数字孪生技术在新能源汽车一体压铸生产中的创新应用

徐超
西门子（中国）有限公司　北京　100102

摘要：探讨数字孪生技术在新能源汽车一体压铸生产中的创新应用，重点分析了虚拟调试和虚拟机床技术如何为生产线提供关键支持。借助这些先进的数字化技术，生产效率、工艺灵活性和质量精确度均得到了显著提高。

关键词：新能源汽车；一体压铸；数字化；虚拟调试；虚拟机床；碰撞保护

高级技师　徐超

1　序言

随着全球对可持续能源和环保的日益重视，新能源汽车行业迎来了前所未有的发展机遇。在这一背景下，一体压铸技术因其在汽车轻量化和成本控制方面的关键作用而变得尤为重要[1]。由于一体压铸技术直接关系到整车的性能和市场竞争力，因此其生产效率和产品质量至关重要。一体压铸件如图1所示。

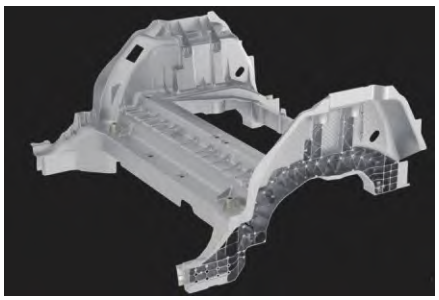


图1　一体压铸件

然而，传统的加工设备在一体压铸件生产中面临着一系列挑战，如生产效率低下、成本高昂以及产品质量不稳定等。幸运的是，数字化技术的快速发展为解决这些问题提供了新的途径。数字孪生技术作为现代制造业的前沿理念，已在新能源汽车的一体压铸生产中得到广泛应用，展现出其巨大的潜力[2]。它通过构建物理设备的精确数字副本，为提高生产效率、降低生产成本以及确保产品质量提供了创新的解决方案。

2　行业现状及新技术

随着市场上新能源汽车品牌和车型的增多，以及行业内部的竞争和“造车新势力”的崛起，使得产品迭代速度越来越快，以适应市场变化和消费者需求。企业为了保持竞争力，必须加快产品的研发和迭代速度，这给为新能源配套的机床也带来巨大的挑战。例如，一体压铸零部件副车架是一个全新的加工品类，为了满足新能源汽车生产商的要求，配套机床厂需要对生产设备进行重新设计和研发，但是由于机床厂在设备研发时面临很多困难，因此设备从研发到上市需要很长的周期，无法满足市场变化需求。数字孪生技术的引入为新能源汽车行业的技术进步提供了强有力的支持。在新能源汽车加工设备的研发和生产过程中，数字孪生技术的虚拟调试技术大幅缩短了设备的研发周期和现场调试时

间。通过虚拟机床，可以在生产前对零件的工艺节拍进行预先验证，确保生产流程顺畅[3]。此外，数字孪生技术的机床保护功能为机床的全方位安全提供了保障，从而提高了生产效率和安全性。

3 虚拟调试在设备研发中的应用

3.1 虚拟调试介绍

数字孪生技术的虚拟调试应用，为生产设备的研发阶段带来了革命性的变革。虚拟调试与常规调试的对比如图2所示。虚拟调试摒弃了传统的从机械设计到电气调试、再到自动化的线性研发流程，转而采用强大的数字化设计平台，实现机械设计、电气调试和自动化的并行开发。这一过程中，可以进行反复的试错和迭代优化，无需依赖硬件投入，所有工作均可在软件环境中完成。经过验证和确认满足要求后，再转入实际的设备生产阶段。这种方法可以将设备的实际调试时间缩短50%，加快产品上市速度，并将整体研发周期缩短约30%。

