生内摩擦热,这是胶料温度升高的主要原因。内摩擦热的多少与剪切速率有关,而剪切速率主要取决于螺杆直径和转速,因此在操作时可以通过调节螺杆转速来控制胶料温度。但由于挤出过程受多个因素影响,实践证明单靠调节螺杆转速来控制胶料温度目前还难以实现,因此有效控制温度的方法是设置温控系统。冷喂料挤出机温控系统是指两部分的组合:其一是挤出机的温控结构,即在挤出机的机筒壁上开设流道(螺旋流道、环行流道或轴向循环流道等)和在螺杆中心开冷却孔,传热介质可在其中流动;其二是外部温控装置,它实际上是具有专门结构的换热器,以油或水等流体为循环介质,机筒、螺杆流道与温控装置以管道相连接,流体可在机筒(或螺杆)流道与外部温控装置之间循环流动,通过热传递控制胶料温度并设油量、油温、水量、水温自动调节与控制系统。用油作介质时,循环温度稳定,流道不会结垢,但是导热性能比水稍差;用水作介质时,需对水进行软化处理。机筒循环流道结构和温控系统如图 1 所示。

使用外部温控装置使挤出机温度控制精度大大提高,也给温控系统的结构设计、工艺参数计算等带来了方便。应该指出,挤出胶料温度控制的效果取决于机筒传热结构和温控装置的性能,即取决于整个温控系统,但是由于挤出传

作者简介:张沛(1947-),男,北京人,北京石油化工学院教授,工学硕士,主要从事橡胶塑料机械及模具方面的教学与科研工作。

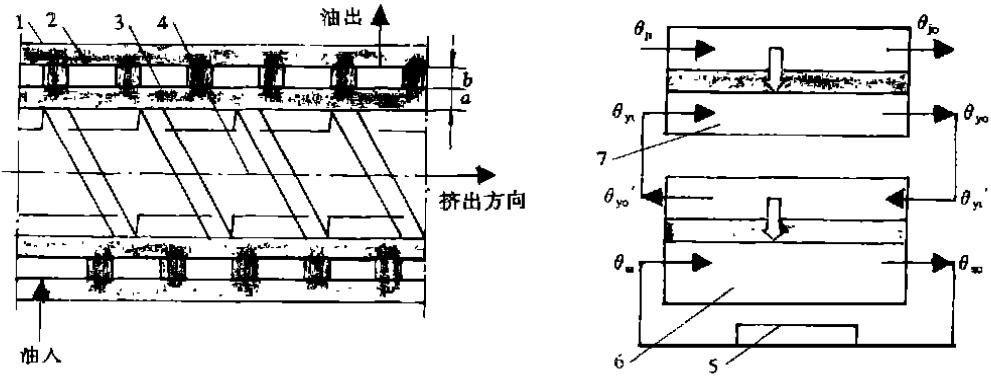


图1 机筒流道结构与温控系统原理

1—机身；2—传热流道；3—机筒；4—螺杆；5—水循环系统；6—温控装置；7—机筒流道

热过程的复杂性，实现精确的设计计算比较困难。实用而有效的方法是：基于热平衡方程和传热方程的基本原理，以试验或经验数据为基础，借助计算机进行设计计算；同时在设计温控装置时考虑到在线检测、控制和调节技术的应用，使流体的流量、流速、温度和压力有较宽的调节和检测范围，以增加其调控范围和适应性。这些就是本文讨论温控系统设计计算方法的出发点。

通过换热器进行流体温度的调节主要有2种类型：一种是换热器中无间壁，冷热流体可直接接触，在接触过程中发生热交换，以调节流体温度；另一种是换热器中有间壁，冷热流体不相接触，分别从间壁（板或管）两侧流过，热流体热量以对流方式传给壁面，经过壁面导热后再以对流方式传给冷流体，由于这一类型换热器应用较多，本文主要讨论此类温控装置的设计。系统工作时热流体可在机筒流道与温控装置中循环流动。挤出时，胶料向机筒流道壁面传递（或吸收）热量，壁面再传给在流道中流动的热流体，热流体在温控装置中与间壁另一侧的冷流体进行可控热交换，使循环流体维持一定温度值以实现胶料的稳定温度控制，温控原理如图2所示。本文讨论的流经机筒流道的介质为专用矿物油，在温控装置中调节油温的介质是水。

