

## STX France

在海浪中保持空气清新：预测邮轮的废气羽流扩散

### 产品

Simcenter

### 业务挑战

分析复杂船舶几何体的废气湍流扩散

确保乘客在所有区域的舒适度

### 成功的关键

曲面包裹可在 CFD 仿真中保留全部 CAD 细节

DES 湍流建模可捕获全部羽流细节

可在一次仿真过程中检查多个排气口

### 成效

通过全尺寸模型增加可靠性

采用数字化仿真取代风洞试验



船舶上层建筑示例，呈现了只能在 CFD 模型中捕获到的复杂而细致的几何体。（图片来源：STX France/Bernard Biger）

### STX France 采用 Siemens PLM 解决方案，通过预测外部空气动力学来提高乘客舒适度

现代邮轮通常被称为“漂浮的酒店”，设有豪华客舱、各种购物、餐饮和娱乐区以及新颖的户外游泳和休闲区。邮轮上环境舒适，设施完备，能让乘客期待开启一场豪华的体验之旅。最大的邮轮可容纳多达 6,000 名乘客和 2,000 名员工，相当于一座漂浮在海上的小镇。

乘客放松享受船上各种服务的同时，许多服务设施都在后台工作，包括为邮轮供电的柴油发动机，向餐厅供应食物的厨房，以及洗衣房和垃圾焚化炉。但是这些设备会产生一种不良副产品，就是这些设备会产生一种不良副产品，就是必须排放到船外的废气。如果这些废气飘回到船上，会使乘客和船员闻起来非常不舒服。乘客会避开或不去使用带有难闻气味的区域。人类的嗅觉非常敏感，即便是浓度低至百万分之三百的柴油废气都会令乘客感到不舒服。船东不希望乘客感到任何不适，也不希望因此

# 使用 *Simcenter STAR-CCM+* 可以在全尺寸船舶几何体上模拟羽流行为

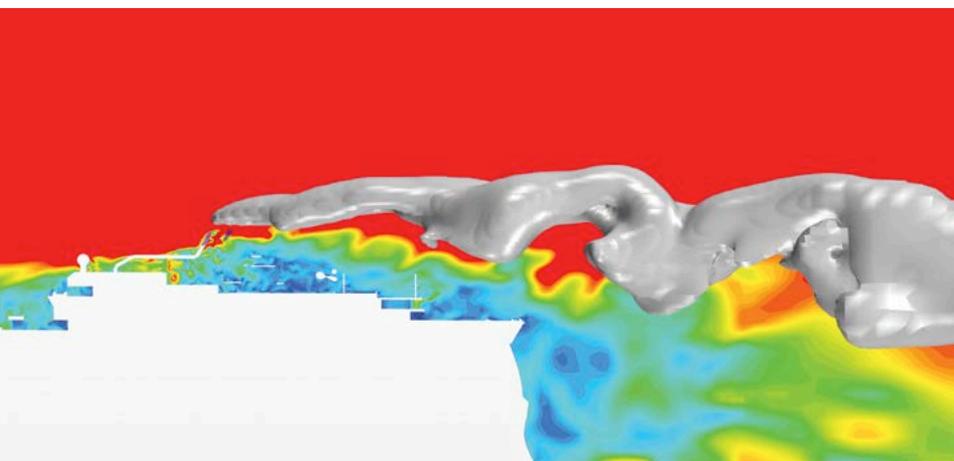
浪费或弃用某些区域，同时还希望保留船舶的整体美感和设计。

STX France 在设计和建造邮轮方面拥有丰富的经验，可以满足最高的要求和标准，已经交付了许多在世界各地服役的船舶。STX France 拥有一百多年的造船史，并且能够创新并打造极致奢华的邮轮体验，这些成就令其非常引以为豪。STX France 曾经打造过有史以来最大的邮轮“海洋和谐号”(Harmony of the Sea)，这艘邮轮最近在 Seatrade 展览会上斩获了油耗效率大奖。地中海航运公司传奇号邮轮 (MSC Meraviglia) 也采用了 STX France 在其 ECORIZON 项目中开发的所有最新环境功能。