图2 虚拟调试与常规调试的对比

3.2 虚拟调试的优势

数字孪生技术虚拟调试在新能源汽车零部件生产中具有以下优点。

（1）提高效率 虚拟调试可以在实际设备制造之前对设备和工艺流程进行验证和优化，减少实际调试时间和成本。

（2）降低风险 通过在虚拟环境中进行各种测试和验证，减少出现问题的风险，提前发现潜在的问题并进行调整。

（3）提升产品质量 虚拟调试有助于在生产前发现并解决问题，确保副车架的精度和性能，提高产品一致性和可靠性。

（4）优化设计 虚拟调试可以对副车架的设计方案进行评估，验证其在实际生产中的可行性，优化设计参数。

（5）减少物理样机 通过虚拟调试，可以减少对物理样机的依赖，降低研发成本和缩短研发周期。

（6）培训和教育 虚拟调试提供了一个无风险的环境，用于操作人员的培训和教育，提高他们对机床和生产流程的熟悉度。

（7）适应性强 虚拟调试技术可以适应不同的机床和生产需求，为机床厂提供灵活的解决方案。

（8）技术集成 虚拟调试技术能够与现有的机床控制系统集成，实现更加智能化和自动化的生产流程。

（9）数据驱动的决策 虚拟调试提供了大量可用于分析的数据，帮助机床厂基于数据做出更加精准的生产决策。

（10）环境友好 通过优化生产流程，减少能源消耗和材料浪费，符合环保和可持续发展的要求。

借助虚拟调试技术，机床制造商能够提前预测生产一体压铸件的可行性，并根据零件设计的变动及时调整设备配置。这种方法有效降低了生产成本和风险，同时打破了新能源汽车行业不断创新的瓶颈，为新能源汽车行业的蓬勃发展提供了强大的支撑。

3.3 虚拟调试应用案例

以某传统设备制造企业为例，其原本专注于为传统汽车制造商提供生产设备，但是随着新能源汽车的迅猛发展，传统汽车业务遭遇严重下滑，现有产品线已无法满足新兴市场的需求。面对这一挑战，企业迅速采取行动，借助数字孪生技术的虚拟调试解决方案，加速了其向新能源领域的转型。仅用一年时间，该企业不仅成功地向客户交付了新一代机型，而且积极推进了多款新产品的研发工作，在新能源零部件制造设备市场中占据了有利地位，为未来的持续发展奠定了坚实的基础。这一转型战略不仅加快了企业进军新能源市场的速度，也显著推进了其智能化升级。在与客户的互动中，企业利用虚拟技术为客户提供了生动的产品展示，并在2024年中国国际机床工具展览会上展出，赢得了业界的广泛认可。这样的成功案例在国内已不鲜见，标志着新技术正逐步重塑整个行业格局。

4 虚拟机床在工艺优化中的应用

4.1 虚拟机床概述

数控系统虚拟机床技术以其独特优势在虚拟机

床领域脱颖而出。虚拟机床的3个层级如图3所示。虚拟机床技术主要分为3类，第1类是传统CAM软件自带的加工仿真，主要用于优化刀轨；第2类能够仿真G代码程序，以验证机床碰撞和语法错误；第3类即完全仿真，结合数控系统控制，在仿真环境中实现1：1的加工过程仿真。

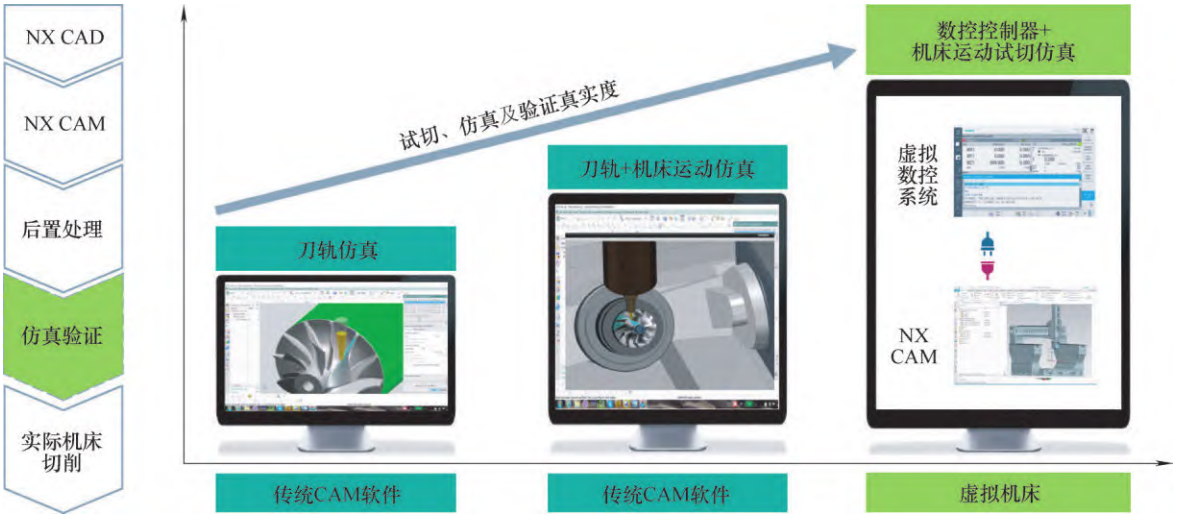


图3　虚拟机床的3个层级

一体压铸零部件生产机床的设计极为复杂，专为一体压铸零部件定制的双通道五轴头需同步加工零件。为了提升生产效率和安全性，加工程序和双通道协调的优化至关重要。在整个加工流程中，两个通道的时序和位置仿真必须精确无误，以满足客户对高精密度和安全性的严格要求。这种高标准的仿真需求，唯有数控系统虚拟机床技术能够完美应对。

