

# 仿真助力年轻工程师设计面向未来的产品

EPFLoop 团队受邀参加了由 SpaceX 公司举办的超级高铁设计竞赛, 并成功晋级前三名。该团队利用多物理场仿真技术, 以独特的设计赢得参赛资格并取得优异的成绩。

作者 **BRIANNE CHRISTOPHER**

在 SpaceX 公司一年一度的超级高铁设计竞赛 (Hyperloop Pod Competition) 期间, 受邀的工程团队均致力于设计和构建超级高铁。超级高铁的概念是希望实现一种可以在洲际间穿梭, 超高速、自驱动的交通运输方式。这样的系统不仅会彻底改变人们的出行体验, 还可以为交通出行方式提供更环保的选择。

超级高铁设计竞赛始于 2015 年, 是埃隆·马斯克 (Elon Musk) 提出的一个伟大创意。每年夏天在美国加利福尼亚州洛杉矶市西南部的霍桑市 (Hawthorne) 举行为期一周的比赛。在比赛周期间, 参赛者要在一英里 (约 1.6 公里) 长的轨道 (图 1) 上以大约 500 公里的时速测试他们设计的列车。

## ⇒ 与世界顶级工程师一起工作

在一年一度的超级高铁设计竞赛中, 全球排名前 20 的团队会被邀请到加州的测试中心进行比赛, 前三名的团队将进入决赛, 在真空轨道中进行测试。首次参赛的 EPFLoop 团队表现出众, 作为当年在真空轨道中运行测试的三个团队之一出现在决赛中。令人印象深刻的是, 他们在测试周结束时首先获得了晋级, 并被告知他们的客舱设计表现出了最高的可靠性。遗憾的是, 在比赛最后一天的高速运行中, 由于测试轨道上意外出现的灰尘影响了列车的性能, EPFLoop 团队最终获得了第三名, 但是他们在比赛中获取了宝贵的经验。

EPFLoop 竞赛团队在瑞士洛桑联邦理工学院 (Federal Institute of Technology Lausanne, EPFL) 成立, 主要成员是工程专业的学生和技术顾问。团队的首席顾问 Mario Paolone 博士评论说, 超级高铁竞赛是一个“让学生和年轻工程师与世界顶级工程师一起参与最新科技挑战的机会”。学生们不仅有机会使用高科测试设备, 与专业工程师近距离交流; 这一经历也是一次绝佳的

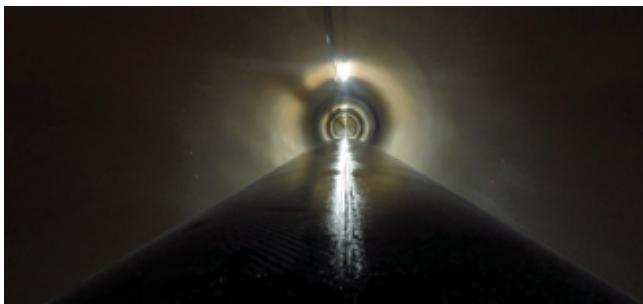


图 1. 超级高铁测试轨道的内部视图。



图 2. EPFLoop 的超级高铁设计。

机会, 让他们能够了解节能交通研究的重要性。不仅如此, 本次竞赛还让学生们对研究感到兴奋, 并激励他们将来投身于工程领域。

## ⇒ 超级高铁仿真

参与 EPFLoop 的学生除了有机会参观 SpaceX 公司并体验先进的测试设备, 他们还有一个重要的收获: 使用多物理场仿真软件解决实际问题的宝贵经验。EPFLoop 的超级高铁设计 (图 2) 的各个方面均涉及建模与仿真。实际上, Paolone 博士称仿真是他们项目的“核心”。其中一个原因是, 该团队使用的 60 米测试轨道与 SpaceX 公司长达一英里的测试轨道相去甚远。因此,

即使他们的测试能够验证低速下的仿真结果, 仍需要依靠仿真软件来深入了解在非常高的速度下会发生什么情况。EPFLoop 技术负责人 Lorenzo Benedetti 博士指出, “列车的每个零部件都必须通过仿真进行验证。”

EPFLoop 团队通过使用 COMSOL Multiphysics® 多物理场仿真软件, 能够在进入 SpaceX 之前就可以分析超高速管道列车的复杂零部件并预测其性能。在设计过程中, 他们还需要能够同时观察多种物理效应, 包括力学、流体、电气和材料科学现象。Benedetti 评论道: “这个项目是多个学科的融合。”例如, 设计团队想要了解由轻质复合碳纤维制成的

