

# 注塑模具冷却系统库的 CAD/ CAE 技术研究

曾景华

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 注塑模具冷却系统对于提高模具的设计制造水平和制品的质量是非常重要的. 为获得高质量的注塑模具冷却系统与简化模具的设计过程, 本研究采用 Pro/ E 的零件库功能设计技术, 建立了高效的冷却系统模板; 利用族表建立父冷却系统零件数据库, 快速生成了所需冷却系统, 该系统具备可通过参数修改获得完整注塑模具零件的功能. 经典型注塑模设计及制造的实际应用, 结果表明所设计的系统具有方便、实用、高效的特点.

**关键词:** 注塑模; 冷却系统; Pro/ E; 零件库

**中图分类号:** TG 76

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2009)04-0524-04

## 1 预备知识

塑料制品的外观、物理性能及尺寸精度的好坏在很大程度上依赖于对模温的控制<sup>[1]</sup>. 注塑模冷却在注塑成型的生产循环中是最重要的关键阶段, 冷却系统的设计, 不仅影响到成型质量, 也决定着生产效率, 关系到生产成本和经济效益. 利用 Pro/ E 软件建立零件数据库, 零件库通过 Pro/ E 的族表功能来实现. 通过使用族表, 可以复制一系列相似的零件, 从而提高零件设计的效率<sup>[2]</sup>. 建成冷却系统库的形式, 能为模具设计人员提供冷却系统的 CAE 设计思路.

本文在分析冷却系统类型、使用效果、使用频率、应用范围的基础上将其设计模板归纳为 7 种类型, 以族表的形式建库. 利用此库能够快速方便地生成所需冷却系统, 并可继续修改为冷却系统所在的完整零件, 同时也便于设计过程中冷却系统尺寸与结构的修改. 可多种结合嵌套使用, 适用于普遍的注塑模具设计情况.

## 2 冷却系统库设计原则

合理地确定冷却管道的中心距及冷却管道与型腔壁的距离, 尽可能使冷却孔至型腔表面的距离相等; 加强浇口处的冷却, 降低冷却介质出入口处的温度差; 合理考虑冷却管道的排列形式; 合理确定冷却水管接头位置; 冷却系统的设计要考虑尽量避免其与模具结构

中其他部分的干涉现象<sup>[3]</sup>; 冷却通道的进口与出口接头尽量不要高出模具外表平面; 冷却水通道要易于加工和清理<sup>[4]</sup>.

### 2.1 冷却时间和冷却面积

冷却时间在注塑制品成型周期中占的比例较大, 一般达 55% 左右. 如果冷却时间太长, 只会降低生产效率. 若太短, 则开模残余温度过高, 会引起制品变形. 因此, 应合理控制冷却时间, 冷却时间可由式 (1) 求得<sup>[5]</sup>:

$$t = \frac{b^2 c \ln[(e - m) / (e - m)]}{2} \quad (1)$$

式中:  $t$  为制品冷却时间 (s);

$b$  为制品厚度 (m);

为制品材料密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

为制品材料的导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ];

$c$  为制品的比热容 [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ];

$e$  为型腔内熔料温度 ( );

$e_c$  为脱模温度 ( );

$m$  为模具温度 ( ).

计算冷却面积的目的是为了设计冷却回路, 求得恰当的冷却管道直径和长度, 以满足冷却的要求. 但是, 由于传热方式不同等很多因素的影响, 精确计算是很难的. 下面对冷却介质在管内作强制对流散热情况进行计算.

假设由塑料放出的热量全部传给模具, 则有

$$Q = nG h \quad (2)$$

式中:  $Q$  为传热速度 ( $\text{kJ}/\text{s}$ );

$n$  为单位时间 (s) 注射的次数;

$G$  为每次注射的塑料质量 (kg);

$h$  为塑料热焓 ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ).

收稿日期: 2008-11-07

Email: zjhua0627@sina.com

这时冷却水道的传热面积  $A$  ( $m^2$ ) 为

$$A = \frac{Q}{T} \quad (3)$$

式中:  $Q$  为冷却介质对管壁的传热系数 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ];  $T$  为模具和冷却介质的平均温度 ( $^{\circ}C$ ).