4.2　虚拟机床仿真技术与传统仿真技术的对比

虚拟机床仿真路线对比如图4所示。传统虚拟机床仿真和数控系统虚拟机床仿真之间的主要区别是数控系统虚拟机床仿真具有真实的系统内核，可以100%仿真实际机床的控制动作。以下是数控系统虚拟机床仿真技术与传统虚拟机床仿真技术的关键区别点。

（1）集成原始数控内核　数控系统虚拟机床技术，如西门子CMVM软件，可以将原始数控内核软件集成到虚拟机床中，这意味着虚拟机床能够提供与真实控制系统完全相同的仿真体验。

（2）高精度仿真　使用原始数控系统软件，数控系统虚拟机床能够实现高精度的仿真，包括运动、加速、减速和控制操作，以及时间计算。

（3）完整的数控系统语言范围　数控系统虚拟机床支持完整的数控系统语言范围，提供原始NC代码、各种系统变量代码和100%句法检查。

（4）优化的CAD/CAM-CNC过程链　数控系统虚拟机床技术提供了一条优化的CAD/CAM-CNC过程链，允许用户在虚拟环境中计划、改进并验证加工步骤。

（5）程序检测和碰撞预测　数控系统虚拟机床集成了碰撞检测功能，可以在加工模拟中直观显示碰撞，并记录日志，有效防止对机床、刀具和工件的损坏。

（6）统一的操作接口和模式　数控系统虚拟机床提供与真实机床完全相同的操作和编程界面，包括数控系统，使得操作人员或受训人员可以在虚拟环境中进行指导和学习。

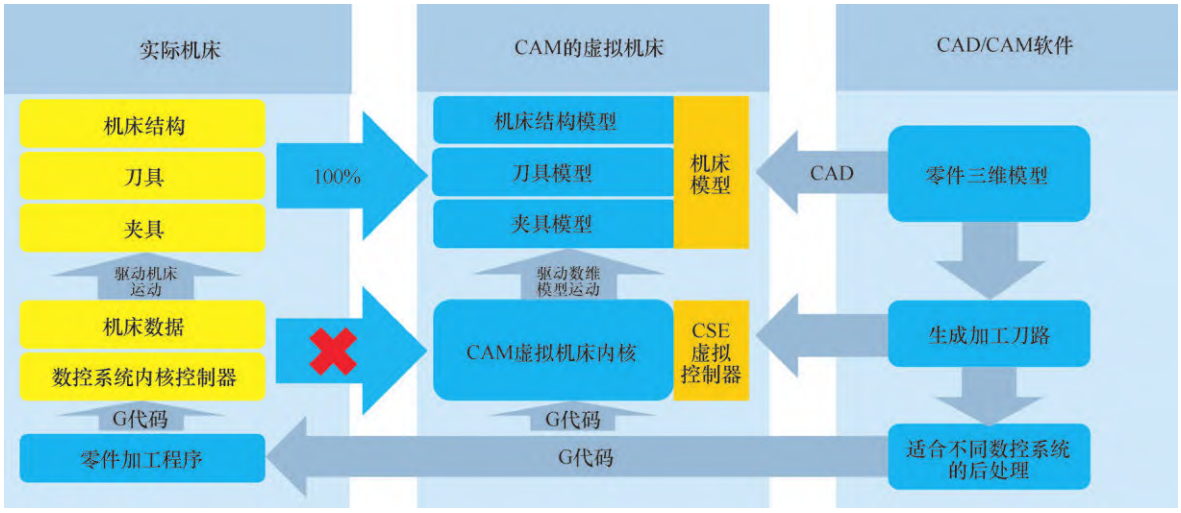
（7）3D可视化套件　数控系统虚拟机床提供3D可视化功能，允许用户显示完整的机床模型、刀具和装夹装置的三维模型，并进行修改和配置。

