

基于Matlab的内孔定位机构的优化设计策略

韩腾辉

吉林大学 吉林长春 130000

摘要: 内孔定位机构因其使用便利、结构简单且具有价格优势而在定位过程较为常用,但是在实际使用阶段也存在着刚度低、精度不高等方面的缺陷。Matlab属于优化工具的一种,利用其可以计算出定位机构最优的运动学参数,保证其传递性能良好。下文选择铜导体立桶作为研究对象,结合其包装工艺流程,分析内孔定位机构原理及使用需求,探讨Matlab工具在结构优化中的应用,以供参考。

关键词: Matlab; 内孔定位机构; 优化设计

引言

冷拉伸套管膜这类包装因视觉良好、安全可靠、效率高而被广泛应用在化工、建筑以及食品等行业包装工艺当中。在工艺流程期间,为确保上料环节包装膜完整,要求准确定位托盘,针对桶状物料垂直放置,由于其会接触拉伸膜,因此需要根据套模系统运行原理,对其定位需求进行分析,结合受力特点,建立定位机构模型,对机构采取优化设计。设计阶段,利用Matlab工具可以精准计算出构件尺寸、位置等参数。

一、内孔定位机系统原理分析

冷拉伸套膜系统组成机构包括定位立桶、导膜、撑膜、套膜等机构,还包括薄膜封切结构。在系统工作时,拉膜机构当中存储成品膜卷,其在工作时膜卷能被抽出,在传送机构的运送之下到达上端,同时,贴标机在膜外打印商品信息,依靠供膜系统当中的真空吸盘将薄膜吸住,在机构杆组持续工作过程,薄膜由原来的“一型”成为“口型”,经机构内机器人转化,薄膜由“口型”转成“O型”结构,此时供膜机持续运行,当膜长与要求长度相同的时候,供膜机即处于停运状态,随之封切装置完成薄膜加热与封口,此时套模平台重新向下运动,成型膜完成立桶包裹,受到收缩作用影响,薄膜会紧贴而立桶外侧,套膜流程结束,其具体运行原理如下:

首先,从套模结构上看,为了满足定位精度要求,套模需要保持一定的初始位置,因此采用滑块与凸轮结

构。滑块运动到圆周上时,通过凸轮对其进行驱动。在工作过程中,凸轮运动到固定位置时,滑块在滑块的带动下进行往复运动。通过滑块滑向圆心后,凸轮会对滑块施加一个向外的力,在此过程中,可以使滑块沿着圆心轨迹运动。当滑块移动到一个初始位置时,在凸轮的作用下,滑块再次沿着圆周运动。这样,滑块就会在旋转的状态下移动一段距离。

其次,从夹紧机构上看,为保证套模系统处于稳定状态,需要对夹紧机构采取约束措施。当套模位置较高时,通过机构可以实现套模稳定。在这个过程中需要注意的是:在实际使用过程中,由于受到受力变化的影响,套模位置会产生一定偏移。因此需要对夹紧机构进行适当调整,使其更好地满足套模位置需求。

最后,当夹紧机构运行到圆周上时,会对滑块施加一个向外的力。在此过程中需要注意的是:滑块在受到向外压力时会出现反弹现象。通过对反弹过程分析可知:滑块受到向外压力时会出现一定程度的回弹现象。在此过程中需要注意:如果滑块向外压力大于反作用力时可以忽略不计;如果小于反作用力时要将其作为一个未知量考虑进去;如果大于反作用力时应将其作为未知量考虑进去;如果小于反作用力时则需要将其作为未知量考虑进去。

二、基于Matlab的内孔定位机构的优化设计策略

(一) 定位机构方案

因为立桶底有轴线横梁,立桶内装的物质重,所以定心操作需3组杆件机构相互作用完成,此情况之下对于杆件及动力源要求高,杆件的定心精度可能难以达到要求。对此为了确保定位精度,选择4组杆件展开定心操作,推杆所形成最小直径圆,便于立桶进入指定位置。