用此式计算时, 必须满足下列条件:

- 1) 雷诺准数  $Re > 10^4$ ;
- 2) 普朗克准数  $Pr = 0.7 \sim 2500$ ;
- 3) 用流体进出口温度的算术平均值作定性温度, 再按此温度确定流体的各个物性常数;
- 4) 管长 ( $L$ ) 与管内径 ( $d$ ) 之比 ( $L/d > 50$ ) (即管长).

### 2.2 冷却水流量确定

塑料注塑模冷却时所需冷却水流量可按式计算:

$$q_{m2} = \frac{m_1 Q_0}{[C_{p2} (T_1 - T_2)]} \quad (4)$$

$$q_{v2} = \frac{m_1 Q_0}{[\rho C_{p2} (T_1 - T_2)]} \quad (5)$$

式中:  $m_1$  为单位时间内注入模具中的塑料质量 ( $kg/s$ );

$Q_0$  为在模腔内单位质量熔融塑料凝固所放出的热量 ( $kJ/kg$ );

$\rho$  为冷却水的密度 ( $kg/m^3$ );

$C_{p2}$  为冷却水的定压比热容 [ $kJ/(kg \cdot K)$ ];

$T_1$  为冷却水出口温度 ( $^{\circ}C$ );

$T_2$  冷却水入口温度 ( $^{\circ}C$ );

$q_{m2}$  为冷却水的质量流量 ( $kg/s$ );

$q_{v2}$  冷却水的体积流量 ( $m^3/s$ ).

由式 (4) 或 (5) 求出冷却水的体积流量后, 便可根据湍流状态下水流量与管道的直径关系确定水孔直径, 见表 1<sup>[5]</sup>.

冷却水孔数目的确定可由式 (6) 求得

$$n = \frac{A}{db} \quad (6)$$

式中:  $n$  为水孔数目;  $A$  为传热面积 ( $m^2$ );  $d$  为水孔直径 ( $m$ );  $b$  为模具上冷却水孔深, 即模宽 ( $m$ ).

表 1 通道直径与体积流量的关系

Tab. 1 Channel with a diameter of the relationship between the volume of traffic

通道直径 $d/mm$	体积率 $qv/(10^{-5} m^3 \cdot s^{-1})$
8	6.33
11	15.83
19	63.33
24	126.67

### 2.3 介质流动状态和出入口温差校验

冷却介质处于层流还是湍流, 其冷却效果相差 10 ~ 20 倍. 因此在模具冷却系统设计完成后, 尚需对冷却介质的流动状态校验, 规定适用的雷诺准数为

$$Re_c = \frac{vd}{\mu} \quad 6000 \sim 10000 \quad (7)$$

式中:  $v$  为冷却介质的流速 ( $m/s$ );

$d$  为冷却回路孔径 ( $m$ );

$\mu$  为冷却介质的运动粘度 ( $m^2/s$ )<sup>[1]</sup>.

在精密模具 (或制件尺寸精度要求高的情况) 中, 冷却水出入口的温差不超过  $2^{\circ}C$ , 通常的误差校验公式采用式 (8).

$$t_c = \frac{Q}{900 d^2 C_p \mu} \quad (8)$$

式中:  $t_c$  为冷却介质的出入口温差 ( $^{\circ}C$ );

$Q$  为冷却介质带走的热量 ( $kJ/h$ );

$d$  为冷却回路管径 ( $m$ );

$\rho$  为在冷却介质平均温度下冷却液的密度 ( $kg/m^3$ );

$\mu$  为在冷却介质平均温度下冷却液的粘度 ( $Pa \cdot s$ );

$C_p$  为在冷却介质平均温度下冷却液的比热容 [ $kJ/(kg \cdot K)$ ] <sup>[1]</sup>.