（8）教育和培训优势　数控系统虚拟机床技术在教育和培训方面提供了高效、有意义的加工仿真，允许新员工在不使用实际机床的情况下接受指导。

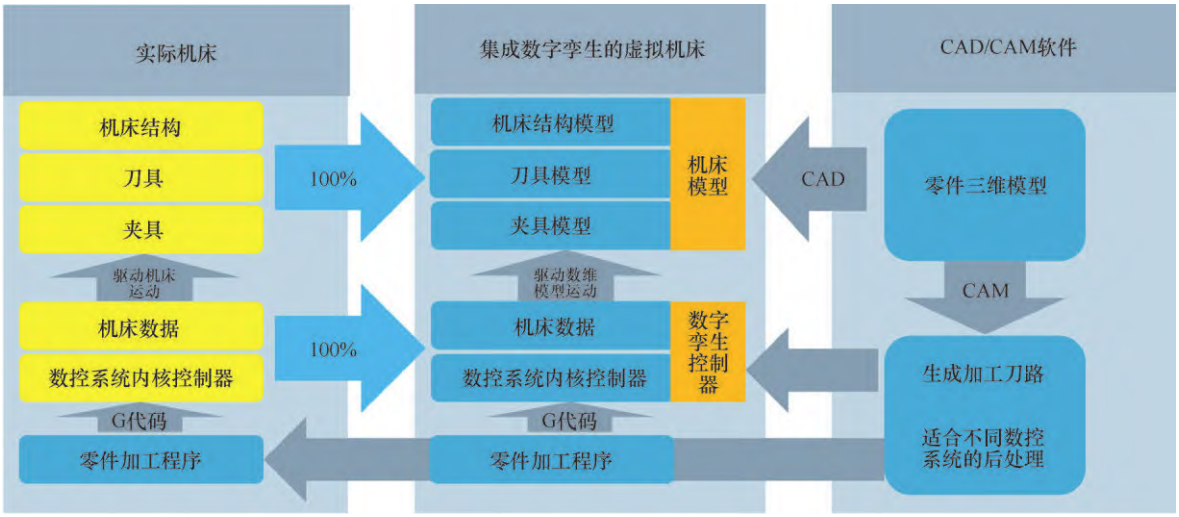
（9）快速创建小零件程序　数控系统虚拟机床允许快速创建小零件程序，适应性高，效率高且风险低。

（10）机床模型的虚拟显示　数控系统虚拟机床可以提供机床的三维模型和由机床制造商提供的装夹数据，为CNC生产计划创造理想条件。

对于一体压铸这样的新兴工艺，数控系统虚拟机床技术可以更好地支持企业开发新的生产工艺，



a）传统虚拟机床仿真



b）数控系统虚拟机床仿真

图4　虚拟机床仿真路线对比

帮助企业提高机床可用性、优化加工准备过程、减少投资成本回收时间以及提供高效人员培训平台。

4.3 数控系统虚拟机床仿真技术应用案例

某新能源汽车制造商在采用数控系统虚拟机床仿真技术后，取得了突破性的成果。该技术被应用于新能源汽车后底板的仿真验证（见图5），有效促进了零部件设计和优化过程，显著减少了生产时间和成本，同时提高了产品质量。具体而言，工件试制准备时间减少了70%，而真实机床的使用率也提高了200%。这些改进使企业能够更敏捷地适应市场需求，从而在新能源汽车行业中获得更强的竞争力。此案例生动体现了数字化产品对新能源汽车一体压铸生产领域的深远影响和巨大潜力。

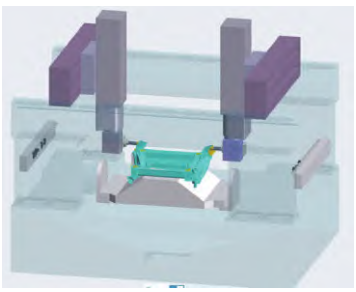


图5　新能源汽车后底板的仿真验证

5　数字孪生技术在机床保护中的应用

机床碰撞通常在意外情况下发生，但虚拟机床技术使我们能够提前发现并预防这些风险。机床保护技术如图6所示。这项技术能够预见程序语法错误、不当工艺引起的机床碰撞，以及刀具与夹具之间的干涉等问题。对于更深层次的风险，如工件零

