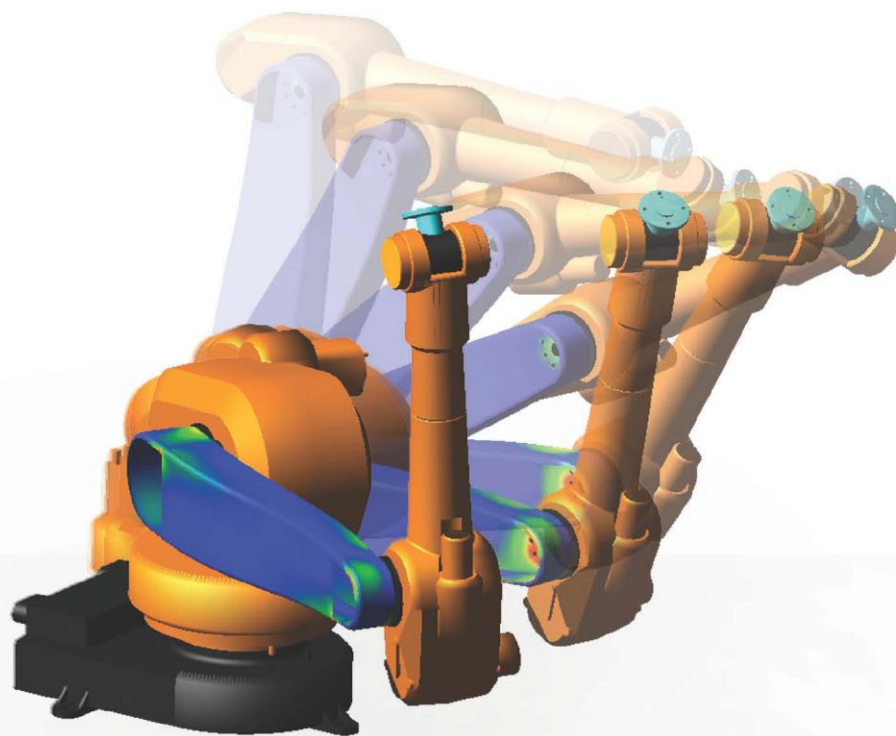


# 用 Adams 多体仿真软件 设计更出色的工业机器人



## 引言

由于工业机器人在速度、强度、精度及灵活性方面拥有诸多优势，例如可提高质量、降低生产成本，因此被越来越多地用于各类应用中。新一代工业机器人的设计师面临着大量挑战，例如金属切削机器人，受到很大的作用力，不仅要加快操作速度，还要保持定位精度并避免剧烈振动。随着机器人变得越来越轻并且在较高的负载下工作，传统的机器人设计方法（包括采用方程式或软件对运动学及初级动力学进行建模）会丧失其效用，这使得动态因素（例如结构变形和齿轮啮合间隙）在机器人性能方面的重要性与日俱增。

机器人设计师可采用 Adams 多体仿真（MBS）软件对整个机器人机构的瞬态动力学行为及控制算法进行仿真，从而提高产品性能。Adams 不仅能通过运动学建模建立机器人的完整工作样机，还能对其所执行的任务进行仿真，其中包括搬运、制造以及现实生活中的一切活动。这种方法使机器人设计师能够了解零部件变形、接触力、摩擦力、齿轮啮合间隙、振动等因素，从而更精确地计算机器人的轨迹。在制造样机之前，Adams 能对在任何操作情景下机器人的动力学性能进行准确的仿真和诊查，通过评估多种不同的设计配置和控制算法，提升机器人的性能，同时缩短所需的实物试验时间，将机器人尽快推向市场。



