

前端分析技术在压铸模具设计中的应用

阳晓军* 梁震宇** 李秀华* 陈光宇*

*C3P 国际工程软件公司 **广州希鹏计算机科技有限公司

摘要

面对日新月异的市场变化,如何面对“Time to Market”(时间就是市场)的挑战,前端设计与分析技术从另一个角度提供了一种解决之道。本文系统地介绍了前端分析技术的概念与工业价值,并与传统 CAE 技术进行了详细地比较。通过实际工业案例阐述了前端设计概念与技术 3C 产品模具设计与制造中的具体应用方法。

采用前端分析的工业需求与迫切性

长期以来,在铸造产品和铸造模具设计与制造领域,人们一直期望一种在产品和模具设计前期就能为设计工作提供指引和帮助的有效工具,因为这个时候往往能获得最好的时效比和最大的投入产出效益。一般说来,这种工具必须满足这么几个条件,简单、快速、方便、准确,而且不能有应用的局限和受经验数据的限制。

另一方面,随着社会的进步与经济的发展,市场竞争愈来愈剧烈,迫使制造业在不断改善产品的性能与品质的前提下,最大限度地缩短新产品的开发周期和成本,以便快速响应用户的最新需求。比如说,电子产品的开发周期已降至不到一年;在玩具制造业,常常是第一季度开发,第三季度大批量生产,第四季度销售。又比如惠普公司 80%以上的利润来源于新近不超过两年的产品。所以,快速、高效地开发新产品是竞争取胜的一个关键因素。实现新产品的快速、高效开发涉及多种领域的先进技术,例如,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助制造(CAM)、新材料,新工艺等,其中特别是有关模具的设计与制作技术。

事实上,在今天的工业企业中,CAD 与 CAE 技术已经不再是陌生的名词,许多的企业都已经相继引入了这些手段和工具并参与到实际工作流程中。然而,伴随着大批商业软件的引入,一个更严峻而现实的课题是如何更有效地应用好 CAD 系统和 CAE 技术。业已证明,正确使用 CAE 技术能有效地提升工程师的自身能力,使其在设计中使用更多的知识,并进而提升产品的品质。但是采用 CAE 技术,企业往往也需要付出较大的代价,不仅在软件的采购与人员的配置上,而且在软件使用的功效上并不见得立竿见影。特别是对于开发周期太短或更新太快的产品,传统 CAE 手段往往并不能有效地缩短开发周期。

以高压铸造为例,业界大部分企业并未主导产品设计和开发,而是处于被支配地位。由于产品的开发周期非常紧迫,企业最为迫切的需求是在获得铸造产品三维数模的时候,能有一种有效的工具快速辅助流道设计并迅速对各种流道设计方案进行比对分析,确定最终方案,让设计的工作量(如结构设计, BOM 等)主要落在最终方案上。这样客观上,引出两类主要的需求:

1) 快速流道设计工具

这种设计工具必须以三维产品数模为基础,且不能对三维产品数模的品质有太高的要求(如存在某些 CAD 缺陷),而且即使数模发生了某些局部修改,流道系统只需要进行适当的调整,仍可以大部分采用。此外,在实际工业中系统的设计方法最好和自然设计一致,不能像某些 CAD 软件一样牵涉太多的父子关系。同时,必要的经验数据支持也非常重要,可以不断提高设计师的水平和确保新员工的设计质量。最重要的一点是,这类系统必须快速,设计时间最好能控制

在一小时之内。

2) 快速流道分析工具

对于上述流道系统或其他 CAD 系统设计的流道，必须能有一种分析工具在设计的同时即可对铸造过程中金属的流动、压力与速度，填充后的温度分布、凝固和冷却过程等各种物理行为进行分析。这种分析方法和需求和传统的 CAE 分析很不一样，因为这个时候某些数据（如模具数据、热交换条件、冷却系统等）并不具备，不可过分求全责备。首先，必须和 CAD 系统和流道设计系统能无缝对接，数据实时更新和防止数据丢失；其次，模型设置必须足够简单，不能因为网格划分和条件设置等耗费太多的时间和精力；第三，计算的速度也必须足够迅速，能处理足够复杂的模型，否则计算时间太长就没有实际意义了；第四，计算的结构精度能与当时的工业需求相吻合；第五，对分析人员的要求不能太高，最好设计员本身就能胜任这个工作，因为这样修改才更方便。这也就是我们平常所说的前端分析（Upfront Analysis）。