机筒流道结构对胶料的温控效率和精度有较大影响。一般来说，在保证机筒强度和总体

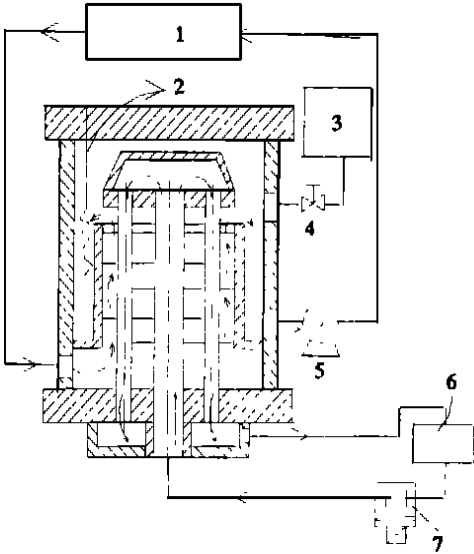


图2 橡胶挤出机温控装置总体结构示意图

1—挤出机；2—加热器；3—储油箱；4—浮子开关；5—油泵；6—水循环系统；7—电磁阀

尺寸的条件，流道有效传热面积越大越好，这也是机筒流道设计的基本要求。

2 机筒传热流道的初步设计计算

2.1 机筒传热流道设计的一般原则

机筒传热流道的形式主要有环行流道、轴向循环流道和螺旋流道，其中螺旋流道的传热性能较好，应用广泛^[1]。设计流道时，流体在其内的流动应该通畅，同时符合“先进先出”的流动次序，流道各处均无滞流现象；流道的截面多为矩形或梯形。设计螺旋流道时，在保证强

度条件下, 机筒壁厚度 a 不应太大, 以减小循环介质与胶料的温差; 在满足流道传热面积的前提下, 流道螺棱高度 b 也应小, 以增大传热效率。

本研究中的机筒为整体, 即不考虑衬套及其装配关系的影响, 同时螺杆中心未开孔, 仅在机筒上开设流道, 即不考虑螺杆及机头与循环流体的传热。为了讨论简单起见, 整个机筒只设一段温控段, 即从加料口到机头的传热流道是连续的。循环油在流道中的流向与挤出方向相同。

机筒流道的设计大致有两种情况: 其一是温控装置工作参数已定, 需确定机筒流道的结构尺寸和传热面积; 其二是机筒流道的结构尺寸和传热面积已定, 需设计温控装置或选择、调整温控系统工作参数。不论哪一种情况, 最主要的是合理确定流道的有效传热面积。通常传热流道的设计计算是指通过计算确定流道的传热面积, 为结构设计或修改设计提供依据。

2.2 传热流道的热平衡计算^[1, 2]

在进行传热流道的设计计算时, 一般应首先确定流道的截面形状和尺寸、物料进入机筒和从机筒挤出的温度。

假定 Q_1 为螺杆推挤、剪切胶料产生的热量, Q_2 为循环流体流经机筒流道时输入或带走的热量, Q_3 为胶料从进入加料口到挤出所吸收的热量, Q_4 为机筒等通过对流散失在外界的热量, 其单位皆为 $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由热平衡方程得到:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1)$$

Q_1 由螺杆驱动功率转换来。它的精确计算较为困难, 一种方法认为 Q_1 为所需驱动功率减去传动部件摩擦消耗功率和胶料压缩变形消耗的功率。若为螺杆实际所需驱动功率(可由计算得出), 则

$$Q_1 = \beta P \quad (2)$$

式中 β 为由螺杆驱动情况决定的系数。

其它各种热量的计算公式如下:

$$Q_2 = \rho_y V_y C_y (\theta_{y0} - \theta_{yi}) \quad (3)$$

$$Q_3 = \rho_j V_j C_j (\theta_{j0} - \theta_{ji}) \quad (4)$$

$$Q_4 = \alpha_d F_0 (\theta_0 - \theta_a) \quad (5)$$

式中 ρ_y ——油的密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 V_y ——油的体积流率, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
 C_y ——油的比热容, $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;
 ρ_j ——胶料的平均密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 V_j ——螺杆最高转速时单位时间体积挤出量, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
 C_j ——胶料的比热容, $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;
 θ_p ——胶料挤出温度(由工艺要求决定), $^\circ\text{C}$;
 θ_{ji} ——进入加料口的胶料温度(等于室温), $^\circ\text{C}$;
 θ_{y0} —— θ_{j0} 达到工艺要求时油的流出温度(其值一般低于 θ_{j0}), $^\circ\text{C}$;
 θ_{yi} ——油的流入温度(其值应高于 θ_{ji} , 是流道和温控装置实行系统反馈控制的主要检测温度), $^\circ\text{C}$;
 α_d ——机筒表面换热系数^[3], 约为 $29.34 \sim 62.82 \text{ kJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;
 F_0 ——机筒外表面面积, m^2 ;
 θ_0 ——机筒平均温度, $^\circ\text{C}$;
 θ_a ——周围空气温度(室温), $^\circ\text{C}$ 。