## 机器人设计师面临提升性能的挑战

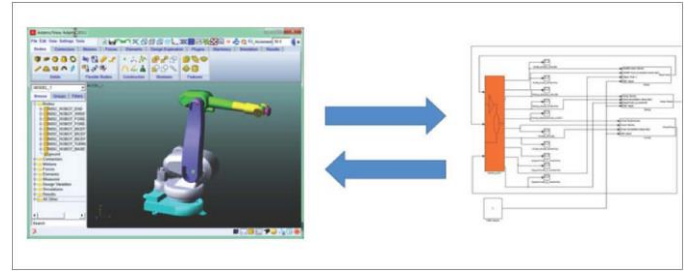
设计师需要用尽可能低的成本，获得尽可能高水准的速度、准确度、耐用性及其他性能参数。能否赢得订单的差别往往不过是速度上 5% 的优势，因此机器人设计师需要突破设计过程的束缚。例如，机器人设计师可采用扭矩更高的电机或者使用更轻的机械臂来缩短机器人到达其最终位置所需的时间。

随着机器人设计师提升性能，机械臂及其他部件会弯曲至一定角度，因此在计算机器人到达指定位置所进行的关节运动时，这一变形就变得极为重要。更高的扭矩和更轻的机械臂也使得机器人更易出现振动，因此与以前相比，确定机器人的固有频率并确保其远离机器人的所有工作频率就变得更加关键。功率更大的机器人也会增加对机器人传动机构的需求，这提升了齿轮敲击及啮合间隙等因素的重要性，并使轴承设计变得更加重要。

但大多数机器人设计师仍然采用他们过去数十年一直沿用的同一设计工具。他们通常采用运动学模型或简单动力学模型相结合的轨迹规划器，确定末端执行器到达目标空间位置所遵循的路径，同时在电机加速及减速阶段对平稳的连续运动进行追踪。但即便使用了超高精度的编码器，机器人移动至绝对 XYZ 位置以及 ABC 方位的能力仍然会受到变形、齿轮啮合间隙、热膨胀及制造偏差等因素的限制。可通过方程式分析解决连杆柔性问题，但这种方法需要高水平的数学能力和大量的时间。分析法的复杂性随机器人的自由度和几何复杂度的增加而呈指数增加。

目前机器人设计师所面临的另一个挑战是了解机器人各种关节的受载大小。随着轻量化越来越多地被用来改进机器人零部件，需要在设计过程初期准确地对这些作用力进行估算，以便确定机器人部件的尺寸，从而交付具有竞争力的产品。关节作用力在很大程度上取决于机器人的轴承和横梁的刚度，因此传统的设计工具无法提供准确的预测。当前的大趋势是开发一种保证操作员在场进行安全操作的协作机器人。在设计这些机器人时的一个关键因素是：确定在出现碰撞时机器人作用到操作人员身上的作用力大小，以免操作人员受伤。

同时，在当今竞争日趋激烈的环境下，机器人控制算法的设计也变得越来越关键、越来越困难。为能提供高速的同时保持或提高定位精度，控制算法通常需要将动态因素（例如机器人和轴承的柔性以及齿轮系的刚性）考虑在内。为满足交货日程表，通常需要在设计机器人本身的同时设计控制算法，但对于做出完美设计决策所需的动态因素，现有的设计方法所能提供的信息却寥寥无几。



可将 Adams 模型与控制系统模型进行协同仿真

在机器人设计中，需要考虑的另一个动态效应的例子是电缆的管理和导引。最近，一些系统集成商将机器人单元中出现停机的头号原因归咎于电缆管理。传统的设计方法在样机测试阶段之前无法得知电缆变形的形状。

### Adams MBD 软件可在样机阶段之前预测机器人的动态性能

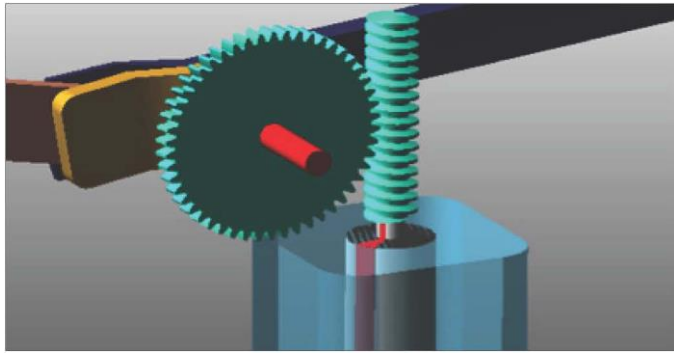
Adams MBD 软件超越了传统的机器人设计工具，它提供了大位移动力学仿真功能，可全面捕获真实环境中的复杂性。Adams 可简化刚体与柔性体、齿轮、轴承、电机、关节及其他机器人部件的动态性能建模，从而克服运动学解决方案的局限性，在处理与机器人互动的对象时更是易如反掌。因此，Adams 使机器人设计师能够在设计过程初期、得到样机之前，将其产品作为一个整体系统对其动态性能进行评估。

