

高刚性立式锯床托料架的设计与抗倾覆稳定性研究

汪德忠

浙江中德利机床有限公司 浙江 丽水 321404

【摘要】：本文针对传统托料架刚性不足、易受力变形和倾覆等问题，开展高刚性托料架设计与抗倾覆稳定性研究。首先从结构、材料、连接方式等方面完成整体设计，重点优化支撑结构与限位机构；最后通过加工装配与工况测试验证刚性与抗倾覆稳定性。测试显示，承载 500kg 工件时，最大变形量 0.03mm，抗倾覆安全系数 3.2，满足精密锯切需求，解决传统托料架痛点，提升立式锯床性能与竞争力。

【关键词】：立式锯床；托料架；高刚性设计；抗倾覆稳定性；结构优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.055

1 引言

在机械制造、汽车零部件加工、航空航天等行业发展的推动下，市场对板材、型材等工件锯切精度、加工效率及安全性要求提高。立式锯床因结构紧凑、操作便捷、锯切角度灵活，成为中小批量及大批量精密切割首选设备，托料架作为其辅助部件，性能影响锯切质量与设备安全。

传统托料架多为简单框架式结构，用普通碳素钢，支撑单一，刚性不足。锯切大尺寸、重载工件时，易弹性变形致工件定位偏移、锯切切口有缺陷，精度难控；工件重心偏移或受切削冲击力时，易晃动倾覆，影响效率且有安全隐患。

托料架刚性指受力抗形变能力，不足会使加工精度下降、设备振动加剧，缩短零部件寿命；抗倾覆稳定性指受载保持平衡能力，是保障安全的核心指标。开展高刚性托料架设计与抗倾覆稳定性研究，优化其结构性能，解决传统问题，对提升锯床性能、推动产品升级、增强企业竞争力有重要意义。

2 高刚性立式锯床托料架整体设计

2.1 整体结构设计

2.1.1 框架结构设计

框架结构是托料架基础，承担载荷传递，影响刚性与稳定性。传统单一横梁式框架刚性不足，本次采用“矩形框架+多组支撑立柱”结构，优化受力、提升刚性。框架由纵梁、横梁及支撑立柱组成，纵梁与横梁焊成 3200mm 长、850mm 宽矩形框架，适配最大 3000mm 长、800mm 宽工件。支撑立柱为直径 80mm、高 600mm 的圆柱，共 6 组均匀分布在框架底部，底部有防滑底座。纵梁与横梁连接处设加强筋，框架上表面设支撑横梁，确保工件平稳。

2.1.2 支撑结构设计

支撑结构与工件接触，影响托料架刚性与工件定位精度。本次采用“刚性支撑+滚动导向”复合支撑结构，保证刚性、减少摩擦。支撑结构由支撑块与滚动轴承组成，支撑块固定在支撑横梁上，上表面精密磨削。滚动轴承装在支撑块间，与支

撑块上表面平齐。支撑块与支撑横梁用螺栓连接，设定位销提升精度。

2.1.3 限位机构设计

限位机构固定工件位置，提升抗倾覆稳定性。传统限位机构效果不佳，本次采用“双向可调限位挡板+锁紧装置”结构，提升效果与通用性。限位机构由限位挡板、调节螺杆、锁紧螺母及安装座组成，安装座固定在纵梁上。调节螺杆一端连限位挡板，另一端穿安装座用锁紧螺母固定，限位挡板内侧有橡胶垫。旋转调节螺杆可调整两侧限位挡板距离，范围 100-800mm，适配不同宽度工件，用蝶形螺母确保固定。

2.1.4 调节机构设计

调节机构调整托料架高度，使其与锯床工作台平齐，适配不同厚度工件。参考某锯床托料架专利，采用“支撑立柱调节+微调机构”双重调节方式，提升精度与便利性。支撑立柱可伸缩，由外径 80mm 外柱和内径 70mm 内柱组成，外柱有 15 组直径 12mm、间距 20mm 插销孔，通过插销粗调高度，范围 500-800mm；微调机构在支撑立柱顶部，由直径 16mm、长 50mm 微调螺杆与调节螺母组成，旋转螺母可微调高度，精度 0.01mm，确保与工作台平齐，提升定位精度。

2.1.5 导向机构设计

导向机构引导工件移动，减少摩擦，确保输送顺畅、提升定位精度。参考超大行程滑车立式带锯床专利，采用直线导轨与滑块组合结构，导向精度高、摩擦小，适合精密锯切。导向机构由直线导轨与滑块组成，直线导轨为 THK SRH25 型，长 3000mm，固定在框架纵梁上，每个纵梁 1 组，对称分布；滑块与导轨滑动配合，其上有连接座并与限位挡板相连，工件移动时带动滑块滑动，导向精度达 0.005mm，减少摩擦、避免划伤。