## 3 冷却系统模板设计

### 3.1 典型流道设计

通过在模具上直接打孔, 并通以冷却水而进行冷却, 是最常用的一种冷却形式. 这种单层冷却回路适用开成形较浅、面积较大的塑件, 为了避免外部设接头, 冷却管道之间可采用内部钻孔沟通, 非进出口用螺塞堵住. 如若型腔面积大而腔浅, 冷却管道可以采用左右组对称回路冷却, 并用堵头或者隔板使冷却水沿规定回路流动, 而且要考虑型腔表面温度均匀分布, 模具冷却系统设计流程图如图 1 所示.

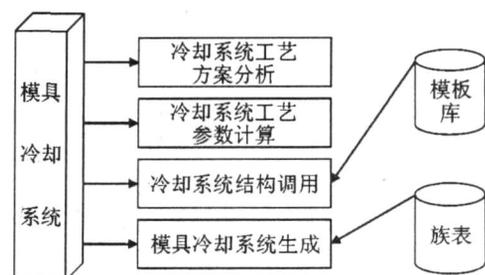


图 1 模具冷却系统设计流程图

Fig. 1 Die cooling system design flow chart

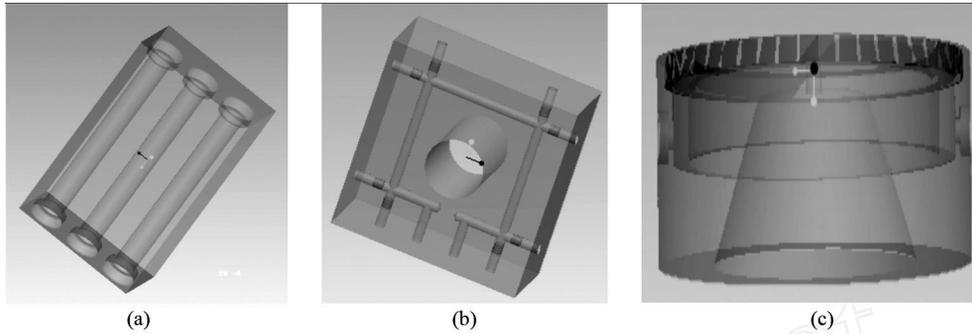


图 2 典型冷却流道立体图  
Fig.2 Typical flow cooling stereogram

该系统中所设计的典型流道模板 Pro/ E 立体图如图 2(a);对深腔和高度较大的型芯冷却效果较好的流道模板 Pro/ E 立体图如图 2(b);简单流道模板 Pro/ E 立体图如图 2(c).

### 3.2 复杂流道设计

使冷却水在模具中产生螺旋状回路,冷却效果好,但制造比较麻烦.如图 3(a)为螺旋式流道模板 Pro/ E 立体图,它在镶嵌界面开设冷却水沟槽,模板中外部为螺旋式,其内部可套用简单流道式;图 3(b)所示为喷流式流道模板 Pro/ E 立体图,这种冷却形式主要用在长型芯,在型芯中间装有一个喷水管,冷却水从喷水管喷出,分流向周围冷却型芯壁;图 3(c)为多型芯冷却回路流道模板 Pro/ E 立体图,在每个型芯的冷却孔中均设置有平行于型芯轴的导流板,导流板与底部横向管道形成串联的冷却回路,这种冷却回路使各型芯的温度较均匀,设计过程的流程图如图 1 所示;图 3(d)所示为贴片式流道模板 Pro/ E 立体图.该冷却系统适用于模具表面不适于加工冷却流道时,将流道加工于贴片上并以密封圈装配到模具表面的情况.

