

可前倾同步倾侧转椅托盘的运动学分析与结构创新设计

喻卫刚

杭州杨氏实业有限公司 310000

【摘要】为提升企业在办公家具、人体工学座椅领域的核心竞争力，解决传统转椅托盘倾侧同步性差、前倾角度不足、结构冗余且人体工学适配性欠佳等技术痛点，企业开展可前倾同步倾侧转椅托盘的运动学分析与结构创新设计研究。通过建立托盘运动学模型，拆解倾侧、前倾动作的传动逻辑，优化铰连接结构与驱动调节单元布局，完成结构创新设计与运动学验证。研究表明，创新型转椅托盘可实现前倾与倾侧动作的同步联动，适配人体坐姿动态调整需求，提升座椅舒适性与使用稳定性，为企业拓展高端人体工学座椅配件市场、突破技术瓶颈提供技术支撑。

【关键词】可前倾同步倾侧转椅托盘；运动学分析；结构创新；人体工学

Kinematic Analysis and Structural Innovation Design of Forward-Lying Synchronized Tilted Rotary Chair Tray by

Yu Weigang

Hangzhou Yangshi Industrial Co., Ltd. 310000

【Abstract】To enhance core competitiveness in office furniture and ergonomic seating solutions, enterprises have conducted research on kinematic analysis and structural innovation design for forward-leaning synchronized tilted rotary chair trays. This addresses technical challenges including poor tilt synchronization, insufficient forward tilt angles, structural redundancy, and suboptimal ergonomic compatibility in traditional trays. Through establishing a tray kinematic model, analyzing transmission mechanisms for tilt and forward tilt movements, optimizing hinge connection structures and drive adjustment unit layouts, the study achieves structural innovation and kinematic validation. Results demonstrate that the innovative tray enables synchronized forward tilt and lateral tilt movements, dynamically adapts to human sitting postures, improves seat comfort and stability, and provides technical support for enterprises to expand high-end ergonomic seating accessory markets while overcoming technological bottlenecks.

【Key words】 forward-leaning synchronized tilting swivel chair tray; kinematic analysis; structural innovation; ergonomics;

在办公转椅、人体工学座椅等家具产品中，转椅托盘（底盘）是连接椅座、椅背与椅脚的核心承载及姿态调节部件，其性能直接决定座椅的舒适性、安全性与使用寿命，进而影响企业产品的市场竞争力。目前市面上的传统转椅托盘多采用单一倾侧或前倾调节结构，存在动作同步性差、坐姿姿态调整不灵活、结构笨重且调节手感卡顿等问题，难以适配不同身高体型使用者的动态坐姿需求，制约企业产品向高端化、人体工学化升级^[1]。为破解这一困境，企业需聚焦可前倾同步倾侧转椅托盘的关键技术，开展运动学分析和结构创新设计，通过改善托盘运动特性、简化结构布局、优化人体工学适配性，提升产品核心性能。

1 可前倾同步倾侧转椅托盘的核心技术需求

企业结合自身座椅配件研发经验与市场调研结果，明确可前倾同步倾侧转椅托盘的核心技术需求，围绕人体工学适配性、使用稳定性、量产经济性三大维度，制定针对性设计准则，为后续运动学分析与结构创新提供明确方向。从人体工学需求来看，托盘需实现最大 3° – 5° 的前倾动作，满足使用者伏案工作时的坐姿微调需求，同时可完成左右各 2° – 4° 的同步倾侧，适配人体坐姿重心偏移时的姿态补偿，且前倾与倾侧动作联动时调节顺滑、无卡顿干涉，同步误差控制在 0.2° 以内，确保坐姿切换自然舒适。从结构设计来看，托盘需简化传动链路，减少零部件数量，降低模具开发与量产制造成本，同时提升结构刚性与抗疲劳性能，适应日常高频次调节使用场景，确保使用寿命不低于5万次调节循环或8年日常使用年限。从安全性能来看，托盘需具备过载保护功能，当承载重量超过150kg时自动锁定姿态调节功能，防

止结构损坏导致安全隐患。

2 可前倾同步倾侧转椅托盘的运动学分析

2.1 运动学模型构建

为精准掌握可前倾同步倾侧转椅托盘的运动特性,企业基于刚体运动学理论,结合托盘的结构组成、人体坐姿调节需求,构建完整的运动学模型,明确各零部件的运动关系与传动规律。首先拆解托盘核心结构,确定其由椅座安装板、倾侧调节框架、前倾联动支架、液压调节杆、高精度铰连接节点、过载保护机构等关键部件组成,其中倾侧调节框架与椅座安装板通过左右对称的铰连接节点连接,前倾联动支架与倾侧调节框架通过前端铰连接实现相对转动,液压调节杆负责前倾与倾侧动作的动力输出及阻尼调节,二者协同工作实现同步联动。

