

案例研究：仿真预测与实际情况

利用现代技术，我们几乎可以对任何事情可能的结果做出某种程度的预测。对于注塑成型件，我们也在切割金属前做出些预判。为什么？让我们面对现实吧，一旦金属碎屑开始纷飞，每个人都对由于成本和时间做出的妥协而提心吊胆但是又有谁不想改进设计和材料选择以免出现尺寸和外观问题，并在整个过程中节省成本呢？

在过去的 30 年里，仿真技术取得了长足的进步，但如果我们想要避免尺寸变动，我们就必须了解决定精度的首要因素是什么，这样才能够做出良好的工程决策。

仿真精度取决于 7 个因素：

1. 网格
2. 算法
3. 材料特性
4. 模具设计
5. 注塑机
6. 工艺过程与用户
7. 分析类型

让我们逐个回顾这 7 个因素，看看我们在多大程度上能够匹配仿真

网格

首先，我们必须定义什么是网格以及它的工作原理。一个简单的描述方法是 将一个 $1 \times 1 \times 1$ 立方体投入软件中，仅对单一实体执行算法。

更进一步的问题是，立方体未被分割成足够小的单元以实现高精度。为了提高精度，我们必须将

立方体分割成更小的单元。当立方体被分割成更小的单元时（如图 1 所示），我们就能够极大地提高精度，因为软件现在是对 27 个独立组件而不是对单个实体执行计算。

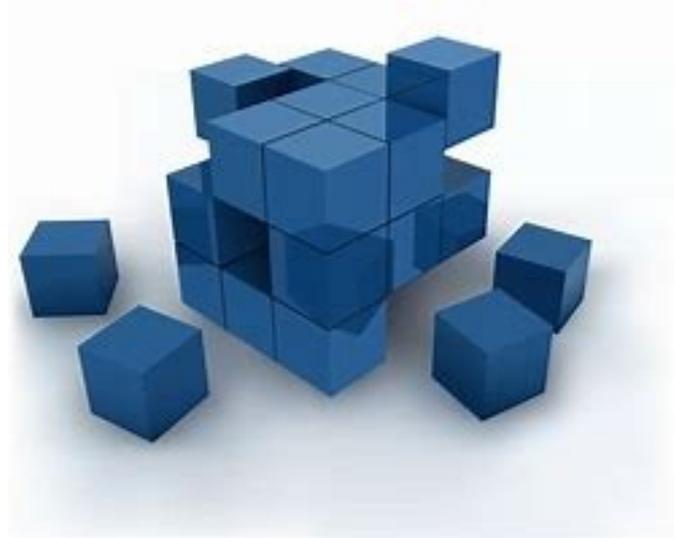


图 1：较高网格数示例

创建网格时，我们在精确程度与所需时间上找到平衡。大多数情况下，拥有 500,000 个网格的单元可以在数小时得到结果，如有 12,000,000 个网格大约需要 36 个小时才能完成。

下面，在图 2 中，Degin Pod 模拟迭代耗费 6 个小时。请记住，计算时间基于可用的 CPU，使用云计算，这些值可以显著降低。

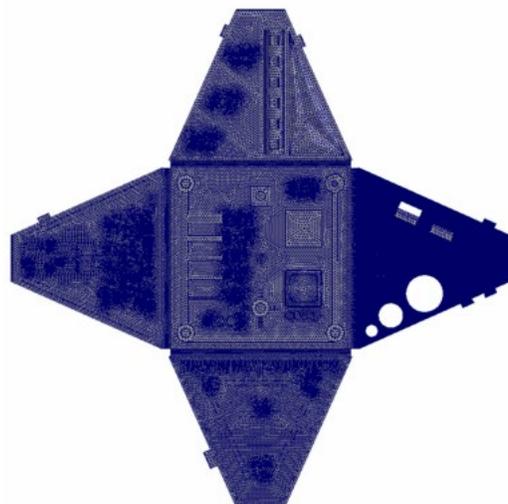


图2：一百五十万个网格的Design Pod。

小半径或圆角可以忽略，但对零件内部的所有特征进行建模至关重要，这样才能确保卡扣或者螺纹中不会出现短射。

图3显示Design Pod 厚度范围内的层。这些对于在仿真中实现更高的精度至关重要，它能预测冷却过程中出现的尺寸变化。由于在生产过程中与冷模直接接触，塑料温度迅速下降。注塑件的冷却层很快形成，传热速率随冷却层厚度的变化而急剧变化，直接影响例如压力梯度、收缩率和尺寸等。