作者简介: 韩腾辉(2003.04-),男,汉族,黑龙江省绥化市人,本科在读,研究方向:机械工程。

气缸作为传动部件，可随铰链逐渐向上运动，受到气缸驱动，杆组运动速度加快，推杆形成圆型，且直径逐渐变大。随着推杆、内孔不断接触，立桶承受外在荷载处于移动状态。在活塞行程达到极限之时，推杆形成圆也最大，达到同心同轴状态，实现定位。

(二) 定位机构模型

定位结构组成部分包括原动件（气缸）、传动件（四组杆件）、执行部件（连杆），在铰链点摆动过程当中，连杆竖直平动，定心过程完成。因为叉车上料、取料等位置不同，导致立桶放置位置具有随机性，不同推杆向立筒施加的力各不相同。当立桶处于极限位置，定心操作由一组推杆实现，如果立桶总质量取值为2t，摩擦系数为0.15，定心阶段受到的摩擦力为3000N，也就要求推杆输出最小力是3000N。

(三) 定位机构建模

对于定位机构进行建模，需要充分考虑实际工况，选择恰当的结构参数。首先要分析托盘在机构当中的受力特点，并结合具体情况对其进行简化处理。

一般情况下，托盘在机构当中受力具有明显的方向性，即沿其轴线方向与垂直方向具有相同的受力特性。而托盘在受到横向力时，其所受应力主要集中在左右两侧；垂直方向上，所受应力集中于中间位置。因此，可以将托盘简化为左右两个平面，并对其进行受力分析，可以获得托盘各位置的受力情况。通过分析可以得出结论：对于上料环节而言，托盘的位置固定在上下两侧；而对于下料环节而言，托盘的位置固定在中间位置。因此可以得出结论：托盘在定位机构当中所受最大压力位于中间位置，同时最大力矩位于上下两侧。因此，通过优化设计可以提高托盘定位效果。定位机构的建模，为便于后续描述，使用 l 代表杆件长度，杆件所在直线和 x 轴逆时针夹角用 θ 表示，偏心距离是 e 。按照空间布置情况，初始杆件信息为 $l_2=80mm$ ， $l_3=120mm$ ， $e=145mm$ 。运用Matlab进行编程，求出原动件驱动力。若气源压强0.6MPa，求出气缸直径115.06mm，辅助原动件选型。

(四) 定位机构优化

深度分析定位机构性能，主要指其运动性能，首要任务就是确定构件尺寸、位置参数信息，选择Matlab工具处理，优化设计共分三步：第一步，优化模型的建立，主要是确认设计变量、约束条件以及目标函数；第二步，选出优化函数；第三步，优化计算函数，得出参数信息。

选择设计变量之时，首选相互独立量，在此机构之

内，不同杆件长可以使用 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 、 l_6 来表示，滑块偏心距是待定量，用 e 来表示，此时在机构当中 $l_3=l_5$ ， $l_4=l_6$ 设计变量用如下公式表示 $x = [x_1 x_2 x_3 x_4 x_5]^T = [l_2 l_3 e \theta_2 \theta_3]^T$ ，此变量属于五维设计，也是最小型的优化设计。在约束条件确认方面，通常而言，设计变量取值可能会受不同约束条件限制，应选择与所有约束条件相符的公共部分，也叫做可行域，将其中的点坐标向目标函数当中代入，从而寻找与目标函数解，即设计变量的最优解。在计算环节，约束条件分为性能、几何等类型。机构的组成部分当中，主动件即为滑块，从动件即为摇杆。设计阶段，为预防“死点”出现，禁止OB做圆周运动，因此，设定约束条件为 $l_3+e > l_2$ 。在连杆机构的优化设计方面，应通过目标函数，寻找其最佳运动学参数。如图1所示，机构由摇杆、滑块、平面连杆部分共同组成，运动性能良好的前提之下，传动角 γ_1 、 γ_2 应不低于许用传动角 γ ，此时传递功率最大。当 γ_1 、 γ_2 越大的时候，机构传力性越佳，且对传动越有帮助，所以可以将 γ_1 、 γ_2 作为机构的性能约束。