Adams 提供了各种柔性体建模选择，可准确地了解机器人任何部件的动态行为。Adams Flex 能够导入来自大多数主要 FEA 软件的有限元模型，并能与 Adams 软件全面集成。Adams View 的 ViewFlex 模块使用户能够在 Adams 环境中将刚性部件转换成基于 MNF 的柔性体。FE Part 是 Adams 原生建模工具，可快速建模系统模型中的几何非线性部件。Adams-Marc 的协同仿真功能使用户能够基于一流的非线性有限元软件 Marc 和 Adams 执行真正的协同仿真。Adams MaxFlex 以隐式非线性有限元分析为基础，能够在 Adams 模型中表征几何非线性（大变形）、材料非线性及边界非线性。

机器人设计师可采用 Adams Machinery 创建刚体齿轮，从而准确地仿真齿轮啮合间隙和敲击效应；还可以使用 Adams Gear 高级技术（AT）插件创建更加准确的柔性齿轮模型。机器人设计师还可以使用 Adams 轴承高级技术（AT）工具包创建柔性轴承模型，该过程只需定义少量的几何参数和材料属性。

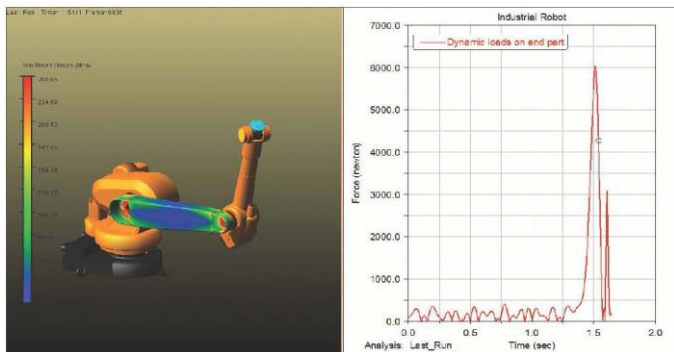
### Adams 提供三种电机仿真方式

Adams 提供了三种不同的电机建模方法。在基于曲线的方法中，通过用户自定义的扭矩速度曲线定义电机扭矩。采用这种分析方法时，可通过用户自定义参数的方程组定义电机扭矩。用户还可以选择外部方法，使用 Easy5 或 MATLAB Simulink 模型来定义电机扭矩。还可以使用电机模块，用精确的扭矩表达进行精细的位置控制。用户还可以评估电机扭矩特有的振荡属性产生的振动对系统的影响。它们还可以研究在配备大功率电机的系统中，电机内的旋转质量所产生的动态效应，例如安装点处的负载预测或者噪声、振动与声振粗糙度 (NVH) 问题。最后，与简单地在模型中施加运动并考察所需扭矩相比，该模块还提供了更加完善的电机测试结果方法。



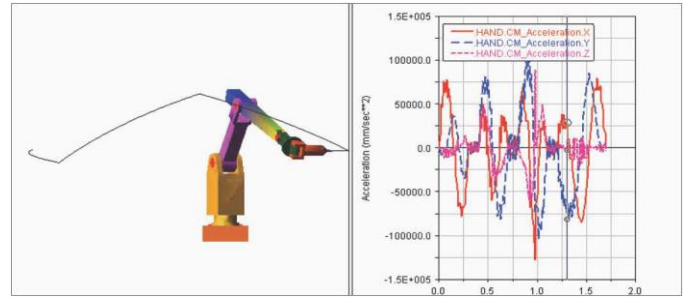
然后将 Adams 机械模型与使用 Easy5® 或 MATLAB® 等软件包开发的控制系统模型集成在一起。与编写运动方程或采用简单的一维机理模型的常规方法相比，工程师能以更高水准的逼真度对机械系统进行图形化建模。此外，还可以将控制系统设计软件设计的真实控制器导入到多体动力学仿真环境中。

