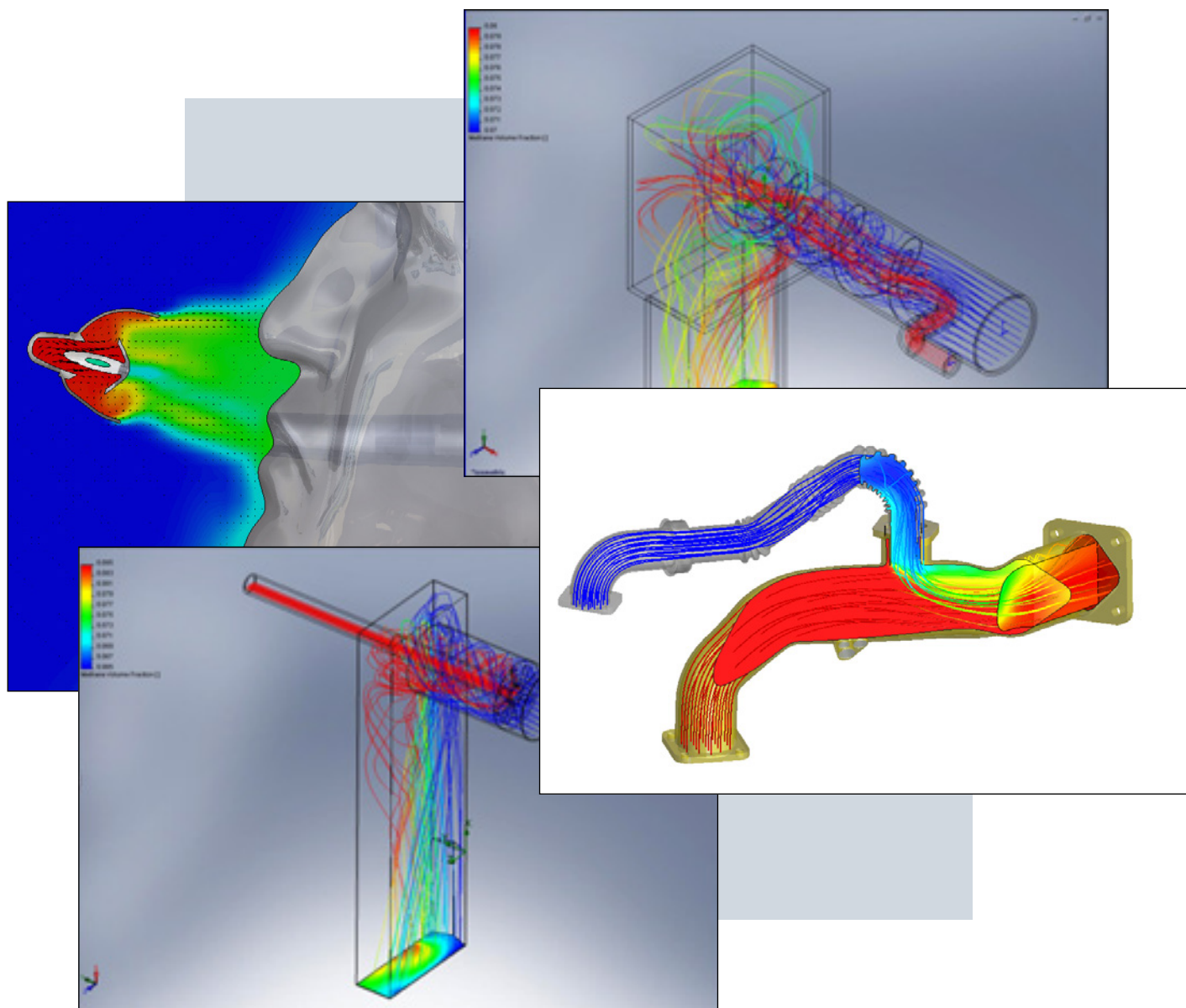


# 使用嵌入 CAD 的工程流体力学仿真 优化气体混合过程

白皮书



## SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 是气体混合 CFD 分析的最佳方法

气体混合在各种广泛的应用领域都非常重要，例如，烟道中的气体混合对于排放控制系统的操作非常重要，填料塔和其他类型化学反应器中的气体混合会影响过程的产出量和可变性，气体混合对于处理危险废物的旋转窑焚化炉的性能有重大影响，呼吸道中的气体混合影响雾化药物的疗效，混合效率上若干个百分点的提升即可大幅减少低氧化氮燃烧器的能耗和排放。