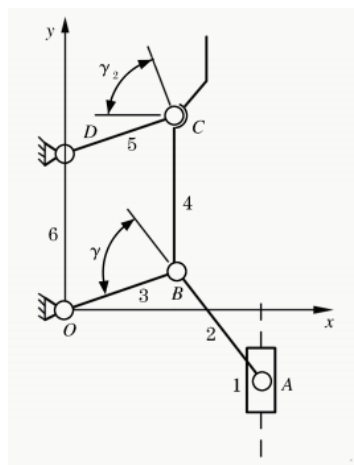


图1 机构传动角图

机构使用过程，因为空间因素影响杆件尺寸，下文将构件3作为分析对象。当杆件长度介于 $10 < l_3 < 250$ 之间的时候，偏距 e 取值介于 $20 < e < 150$ 之间，摇杆角度处于 $0 < \theta_3 < 40^\circ$ 范围之内变化。为预防机构有“死点”，连杆（AB）角度取值范围是 $-90^\circ < \theta_2 < -\arccos \frac{e}{l_2+l_3}$ ，整理出约束方程，构成优化设计约束函数，对于变量取值加以约束。

在目标函数建立过程当中，将原动件最优化选择作为目标，由于机构是平面连杆、摇杆以及滑块等结构串联而成，原动件选择阶段，为保证其传递性，要将构件

尺寸进行更改,将机构传动性考虑其中,目标函数建立的时候、将原动件驱动力作为其性能评价关键指标,再利用函数优化实际问题。Matlab工具当中有系列模块和优化算法,可以利用此工具完成线性规划、函数最值、多目标优化、曲线拟合、非线性方程等问题求解。针对本案例中的多维目标进行优化求解,要按照要求编制数学模型、函数文件以及约束文件,经过迭代计算,将原动件的气缸直径求出,结果为99.02mm,标准气缸直径100mm,凑成求解可以达到传动角要求,代表机构传递性良好,优化以后结果符合设计要求。

当机构杆件的尺寸确定结束以后,对连杆尺寸建立模型, $l_2=105$, $l_3=140$, $e=120$,处于0.6MPa气源供应环境之下,选择行程150mm、直径100mm气缸就能达到定心要求,误差不超过50mm,立桶放在目标轴心50mm距离之内,定心机构即可自动定心,为作业流程提供便利。

结束语

综上所述,通过上文对于铜导体立桶内控定位机构

展开分析,从实际应用问题出发,对于杆件优化设计,指导原动件选型。基于定位机构原理建模,使用Matlab软件计算机构优化后尺寸,为气缸选择规格确定提供支持,进而为工程实践阶段串联杆件优化设计奠定基础。

参考文献

- [1] 晏祖根,宋晶宇,鲁俊,等.基于Matlab的内孔定位机构的优化设计[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2022,38(01):54-62.
- [2] 施琴慧,李俊.数控车床主轴内孔的定位机构研究[J].江苏科技信息,2020,37(12):56-59.
- [3] 孟江涛.内孔定位胀紧工装的改进创新[J].金属加工(冷加工),2019,(04):42-43+47.
- [4] 陈建刚,陈杰峰,张昌明,等.定位误差分析与计算在机床夹具设计中的应用与研究[J].煤矿机械,2015,36(05):229-231.
- [5] 于风云.机床夹具设计中工件定位误差的分析及其数值计算[J].机床与液压,2005,(01):45-47.

数字孪生技术在工业生产中的应用与效益评估

王人杰

山东省淄博市工业数字经济发展中心 山东淄博 255000

摘要：数字孪生技术（Digital Twin）作为一种新兴技术，最早应用于航空航天领域，用于模拟和优化复杂系统的运行。近年来，随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展，数字孪生技术逐渐在工业制造领域得到广泛应用。通过构建物理实体的数字化模型，数字孪生技术能够实现对物理实体全生命周期的监控和优化，从而提高生产效率、降低成本和提升产品质量。本文探讨了数字孪生技术在工业生产中的应用场景，包括产品设计、制造生产、设备维护等，并评估其带来的效益，如提高生产效率、降低成本和优化资源配置。通过对最新研究和实际案例的分析，本文总结了数字孪生技术在工业生产中的重要作用和未来发展趋势。

