

基于 Moldflow 的汽车安全气囊盖注射成型分析

林砺宗 邢东仕 郭喜强 林 森 李昌取 王天威

(华东理工大学机械与动力工程学院,上海 200237)

摘要 以某汽车安全气囊盖的注射成型为例,介绍应用 Moldflow 软件进行 CAE 分析的步骤,通过填充、流动、冷却和翘曲等模拟分析,以期对模具开发过程中最佳浇口位置设置、流道系统布置、注塑参数优化和模具一次试模成功提供参考依据。

关键词 Moldflow 汽车安全气囊盖 注射成型 CAE

塑料制件同金属零件相比有许多优点,如易加工、绝缘性好、质量轻、耐磨、耐腐蚀,可以一次成型非常复杂的形状,并且还能设计成卡装结构,从而减少产品装配中各种紧固件的使用。因此目前工业产品非金属化、金属制品塑料化的趋势日益明显。

注射成型可以成型各种形状、精度、尺寸,满足各种要求的塑料件,该方法成型的制品约占塑料制品总量的 20%~30%,其中工程塑料制品约有 80% 是采用注射成型制得的^[1]。伴随着注塑模具的飞速发展,传统手工设计模具的方法已无法适应当前的形势。实践表明,缩短模具设计周期、提高塑料制品精度与性能的正确途径是采用 CAD/CAE 技术。

随着计算机水平的日益发展,CAE 技术在模具设计中得到了大量的应用。CAE 技术改变了传统的模具设计思路,提高了一次成功率,为模具的设计和应用提供了更高的安全系数。这不仅是传统模具设计制造方法的一次突破,而且对减少甚至避免模具返修或报废、提高制品质量、降低成本等有着重大的经济意义。笔者应用 CAE 软件的代表——Moldflow 软件对汽车安全气囊盖进行注射成型模拟分析,并结合塑料熔体在型腔内充填模拟的基本理论,介绍注塑 CAE 技术在注塑模具优化设计中的应用。

1 注塑过程模拟的理论基础

注塑 CAE 技术就是根据塑料加工流变学和传热学的基本理论,建立塑料熔体在模具型腔中流动、传热的物理模型,并利用计算机理论构造其求解方程,最终利用计算机图形学技术在计算机屏幕上形象、直观地模拟出实际成型中熔体的动态充填、保压和冷却过程等,定量给出成型过程中的状态参数如压力、温度、速度等^[2]。

由于计算动力学是在流体基本方程的控制下对流动的数值模拟,聚合物熔体在流动过程中应遵循

连续性方程、动量守恒方程和能量方程。

连续性方程:

$$-\frac{\rho}{t} = -\left(\frac{\rho V_x}{x} + \frac{\rho V_y}{y} + \frac{\rho V_z}{z}\right) \quad (1)$$

式中: ρ 为熔体密度; V_x 、 V_y 、 V_z 分别为熔体在 x 、 y 、 z 方向的速度矢量。

动量守恒方程:

$$\rho \frac{V_x}{t} = \eta_r \nabla^2 V_x + \eta_r \frac{\partial}{\partial x} (\vec{V} + \vec{g}_x - \frac{P}{x}) \quad (2)$$

$$\rho \frac{V_y}{t} = \eta_r \nabla^2 V_y + \eta_r \frac{\partial}{\partial y} (\vec{V} + \vec{g}_y - \frac{P}{y}) \quad (3)$$

$$\rho \frac{V_z}{t} = \eta_r \nabla^2 V_z + \eta_r \frac{\partial}{\partial z} (\vec{V} + \vec{g}_z - \frac{P}{z}) \quad (4)$$

式中:等式右边第 1、2 项为粘性对动量的影响,第 3 项为重力对动量的影响,第 4 项为静压力对动量的影响。

能量方程:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = K \nabla^2 T - T \left(\frac{P}{T} \right)_r (\vec{\tau} \cdot \vec{V}) + (\vec{\tau} \cdot \vec{V}) \quad (5)$$

式中,等式左边反映了单位时间内流场某一点因温度而引起的热量变化量;等式右边第 1 项表示随空间位置变化而引起的温度变化及其相应能量的变化;第 2 项是由于温度变化而引起的膨胀或压缩能量的变化;第 3 项表示机械应力作用于流体时温度的变化及相应的摩擦粘性热效应。

2 Moldflow 分析步骤

采用 Moldflow 对塑料件进行 CAE 分析的过程分为 3 个阶段:前置处理、计算机模拟、后置处理。前置处理是指塑料件几何模型的建立及有限元网格的划分和修改,注塑材料特性参数及注塑工艺条件的交互输入,为注塑过程的计算机模拟创造必要的