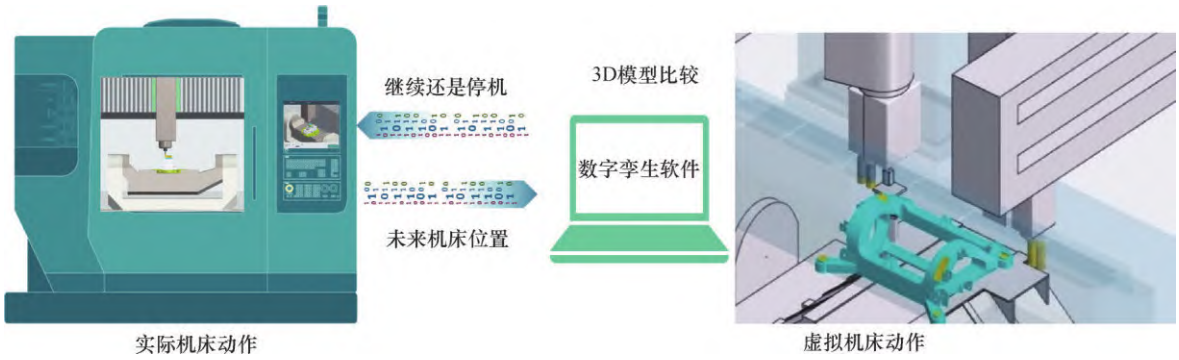


图6　机床保护技术

点设置错误、特定部件的使用风险，以及手动模式下的误操作，虚拟机床技术同样能够提供预警。通过与机床的通信接口连接，该技术能够实时读取并模拟机床的位置和移动轨迹，任何危险操作或碰撞风险都能被迅速识别并反馈给数控系统，有效避免了潜在的危险。

5.1　机床保护功能介绍

数字孪生技术机床碰撞保护功能可以实现全面的机床防碰撞保护。虚拟机床提前0.8s预判碰撞如图7所示，机床保护技术通过实时高速跟踪机床各轴当前和未来800ms的位置，以3D模型直观显示加工过程和机床运动，提前计算潜在的碰撞，并在检测到碰撞发生前停止加工。实时保护机床部件、夹具、刀具及工件，对机床操作所有模式如JOG、MDA和AUTO下的操作进行全面保护。

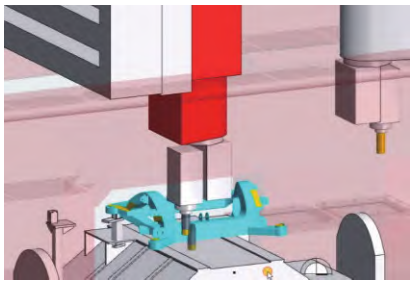


图7　虚拟机床提前0.8s预判碰撞

5.2　机床保护技术的特点

数字孪生技术机床保护技术的特点如下。

1）机床碰撞保护技术是工业边缘运算的典型应用，可监控静态和移动的机床部件、刀具和夹具，防止空间中与运动学和机床轴位置相关的3D物体发生碰撞。

2）机床保护功能使用3D仿真直观地显示加工过程和机床运动，提前计算潜在的碰撞，并在检测到碰撞时停止加工。例如可在AUTOMATIC、MDI和JOG模式下，或者在手动运动和刀具更换期间模拟和监控NC程序的执行。

3）机床碰撞保护技术基于包含碰撞组的真实机床模型，用户可以自定义可变的保护区域，例如带刀柄的刀具、毛坯和夹具，这些部件都存储在程序库中，可以随时调用。

5.3　机床保护技术应用案例

某生产新能源汽车压铸件的公司，曾因人为因素导致设备撞机事故频发，每次事故不仅需要维修或更换备件，而且有时甚至会导致设备、刀具或工件报废，从而造成重大经济损失。同时，安全事故还可能对操作人员造成伤害。为了解决这些问题，该公司采用数字孪生技术的机床保护功能，显著减少了设备撞机事件，降低了维修成本，并且有效保障了设备和人员的安全。

6　结束语

数字孪生技术的大量应用，在新能源汽车一体压铸生产中发挥了重要作用。通过这些技术的应用，制造商能够提高生产效率，降低成本，并提升产品质量。随着技术的不断进步，我们有理由相信，数字化制造将为新能源汽车行业带来更多的创新和发展机遇。

参考文献：

[1] 王欣. 新能源汽车结构变化与机床市场需求[J]. 金属加工（冷加工），2023（8）：1-5.

[2] 魏志奇，赵勇，段俊杰. 工艺装备设计流程及方法[J]. 汽车实用技术，2016（5）：190-193.

[3] 李彦熹. 数字化·信息化·精密化——2020模具先进制造技术在线论坛成功举办[J]. 金属加工（冷加工），2020（11）：34-36.

MW 20240511