

用集成在结构 CAD 中的 同步计算流体力学仿真方法 优化气体混合过程



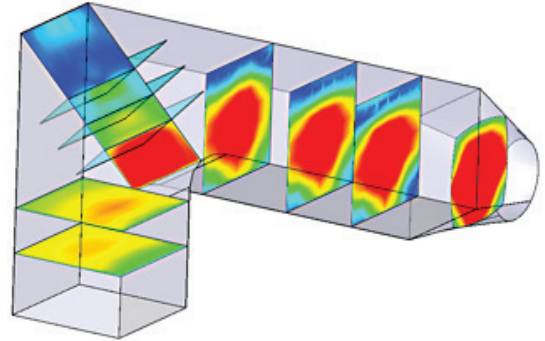
上海坤道信息技术有限公司
Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.

电话: +86 21 62157100
邮箱: info@simu-cad.com
官方网站: www.simu-cad.com

在混合气体中, 用最新的嵌入式计算机辅助设计软件, 最优方法就是用计算流体力学分析

在广泛的应用中, 对混合气体的研究是很重要的。例如, 在烟道里, 混合气体常常到达排放控制系统的临界状态。在填料塔和其他类型的化学反应器, 混合气体影响过程的吞吐量和可变性。混合气体对用于处理危险废物的回转窑焚烧炉的运行, 有很大的影响。在航空呼吸气体中, 混合气体对雾化吸入药物的性能有影响。混合气体的效率仅提高百分之几, 就可以大大减少能源消耗和低液化氮燃烧器的排放量。

优化燃气和空气混合, 以满足特殊应用的要求是一项具有挑战性的过程, 它通常涉及一个非常昂贵和费时的建设和测试样机的过程。大多数公司利用计算流体力学 (CFD) 模拟混合气体, 但其使用到现在还主要限于研究或解决现有设计的问题, 因为使用 CFD 技术需要投入相当的资金、时间和具备专业知识。



但是, 在过去几年里, 新的 CFD 工具已经研发出来, 它完全嵌入主流机械环境设计, 这使这种新的工具操作起来更容易, 更快, 因此应用它的成本更低。新的工具提供了在设计早期阶段评估大量潜在设计替代方案性能的能力。早期的分析使我们能够在更短的时间以较低的成本改善产品的性能和解决设计问题。本论文为在设计早期阶段使用计算流体力学改善混合气体提供了指导。本文特别关注了燃烧中的气体混合过程, 但对于其他各种各样的混合气体应用, 优化原则是一致的。

燃烧气体和空气混合的重要性

竞争和监管压力, 迫使制造商的燃烧设备, 提高能源利用效率, 减少向环境中的排放量, 改善燃料控制能力, 并提高燃料应用的灵活性。解决这个挑战的钥匙就是改善燃烧器性能, 因为燃烧器是所有燃烧系统中一个主要组成部分。即使燃烧器性能发生很小的改进, 也能对持续运营、消耗大量能源的系统产生重大影响。

燃料和空气混合几乎在每个燃烧器的设计中起着关键作用。很多应用中的一个主要设计难题是气体的注入, 尽量实现气体的混合达到理想状态。混合是重要的, 因为空气和燃料的浓度不均匀可以大大提高排放水平, 降低燃烧效率。燃料和空气非常透彻的混合消除热冷点不均的火焰, 火焰决定着氮氧化物的排放量。

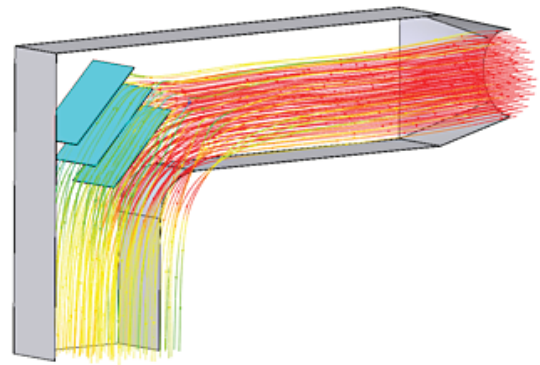
燃料和空气混合变化的设计方法

直到最近, 认为合适的混合气体设计是艺术而不是科学的人更多, 反应出控制气体混合的难度之大。传统的做法是建立一个样机或修改现有的产品, 再检验产品, 然后根据结果, 修改样机或产品, 直到取得理想的结果。这种方法存在的问题是, 建立、修改和测试的样机往往昂贵, 可能需要相当长的时间。值得关注的是, 制造样品的设计方法可能昂贵到必须关闭一个产品, 像那些持续运转的系统, 比如修改或测试发电系统。最近, 实验和分析工具的改进, 使人们有可能用虚拟样机取代物理模型样机, 虚拟样机准确地筛选选择的设计方案的性能。工程师使用的 CFD 在能够代表产品运营环境的边界条件设置下仿真产品。CFD 软件仿真通常提供的信息远远超过实验测试所能提供的信息量, 如流体速度和方向, 压力, 温度, 各种物质浓度值。分析过程中, 设计师可以改变系统的几何形状或边界条件, 设置不同流体流动模式。正是由于这些原因, CFD 使得分析师能在较短的时间和较低的成本下评估不同应用的大量不同参数设计的性能。