优化气体和空气混合以满足特定应用需求颇具挑战性，该过程通常需要反复建造并测试原型，因此非常耗费时间和成本。大公司已经采用了计算流体力学（CFD）来模拟气体混合，但鉴于使用 CFD 技术所需投入的大量成本、时间和专业知识，目前为止这种技术的应用仅限于研究或解决现有设计的疑难问题。

然而过去几年，市面上出现了完全嵌入主流机械设计环境的新型 CFD 工具，这些工具使用更加简单、更快且更经济实惠。在设计流程的早期阶段，用户可以使用这些新工具来评估大量备选方案的性能，早期阶段的分析使之有可能以较少的时间和较低的成本来提高产品性能并解决设计问题。本文介绍了在设计流程的早期阶段使用 CFD 改善气体混合的使用指南。

### 气体和空气混合的重要性

燃烧设备制造商面临着诸多竞争压力和监管压力，这迫使他们不得不提高能效、减少环境排放、加大控制力度并提供更大的燃料灵活性。应对此挑战的关键在于改善燃烧器的性能，因为燃烧器是所有燃烧系统的重要组成部分。即便是很小的性能改进，也会对持续运转且耗费大量能源的系统产生重大的积极影响。

对于几乎所有燃烧器而言，燃料和气体混合都是设计过程的重要环节。许多应用领域面临的主要设计挑战是通过注入气体来实现近乎理想化的混合。混合很重要，因为气体和燃料的浓度不均匀将导致排放量的大幅上升和燃烧效率的大幅下降。非常彻底的气体 and 空气混合可消除火焰中的冷热点，冷热点是氮氧化物排放的原动力。

### 气体和空气混合设计方法的改变

直到最近之前，适当的气体混合设计还被认为更像是一项艺术而不是科学。传统方法是建造原型或修改现有产品，然后测试产品，最终基于结果修改原型或产品，反复执行此流程直到获得理想的结果。此方法的问题在于建造、修改和测试原型通常需要投入大量成本，而且非常耗时。另一个问题是，如果停用一直用于某操作过程的产品（例如发电设备）而进行修改和测试，则可能产生高昂的成本。

最近，试验和分析工具的改进让软件原型逐渐取代硬件原型成为可能，前者可以准确地预测出设计备选方案的性能。工程师使用 CFD 按照现场使用条件来模拟产品运行。相比物理测试，采用 CFD 仿真通常可获取更多信息，例如贯穿整个求解域的流速和方向、压力、温度和组分浓度值。作为分析的一部分，设计师可以更改系统的几何体或边界条件并查看其对流体流动型态的影响。因此，CFD 让分析师可以用更短的时间和更低的成本来评估多种不同配置的性能。

## 嵌入式 CAD 的发展趋势

最近，嵌入 CAD 系统的 CFD 软件的使用趋势使得有可能将仿真应用于设计阶段，相比物理原型，这种方法可以测试更多的设计备选方案，同时还能减少所需的原型数量。嵌入 CAD 的 CFD 使用原始 3D CAD 数据，自动划分流体空间，并将流体参数作为基于对象的特征进行管理，这使工程师无需理解 CFD 的计算部分，只需专注于产品的流体力学，这是他们本来就应该理解和掌握的。

新一代 CFD 软件包含先进的自动控制功能，确保在几乎所有应用中实现收敛，无需手动调试。可能最重要的功能控制着网格质量，是避免运行发散的最大原因之一。因此，只需大致了解 CAD 系统和产品的物理学知识即可操作 CFD 软件，而绝大多数设计工程师都已掌握这些知识和技能。这些步骤的自动化还大幅减少了分析时间，使得在设计变更之前就交付分析结果成为可能。

## 气体混合的仿真指南

几种最佳做法可以帮助用户确保 CFD 气体和空气混合仿真的准确性。使用原始 3D 数据可以保证实体模型的质量。对于具有最低网格要求的内部流体模型而言，实体必须形成密封的内部空间，内部流场不会出现对外泄漏通道。用户应该尽可能地消除几何体的微小细节，以便将 CFD 模型的大小降至最低。导入几何体后，应该使用 CFD 软件的“检查几何体”功能来检查是否存在问题。通过执行试验网格生成并使用后处理器以可视化方式查看不规则单元，检查是否存在因薄实体上的孔洞而引起的不规则单元。可以通过增加局部网格密度来修正不规则单元。