前端分析与传统的 CAE 分析并不相同，更不是传统 CAE 分析的简化，下表给出了压铸设计中前端分析与传统 CAE 分析各个阶段的对照。

	工作起点 (Start point)	建模时间 (Modeling)	分析时间 (Analysis time)	结果精确度 (Result accuracy)
传统 CAE 分析方法	近乎完美的三维 CAD 数据，包含浇注系统、溢流槽、冷却系统甚至是完整的模具，对 CAD 数据质量要求较高。	耗时较长且复杂，必须经过专门培训。CAD 清理、建立网格和设置分析模型并非易事。设置计算模型还需要更多的物理参数与热学条件，有些参数获得并不容易。	很长！根据模型大小，通常需要几小时到十几个小时，有时甚至几天的时间。对计算机的要求很高。	可获得相对较高的计算精度，前提是输入的各项参数正确。但设置正确的参数经验性很强，而且需要反复测试和校验。结果丰富（如温度场、流动场、应力场等）
前端分析方法	只需要铸件的三维 CAD 数据。可采用快速流道系统建立浇注系统、溢流槽和冷却系统等。同时也可接受 STL 数据格式。对原始数据质量要求较低。可以边分析边修改 CAD 数据。	非常简便和快速。几分钟内可对任何复杂或不干净的模型完成网格划分。设置计算条件非常简便，几分钟即可完成所有设置并完全参数化。无需特别培训。	非常快！30 分钟到一个半小时即可获得分析结果。	能获得合理精度的充填和凝固分析结果，完全满足前期设计与方案选择阶段的精度需求。获得的结果相对比较简单（温度场、流动场）但表征仍可非常丰富。

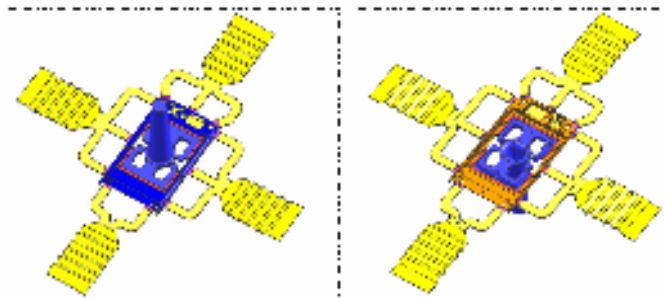
表一，前端分析方法与传统 CAE 分析的比较

流道设计在压铸模设计中的意义

以手机外壳件为例，流道设计的方式与排在在镁合金模具设计中有举足轻重的作用，将直接影响产品的生产性、品质和生产效率。

中间进料方式

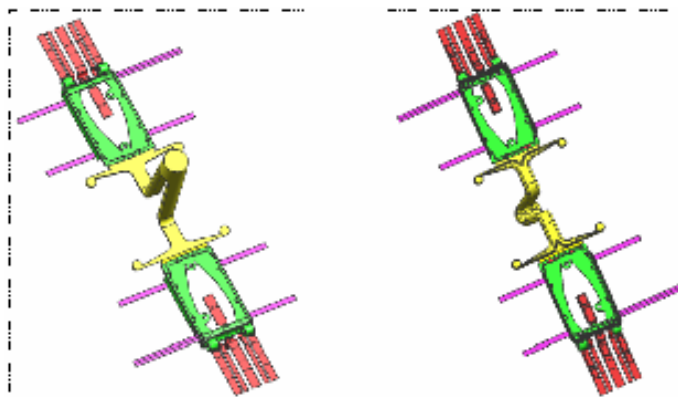
中间进料方式通常在显示屏比较大的产品中采用。这种流道设计方式的优点有：1) 流程短，充填时间短；2) 手机外壳不容易变形；3) 模具较小，节约模具钢材；4) 溢流槽数量相对较少，排气效果好。但也存在一些缺点：1) 流道在中间离进浇位置近，冲击比较大，对模具强度有所要求。2) 加工复杂，模具成本高