集成 CAD 的趋势

目前 CFD 软件的应用趋势是集成在 CAD 系统中, 从而使得在设计阶段检查更多替代设计方案成为可能, 这样能减少在物理测试阶段制造的样品数目。集成在 CAD 中的 CFD 工具使用原始的三维 CAD 数据, 自动定义流体区域, 自动基于对象调节流动参数, 无需工程师对 CFD 计算部分知识的了解, 而是让他们把重点放在产品设计上, 设计产品是结构工程师的本职, 是他们已经掌握的知识。

最新一代的 CFD 软件包含了复杂的自动控制功能，能确保在几乎每一个应用中都达到收敛，其中最重要的功能也许是自动控制网格的质量，这是影响收敛最重要的因素。因此，操作新一代 CFD 软件所需的技能仅仅是 CAD 系统知识和产品的物理知识，这两者是绝大多数设计工程师已经拥有的知识。将这些步骤自动化，大大减少了分析所需的时间，能在修改设计之前给出参考结果。



气体混合仿真的准则

多个最佳做法可以帮助确保燃气和空气混合的 CFD 分析准确性。利用原始三维数据确保实体模型质量。内部流动模型配置最少网格，要求必须形成一个密封的内部流场。永远记得几何模型微小细节应当删除，保证 CFD 分析用模型尺寸尽可能的小。导入模型后，在 CFD 软件中用“check geometry”功能检查模型。执行初始网格生成的功能，通过生成的网格，检查薄壁面上的孔导致的不正常的网格单元，并用后处理功能将这些不正常的网格单元可视化。不正常的网格单元就可通过加密局部网格，得到修正。

在混合仿真中，湍流是非常重要的，因为大多数企业不会投资购买强大到足以捕捉最微小的湍流细节的计算机。选择合适湍流模型的关键是求解器中设置了与之相匹配的流动特征。K湍流模型是非常常用的二元湍流模式，包含两个额外的输运方程，代表流动的湍流特性。

设计工程师必须要验证他们的模型准确预测了实际混合过程中的物理和化学反应。办法之一就是模拟现有产品，确定模型预测了产品的性能。然后，设计工程师可以修改模型，并对预测新设计的性能胸有成竹。如果中断现有产品的运作来做预测产生的费用过大，则可以制造一个小尺寸的模型，对比这个模型和仿真模型的性能。

现实案例

下面的案例，说明如何用这些方法设计新一代 Eclipse Linnox 燃烧器。这种燃烧器的目的是要大幅度减少风机将空气注入天然气燃烧器时所消耗的能量，同时保证能效以及排放指数与现有设计相同。为了实现这个目标，工程师们需要简化设计，消除在之前设计版本中达到高水准混合程度的功能，但是仍然保证在所有管道内燃烧气体与空气的比率为 $7.5\% \pm 0.5\%$ 。Eclipse 设计师们在 Inventor 内画好燃烧器的原始模型，然后在集成在 CAD 软件中的 FloEFD 软件中分析他们的模型。

原始模型的模拟结果显示了空气和燃料在所有管道内的混合浓度，突出需要改进混合浓度的区域。

设计工程师们对混合器做了一系列的修改。每次更改后，他们执行一次仿真分析，确定设计更改的影响，特别注意在整个腔体内不同物质的分布和压降。对每一次重大的变化，他们还进行了一系列的参数研究，评估改变设计的主要参数所产生的影响。

观察这些变化对两种物质分布的影响，他们了解了设计中的敏感参数，而根据物理实验，这样的信息可能永远也不可能获取到。工程师锁定一个设计并执行进一步优化。模拟结果显示，最终的设计方案压降只有 300 帕斯卡，与现有的燃烧器压降相比减少了 900 %（减小 10 倍）。到了这一阶段，Eclipse 才制造了第一个新设计样品。样品的性能和仿真所预测到的很接近，然而他们却极大地缩减了创造一个升级产品所需要的设计时间和成本（目前新产品还没有上市）。

总之，在涉及到气体混合的应用产品设计的早期阶段开始使用 CFD 仿真能节省时间和金钱。最优方法顺应了特殊行业的要求，帮助设计工程师避免分析错误。遵照具体的流程，任何工程师都可通过稍微修改设计或无额外成本产生的情况下优化设计。