关键词：数字孪生技术；工业生产；产品设计；制造生产

引言

数字孪生技术（Digital Twin）作为一种新兴技术，最早应用于航空航天领域，用于模拟和优化复杂系统的运行。近年来，随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展，数字孪生技术逐渐在工业制造领域得到广泛应用。通过构建物理实体的数字化模型，数字孪生技术能够实现对物理实体全生命周期的监控和优化，从而提高生产效率、降低成本和提升产品质量^[1]。根据最新研究，数字孪生技术在工业制造中的应用主要集中在以下几个方面：产品设计与开发、制造过程优化、设备维护与管理以及供应链管理^[2]。例如，在产品设计阶段，数字孪生技术可以通过虚拟仿真减少实物样机制作和测试的次数，从而降低研发成本。在制造过程中，数字孪生技术可以实时监控生产设备的运行状态，预测潜在故障并进行预防性维护，从而提高设备的利用率和生产效率^[3]。此外，数字孪生技术还在智能制造、智慧城市、医疗健康等领域展现出广阔的应用前景。

一、数字孪生技术概述

数字孪生技术，作为一种先进的数据驱动方法，其核心在于通过高保真的数字化手段构建物理实体的虚拟副本，这个副本不仅具有物理实体的外观和结构特征，还能模拟其实际运行状态^[4]。以下是数字孪生技术的几个关键方面：

1. 数据集成与融合：数字孪生技术依赖于多种数据来源，包括历史数据、实时数据以及传感器数据。这些数据经过集成与融合，形成一个全面、多维度的信息模型，

为虚拟副本的构建提供数据支持。

2. 建模与仿真：通过先进的建模技术，数字孪生技术能够精确地模拟物理实体的行为和性能。这些模型可以是基于物理的、统计的或机器学习的，它们能够实现对物理实体在各种工况下的行为预测。

3. 实时交互与反馈：数字孪生技术的一个重要特点是实时性。虚拟副本能够与物理实体保持实时交互，通过传感器和执行器实现数据的双向流通，从而实现对物理实体的实时监控和调整。

4. 智能分析与决策支持：利用大数据分析和人工智能算法，数字孪生技术可以对物理实体的运行数据进行深入分析，为决策提供支持。例如，通过预测性维护，提前识别潜在的故障点，降低维修成本。

5. 生命周期管理：数字孪生技术覆盖了物理实体的整个生命周期，从设计、制造、运营到维护，为实体提供全方位的管理和优化。

二、应用场景

（一）产品设计

在产品设计阶段，数字孪生技术的应用已经远远超越了传统的虚拟仿真，它能够实现复杂系统的多物理场耦合分析，从而在设计初期就精确预测产品性能。具体来说，以下是数字孪生技术在产品设计中的几个深入应用场景：

1. 多物理场耦合仿真：数字孪生技术能够集成流体力学、热力学、结构力学等多个物理场的仿真，为工程师提供全面的设计反馈。例如，在汽车设计中，数字孪生技术可以同时模拟发动机燃烧过程、冷却系统的热管

理以及结构部件的应力分布，帮助设计师优化发动机的整体性能。

2. 参数化设计与自动化优化：通过数字孪生技术，设计过程可以实现参数化，工程师可以通过调整参数来探索不同的设计可能性。结合遗传算法、机器学习等优化技术，数字孪生系统能够自动迭代出最优设计方案。例如，在航空航天领域，数字孪生技术已被用于机翼的形状优化，以减少阻力并提高燃油效率。

3. 虚拟测试与验证：数字孪生技术允许在设计阶段进行虚拟的产品测试，这不仅包括常规的运行测试，还包括极限状态和故障模式的模拟。汽车制造商可以利用数字孪生技术进行碰撞测试、耐久性分析等，大幅减少实物样机的测试次数和成本。

4. 客户定制化设计：在个性化需求日益增长的今天，数字孪生技术支持快速的客户定制化设计。企业可以根据客户的具体需求，利用数字孪生模型快速调整设计方案，并通过虚拟验证确保定制化产品的性能和质量。