湍流模型在混合仿真中非常重要，因为大多数公司无法在成本上承担功能强大到可以捕捉微小湍流细节的计算机。选择正确湍流模型的关键因素在于将应用中可能出现的流体特征与解算器中的可用模型相匹配。K-epsilon 模型是一种备受欢迎的两方程湍流模型，该模型包含两个额外传输方程以表示流体的湍流属性。业界已开发出针对特定流体配置的专业版本 K-epsilon 模型。

设计工程师需要能够验证其模型是否能够准确地预测出实际混合过程的化学和物理特性。一种方法是针对当前这一代产品构建模型，并确认该模型可预测其产品性能。至此，设计师即可放心地修改模型，因为他们知道该模型可预测出新设计的性能。如果中断当前产品运行的代价过于高昂，则有理由建造一个小比例的产品模型，并将其性能与仿真模型进行对比。

## 实例研究

以下例子描述了如何使用这些方法来设计新一代 Eclipse Linnox 燃烧器。这种燃烧器被设计成可大幅降低在使用风扇将空气吹入天然气燃烧器时产生的能耗，而且具有与现有设计同等的能效和排放控制。为实现此目标，工程师需要在设计早期阶段使设计流线化并去除有助于提高混合水平的特征，同时还要确保整个混合管道内气体与空气的比例保持在  $7.5\% \pm 0.5\%$ 。Eclipse 设计师使用 3D CAD 系统生成燃烧器的初始设计，然后使用 SOLIDWORKS Flow Simulation 技术进行仿真。

初始模型的仿真结果显示了整个混合管道内空气和燃料的浓度，同时还高亮显示出需要改善混合效果的区域。

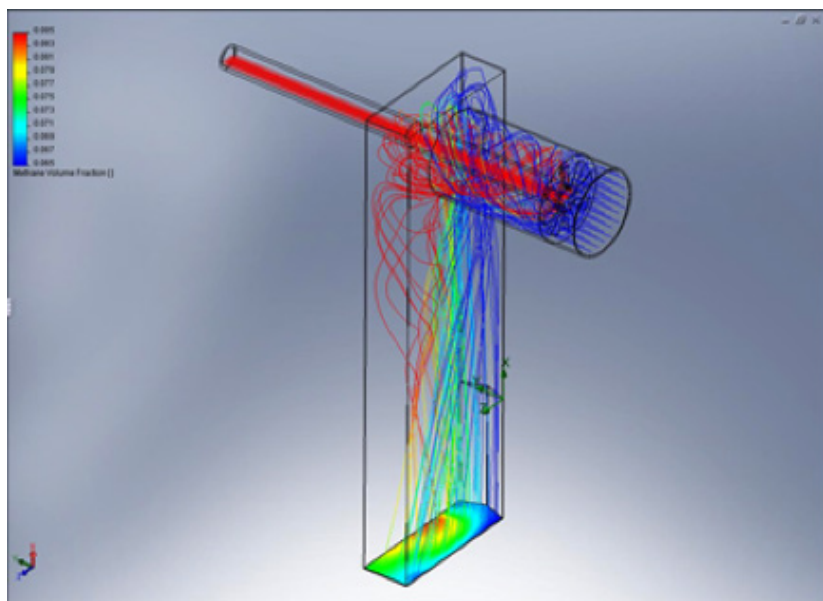


图 1：基于中压空气旋涡和气体注入的当前设计的仿真产生一个良好质量的混合

设计工程师对混合器设计做了一系列更改，每进行一次更改之后，都要重新运行一次仿真来确定相关更改的影响，同时需特别注意整个腔室内的组分分布和压降。他们还需对每个主要变型进行一系列参数研究，从而评估更改设计的关键尺寸的影响。

通过观察这些更改对两种组分的分布的影响，他们可以了解到设计敏感性，而这是使用物理测试方法无法做到的。工程师集中精力处理其中一项设计并执行进一步优化，仿真结果表明，最终设计的压降仅有 300 帕斯卡，这比现有的燃烧器设计减少了 900% ( 10 倍 )。直到这一阶段，Eclipse 才针对新设计建造了第一个原型。原型的性能非常接近仿真预测，这大幅降低了获取新设计所需的时间和成本。