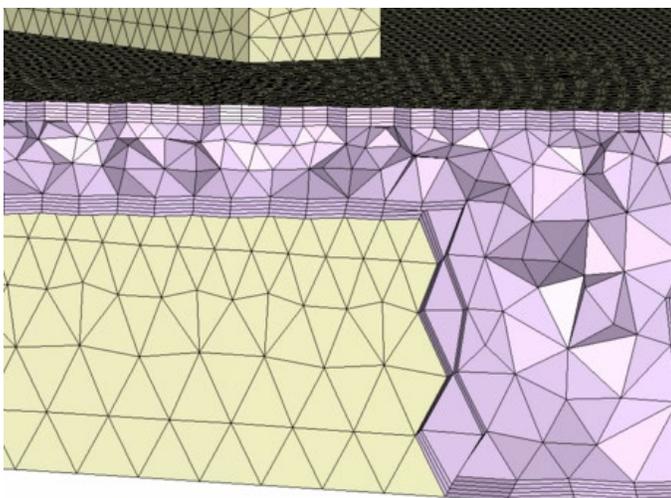


图3：带10个边界层的Design Pod 每侧5个

算法

在软件中，有大量并行进行的计算，以提供准确的结果。其中包括（但不限于）压力、温度和速度。图4是一个相对简单的，不考虑所有质量要求的冷却评估仿真

在研究方程式之前，我们需要先阐明变量：

C_p : 对于给定质量的材料，提高单位温度所需要的热量

λ : 材料导热能力

ρ : 密度

h : 壁厚

t : 时间

T: 温度

$$\text{冷却时间} = \frac{h^2}{2\pi \times \alpha} \times \ln \left[\frac{4}{\pi} \times \left(\frac{T_{\text{熔化}} - T_{\text{模具}}}{T_{\text{脱模}} - T_{\text{模具}}} \right) \right]$$

$$\text{热扩散率} (\alpha) = \frac{\text{导热系数}(\lambda)}{\text{密度}(\rho) \times \text{比热容}(C_p)}$$

图4：冷却和热扩散率方程式

我们必须记住，在整个分析过程中，对同一个单元将执行多个方程求解。当零件继续冷却时，冷却层变得越来越厚，其传递热量的能力也变得越来越困难。

材料特性

对不同压力、速度和温度下的材料行为了解得越多，结果就越好。影响精度的材料特性有数百种，而市场上有数十万种材料。因此，模拟软件中不一定总是有您需要的成型材料。一般来说，我们的TZERO®团队在做一个项目时使用哪个软件，在很大程度上取决于是否具备所选材料。

具有完全特征的材料是指软件对包含全部添加剂的所有数据输入进行过测试的材料。如果没有考虑如着色剂、助滑剂、热稳定剂等添加剂，精度将会降低。有时候，并非所有要求的测试都将被执行，软件公司将从树脂的基本系列中添加通用值。这种做法不一定不可取，但得到的结果有可能偏高或偏低。

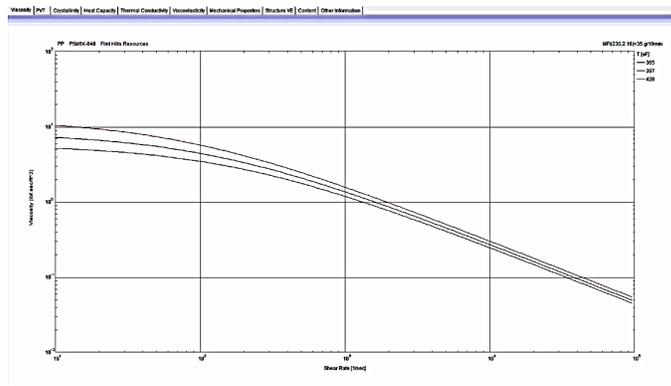


图5：模拟软件材料文件

模具设计

分析人员常常使用节点来表示浇口位置，但这种做法有明显的缺点。这样做不能完全复制材料从注塑机喷嘴到型腔末端的流动路径。使用下图6所示具有全熔体输送系统（冷或热流道），冷却水路和金属选择的模型必须达到精度。

