

# 突破数学极限：解决现代机械工程计算的挑战的案例分析

像各大大专业的工程师一样，机械工程师面对着越来越大的一系列数学难题。

如今，对以下问题的关注比过去更为强烈：

- 创新 — 创造更好和更高效的系统（即使处于极端环境下）
- 可持续发展性 — 人类对可负担得起的清洁能源的需求不断增大
- 安全性 — 随着安全标准提高和对人身伤害或损坏的容忍性下降，必须相应地确保人员和设备的安全

对于机械工程师，要克服如今复杂的挑战，关键在于那些环境保护系统和它们所需的复杂数学计算。精确地管理极端环境或条件（否则会损毁昂贵的设备、中断可靠的电力供应甚至危及人命）的必要性从未变得如此重要和难以满足。工程师正面对着空前的压力，他们不仅要创造创新的设计方案，而且还要确保它们绝对不会失败。

在我们查看可能解决这些问题的工程计算时，我们常常发现它们很复杂和难以管理。将作为公司知识资产的工程计算深藏在电子表格和传统的工程笔记本中不再足以满足需求。



主动式振动控制对于国际空间站必不可少

幸运的是，数学技术的发展为工程师提供了非常有效的解决方案（如果正确使用的话）。设计和计算软件为土木和结构工程师提供了各种工具，以解决如今最紧迫和最复杂的问题，以及实现前所未有的创新。

本文讨论现代的机械工程项目，在此类项目中，复杂的工程数学一直都是克服这些新挑战的关键所在。具体而言，我们将关注此类工程师：

- 利用主动式振动控制 (AVC) 方法控制结构和保护敏感设备
- 最大程度挖掘潮汐能作为可再生和可负担得起的能源的潜力
- 开发人形机器人，以在人员受伤或死亡的风险高得难以接受的情况下代替人类前往危险的地方和完成危险的工作

### ARIS : AVC 案例研究

工业设备、汽车、飞机和其他机械结构都会出现振动，并可能会因此而过度磨损和失效。紧固件破裂和松动等因素可能会令人感到痛苦和不适，最终可能会导致费用高昂的维修或停机问题。

被动式振动控制方法使用阻尼器、吸收器、加强件和其他结构修改措施，它对于非常敏感、复杂和昂贵的产品作用有限。如今，机械工程师的职责更进一步，他们要使用电磁作动器来感知和控制结构的运动，以减少多余的噪声和振动。AVC 方法涉及到形状记忆合金、电流变液和磁致伸缩材料，能够弥补被动式振动控制方法的不足，以解决复杂的工程问题。

工程师依靠公式为独立工作的零件和作为大型系统或结构一部分的零件执行从简单到复杂的振动分析。通常使用计算软件来建立 AVC 模型。当在分析中综合考虑其他因素（例如声传播）时，模型变得更为高级，此时通常要使用软件应用程序进行分析。



设计和计算软件为土木和结构工程师提供了各种工具，以解决如今最紧迫和最复杂的问题，以及实现前所未有的创新。”

为了找到精确的消振公式，需要计算不同的内部和外部作用力，而这可能是一项复杂的工作，特别是在设计用于未知的或无法预测的环境的产品时。

在几乎无重力的国际空间站内部，必须使用 AVC 来帮助科学家更好地了解重力对生物、化学和物理系统的影响。通过抑制振动干扰，NASA 的 Active Rack Isolation System (ARIS) 帮助保护实验仪器，以免它们遭受可能会影响研究结果的外部振动。

ARIS 综合使用传感器和作动器来减少干扰。在加速度表检测到来自空间站的干扰时，它会向 ARIS 电子装置发送信息。推杆会根据收到的数据在有效载荷支架和实验舱之间提供一个反作用力。附加的微重力支架挡板帮助进一步阻止活动 ARIS 支架的意外干扰。

## 基于振荡水翼的流体动力涡轮： 可再生能源的案例研究

即使是看似简单的项目也可能需要进行高级的计算。魁北克省魁北克市拉瓦尔大学的一支机械和电气工程师团队在 2010 年就遇到了这种情况。

在寻找比常规旋转叶片更优越的水力发电方法时，此团队研究了使用振荡水翼的想法。

在根据计算流体动力学 (CFD) 建模进行详细分析后，此团队研制了一台 2 kW 的涡轮样机，然后将它装在一个定制的平底船上，以在湖泊中进行测试。该涡轮的设计需要进行大量计算；为了设计以下部件，需要使用一整套公式、方程和图形：

- 两个串联布局的矩形振荡水翼
- 将每个水翼的俯仰运动连接到其循环升降运动的四连杆机构
- 一个用于驱动转轴的单自由度系统
- 速度受控制的发电机（连接到转轴）
- 由发电机充电的电池组

对即时发出的电力进行测量，并且为多个水流速度和水翼振荡频率求出周期平均值。升降和俯仰幅度在所有行程中均保持恒定，幅度值分别为 1 弦和 75°。

在最佳性能时，测出的发电效率达到了 40%（已考虑机械系统中的总损耗）。据估计，此初次实施中使用的联接机构的相关机械损耗至少为总发电量的 25%。

涡轮样机的水动力效率为 40%，这已超过期望值，而且达到了与利用现代转子叶片涡轮可获得的最佳性能相仿的水平。考虑到矩形水翼的生产成本低于扭曲的转子叶片，因此，以上结果表明，这项高效的水力发电新技术前景光明。