条件; 计算机模拟是整个分析过程的主体; 后置处理是指注塑过程模拟结果的表格化和图形化。

2.1 制件结构和材料

采用 Moldflow 软件对某汽车安全气囊盖进行注塑分析, 注塑件尺寸为 183 mm × 172 mm, 平均厚度为 3 mm, 最厚处为 6 mm, 最薄处为 0.5 mm。采用 CATIA 软件建模, 并删除不必要的细节如倒角, 通过 stp 格式导入 Moldflow 软件进行分析, 注塑件模型如图 1 所示。

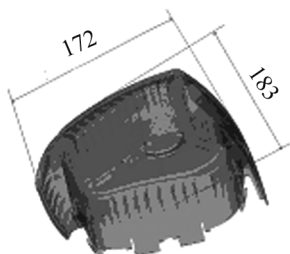


图 1 Moldflow 中注塑件的三维模型

制件材料选用 Cousin-Tessier 公司的热塑性弹性体(TPE), 型号为 Tefabloc TOSI 768 37 D。

2.2 有限元模型

综合考虑注塑件尺寸和计算效率, 采取 fusion 网格进行分析, 设置 Global Edge Length 为 2 mm, 单击 Mesh Now 即可生成有限元模型, 见图 2。



图 2 注塑件的有限元模型

然后用 Mesh Statistics(网格状态统计)命令查看网格的状态信息, 结果如下: 三角形单元 113 705 个, 节点单元 57 119 个, 连通域 1 个, 交叠边数量 170 277 个, 模型体积 161.572 cm³, 表面积 1327.48 cm², 与 CATIA 软件的计算结果(体积为 161.759 cm³, 表面积为 1328.327 cm²)基本一致。在自由边、交叉边和纵横比方面有些缺陷, 可以用 Moldflow 自带的网格修复工具消除, 然后进行注塑分析。

2.3 最佳浇口位置的确定

浇口是熔体流进型腔的最后通道, 对于制件的质量影响较大。浇口的位置主要影响浇口的充填模式, 决定熔体的流动方向和平衡性。当流动不平衡时容易造成不均匀的收缩和翘曲变形, 产生气泡和

熔接痕并影响内应力取向和制件的质量。不适当的浇口位置常造成型腔内的气体在注射成型过程中无法逃逸, 造成短射、气穴、焦痕等注塑缺陷, 因此选择合理的浇口位置在模具设计中十分重要^[3]。

运用 gate location 模块进行分析, 找出合理的浇口位置, 结果见图 3。通过分析, 可以确定最佳浇口的大概位置。在实际生产中, 对于一般产品, 这种最佳浇口位置分析结果可以直接用来设计浇口; 而对于一些表面质量和外观要求高的制件, 则不能简单地用软件默认的单浇口来设计模具, 而需要考虑采用侧浇口^[4]。

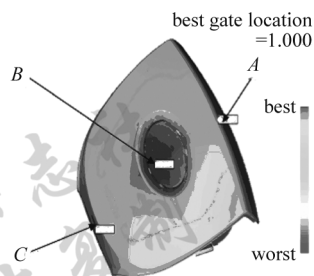
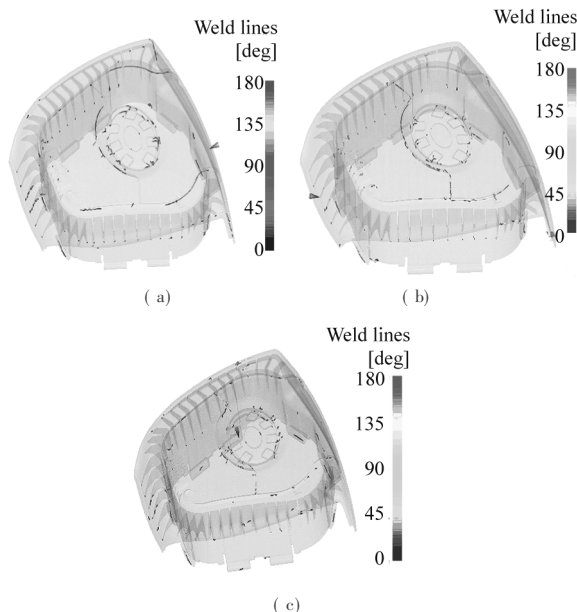