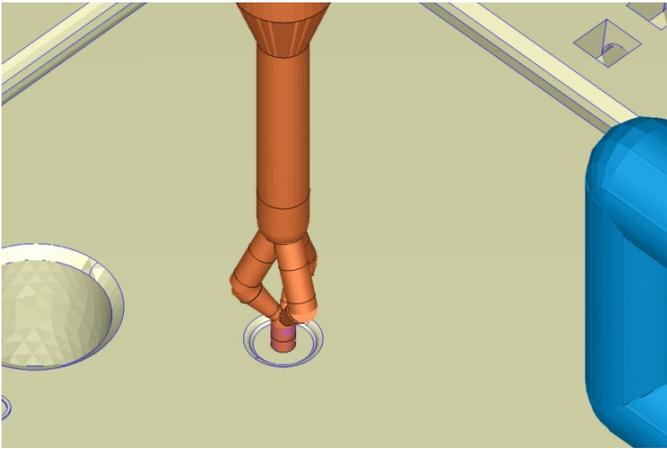


图6：带热嘴细节的Design Pod

如果没有流道系统，将很难预测压力损失，从而产生压力受限的工艺，以及得到比预测收缩率收缩更大的零件。热流道系统浇口插入几何图形中缺少小细节可能会对结果产生极大的负面影响。

就像成型工艺中大多数其他方面一样，没有任何一条规则是放之四海而皆准的。在很多情况下需要模拟，但是却有可用的模具设计。在这种情况下，用户必须熟悉模具设计与制造。

注塑机

在运行适当的模拟时，绝大多数模具都必须在特定的一组需要考虑的参数范围之内工作。以Design Pod为例，我们需要收集影响模具/机器匹配的变量。一旦得到每台机器的数据，我们就必

须针对能力最弱的机器设计模具和工艺。下列表1以黄色高亮显示限制机器参数。

	Machine 1	Machine 2	Units
Injection Pressure	27,018	31,473	PSI _p
Injection Volume	3.8	3.8	oz
Injection Flow Rate	14.39	17.1	in ³ /sec
Tonnage	85	84	US Tons
Platen Size (V x H)	25.39 x 23.62	22.83 x 22.83	in.
Tie Bar Spacing (V x H)	18.11 x 16.14	16.14 x 16.14	in.
Ejector Pattern	Center, 7x7 V	Center, 7x7 V & H	
Ejector Stroke	3	3.15	in.
Minimum Mold Height	5.91	6.3	in.
Maximum Mold Height	21.65	16.4	in.
Maximum Open Stroke	13.78	11.81	in.

表1：虚拟能力最弱的机器

如果分析人员没有考虑到这一点，生产设备就可能无法按所报的周期时间、废品率或质量标准生产零件。这将迫使公司接受较低的利润率，或者如果他们工厂有一台能力更强的设备，则必须把模具移到性能更强的机器上。

除了注塑机参数外，模拟用户必须为注塑人员提供每组水路所需流量，以确保虚拟世界和现实世界能够相互复制。

工艺过程与用户

模拟软件提供插入方程式中的值，但其中一些值必须由分析人员输入。大多数情况下，软件默认将熔体和模具温度设为平均值，这样很好。但是，我们应该如何确定加注速度、保压压力等呢？

型腔的填充速度取决于所需的零件质量。在某些情况下，比如薄壁零件，流速必须非常快才能确保在壁冻结之前充满型腔。在其他情况下，例如透镜成型，流速取向是相反的，几乎使壁冻结，但不完全冻结。

这是由于填充阶段对材料施加的应力所致。对于透镜，我们必须尽可能地降低应力，以确保性能

不会受到影响。除了针对透镜的低流速外，熔体和模具温度通常随保压压力而升高。这些参数能够确保镜片性能不会受到负面影响。

软件有时可以帮助选择浇口。当前软件不考虑控制或监控需要严格控制/或功能或尺寸对工艺敏感的制件。所以，分析人员必须了解如何解释图纸以及与市场部合作，以便知道应该将浇口安排在什么位置。除此之外，要了解如何通过标准水路、导流板、扰流板或热管在模具中安排冷却需要广泛的知识。