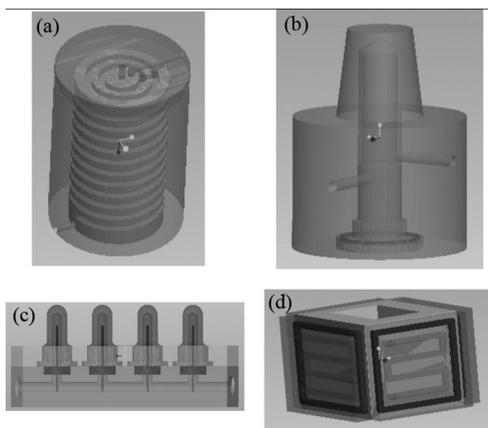


图 3 复杂冷却流道立体图  
(a)螺旋型;(b)喷流式;(c)隔片导游式;(d)贴片式  
Fig.3 Complex three-dimensional map of cooling flow

## 4 冷却系统模板设计示例

在模具设计要调用冷却系统时,打开相应的冷却系统模板库,调出族表修改尺寸,或者直接在原图上修改.待尺寸合适后运用即可.设计流程如图 4 所示.

以简单流道式(高深型芯)为例.原模板如图 5(a),将其主体零件 5(b)打开,编辑族表,如图 5(c)上行为原模板尺寸,下行为新模具尺寸.点击打开生成新的零件体如图 5(d).再装配上其他附件,所需要的新装配体如图 5(e)便完成了.

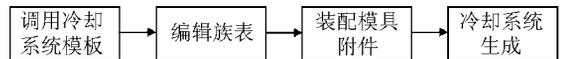


图 4 冷却系统模板库设计流程图  
Fig.4 Cooling system design flow chart template library

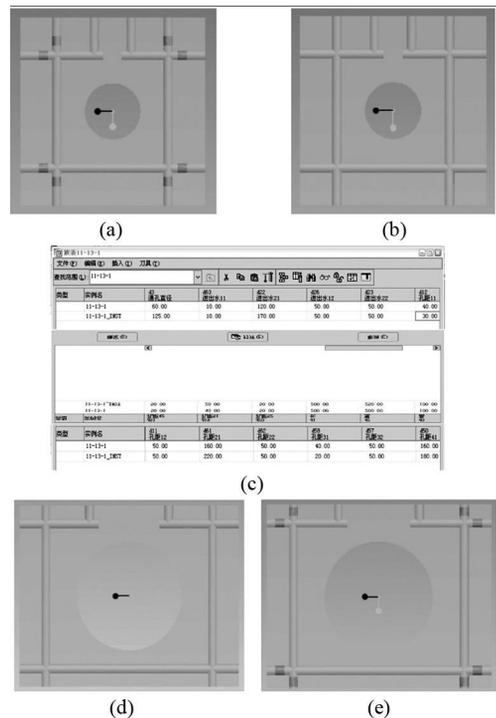


图 5 冷却系统模板库 PRO/ E 效果图  
Fig.5 Cooling system template library PRO/ E view

## 5 结 论

通过对注塑模常用的冷却系统分析研究,建立了以族表为工具注塑模具 Pro/E 的冷却系统库模型.完成对其设计思路、运用方法、使用过程、实用价值等各方面进行了论述,解决冷却系统库的建立问题,为今后设计和应用工作提供方便、高效、实用的技术,并可在此设计方法和思路应用于其他相关模具设计中.

## 参考文献:

- [1] 申开智. 塑料成型模具[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2002.
- [2] 孙江宏,黄小龙,罗琬. Pro/E 入门与提高[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 现代模具技术编委会. 注塑成型原理与注塑模设计[M]. 北京:国际工业出版社,1996.
- [4] 李海梅,申长雨. 注塑成型及模具设计实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [5] 奚永生,鲍明飞,刘晓明. 大型注塑模具设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,1996.

# Research on CAD/CAE Technology for Cooling System Unit of Plastic Injection Molds

ZEN G Jing-hua

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract :** The injection mold cooling system design is very important to improve the mold design and manufacture of standard and quality of products. In order to obtain high-quality injection mold cooling system and to simplify the process of mold design, in this study, the use of Pro/Engineer database of parts design technology, had set up a template of highly efficient cooling system. The parent database of the cooling system parts was set up by family table, and the required cooling system had been generated. The system parameters could be modified with the complete function of injection mold parts. Through classic type of injection mold design and manufacture practical applications, the results show that the system is convenient, practical and efficient characteristics.

**Key words :** injection molding; cooling system; Pro/E; parts library