图一 采用中间方式进料的流道设计（手机外壳）

侧边进料方式

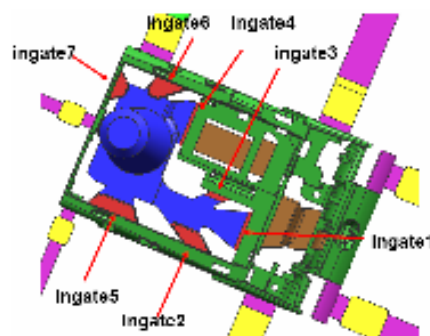
侧边进料方式也被广泛采用。这种设计的主要优点有：1) 去水口方便；2) 可以实现一模多件，生产效率高；3) 顺序充填，溢流槽分布在对面一侧即可。缺点是：1) 模具比中间进料方式要大，需要的材料也响应较多；2) 由于一侧进料容易使得对面出现低温现象，金属凝固时间短，大部分冷料和氧化夹杂物都在流动前端，所以溢流槽设置要比较多。



图二 采用中间方式进料的流道设计（手机外壳）

复杂进料方式

这种方式比较适合在结构复杂的产品中使用，设计多个内浇口，某些位置根据实际需要设计“过水”（如下图棕色部分）。这种方式兼有上面两种方式的优点，但缺点是设计前必须准确地把握金属液充型的整个过程。因此，在设计流道时必须进行有效地前端分析，再根据模拟结果，合理分布和调整浇口的位置和入水的方式。

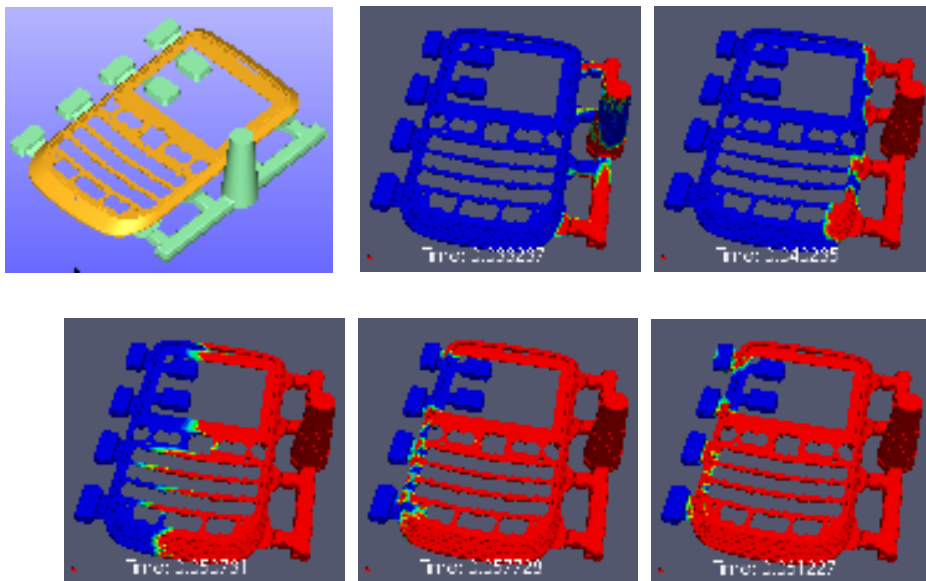


图三 采用复杂进料方式的流道设计（手机外壳）

前端分析方法的应用实例

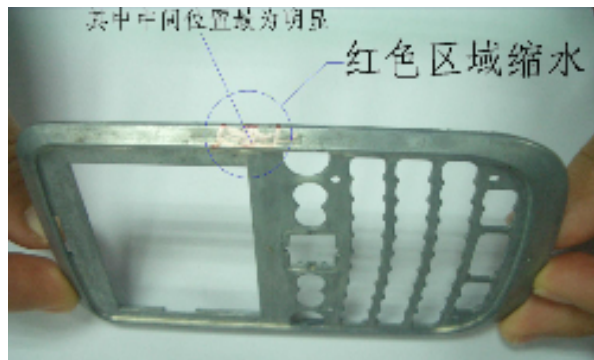
CAST-DESIGNER 是 C3P Software 专门针对压铸产品和流道设计而开发的前端设计与分析产品，可以简单高效地完成流道设计方案的评估。前端分析技术的美妙之处在于能在产品和模具设计的初期如概念设计阶段迅速地提供有效的分析结果和改进指导。因为在这一阶段，需要测试的设计思路和方案很多，一种快速而有效的工具就显得尤为重要。事实上在这一阶段，对分析结果的精确度并非特别苛刻，因为许多因素还无法完全确定；相比之下，分析效率则显得非常关键。这也是在没有前端分析技术之前工业界采用传统的数值模拟方法却并不能非常有效地解决这一阶段问题的根源所在。