## MABEL：人形机器人案例研究

一些机械工程师专注于解决全球的能源问题，而另一些则致力于开发人形机器人。这方面的研究为矫形器和假肢的发展铺平了道路，也为设计可以执行各种通常由真人完成的任务（从娱乐观众到执行危险的军事或拯救任务）的机器铺平了道路。



如果不使用工程计算软件为机器人零部件和交互建立模型，设计像 MABEL 这样的机器人会变得极其困难甚至不可能。”

密歇根大学的工程教授 Jessy Grizzle 说道：“如果想派机器人进入起火的房屋搜寻人员，机器人可能需要能够上下楼梯，跨过地板上的儿童玩具，以及在轮子和履带可能不适用的环境中行动。”



如今的机械工程师要克服重大的设计挑战，他们能在多大程度上克服这些挑战将对后代的人类社会产生巨大影响。准确的数学计算是必不可少的。”

Grizzle 是这间大学的 MABEL 设计团队的一员。MABEL 是一种人形机器人，其设计工作取得了巨大的进展，目前它能自由奔跑超过 110 步。此机器人的脚能抬起空中 3 到 4 英寸，而且整台机器人每跨一步时的空中停留时间达到 40%。MABEL 的奔跑时速平均达到 4.4 mph，最快时速可达 6.8 mph。

MABEL 的重量超过 65 kg，它具有较重的躯干 (40 kg)、尖尖脚和电缆驱动传输系统。重量的分布以真人为蓝本，即重量集中在上身，而轻巧的腿可以快速前后移动，以快速行走。机器人中的弹簧类似于人体中的筋腱，它们吸收碰撞力，还储存能量。

在制造出 MABEL 之后，这间大学的工程师创建了此机器人的详细数学模型。他们使用此模型设计控制系统算法。反馈控制是通过非线性、依从性、带主动力控制且实时运行的混合型零动态控制器来实现的。

无论机器人是行走、奔跑还是站立，反馈控制器都会测量所有关节的位置和躯体角度，然后确定要发送到四台电机（其中两台装在两条腿上）的正确指令。最终产生的运动结合机器人机构的弹簧和质量决定了腿部施加到地面以实现奔跑姿态的作用力。

要设计出成功的人形机器人，必须完成一连串令人眼花缭乱的数学计算，因此这是一项极具挑战性的工作。物理、机械和控制系统的设计全都需要使用复杂的工程模型。机器人的零力矩点 (ZPM) 就是一项重要的计算，目的是计算出主动力的所有力矩的总和在地面上的哪一点等于零。此概念对于确保人形机器人的动态姿势稳定性至关重要。如果不使用工程计算软件为机器人零部件和交互建立模型，设计像 MABEL 这样的机器人会变得极其困难甚至不可能。

### 结束语

如今的机械工程师要克服重大的设计挑战，他们能在多大程度上克服这些挑战将对后代的人类社会产生巨大影响。准确的数学计算是必不可少的。

设计更安全的结构、推动可再生能源的发展和开发出更似人的机器人都需要非凡的努力和创造力。

工程师还要不断依靠技术的进步来帮助他们克服目前和未来的挑战。增强的计算机能力和工程软件将能提高性能、确保准确性和减轻风险。



来源：

Active Rack Isolation System (ARIS); ARIS ISS Characterization Experiment (ARIS-ICE), SpaceRef Interactive, Inc. 2012 年 4 月摘自：<http://www.spaceref.com/iss/payloads/aris.html>

Biped Robot MABEL Runs Free! DynamicLegLocomotion. 2011 年 8 月 12 日。2012 年 4 月摘自：[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=xI0wk6\\_xpWo](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=xI0wk6_xpWo)

Casal Moore, Nicole (2011). *Running robot: MABEL is now the world's fastest two-legged robot with knees*, University of Michigan News Service. 2011 年 8 月 15 日。2012 年 4 月摘自：<http://ns.umich.edu/new/releases/8508>

Kinsey, T., et al (2011). *Prototype testing of a hydrokinetic turbine based on oscillating hydrofoils*, Renewable Energy, 36 (2011) 1710e1718

Vibration Control, Indian Institute of Technology Delhi. 2011 年 1 月 14 日。2012 年 4 月摘自：<http://www.scribd.com/doc/46861549/Chapter-7-Methods-of-Vibration-Control>

© 2012, PTC. 保留所有权利。本文提供的信息仅做参考之用。如有更改，恕不另行通知；这些信息不应视作 PTC 提供的担保、承诺、条件或服务内容。PTC、PTC 徽标、PTC Mathcad 和所有 PTC 产品名称及徽标都是 PTC 和 / 或其子公司在美国和其他国家 / 地区的商标或注册商标。所有其他产品或公司名称是各自所有者的财产。任何产品（包括任何特性或功能）的发布时机可能会有变，具体由 PTC 自行决定。

J0807-Mathcad ME Whitepaper-CN-0912

## 克服机械工程挑战需要进行复杂的计算

数学计算软件的进步确保准确性和减轻风险。

### 挑战

### 需进行的计算

实现结构的主动式振动控制

- 通过兰索斯递归解决的特征值问题
- 声传播

提高为复杂机械（例如汽车和航空航天设备）建模的效率

- 声振响应分析
- 静态和动态应力计算
- 安全性分析

最大程度挖掘潮汐能的潜力

- 代表性的流速
- 贝兹极限

在机器人平台上模仿人类的双足步行

- 零力矩点 (ZMP)