STX France 致力于打造最节能、最舒适的顶级船舶，目前正在其设计过程中增加对计算流体力学 (CFD) 的应用。STX France 系统应用 CFD 的时间已超过 10 年，公司通过 CFD 优化船身几何体和船舶与波浪的相互作用。最近，STX France 开始使用 CFD 作为预测上层建筑附近废气羽流扩散情况的工具。这一方法使其能够详细了解羽流行为并改进烟囱和排气口的设计，进而避免排出的废气进入客舱甲板。STX 使用的是 *Simcenter™ STAR-CCM+®* 软件，该软件是 Siemens *Simcenter* 高级仿真工具产品组合的一部分。

## 船舶羽流

船上的多个位置都会排出气体，废气通常比周围的空气温度更高，因此它们会呈羽流状从排气口中升起。这一羽流的形成在很大程度上取决于环境条件。邮轮的平均航速为 20 节，而主导风向会因强度和方向而有所不同。与外部气流相比，排气口处的废气速度通常较低，因此产生羽流运动并形成湍流状，同时非常不稳定。典型的高斯羽流模型无法正确捕获羽流的形成，因其忽略了侧风对气流的影响。相反，最好将羽流看作一系列“烟雾”，或者是在三维空间中移动并随着时间扩大分散的极为不稳定的风。



*Simcenter STAR-CCM+* 中的典型羽流扩散，显示风速等值线（蓝色=最低速，红色=最高速）和指定烟雾质量百分比对应的等值面。

## 使用 Simcenter STAR-CCM+ 进行羽流建模

为了使用 Simcenter STAR-CCM+ 检查羽流扩散情况，STX France 对船舶的整个上层建筑进行了建模。每艘船舶都有不同的三维计算机辅助设计 (CAD) 模型，由 STX France 与船东和建筑师共同创建并维护。其设计必须从美观性和实用性角度满足多种要求，排气口的布置和设计只是其中一个环节。邮轮的上层建筑是尺寸各异、具有详细功能的复杂几何体。这些特征会对上层建筑周围的气流模式产生重大影响，进而影响羽流的扩散情况，因此在 CFD 模型中保持高度的细节处理至关重要。Simcenter STAR-CCM+ 曲面包裹器可根据导入的 CAD 几何体自动创建闭合的起始曲面。包裹器不会破坏几何体，仍然会保留上层建筑的全部细节。使用此功能可以快速轻松地设置模型，只需进行很少的手动几何体准备。在将全尺寸 CAD 模型导入到 Simcenter STAR-CCM+ 后，可对其进行包裹、网格化和设置，以便在一次仿真过程中对多个排气口进行建模。对于所有案例都采用相同的常规网格设置，以确保结果一

致且可比较，但在每个排气口的下游额外定义了特定的网格细化，其位置取决于所测试的风向。整个网格包括约 3,500 万个单元，包围着典型尺寸为 350 米长、40 米宽、65 米高的船舶。

由于羽流动力学极不稳定，因此稳定的雷诺平均纳维-斯托克斯方程 (RANS) 仿真并不适用。可以使用分离涡模拟 (DES) 混合建模方法作为替代。DES 法在边界层中采用 RANS 建模，但是在分离（高度湍流）气流中可以切换为大涡模拟 (LES) 模型。这就为在所需区域中（例如在羽流中）预测湍流在气流形成中所起的作用提供了更高的准确度。为了跟踪废气的浓度，可使用多相法，将每种类型的废气输出量定义为不同的相。这样可以在一次 CFD 仿真过程中分析多个排风口，从每个模型中获得最大的信息量。在典型的仿真中，船舶周围的速度场异常激烈，会从上层建筑上形成并落下许多涡流。可以将羽流结构视作指定质量百分比的等值面。不同废气的浓度可在整个模型中进行监测，并且可以轻松找到浓度高于指定值的任何区域。

**STX France 致力于打造最节能、最舒适的顶级船舶，目前正在其设计过程中增加对计算流体力学的应用。**

在查看初始设计时，STX France 首先关注风速和风向的最极端配置。随着设计的完善，会对更加广泛、更加详细的配置进行分析，包括来自各个方向的三种不同强度的风。排气速度也会根据船舶的实际运行曲线而发生变化。船舶的上层建筑有超过 25 个主排气口。为了减少工况总数，每次仿真最多可以包含八个排气口，并对四到五个不同相位进行建模。即便是这样，每种设计也可能存在大量工况。STX France 以群集方式批量运行工况，并且具有标准的分析设置，可以快速对结果进行比较。