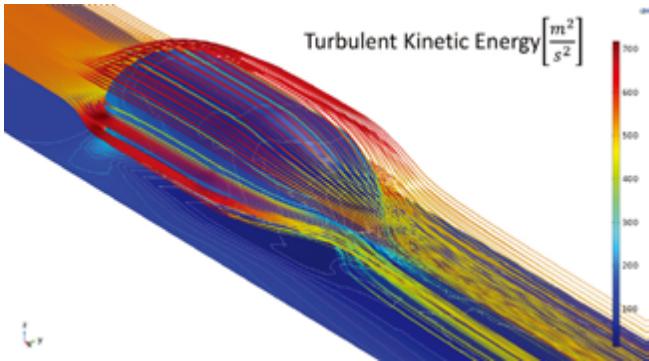


图 3. 超级高铁的复合材料壳体结构周围的湍流动能。  
图注: Turbulent Kinetic Energy - 湍流动能

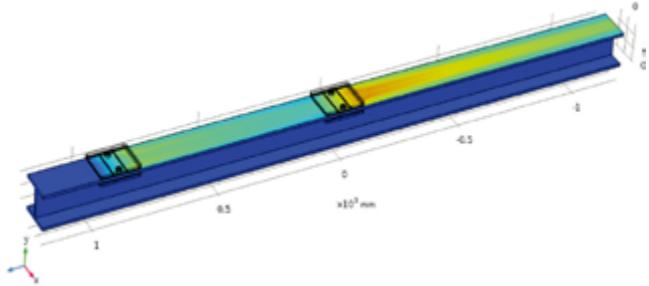


图 4. 超级高铁制动系统的温度分布。

客舱外壳在测试轨道上的性能表现。为了将气动阻力降到最低,他们使用了计算流体动力学(CFD)分析,并在此过程中进行了形状优化和力学研究(图 3)。

列车外壳必须既轻便,又能承受加速和减速时的空气压力。该团队使用 COMSOL 多物理场仿真软件中的“高马赫数流动”接口确定了列车的升力和阻力系数,然后使用软件中的 LiveLink™ for MATLAB® 产品,通过 CFD 分析得到的压力分布对列车的气动外形进行了优化。

除此之外,团队还需要了解在高速行驶时列车的压力舱在真空管中的性能,他们设计了真空罩用来储存电池和舱内的电子元件。事实上,有些电子设备无法在真空条件下使用,不符合标准的设计可能会导致内部组件直接暴露在轨道(其本质上是一个真空管)上而破坏轨道。他们使用 COMSOL 多物理场仿真对由复合材料制成的车体进行了结构分析,以了解各层之间的叠加;通过优化结构响应,最大限度地减轻了重量;并针对优化后的设计研究了客舱的 Tsai-Wu 安全系数和主应力。

⇒ **制动有力, 收放自如**

超级高铁的制动系统是多物理场仿真的另一个应用实例。制

动器需要能够在列车达到最高速度后能使其安全减速。然而在真空管中,制动系统内不会产生空气对流散热,热量会大量储存在刹车片中,导致制动系统的温度快速升高。为了确保制动部件能够正常运行,EPFLoop 团队采用了传热和力学仿真相互耦合的方法来设计制动系统(图 4)。

他们使用 COMSOL 多物理场仿真软件中的“固体传热”接口分析了制动系统在制动过程中和制动后的温度分布情况,确保系统不会因过热而对超级高铁造成损坏。随后,他们使用软件的“平移运动”功能计算了由摩擦引起的功率损耗,从而估计制动器的温升情况。基于这些信息,他们对不同材料的刹车片进行了研究,这些材料包括皮革、热塑性聚氨酯、石膏,以及汽车行业中常用的一些刹车片材料。通过仿真分析,该团队验证了一种由外部供应商为他们定制的刹车片材料的可行性。该材料可将制动

系统的温度保持在所需的范围内,由此确定其确为最佳选择。

团队细致的仿真工作获得了认可, Benedetti 说:“一位评委称我们的方法‘极具吸引力’。”

⇒ **塑造人生的宝贵体验**

最令人印象深刻的并不是 EPFLoop 的客舱设计或其竞赛排名,而是项目本身对学生的影响。博士研究生 Nicolò Riva 是 EPFL 团队空气动力学小组的负责人,这段特殊的经历使他希望在学术界继续参与类似的项目。参加 2018 年竞赛的另一名学生 Zsófia Sajó 也表示,EPFLoop 激发了她对交通运输行业的太阳能和清洁能源研究的热情。

Paolone 博士对该项目的印象与其团队成员的观点一致。他的感受是,学生们留出自由时间,带着动力和奉献精神积极加入 EPFLoop 团队。他表示:“我们需要这样的人投入到为未来设计更加环保的运输方式。”❖



EPFLoop 团队。