5. 材料选择与性能预测：数字孪生技术能够结合材料基因组计划，通过模拟不同材料的微观结构和性能，帮助设计师选择最适合的材质。这种方法在航空航天、军工等高端制造领域尤为重要，能够在保证性能的同时减轻产品重量，降低成本。

（二）制造生产

在制造生产阶段，数字孪生技术的应用已经深入到生产流程的每一个环节，它不仅创建了生产环境的虚拟版本，还在实时监控、智能优化和自适应调整等方面发挥着关键作用。以下是数字孪生技术在制造生产中的一些专业和深入的应用场景：

1. 实时监控与数据采集：数字孪生技术通过集成IoT传感器和执行器，实时采集生产线上每个设备的状态数据，包括温度、振动、压力、能耗等。这些数据被实时传输到虚拟模型中，以便进行实时监控和分析。

2. 智能故障诊断与预测性维护：结合机器学习算法，数字孪生模型能够对设备数据进行深度分析，识别出潜在的故障模式。通过预测性维护，企业可以在设备发生故障前进行维护，从而减少停机时间，延长设备寿命。

3. 生产过程优化：数字孪生技术可以模拟整个生产流程，识别瓶颈和浪费环节。通过仿真不同的生产策略，企业可以找到最优化的生产参数和流程配置，提高生产效率和产品合格率。

4. 自适应生产调度：基于实时数据和虚拟模型的反馈，数字孪生技术能够实现生产调度的自适应调整。这

意味着在面临生产中断或其他突发事件时，系统能够快速重新配置资源，最小化影响。

5. 虚拟调试与生产线优化：在生产线设计和改造阶段，数字孪生技术允许工程师在虚拟环境中进行调试，优化设备布局和流程设计。这种方法可以显著减少实际调试的时间和成本。

6. 供应链集成与协同：数字孪生技术不仅局限于单个工厂，还可以扩展到整个供应链。通过创建供应链的数字孪生，企业可以实现供应链各环节的实时可视化和协同优化，提高响应速度和资源利用率。

（三）设备维护

在设备维护阶段，数字孪生技术的应用已经从简单的预测性维护发展到全面的设备性能管理，它通过高级的数据处理和分析技术，为设备的可靠性和效率提升提供了前所未有的支持。以下是数字孪生技术在设备维护中的一些深入和专业应用场景：

1. 高级预测性维护（Advanced Predictive Maintenance, PdM）：数字孪生技术结合时间序列分析、机器学习和深度学习算法，能够从设备的运行数据中识别出复杂的故障模式和早期征兆。通过预测性模型，可以在故障发生前提供精确的维护建议，从而减少非计划停机时间。

2. 实时状态监测与远程诊断：利用数字孪生技术，可以实现设备的实时状态监测，并通过远程诊断中心对设备问题进行实时分析。这种远程监控能力对于地处偏远或难以到达的设备尤为重要，它可以显著降低维护成本并提高响应速度。

3. 自优化维护策略：数字孪生技术能够根据设备的实际运行状况和历史维护记录，动态调整维护策略。这种自优化过程考虑了设备的退化模型、维护资源可用性和生产需求，以实现最佳的维护效果。

4. 资产性能管理（Asset Performance Management, APM）：数字孪生技术是APM的核心组成部分，它通过持续的数据分析和模型更新，确保设备性能最优化。APM系统利用数字孪生来监测KPIs，如总体设备效率（OEE），并采取措施以提高设备的可靠性和生产率。

5. 维护操作模拟：在执行维护任务之前，数字孪生技术可以模拟维护操作的效果，以验证维护计划的有效性。这种模拟减少了维护过程中的风险，并确保了维护活动的准确性和安全性。