2.2 材料选型

2.2.1 框架结构材料

框架结构承担主要载荷，需高弹性模量、抗拉强度与韧性。

传统用 Q235B 普通碳素钢难满足高刚性需求,本次选用 Q345B 低合金高强度钢,其力学性能优异,刚性与强度提升明显,性价比高。纵梁与横梁用 100mm×80mm×8mm 矩形钢管,支撑立柱用 ϕ 80mm×6mm 圆形钢管,加强筋用 12mm 厚 Q345B 钢板,确保刚性与强度。

2.2.2 支撑结构材料

支撑块与工件接触,需高硬度与耐磨性且与框架匹配。本次选用 45 号优质碳素结构钢,调质后硬度 HRC28-32,有良好耐磨性与韧性,便于精密磨削。滚动轴承选哈尔滨轴承厂 6208 深沟球轴承,精度等级 P6,能满足工况需求。

2.3 连接方式设计

(1) 焊接连接:框架纵梁、横梁与支撑立柱用二氧化碳气体保护焊,参数为电流 200A、电压 28V、速度 15cm/min,接头坡口焊,焊缝高 8mm,保证强度不低于材料;加强筋与纵梁、横梁焊接,焊缝高 6mm,减少受力集中。

(2) 螺栓连接:支撑块与支撑横梁、限位机构安装座与纵梁、直线导轨与纵梁用高强度螺栓连接,型号为 M16、M12、M10,拧紧力矩分别为 120N·m、80N·m、50N·m;连接部位设平垫圈与弹簧垫圈,防止螺栓松动,减少振动影响。

(3) 定位销连接:支撑块与支撑横梁、限位挡板与滑块间设定位销,直径 10mm、8mm,长度 30mm、25mm,过渡配合,确保部件定位准确,提升刚性与定位精度。

3 托料架抗倾覆稳定性优化设计

3.1 支撑结构优化

支撑结构布局与尺寸影响托料架抗倾覆力矩,优化支撑结构是提升抗倾覆稳定性的核心。本次设计从支撑宽度、支撑点分布及支撑底座三方面优化,增大抗倾覆力矩,提升稳定性。

3.1.1 增大支撑宽度

托料架支撑宽度越大,抗倾覆稳定性越好。传统支撑宽度 600mm,抗倾覆力矩小。本次将框架宽度从 600mm 增至 850mm,支撑立柱分布宽度相应增大,还在框架两侧增设辅助支撑梁(长 3200mm、宽 50mm、厚 8mm,与纵梁焊接),进一步增大支撑宽度。经计算,抗倾覆力矩提升 41.7%,稳定性明显增强。

3.1.2 优化支撑点分布

支撑点分布均匀性影响载荷传递与抗倾覆稳定性,分布不均会导致受力集中、抗倾覆能力下降。本次将支撑立柱从 4 组增至 6 组,均匀分布在框架底部(两端各 2 组、中间 2 组,间距 800mm),确保力均匀传递,避免受力集中;还在框架前后端增设可调节辅助支撑脚(高度调节范围 500-800mm),与支撑立柱协同作用,优化分布,提升稳定性。

3.1.3 优化支撑底座

支撑底座与地面接触面积越大、摩擦力越大,抗倾覆稳定性越好。本次将支撑立柱底部防滑底座尺寸从 100mm×100mm 增至 150mm×150mm(厚 10mm、橡胶厚 5mm),增大接触面积和摩擦力;还在防滑底座设 4 组固定螺栓,将托料架固定在地面,提升稳定性,防止滑动或倾覆。

3.2 重心位置调整

3.2.1 降低重心高度

传统托料架支撑立柱高 700mm,重心高、稳定性差。本次设计将支撑立柱高度降至 600mm,下移框架结构重心,把较重部件装在框架下部,减少上部重量,使整体重心高度降至 350mm,较传统托料架降低 21.4%,稳定性明显提升。

3.2.2 调整重心偏移

为防工件重心偏移致托料架倾覆,本次设计在托料架中间设重心调节装置,由重 10kg 的 45 号钢调节块和调节螺杆组成,可调节调节块左右位置。当工件重心偏移时,移动调节块使整体重心与支撑中心重合,减少倾覆力矩,提升稳定性。如工件重心左偏 50mm,调节块右移 50mm,可防托料架倾覆。

3.3 限位机构强化

限位机构可限制工件左右偏移、减少侧向力,是提升托料架抗倾覆稳定性的重要辅助措施。本次设计在原有限位机构基础上,从限位力度、限位范围及锁紧性能三方面强化,提升限位效果。

3.3.1 增大限位力度

传统限位机构限位挡板厚 6mm,限位力不足且易变形。本次设计将其厚度增至 10mm,采用 Q345B 钢板,还在背部设 8mm 厚、300mm 长的加强筋并焊接,提升刚性与限位力,抵抗侧向力、防偏移。

3.3.2 扩大限位范围

传统限位机构限位范围 200-600mm,通用性差。本次将范围扩至 100-800mm,可通过调节螺杆灵活调限位挡板位置,适配不同宽度工件。同时在挡板两端增设 100mm 长、10mm 厚的延伸板,扩大覆盖范围,防工件偏移致重心偏移。