### Adams 如何设计性能更出色的机器人

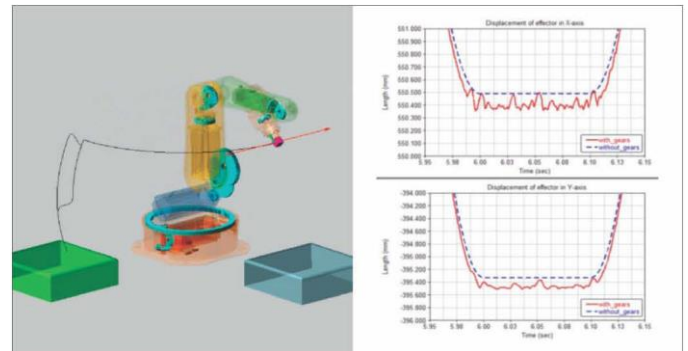


考虑部件的柔性，计算机器人手臂轨迹

Adams 能整合柔性体（例如机器人手臂）与齿轮，仿真得到部件变形，与传动方法相比，能够更准确计算机器人手臂的轨迹。由于将零部件变形整合到动力学模型中，还使设计师能够准确地预测所有机器人零部件承受的负载。通过增加电机扭矩并降低零部件重量，机器人设计师可使用 Adams 仿真尽量提高机器人的速度，而且既不会超过规定的加载值，也不会产生剧烈振动。如果特定零部件负载过大，机器人设计师可修改机器人的设计或控制算法，并确定其对零部件加载的影响。在出现碰撞时，机器人设计师还可以轻松地确定作用到操作员身上的负载，以简化协作机器人的设计流程。



MBD 预测机器人的系统级振动

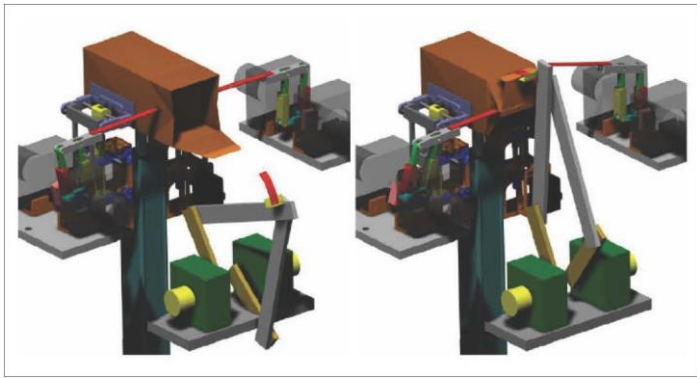


确定齿轮啮合间隙对移动轨迹的影响

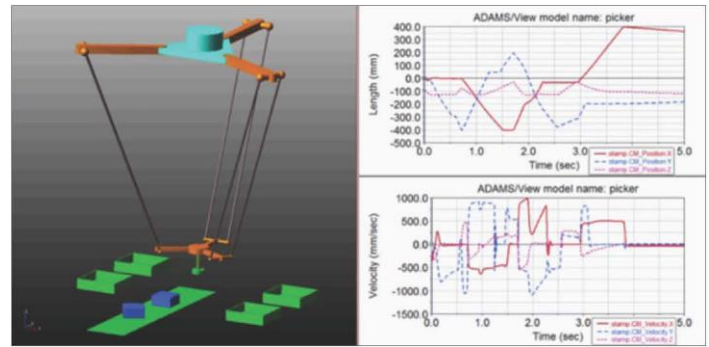
Adams 使机器人设计师能够确定机器人设计的固有频率，并预测具体应用中所经历的振动水平。机器人设计师可核实工作频率是否远离系统的固有频率，以避免共振效应。他们可以进行系统级振动分析，以便优化机器人的性能，同时确保将振动保持在可接受的水平以下。机器人设计师还可以使用 Adams 模型来研究齿轮啮合间隙对机器人轨迹的影响、预测轮齿之间的接触力、研究齿轮摩擦力的影响、评估并减轻齿轮敲击。