6. 能源管理优化：数字孪生技术还可以用于监测和分析设备的能源消耗模式，从而识别节能潜力。通过优化设备的运行参数和维护策略，可以降低能源成本并提

高效。

三、效益评估

(一) 成本效益

数字孪生技术通过在虚拟环境中进行产品设计和测试,显著降低了产品研发和生产成本。企业利用这一技术减少了实物样机的制作和测试,据麦肯锡研究,这可以降低研发成本40%–45%,并将产品上市时间缩短50%。数字孪生技术在早期阶段发现设计缺陷,避免了后期修改的高成本,并通过实时监控和数据分析优化了生产线的运行效率。例如,西门子公司通过实时监控和预测性维护减少了设备故障率,提高了生产效率。应用数字孪生技术的企业平均提高了20%以上的生产效率。此外,该技术通过精确模拟和优化生产过程,帮助企业更好地管理和分配资源,减少了材料和能源的浪费^[5]。通用电气公司通过优化涡轮发动机的生产过程,减少了15%的材料浪费,这不仅降低了成本,也对环境保护产生了积极影响。

(二) 生产效率

数字孪生技术通过在虚拟环境中模拟生产过程,显著提升了企业的生产效率。这项技术能够实时监测关键设备参数,如温度、压力和振动,从而及时发现并预防生产异常,减少设备故障率及其导致的停机时间和维修成本。此外,数字孪生技术还助力企业通过精确模拟和分析生产流程,识别并消除瓶颈,优化资源配置,如某制造企业通过此技术减少了15%的生产周期。这不仅提升了生产效率,还确保了产品质量和一致性。同时,数字孪生技术支持生产流程的可视化管理,使管理人员能够直观监控生产各环节,便于快速响应和解决问题。例如,西门子公司利用这项技术实现了设备的实时监控和维护,进一步提高了生产效率和设备利用率。研究表明,采用数字孪生技术的企业平均生产效率提升了20%以上,证明了其在提高生产效率方面的显著效果。

(三) 资源优化

数字孪生技术在资源优化和生产效率提升方面发挥了重要作用。通过创建生产环境的虚拟副本,该技术能够实时监控关键生产参数,如温度、压力和振动,从而有效减少资源浪费。最新研究表明,应用此技术的企业资源利用效率平均提升了15%–20%。例如,某制造企业通过优化生产线布局和物料流动,减少了10%的材料浪

费。数字孪生技术还支持智能化的资源调度和管理,使得企业能够精确模拟生产过程,优化资源配置,减少人力和物力的浪费。西门子公司就是通过这项技术实现了生产设备的智能调度,显著提升了资源效率。此外,数字孪生技术在零碳园区建设中也扮演了关键角色,如51WORLD公司构建的数字化管理系统,实现了碳排放的实时监控和优化管理,推动了企业的可持续发展。

结论

数字孪生技术在工业生产中展现出显著潜力,通过创建物理实体的精确数字化模型,实现了对产品全生命周期的监控和优化。这种技术在产品设计阶段通过虚拟仿真和多物理场耦合分析,有效降低了研发成本和时间。在生产制造阶段,实时监控和智能故障诊断提高了生产效率和产品质量。设备维护阶段的高级预测性维护和实时状态监测延长了设备寿命,减少了停机时间。此外,数字孪生技术通过智能化的资源调度和管理,减少了资源浪费,提高了利用效率。随着物联网、大数据和人工智能技术的进步,数字孪生技术预计将在智能制造、智慧城市、医疗健康等领域发挥更大作用,推动工业生产向智能化、数字化和可持续发展。企业应积极采用这项技术,以增强竞争力和创新力,迎接工业4.0时代。

参考文献

- [1]徐明.“5G+工业互联网”的数字孪生钢管生产集成技术研究[J].信息通信技术与政策,2023,49(11):33–40.
- [2]张香玲,祁宇明,邓三鹏,等.工业机器人多功能系统关键技术及数字孪生平台应用[J].装备制造技术,2024(6):11–15.
- [3]罗瑞平,盛步云,黄宇哲,等.基于数字孪生的生产系统仿真软件关键技术与发展趋势[J].计算机集成制造系统,2023,29(6):1965–1982.
- [4]鹿博,杨辉,于荣荣,等.基于数字孪生技术的航天器机构生产线平衡研究[J].图学学报,2024,45(2):332–338.
- [5]欧培培,谢敏,满开宇.数字孪生技术在汽车工业领域的应用探讨[J].信息技术与标准化,2024(6):25–29.