由于 Q_1 , Q_3 和 Q_4 可由已知条件求出, 在初步设定的情况下可以得出

$$V_y = Q_2 / C_y \rho_y (\theta_{y0} - \theta_{yi}) \quad (6)$$

油的流速 u_y 为

$$u_y = V_y / S \quad (7)$$

式中 S ——流道面积。

计算雷诺准数, 检验流道内是否为紊流, 如果不是紊流, 则应重新设定流道截面尺寸或重新设定 $\theta_{y0} - \theta_{yi}$ 。

下面计算流道传热面积, 传热方程为

$$Q_2 = K_1 F_1 \Delta\theta_{m1} \quad (8)$$

式中 K_1 ——流道表面与流体的传热系数,

$\text{kJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

F_1 ——流道当量传热面积, m^2 ;

$\Delta\theta_{m1}$ ——流体与流道壁面平均温差, $^\circ\text{C}$ 。

$\Delta\theta_{m1}$ 与 θ_{j0} , θ_{ji} , θ_{y0} 和 θ_{yi} 有关, 可参考文献

[1] 的方法计算。计算 K_1 并根据公式(8)得出流道传热面积, 然后计算流道压力降。

3 温控装置设计计算

挤出机温控装置主要结构类似换热器, 其中以管壳式和板式为主。板式热油循环温控装置的特点是传热效率高, 比一般管壳式结构的高 2~4 倍, 并具有节能、结构紧凑、拆卸方便、所需冷却水少以及流动阻力小等特点。

温控装置的设计应具有广泛的适应性, 即对于不同的螺杆尺寸和转速的挤出机均可有效控温, 具有较宽的调整余地, 还应具有较高的温控精度和较高的传热效率, 结构应当紧凑, 调节方便。

在进行设计计算时, 设温控装置壳程中的流体为油, 并与冷却流道连接, 管程中的流体为水; 冷热流体采取逆循环方式。设计计算依据仍然是热平衡方程和传热方程, 温控装置中的热交换总量仍然是 Q_2 。计算过程如下。

(1) 初步确定装置中换热管的内外直径、排布形式和壳程结构形式。

(2) 初步确定管程中水的流出温度 θ_{so} , 水的流入温度 θ_{si} 为室温。

(3) 计算管程水的流量、流速和雷诺准数

$$Q_2 = \rho_s V_s C_s (\theta_{so} - \theta_{si}) \quad (9)$$

$$V_s = Q_2 / C_s \rho_s (\theta_{so} - \theta_{si}) \quad (10)$$

式中 V_s ——水的体积流量, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

C_s ——水的比热容, $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

ρ_s ——水的密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

水的流速 u_s 为

$$u_s = 4 V_s / (\pi d_2^2) \quad (11)$$

式中 d_2 为换热管内径(单位为 m)。

由 u_s 等值计算雷诺准数, 如果达不到紊流, 则调整管径或重新设定水的流出温度 θ_{so} 。

(4) 计算管程与壳程流体的平均温差 Δt_{m2} (与 θ_{jo} , θ_{ji} , θ_{so} 和 θ_{si} 有关, 可参考文献[1] 的方法计算)。

(5) 计算换热管外壁传热系数 K_2 和所需换热面积 F_2 :

$$Q_2 = K_2 F_2 \Delta t_{m2} \quad (12)$$

式中 K_2 ——换热管外壁传热系数,

$\text{kJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

F_2 ——换热管外壁总面积, m^2 。

(6) 由 F_2 确定换热管直径、管长、根数和管间距。

(7) 计算壳程流通面积、壳程油流量和流速, 计算雷诺准数, 如果达不到紊流, 则需重新设定壳程结构。

(8) 计算管程和壳程压力降, 选择油泵和水泵, 进行结构设计。

由于温控装置在使用要求上与一般换热器不同, 在结构上应考虑: 加热器功率选择和安装; 壳程容量与油的补充; 水的可循环装置设计及流量控制方式; 整体的装拆、管道连接等要求; 控制、检测仪表选择和安装。

4 挤出机温控系统传热计算程序框图

温控系统的工作目标是实现有效稳定的胶料与温控装置的热交换, 使胶料挤出温度符合工艺要求。恰当的确定机筒流道的传热面积及进入和流出传热流道的流体的温度是结构和控制方面的最主要的因素。温控系统的设计计算程序如图 3 所示。

5 结语

挤出机温控系统设计包括流道设计和温控装置设计, 二者又是统一的。把上述计算过程连接起来, 借助计算机按照期望的数值编制程序, 实现优化设计是有效的设计方法。由于设计温控装置时考虑到系统的调节范围, 在编制程序时可以不必要对所有过程或参数均一一计算。

参考文献:

- [1] 唐国俊. 橡胶机械设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 1984. 324-329.
- [2] 杨世铭. 传热学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 315-326.
- [3] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997. 272-274.