图 3 最佳浇口位置分析

考虑到该注塑件的实际结构要求熔接痕较少, 因此可通过比较不同方案得出产生熔接痕最少的浇口位置, 然后再做进一步的分析。图 4 示出不同浇口位置的熔接痕分布。从图 4 可以看出, 方案 b 产生的熔接痕最少, 更有利于注塑件的成型。



a—浇口在 A 位置; b—浇口在 B 位置; c—浇口在 C 位置

图 4 不同浇口位置造成的熔接痕分布

2.4 建立浇注系统和冷却系统

设计的浇注系统和冷却系统结构见图 5。浇注

系统采用点浇口进浇, 这类浇口痕迹小, 容易修正, 有利于浇口和制件的自动分离, 并能保证安全气囊盖的外观。冷却系统模型为: 前模 4 条冷却水道, 后模 4 条冷却水道; 直通水路直径为 10 mm。

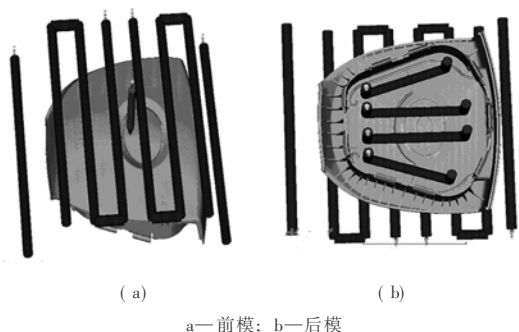


图 5 模具浇注和冷却系统结构

2.5 参数设置

首先选择入料口和进水口, 然后采用 cool + flow + warp 的分析次序(该分析次序假设具有恒定的熔体温度, 更适合进行翘曲分析), 在分析计算过程中, 将冷却分析后的模温结果代入流动分析进行迭代计算。其它参数设置如下: 料温 230℃, 模温 50℃。注塑控制采用三段式螺杆速度曲线: 先慢后快再慢。这样可以使熔体前沿以低速通过浇口, 等到熔体通过浇口后再提高射速, 以消除射流, 最后再降低射速, 这样可以防止型腔压力的突然增大。

3 模拟结果分析

3.1 填充时间

填充分析是指从注射开始到型腔被充满整个过程中的流动前沿位置分析。该分析用来预测制件的填充行为是否合理, 填充是否平衡, 能否完成对制件的完全填充等。用户可以根据动态的填充时间结果查看填充阶段的熔体流动行为, 同时借助等高线显示结果可以更好地判断填充流动行为是否合理。

填充时间模拟分析结果见图 6。从图 6 可以看出, 注塑件的填充末端 A、B、C、D 区域的填充时间分别为 3.081、3.092、3.232、3.214 s。由于注塑件左右不对称, 使得 A 和 B 区域较早填满, 但是 A、B、C、

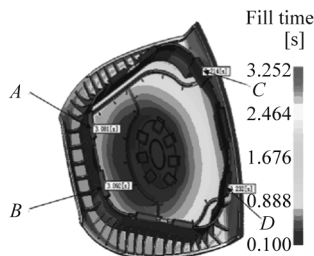


图 6 填充时间

D 区域的填充时间基本相等, 流动的不平衡性仅为 4.1%, 可见浇口位置基本上是合理的。

3.2 流动波前温度分布

根据流动波前温度可知熔体保压过程的流动动态行为, 其模拟结果见图 7。由图 7 可知, 流动波前温度的差值约为 15℃, 在推荐值控制范围(20℃)之内, 意味着注塑件表面的质量可得到保证。

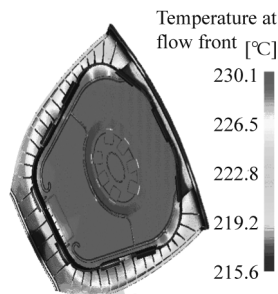


图 7 流动波前温度分布

3.3 体积温度分布

体积温度是指在保压结束瞬间制品厚度方向考虑速度加权的平均温度。这个参数代表动态的平均温度, 参数定义见式(6)。由于静止区域(速度 $u = 0$) 加权为零, 说明可忽略静止区域对平均温度的贡献, 由此可以看出热对流对于温度分布的效应滞留区域及粘滞加热区域的温度分布情形^[5]。

$$T_b = \frac{\int_0^b T u dz}{\int_0^b T dz} \quad (6)$$

式中: T_b 为体积温度; b 为制品厚度的一半; T 为距制品中心线 z 处的熔体温度; u 为距制品中心线 z 处的熔体速度。

体积温度分布见图 8。从图 8 可知, 型腔内熔体的最高平均温度为 233.6℃, 并未超过所选材料的降解温度 265℃, 从这个角度看浇注系统、冷却系统是合理的。