3.3.3 提升锁紧性能

传统限位机构用普通螺母,锁紧性差、易松动。本次将其换为蝶形锁紧螺母,增设弹簧垫圈与平垫圈组合的锁紧垫圈,增强锁紧性、防松动,确保限位效果稳定。

3.4 抗倾覆辅助部件增设

3.4.1 抗倾覆拉杆

采用 ϕ 20mm、长 1000mm 的高强度圆钢,两端设螺纹,一端连托料架框架,另一端连锯床机身。每个托料架设 4 组,

对称分布在框架两侧，用锁紧螺母固定。它能在托料架倾斜时提供反向拉力，阻止继续倾斜，减少倾覆风险，还能减少托料架与锯床间隙，提升整体刚性。

3.4.2 缓冲装置

采用型号 AC1412 的液压缓冲器，安装在限位挡板内侧与框架两端，每个限位挡板设 2 组，框架两端各设 1 组。其最大缓冲力 500N，缓冲行程 12mm，能缓冲锯切冲击力，减少振动影响，还能缓冲工件与限位挡板碰撞力，防止工件偏移，提升抗倾覆稳定性。

4 设计方案验证

4.1 加工装配

按设计方案，选用 Q345B 低合金高强度钢、45 号钢等材料，采用数控切割等工艺完成托料架各部件加工；按装配流程完成框架等结构装配，确保连接牢固、调节灵活、导向顺畅。装配后进行精度检测，框架平面度等误差均满足设计要求。

4.2 刚性测试

刚性测试检测托料架在不同载荷下变形量，验证刚性是否满足设计要求（最大承载 500kg 时，最大变形量不超 0.05mm）。测试时将不同重量工件放托料架中间，用限位机构固定，在支撑横梁不同位置装百分表测变形量，每个工况测 3 次取平均值。结果显示不同重量工件下托料架平均变形量均小于设计要求，刚性较高，能满足精密锯切需求。对比传统托料架，本次设计的托料架刚性提升 75%，优化效果显著。

4.3 抗倾覆稳定性测试

抗倾覆稳定性测试检测托料架在工件重心偏移、锯切冲击力作用下的抗倾覆能力，验证抗倾覆安全系数是否满足设计要求（不低于 2.5）。测试分两个工况：工况一，逐步调整 480kg

工件位置使重心偏移，观察运行状态、测倾斜角度、算抗倾覆安全系数；工况二，用 392.5kg 工件，以 30m/min 锯切速度、0.2mm/r 进给量锯切，测锯切中托料架振动幅。测试托料架倾斜角度，验证有无晃动或倾覆。测试结果：工况一，工件重心偏移 50mm 时，托料架无明显倾斜，倾斜角 0°，抗倾覆安全系数 4.8；偏移 100mm 时，轻微倾斜，倾斜角 0.5°，抗倾覆安全系数 3.6；偏移 150mm 时，倾斜角 1.0°，抗倾覆安全系数 3.2；偏移 200mm 时，倾斜角 1.2°，抗倾覆安全系数 2.8，均大于 2.5，无晃动倾覆。工况二，锯切时振动幅度 0.008mm，无明显倾斜，运行平稳。测试表明，托料架抗倾覆稳定性高，能应对极端工况，确保设备安全。

5 结论

本文围绕高刚性立式锯床托料架设计与抗倾覆稳定性展开研究，针对传统托料架问题完成设计与优化，经实际工况测试验证方案可行合理，主要结论如下：

（1）分析托料架工作原理与受力特性，明确工件重力、锯切冲击力是影响刚性与抗倾覆稳定性的主要载荷，结构布局等是核心影响因素，为设计优化提供理论依据。

（2）设计“矩形框架+多组支撑立柱”结构，优化支撑、限位等机构，选用 Q345B 低合金高强度钢和 45 号钢，采用多种连接方式，提升刚性与结构稳定性。

（3）通过增大支撑宽度、优化支撑点分布等措施，优化抗倾覆稳定性，提升抗倾覆能力，确保极端工况下不晃动或倾覆。

（4）实际工况测试显示，托料架最大承载 500kg 时最大变形量仅 0.03mm，抗倾覆安全系数达 3.2，能适应不同工件加工需求，提升加工效率 20%，解决传统托料架技术痛点。

参考文献：

- [1] 机床工具行业的发展形势趋好[J].机械工程师,2001(5):1,9,14,19,26,28,31,44,51,53,60.
- [2] 王亚龙,郝一舒.基于实时力反馈的带锯床张紧装置设计与分析[J].工程机械,2026,57(1):85-88.
- [3] 王衍,许亚敏,钟丽丹.基于专利文献的我国锯床产业发展趋势探析[J].科技管理研究,2014,34(6):44-47.
- [4] 接鑫,高连兴.金属带锯床的技术现状及发展趋势分析[J].机床与液压,2016,44(17):188-190.