机器人设计师还可以在初期精调控制算法，将机器人臂和传动机构的动态响应考虑在内，从而提高机器人的定位精度。与基于实物样机才能验证控制算法的现有设计方法相比，这种采用软件原型而不是机器人实物样机开发并精调控制算法的能力可对更广泛的控制策略进行评估。例如，控制算法设计师可评估不同的策略，以便根据结构变形、不同任务的性能以及制造偏差和磨损对系统行为的影响进行负载补偿。

Adams 还使机器人设计师能够在设计初期，通过对机器人手臂移动时，电缆的变形和电缆运动规律进行仿真分析，从而评估不同的电缆导引及管理方式的性能。FE Part 是 Adams 原生建模工具，可精确描述几何非线性大变形部件，显著减少在 Adams 环境中对大变情况进行精确建模的时间和 workload。在设计初期、得到样机之前，通过仿真就能尝试多种不同的电缆位置、方位及夹持方案。



还可以使用 Adams 开发可管理复杂包装操作的机器人，并能配合所开发的新包装款式。在涉及到纸板和包装设备设计时，其中最大的挑战之一是了解折叠过程中纸板的变形行为。可采用纸板和机器人 Adams 模型对折叠操作进行仿真。机器人的每一个活动零部件均以运动学方式与纸板模型相连，以便折叠纸板。最终使用 Adams 得出手指的运动学逆解。将得出的关节角度输入到多体旋转及线性作动器中，从而驱动仿真。



通过设计研究优化机器人性能

Adams 借助设计研究和设计实验了解关键参数与性能目标之间的相互关系，从而提高产品性能。MBD 软件可自动修改模型、执行每一个仿真，并为用户提供结果展示。更进一步，实验设计 (DOE) 可同时改变所有因素的数值。这种方法不仅能确定每个因素的主要影响，还能确定因素之间的相互作用，因此能够识别出组合中所有因素的最优值。

## 结束语

总而言之，动态性能对工业机器人性能至关重要，而现有的设计方法只有在设计后期，制造并测试样机时才能提供少量关于动态性能的信息。在这一阶段，对设计方案进行评估不仅昂贵而且耗时，因此设计师通常面临着苛刻的待评估设计方案的数量限制，这反过来也限制了机器人最终的设计性能。

与通过样机实验获得同样的信息相比，Adams 使机器人设计师能够在设计初期以更短的时间、更低的成本对预期机器人设计的瞬态动态行为进行评估。借助 Adams，机器人设计师可在提高操作速度的同时保持精准定位并避免振动，验证并优化控制算法，评估设计方案执行各类应用的能力。工具箱中有了 Adams，机器人设计师就能在更短的时间内设计出更优秀的产品，确保在竞争日益激烈的市场中立于不败之地。

### MSC 软件公司(北京)

Add: 北京市朝阳区望京西路  
甲50号卷石天大厦A座

14层03-06单元 (100102)

Tel: 010-8260-7000

Fax: 010-8260-7478

### MSC 软件公司(上海)

Add: 上海市延安西路726号  
华敏翰尊国际广场12楼

E&L (200050)

Tel: 021-6332-6655

Fax: 021-6332-1679

### MSC 软件公司(深圳)

Add: 深圳市福田区金田路  
3038号现代国际商务大厦

3108B(518048)

Tel: 0755-2381-1895

Fax: 0755-2381-1896

### MSC 软件公司(成都)

Add: 成都市人民南路二段18号  
红照壁川信大厦

11层A-2座 (610016)

Tel: 028-8619-9275

Fax: 028-8621-9222

### MSC 软件公司(台湾)

Add: 台北市中山区  
林森北路577号

7楼之2 (104)

Tel: 02-2585-1228

Fax: 02-2585-7819