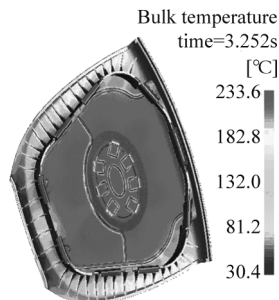


图 8 体积温度分布

3.4 气穴

气穴是指塑料熔体填充型腔时多股熔体前沿包

裹形成的空腔或熔料填充末端时因气体无法从排气腔排除而导致填充不完全的现象。它通常发生在空气无法从排气槽或镶埋件的缝隙处逃逸时, 一般出现在最后充填的区域。假如这些区域的排气孔太小或者没有排气孔, 就会造成气穴, 使注塑件内部产生空洞或气泡、短射或表面瑕疵。另外, 注塑件壁厚差异较大时, 熔体倾向于往厚壁处流动而造成竞流效应, 这也是造成气穴的主要原因。

气穴位置分布见图 9。从图 9 可知, 熔体前沿汇聚在注塑件内部或型腔表层形成的气泡基本上都在注塑件四周侧壁边, 并且基本集中在分型面上, 因此, 气体很容易通过模具分型面的间隙排出, 没有困气现象, 可有效地避免因气穴形成致使注塑件表面产生瑕疵及焦痕等缺陷。另外, 对于在制件中间的气穴, 可以在该位置增设顶杆装置, 利用顶杆的间隙进行排气。



图 9 气穴位置分布

3.5 熔接痕

在塑料熔体填充型腔时, 如果两股或更多的熔体在相遇时前沿部分已经冷却, 使它们不能完全融合, 便在汇合处产生线性凹槽而形成熔接痕。熔接痕不仅影响注塑件外观, 同时由于微观结构的松散, 易造成应力集中, 从而使得该部分的强度降低而发生断裂。

熔接痕位置分布见图 10。由图 10 可看出, 中间两处的熔接痕是由于该处的壁厚差异造成熔体流动急剧变化而产生的, 这两处的熔接痕可以通过增

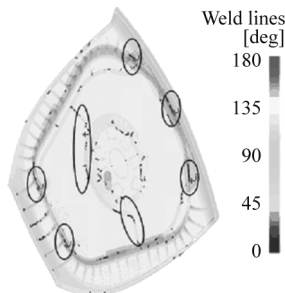


图 10 熔接痕位置分布

加该处的壁厚或者降低注射速率来减小或消除; 外围 5 处的熔接痕是由于末端熔体在此处相汇而形成的, 可以通过适当降低合模力、增大排气间隙来加速汇料合流, 也可以采取降低料位及模具温度、缩短高压注射时间、降低注塑压力等辅助措施来减少熔接痕。

3.6 翘曲

翘曲是指不均匀的内部应力导致的制件缺陷。注塑件产生翘曲的原因在于收缩不均。制件上不同区域的收缩不均匀、厚度方向上的收缩不均匀或者材料分子取向平行和垂直方向上的收缩不均匀都会导致翘曲。导致收缩变化过大的原因有收缩不均匀、取向不均匀和冷却不均匀^[6]。

注塑件的翘曲变化见图 11。利用 Warp 模块同时计算出翘曲产生的原因, 见表 1。从表 1 可知, 注塑件翘曲变形的主要原因是收缩不均匀。改善收缩不均匀的措施主要有: 优化保压参数; 尽量使制件壁厚均匀; 确定合适的注塑工艺参数, 在允许的范围内适当提高注射温度和增加注射时间等^[7]。

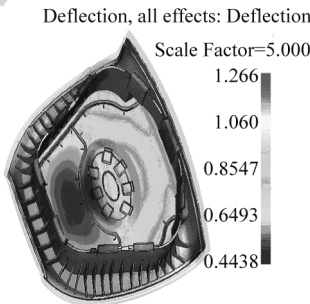


图 11 注塑件的整体翘曲变形

表 1 注塑件翘曲变形影响因子

影响因子	变形量 /mm
收缩不均匀	1.4690
取向不均匀	0.0000
冷却不均匀	0.7068

从上述分析过程可知, 在模具设计和制造之前, 应用 CAE 软件对模具设计方案进行分析和模拟来代替实际的试模, 这些模拟预测分析结果对模具设计人员具有较大的参考价值, 同时降低了风险, 缩短了生产周期。