还是以某款手机外壳为例进行说明。图四是其原始的设计方案，采用热室压铸。当采用 CAST-DESIGNER 进行前端分析时，我们迅速发现了设计过程中存在的明显缺陷。主要的缺陷有：1）产品中间位置有明显的缩水；2）由于零件本身的结构原因，位于中间垂直于入水方向的按键部分将有明显的裹气；3）入水口另外一侧的溢流槽分布存在明显的缺陷，未能很好地起到排气排渣的作用。而这种分析的结果也得到了实际的验证（如图五）。



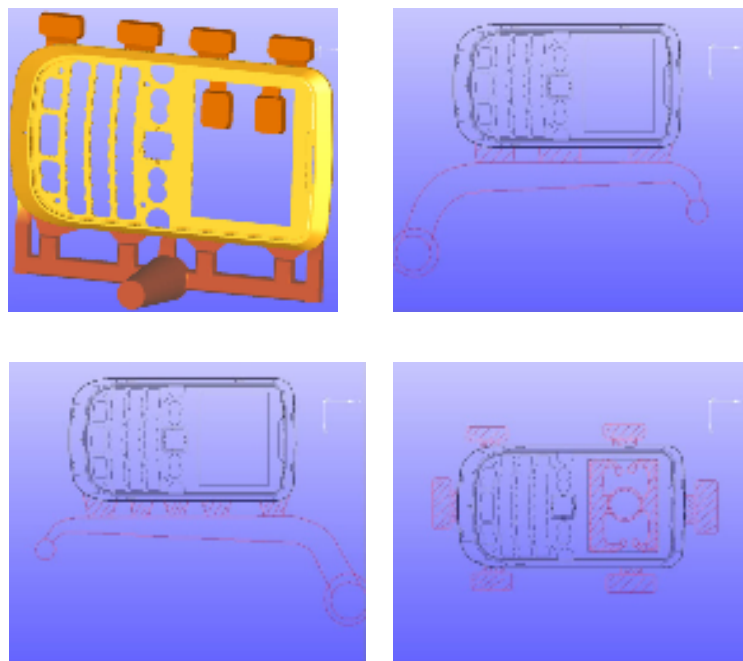
图四 手机外壳的流道设计与前端分析结果 (CAST-DESIGNER)

采用 CAST-DESIGNER 进行流道设计历时 5 分钟，然后从 CAD 组件模型直接进行网格划分耗时 4 分钟（采用网格疏化和光滑技术），网格模型包括 112,249 个六面体元素和 148,511 个节点，设置分析模型后进行流动和凝固模拟，分别耗时 26 分钟和 12 分钟，操作系统为 Windows 7 32 位操作系统，计算机主频 2.8G 主频，2GB 内存。



图五 实际铸件上表现出的明显的缩水和留痕

为了改善中间缩水的巨大缺陷且原则上对原始模具不作太大的修改，设计者提出仅对原来的流道做简单的改动（图六中的第一个方案）。新方案在原来方案的基础上，分别在中间和两边加入辅助流道。采用前端分析法重新进行一次模拟，但结果并不满意，流动状态甚至更加混乱，且多处出现裹气、缩水等缺陷。因此这一方案没有实际的意义。



图六 改进的各种方案

得益于前端分析高效而准确的铸造过程预测，用户可以避免直接修改模具在费用和时间上的浪费。而且，可以在短时间内对多种设计方案进行分析和对比，最后择优选择。对这一产品，可以考虑的方案还有很多种，如图六中的第二、三、四等方案。由于技术保护的原因，这里并不一一解释了。

结论与建议

面对日新月异的市场变化，汽车、3C 和各种消费产品的更新换代非常迅速，产品外观也越来越时尚和复杂，如何在有限的设计周期内，获得高质量的设计，成了一线厂家的制胜之道。而要达到这一目标，除了要有丰富的设计经验外，也要依靠科学的分析工具。在流道概念设计阶段，我们关心的是金属液在充型过程中整体的流动状态，以致我们能迅速地通过这些结果，修改入水方式、位

置、横截面积、调整溢流槽的排布，甚至改变整个流道设计的构思。应用前端设计分析技术的意义在于，从流道的快速设计，到铸造过程物理状态的快速模拟，到方案修改，都能在 1 到 2 个小时内完成。这样，我们几乎能在一天的 8 小时工作之内，完成 4 到 5 个流道方案的评估，从中迅速确定最优的设计方案。