从签署合同到交付建造好的船舶，履行标准造船合同最多需要三年时间。羽流分析在合同的前六个月将作为初始详细设计阶段的一个环节。在此阶段，STX France 与船东密切合作，分享这些 CFD 仿真结果，并为提出的设计提供反馈。在完成最终设计之前，可能需要进行多次设计迭代；虽然美观性很重要，但船东不会愿意承担招致不良羽流行为的风险，因此这种反馈和迭代是设计过程的重要环节。

### 对结果信心十足

在使用 Simcenter STAR-CCM+ 之前，STX France 进行了风洞测试，用于观察羽流扩散情况。虽然在风洞中可以很容易对设计快速做出更改并重复结果，但缩比模型尺寸限制了可捕获的细节程度。这种限制给羽流的行为带来了一些不确定性，特别是在船舶侧面的狭小空间附近。使用 Simcenter STAR-CCM+ 可以在全尺寸船舶几何体上对羽流行为进行仿真，进而保留其全部细节。CFD 分析可以更好地理解船舶和羽流周围的全部流动特性。STX France 现在已经常态化使用 Simcenter STAR-CCM+ 替代风洞试验来进行 CFD 方面的羽流扩散研究。

因为“闻起来舒服”是一种主观的判断，所以验证 CFD 研究并不容易。然而，STX France 能够将他们的 Simcenter STAR-CCM+ 预测结果与已经建造完成的船舶读数结果进行比较，两者之间的相关性验证了以这种方式使用 CFD 的可靠性。

***STX France 现在已经常态化使用 Simcenter STAR-CCM+ 替代风洞试验来进行 CFD 方面的羽流扩散研究。***

## 解决方案/服务

Simcenter STAR-CCM+  
<https://mdx.plm.automation.siemens.com/star-ccm-plus>

## 客户主营业务

STX France 是一家造船和船队服务公司，在设计、建造、安装和调试高度复杂的船舶和海上设施方面位列行业前列。  
<http://stxfrance.fr/en/>

## 客户所处位置

法国  
圣纳泽尔市

## 结论

确保邮轮上的废气和污染气体能够有效扩散，对于满足乘客对邮轮体验的预期至关重要。如果烟囱设计不合理，则可能导致某些区域气味舒适度较差，进而导致客户不会充分利用这些区域。由于空间非常宝贵，船东不希望承担使乘客产生不适的风险或者让任何空间闲置。通过在 Simcenter STAR-CCM+ 中进行 CFD 仿真，STX France 能够以全尺寸分析整艘船舶的几何体，从而预测结构上任意一处的羽流扩散情况和废气浓度。他们在早期设计阶段通过这些信息向船东和设计师提供反馈。由于可以在一次仿真过程中对多处废气进行建模，所以这一流程非常高效。

与以往相比，这种建模方法可以更好地了解羽流的特点及其与船舶上层建筑间可能存在的相互作用，并且目前已在设计阶段中取代了风洞试验来进行废气扩散预测。在 Simcenter STAR-CCM+ 的协助下，STX France 正持续地开发和建造更出色的在役邮轮。

## Siemens PLM Software

美洲：+1 314 264 8499  
欧洲：+44 (0) 1276 413200  
亚太地区：+852 2230 3333

[www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm)

© 2019 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Siemens 和 Siemens 徽标是 Siemens AG 的注册商标。Femap、HEEDS、Simcenter 3D、Simcenter Nastran 和 Teamcenter 均为 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 或其附属公司在美国及其他国家/地区的商标或注册商标。Simcenter、Simcenter Amesim、Simcenter Samcef、Simcenter SCADAS、Simcenter Testxpress、Simcenter Soundbrush、Simcenter Sound Camera、Simcenter Testlab 和 LMS Virtual.Lab 是 Siemens Industry Software NV 或其任何附属公司的商标或注册商标。Simcenter STAR-CCM+ 和 STAR-CD 是 Siemens Industry Software Computational Dynamics Ltd. 的商标或注册商标。所有其他商标、注册商标或服务商标均属于其各自持有方。

77051-A11-ZH 3/19 o2e