4 结语

应用 Moldflow 软件对汽车安全气囊盖注塑件注塑过程进行填充、流动、冷却和翘曲等模拟分析, 为模具开发过程中最佳浇口位置设置、流道系统布置、注塑参数优化和模具一次试模成功提供了重要的参考依据。随着 CAE 技术的不断发展和 CAE 软件的

不断完善, Moldflow 等模拟分析软件将在塑料制品行业和塑料模具行业得到广泛的推广和应用,并会大大缩短新产品的上市时间,减少开发成本,优化模具结构,提高注塑模具质量和缩短模具生产周期,为模具企业和塑料制品生产企业带来良好的经济效益。

参考文献

- [1] 刘守荣. 塑料成型工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 36.
- [2] 马文琦, 孙红德. 塑料成型模拟软件技术基础与应用[M]. 北

京: 中国铁道出版社, 2006: 13.

- [3] 宋佳林, 林启权, 谢桂兰. Moldflow 在键盘面板成型中的应用[J]. 现代制造工程, 2008(3): 44-46.
- [4] 刘荣亮, 刘斌. 应用 Moldflow 软件分析优化手机后盖壳注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(10): 31-33.
- [5] 刘来英. 注塑成型工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 157.
- [6] 单岩, 王蓓, 王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 139.
- [7] 赵果, 辛勇. 手机盖注塑工艺及模具优化设计[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(2): 41-45.

ANALYSIS OF INJECTION MOLDING OF AUTOMOBILE AIRBAG COVER BASED ON MOLDFLOW

Lin Lizong, Xing Dongshi, Guo Xiqiang, Lin Sen, Li Changqu, Wang Tianwei

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT With the injection molding process of automobile airbag cover, the steps of CAE analysis basing on Moldflow software are presented. The results of filling, flow, cooling and warpage are analyzed, hoping to provide reference for the optimal position of gate, designing of flow channel system, optimizing of injecting parameter and fulfilling ratio of once-testing mould in the mould designing.

KEYWORDS Moldflow, automobile airbag cover, injection molding, CAE

关于征集“2009 年中国工程塑料复合材料技术研讨会”论文的通知

各有关单位:

根据中国工程塑料工业协会的工作计划,中国工程塑料工业协会加工应用专委会与 PPG 工业公司将于 2009 年 7 月 20 日~24 日在湖南张家界市联合召开“2009 年中国工程塑料复合材料技术研讨会”。会议期间将进行技术、学术和市场信息交流,并出版《2009 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》。特向国内外从事工程塑料、复合材料研究、生产、加工、应用、仪器、设备制造等工作的教授、专家、企业家、工程技术人员征集论文,征集科研成果,并诚邀大家踊跃参加会议。现将有关事项通知如下:

一、技术(学术)交流内容及征集论文

1. 技术(学术)交流主题:工程塑料、复合材料的加工、应用、市场现状及发展趋势。
2. 技术(学术)交流及讲座内容: (1) 改性塑料、复合材料的研制; (2) 工程塑料、复合材料性能及评价; (3) 塑料、复合材料分析测试新技术; (4) 塑料、复合材料成型加工新技术; (5) 塑料模具及设备设计制造新技术; (6) 塑料、复合材料应用新技术; (7) 工程塑料、复合材料市场现状及发展趋势。

3. 征文范围:有关塑料、复合材料的合成、改性、增强、增韧、着色、配混、加工、应用、分析、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等方面的技术(学术)论文。

4. 征集论文截至 2009 年 4 月 31 日为止(共收录 100 篇,先到先用,额满为止)。论文打印排版格式请参照《工程

塑料应用》杂志,《论文集》中的优秀论文将在《工程塑料应用》(中文核心期刊,中国工程塑料工业协会会刊)上发表。应征论文请尽快寄至或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

二、征集科研成果

大会将在“研讨会”会场周边展示科研成果、技术转让项目,并组织发布、洽谈和交易。请各单位将最新的科研成果项目名称和简介速发传真或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社。

三、征集《论文集》广告

大会将以优惠价格为各单位在《论文集》上刊登广告。广告价目为:封二、前插 1、目次前页 1500 元/版,封三 1350 元/版,彩色插页 1200 元/版,黑白插页 450 元/版。请各单位尽快与杂志社联系广告刊出事宜。

请您及时与我们联系,我们将为您寄上正式会议通知。

联系人:李桂珍 张锐 孙安垣

电话:0531-85878057 85878278

传真:0531-85947355 85878057

E-mail: 5947355@163.com epa@epa1973.com

通讯地址:山东省济南市 108 信箱杂志社

邮编:250031

网址:www.epa1973.com

中国工程塑料工业协会加工应用专委会
PPG 工业公司