在坐标系建立过程中,以托盘静止状态下椅座安装板的几何中心为原点,建立空间直角坐标系,X轴沿托盘纵向中心线向前(对应座椅前后方向),Y轴沿托盘横向中心线向右(对应座椅左右方向),Z轴垂直于椅座安装板向上(对应座椅高度方向),用于描述各部件在空间中的位置与姿态。将椅座安装板、倾侧调节框架、前倾联动支架均视为刚体,忽略零部件的弹性变形与运动间隙,通过分析各铰连接节点的自由度,确定托盘的运动约束条件:倾侧调节框架可绕Y轴实现左右倾侧转动,前倾联动支架可绕X轴实现前后前倾转动,液压调节杆的伸缩运动转化为各刚体的转动运动,且阻尼力可调节,二者的运动协同性直接决定托盘的同步调节性能与使用手感^[2]。

2.2 运动学特性分析

基于构建的运动学模型,重点分析托盘前倾与倾侧动作的同步性、调节精度、重心变化规律及阻尼适配性等核心运动学特性,排查潜在的运动卡顿问题,为结构创新设计提供依据。在同步性分析方面,通过推导液压调节杆伸缩量与托盘前倾角度、倾侧角度的对应关系,明确二者的运动传递比,分析不同坐姿调节工况下前倾与倾侧动作的同步误差来源。

传统转椅托盘的同步误差主要是由于液压调节杆伸缩速度不一致、铰连接节点间隙过大、传动链路受力不均、阻尼力调节失衡等原因造成的,造成前倾动作和倾侧动作不能完全同步,影响坐姿调节的顺滑度。为解决此问题,对运动学模型进行优化,改变液压调节杆的位置,设计连杆式同步传动机构,使液压调节杆伸缩运动与阻尼力一致,减小同步误差,满足人体工学调节要求。调节精度分析方面,根据不

同的身高体型使用者坐姿需求,分析不同驱动参数下托盘前倾角度、倾侧角度的控制精度,重点研究铰连接节点转动精度、液压调节杆伸缩精度、阻尼调节范围对整体调节性能的影响。且铰连接节点的加工精度和装配精度影响托盘的调节精度,铰连接间隙大于0.05mm时,托盘运动角度误差大于0.1°,造成坐姿调节手感卡顿,液压调节杆伸缩精度误差控制在0.2mm以内,阻尼力调节范围在5~20N·m之间,才能满足不同使用者的舒适调节手感。

3 可前倾同步倾侧转椅托盘的结构创新设计

3.1 整体结构创新设计

结合运动学分析结果,针对传统转椅托盘结构冗余、同步性差、调节手感欠佳及自重过大等问题,开展托盘整体结构的创新设计,优化结构布局,简化传动链路,提升托盘的综合性能与人体工学适配性。传统转椅托盘多采用分离式驱动结构,前倾与倾侧调节分别由独立的液压杆控制,导致结构复杂、零部件数量多、同步性难以控制,且自重较大,影响座椅的整体轻便性。企业打破传统设计思路,采用一体化同步驱动结构,将前倾驱动与倾侧驱动整合为一个整体,通过一套连杆式同步传动机构实现二者的协同调节,有效简化了传动链路,减少了30%以上的零部件数量,降低了托盘自重与量产制造成本。

在整体结构布局方面,将倾侧调节框架设计为对称式弧形结构,左右铰连接节点对称布置,确保倾侧动作的平衡性与调节顺滑度;前倾联动支架采用轻量化冲压结构,在满足承载要求的前提下,最大限度降低自重,同时提升结构刚性;液压调节杆采用前置对称式布局,布置在托盘前端两侧,便于使用者操作调节,且确保动力输出均匀,提升运动同步性。同时,集成过载保护机构于一体化驱动结构中,简化结构设计,确保使用安全性^[3]。

3.2 关键零部件结构创新

关键零部件的性能直接决定托盘的整体质量与运动特性,因此针对托盘的核心零部件开展结构创新设计,重点优化铰连接节点、液压调节杆、同步传动机构等关键部件,提升零部件的可靠性与适配性。在铰连接节点设计方面,传统铰连接节点多采用单一轴承结构,存在转动精度低、间隙大、抗疲劳性能差等问题,容易导致调节卡顿、同步性变差。创新采用双轴承复合铰连接结构,将两个高精度滚动轴承对称布置,配合精密垫片消除间隙,提升转动精度,同时增加轴承的承载能力与抗疲劳性能,延长铰连接节点的使用寿命,