对于 Desgin Pod (图 7)，壁厚极薄的区域说明需要采用高流速，以确保在壁冻结与形成短射之前能够充满型腔。

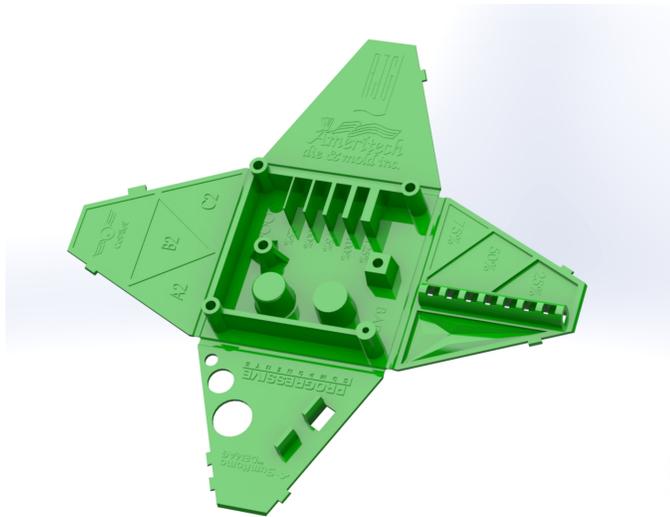


图7：具有复杂几何结构的Design Pod

分析类型

需要运行四种不同类型的分析，每种分析都有数百个结果。别担心，我们不会涉及所有内容，只会谈到一些概况。

第一种类型是填充分析，这种分析将显示诸如剪切加热、剪切速率、剪切应力、包风、缝合/熔合线、锁模力和注射压力等。

然后是保压分析，这一分析提供锁模力、浇口密封、潜在收缩以及气孔。

冷却分析基于壁厚和材料截面（金属和塑料）以及冷却水路布置来预估总周期。

翘曲是大多数（如果不是全部）塑料成型件的固有特性。这只是程度问题。

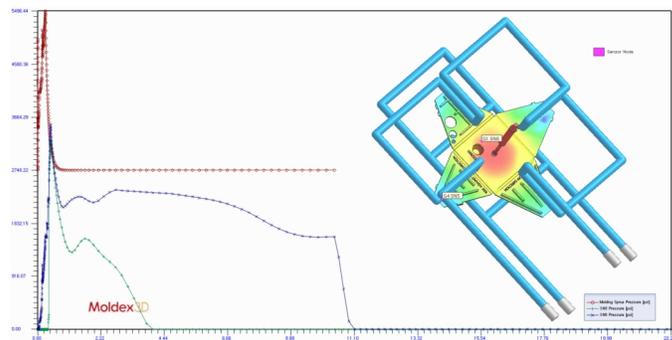


图8：Desgin Pod 型腔压力预测

模板传输和结果

既然我们已经完成了作业，也了解了有关精度的方方面面，让我们回顾一下结果。

通过模拟功能包，RJG有能力根据正确的传感器位置创建模板，并在 eDART® 系统内生成型腔压力曲线。

我们从模拟软件中获取输入并将这些输入直接放入注塑机以评估预测与现实。在下图 9 中，我们可以看见虚线是模拟模板，而实线是实时型腔压力曲线。

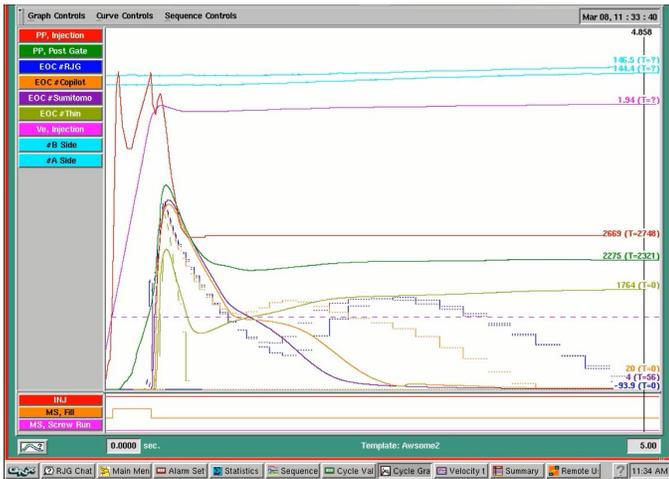


图9：预测与实际

填充时间在预测值的 0.05 秒以内，型腔末端的型腔压力峰值仅偏差 300 PSIp。现实和预测的冷却速度的差异是模拟仍需提升的方向。这加强了确保算法高度精确的重要性。

结论

深入了解这 7 个变量是如何相互作用的能够极大地提高模拟的效率与价值。但请注意不要忽略任何细节，要不然模拟报告很可能只能停留在理论，而与现实脱节。



Jeremy Williams 在塑料行业有 19 年的经验，曾服务于医疗、汽车、家具以及电器行业。他之前曾担任首席工程师，负责的项目从设计概念到可销售产品。Jeremy 于 2011 年获注塑大师 II 认证，于 2012 年成为一名 RJG 认证培训师，并于 2015 年开始供职于 RJG。除了丰富的制造业背景，他还拥有塑料业和商业学位。目前，Jeremy 是一名 TZERO® 咨询顾问/培训师。