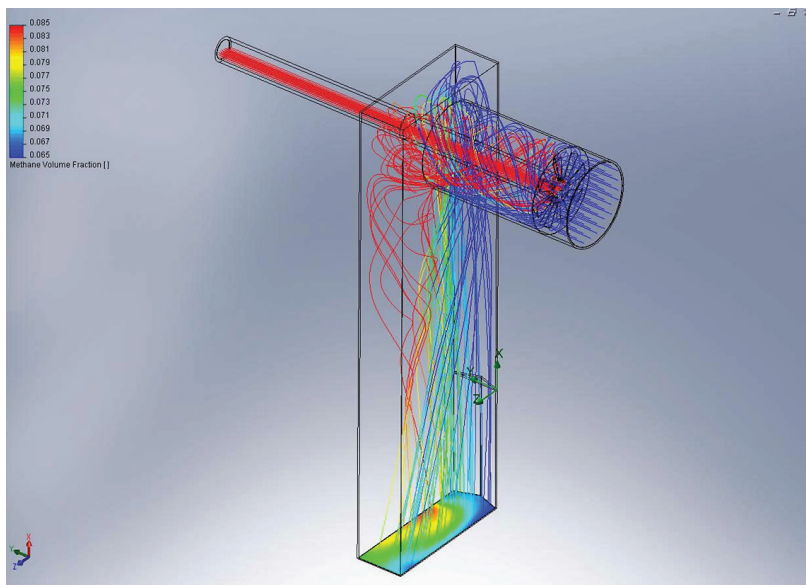


图1：仿真已有产品显示：基于中等压力空气涡流和天然气注入产生了良好质量的混合浓度

补充：不进行分析的成本

不理想的燃气和空气混合会对 Linnox 燃烧器性能产生显著影响。从燃烧器排放的有害物质以及不平衡的热量分布均会对应用产生负面影响，比如在纸张干燥，石膏板干燥，食品加工，空气净化等应用中。关于工程仿真对公司盈利的影响方面，已经有相当多的研究。Aberdeen Group 发布了数个该主题的报告。

最近的报告发现“一流”公司趋向于测试虚拟样机（见表 1），而不是测试物理样机。与此相反，那些归类到“落后企业”类的公司很少在虚拟样机上花费时间，而是执行更多轮的物理实验：

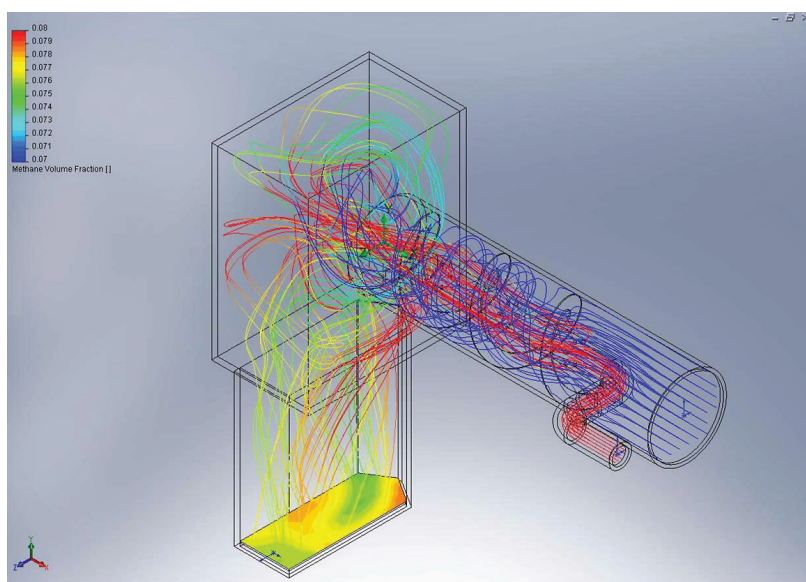


图2：仿真新的设计显示：基于低压力空气涡流和天然气注入产生了更高质量的混合浓度

企业类别	可替代设计方案	物理样机	设计周期（轮）
一流企业	7.3	2.7	2.8
处于平均线的企业	9.4	3.1	3.5
落后企业	4.5	3.8	4.7

来源：Aberdeen Group 2007 年 9 月

这种影响可能是巨大的。根据产品的复杂性，开发流程可以从一个星期至20年之间的任意一种。大多数气体混合相关产品，被认为要么是中等复杂性水平，要么是高复杂性水平，因此，研发可能需要从1年到20年之间的任意一种：

产品复杂性	零件数量	研发时间
低	不到 50	在一个星期到一年之间
中等	50 至 1000 之间	在一个月到 5 年之间
高等	50 至 10000 之间	在1年到 5 年之间
非常高等	1000 至 100000 之间	在1年到 20 年之间

来源：Aberdeen Group 2007 年 9 月

有趣的是，在中等或高复杂性水平上，建立一个实物样品成本可能是天文数字：

产品复杂性	建立样品时间	建立样品成本
低	13 天	7,600 美元
中等	24 天	58,000 美元
高等	46 天	130,000 美元
非常高等	99 天	1,200,000 美元

来源：Aberdeen Group 2007 年 9 月

因此，即使能够少建立一个样品也可以对公司成本底线有重大影响的：

产品复杂性	少 1.1 个样品节省的时间	少 1.1 个样品节省的成本
低	13 天	8,306 美元
中等	26 天	63,800 美元
高等	51 天	143,000 美元
非常高等	109 天	1,320,000 美元

更多关于产品的信息，请联系：

上海坤道信息技术有限公司

Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.

中国·上海市南京西路555号503室

邮编：200041

电话：+86 21 62157100，62555891

传真：+86 21 62151794

Email: info@simu-cad.com

网址: www.simucad.com

坤道