确保长期高频次调节无卡顿^[4]。

针对液压调节杆，设计可无级调节阻尼的高精度液压杆，对油缸的缸体结构、活塞结构、密封结构进行优化，采用耐磨损密封材料，提高油缸伸缩精度和密封性能，防止漏油。同时在油缸内部集成阻尼调节阀，使用者可根据自身需求调节阻尼力，保证前倾和倾侧动作的同步性与调节舒适性，适配不同体重使用者的需求。在同步传动机构设计中，摒弃传统齿轮传动方式，采用高强度工程塑料连杆与金属连接件组合结构，优化连杆的长度和布局，实现对液压调节杆伸缩运动的同步传递，保证前倾和倾侧动作的协同联动，同时减少传动过程中的能量损耗与噪音，提高传动效率与使用体验。

3.3 结构轻量化与强度优化设计

为了提高座椅整体轻便性、使用舒适性，降低企业生产成本，在结构创新设计中重点进行轻量化设计，保证结构强度与安全性，实现轻量化和高强度的有机统一。通过材料选型优化，使用高强度冷轧钢板、铝合金、工程塑料等轻量化材料代替传统的普通钢材。椅座安装板、倾侧调节框架用高强度冷轧钢板保证承载强度；前倾联动支架、连杆等部件用铝合金或者增强尼龙材料，在满足结构强度要求的基础上减轻托盘自重。

同时，对托盘整体结构及关键零部件进行有限元分析，重点检测承载状态下的结构应力分布、刚度及抗疲劳性能，找出结构薄弱部位并采取优化措施。针对应力集中部位，采用优化结构截面形状、增加加强筋等方法分散应力，提高结构强度；对抗疲劳性能不足的零部件，优化结构设计，采用冲压成型与热处理复合工艺，提高零部件的抗疲劳性能，确保托盘能够承受高频次调节与长期承载。结合办公座椅的实际使用工况，模拟不同体重使用者、不同调节角度下的受力状况，对结构进行针对性优化，保证托盘长期使用不会出现变形、断裂等安全隐患。

参考文献

- [1]李东阳, 项辉宇, 冷崇杰, 等. 游乐转椅液压阻尼限速装置设计与仿真优化 [J]. 计算机仿真, 2025, 42 (03): 344-349+441.
 - [2]张高祥. 面向用户需求的办公椅模块化设计方法研究及系统开发[D]. 杭州电子科技大学, 2023.
 - [3]倪晓闹. DK 转椅生产线改进设计[D]. 浙江工业大学, 2016.
 - [4]王润黎, 张求慧, 李晓刚, 等. 可拆卸转椅的物流包装尺寸标准化及堆码研究 [J]. 包装工程, 2014, 35 (07): 49-54.
- 作者简介: 喻卫刚, 出生年月: 1979年12月14日, 男, 汉族, 籍贯: 杭州市萧山区, 学历: 大专, 职称: 助理工程师, 研究方向: 从事转椅托盘的产品开发和设计。

3.4 结构装配与维护便利性设计

考虑到企业批量生产效率与后期售后服务需求,在结构创新设计过程中,重点关注结构的装配便利性与维护便利性,优化结构设计,降低装配与维护难度,提升生产效率,降低维护成本。在装配便利性设计方面,采用模块化设计理念,将托盘划分为承载模块、倾侧调节模块、前倾驱动模块、阻尼控制模块等多个独立模块,各模块均可单独加工、组装,然后进行整体装配,显著提升了装配效率,便于企业开展批量生产。同时,优化各模块之间的连接方式,采用标准化螺栓连接、销连接等可拆卸式连接方式,简化装配流程,降低装配难度,减少装配时间,提升生产线产能。

在维护便利性设计方面,优化托盘的结构布局,将液压调节杆、密封件等易损零部件布置在便于拆卸、检修的位置,避免零部件之间的相互遮挡;在关键维护部位设计预留检修口,便于工作人员快速检查、维护与更换零部件;对于液压调节杆等核心部件,采用快拆式结构设计,无需专用工具即可完成拆卸与更换,简化检修流程,提升检修效率。此外,通过减少零部件数量、简化传动链路,降低了后期维护的工作量与维护成本,同时为零部件的更换提供了便利,确保座椅能够快速恢复正常使用,减少企业的售后服务成本。

4 结论

本研究针对传统转椅托盘同步性差、调节卡顿、结构冗余、人体工学适配性不足等问题,开展可前倾同步倾侧转椅托盘的运动学分析及结构创新设计。通过建立运动学模型来确定传动规律,创新一体化同步驱动、双轴承复合铰接和连杆式同步传动机构,结合轻量化、模块化、人体工学优化设计,实现前倾与倾侧动作同步顺滑联动,提高座椅的舒适性、稳定性、使用安全性,为企业高端人体工学转椅托盘的研发与制造提供技术支持,在办公家具配件市场中形成核心竞争力。