总之，将嵌入 CAD 的 CFD 仿真解决方案用于气体混合产品的早期设计阶段可以节省时间和成本。针对特定行业的具体需求而优化的最佳做法，可以帮助设计工程师避免分析错误。通过遵循特定的流程，所有工程师都可以在更改成本很低甚至无需任何成本的时候优化设计。

## 不执行分析的代价

不优化气体和空气混合可能对 Linnox 燃烧器的性能产生重大影响。燃烧器排放的有害气体和不均匀的热量分布可能对纸张烘干、石膏板干燥、食品加工、催化空气净化等应用领域产生消极影响。业界开展了大量研究来理解工程仿真对公司盈利能力的影响。

Aberdeen 集团发布了有关该主题的几项研究。他们的最新报告表明“一流”公司趋向于测试虚拟原型（请参见表格），而非物理原型测试。相反，归为“落后”一类的公司很少花时间尝试虚拟原型，而是继续反复地进行多轮测试：

竞争框架	虚拟迭代平均数	物理原型平均数	测试轮数平均数
一流公司	7.3 次迭代	2.7 个原型	2.8 轮
一般公司	9.4 次迭代	3.1 个原型	3.5 轮
落后公司	4.5 次迭代	3.8 个原型	4.7 轮

来源：Aberdeen 集团

影响非常明显。根据产品设计的复杂度不同，开发过程可能需要 1 周到 20 年时间不等。大多数气体混合相关产品都处于“中”或“高”的复杂度水平，因此开发时间为 1 到 20 年不等。

产品复杂度	零件数量	开发周期
低	不到 50	1 周到 1 年
中	50 到 1000	1 个月到 5 年
高	50 到 10,000	1 到 5 年
很高	1,000 到 100,000	1 到 20 年

来源：Aberdeen 集团

有趣的是，建造“中”或“高”复杂度物理原型所需的成本可能是天文数字：

产品复杂度	建造原型的时间	建造原型的成本
低	13 天	7,600 美元
中	24 天	58,000 美元
高	46 天	130,000 美元
很高	99 天	1,200,000 美元

来源：Aberdeen 集团

因此，即使是少建造一个原型，也会对公司的最终收益产生重大影响：

产品复杂度	少建造 1.1 个原型所节省的时间	少建造 1.1 个原型所节省的成本
低	14 天	8,360 美元
中	26 天	63,800 美元
高	51 天	143,000 美元
很高	109 天	1,320,000 美元

来源：Aberdeen 集团

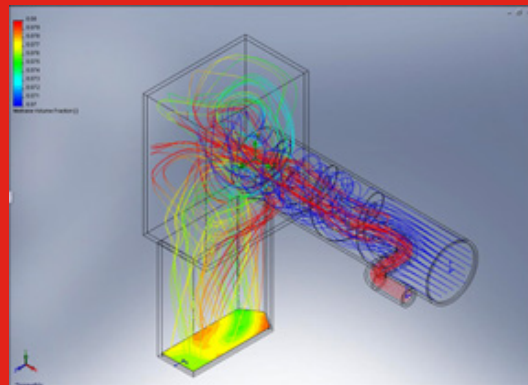


图 2：基于低压空气旋涡和气体注入的新设计的仿真产生一个质量更佳的混合

我们的 3DEXPERIENCE 平台为我们服务于 12 个行业领域的品牌应用程序提供了技术驱动，同时提供了一系列丰富的行业解决方案经验。

3DEXPERIENCE® 公司达索系统为企业和用户提供可持续构想创新产品的虚拟空间。本公司全球领先的解决方案转变了产品的设计、生产和支持方式。达索系统协作解决方案促进社会创新，实现了更多通过虚拟世界改善现实世界的可能性。本集团为 140 多个国家/地区、各行各业、不同规模的 170000 多家客户带来价值。更多信息，请访问 [www.3ds.com/zh](http://www.3ds.com/zh)。



### 亚太地区

Dassault Systèmes  
ThinkPark Tower  
2-1-1 Osaki, Shinagawa-ku  
东京 141-6020  
日本

### 美洲

Dassault Systèmes  
SolidWorks Corporation  
175 Wyman Street  
Waltham, MA 02451 美国  
+1 781 810 5011  
[generalinfo@solidworks.com](mailto:generalinfo@solidworks.com)

Dassault Systèmes (Shanghai)  
Information Technology Co., Ltd.  
+86 400-818-0016  
[infochina@solidworks.com](mailto:infochina@solidworks.com)