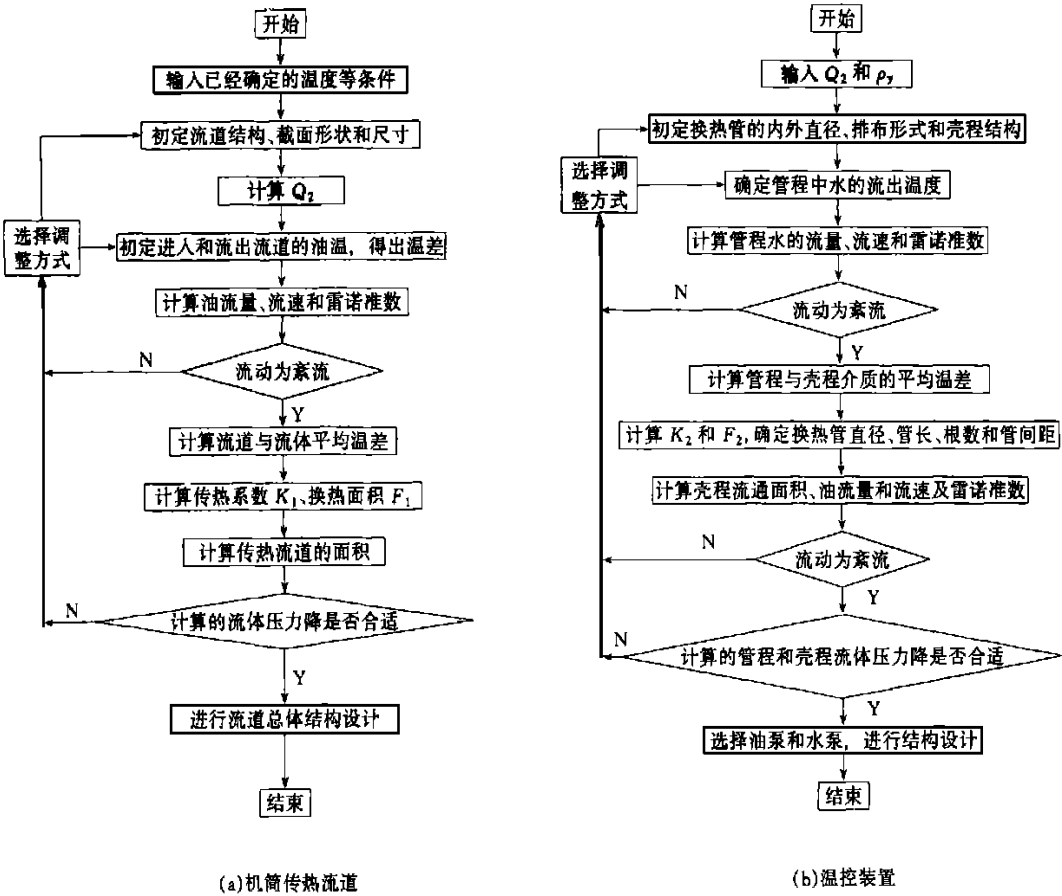


图 3 挤出机机筒传热流道和温控装置设计计算流程

收稿日期: 2001-08-25

Design calculation for temperature controlling system of cold feed extruder

ZHANG Pei, CHEN Jia-qing, WANG Xin-feng
(Beijing Institute of Petro-chemical Technology, Beijing 102600, China)

Abstract: The structure and working principle of the temperature controlling system in cold feed extruder are described. The design features of cooling channel and temperature control device for extruder, and the design calculation method are presented. The temperature controlling system of extruder is designed based on the basic principles of the heat equilibrium equation and heat transfer equation.

Keywords: extruder; temperature control; design calculation

启事 第一届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文集及第十和十一届全国轮胎技术研讨会论文集尚有部分剩余, 每本售价 100 元。如有需要者, 请与本刊编辑部张川联系。电话: (010)68156717。