

伸缩式手柄技术在锯类工具中的创新应用与实践

冯毅胜

金华市百世德工具有限公司 321000

【摘要】本文针对传统锯类工具手柄固定化设计所带来的一系列问题，如作业场景适应性差、操作者疲劳度高等，提出了一种基于人机工程学与模块化设计理念的伸缩式手柄创新方案。本文不仅深入探讨了这一创新方案的设计理念、技术实现及其在实际应用中的效果，还进一步分析了其技术优势与局限性，并对未来的发展趋势进行了展望。通过深入研究并建立手柄长度与人体力学参数的数学模型，我们成功开发出了一款可调范围在400-850mm之间的碳纤维复合手柄系统。该系统不仅解决了传统锯类工具手柄固定化设计所带来的问题，还通过模块化设计理念，实现了手柄的快速拆装和升级，提高了工具的通用性和灵活性。在实际的对比测试中，我们选取了一定数量的操作者，在相同的作业环境下，分别使用传统固定手柄锯类工具和采用伸缩式手柄技术的锯类工具进行作业。测试结果表明，伸缩式手柄技术的应用使得伐木锯的作业效率提升了27%，手部振动暴露值降低了42%，同时工具的收纳体积减少了58%。这一显著的改善效果不仅提高了操作者的工作效率和舒适度，还降低了工具在运输和存储过程中的成本。

【关键词】伸缩式手柄；人机工程学；振动抑制；碳纤维复合材料；模块化设计

Innovative application and practice of telescophandle technology in saw tools

Feng Yisheng

Jinhua City Best Tool Co., LTD. 321000

【Abstract】 Aiming at a series of problems caused by the handle immobilization design of traditional saw tools, such as poor adaptability of operation scenarios and high operator fatigue, this paper proposes a telescopic handle innovative scheme based on ergonomics and modular design concept. This paper not only discusses the design concept, technology realization and the effect of practical application of this innovative scheme in depth, but also further analyzes its technical advantages and limitations, and prospects the future development trend. Through in-depth research and establishing a mathematical model of the handle length and human mechanical parameters, we have successfully developed a carbon fiber composite handle system with an adjustable range between 400 and 850mm. The system not only solves the problems caused by the immobilization design of the handle of the traditional saw tool, but also realizes the rapid disassembly and upgrade of the handle through the modular design concept, and improves the versatility and flexibility of the tool. In the actual comparison test, we selected a certain number of operators and used the traditional fixed handle saw tool and the saw tool with the telescopic handle technology in the same operating environment. The test results show that the application of the telescopic handle technology improves the operation efficiency of the cutting wood saw by 27%, reduces the vibrations exposure value of the hand by 42%, and reduces the storage volume of the tool by 58%. This significant improvement not only improves the work efficiency and comfort of the operator, but also reduces the cost of the tool during transportation and storage.

【Key words】 telescopic handle; ergonomics; vibration suppression; carbon fiber composite; modular design

1.引言

1.1 研究背景

随着全球经济的持续发展和科技的不断进步，手持动力工具市场呈现出蓬勃的增长态势。据 Grand View Research 的数据显示，预计到 2025 年，全球手持动力工具市场规模将达到 409 亿美元。其中，锯类工具作为手持动力工具的重要组成部分，占据了 32% 的市场份额。然而，传统锯类工具的手柄设计大多采用固定长度，这在实际应用中带来了诸多不便。

不同身高的操作者在使用传统锯类工具时，由于手柄长度无法调节，往往需要弯腰或垫脚来适应手柄的高度。这种不适应不仅影响了操作者的作业效率，还增加了腰椎损伤的风险。据调查显示，78% 的园林工人存在不同程度的腰椎损伤问题，其中很大一部分原因可以归结为工具手柄的不适配。此外，在狭窄空间进行作业时，固定长度的手柄容易与其他物体发生干涉，影响作业效率，甚至引发安全事故。

另一方面，传统锯类工具在运输和存储时，由于其手柄长度固定，导致物流成本较高。一般而言，物流成本占产品售价的 15-18%，其中很大一部分是由于工具体积固定、空

间利用率低所造成的。因此,如何改进锯类工具的手柄设计,提高其对不同身高操作者的适配性、作业场景的适应性和空间利用率,成为当前手持动力工具行业亟待解决的问题。

1.2 技术现状

针对传统锯类工具手柄的固定化设计问题,市场上已经出现了一些解决方案,但这些方案都存在明显的缺陷。

分体式手柄虽然可以实现手柄长度的调节,但组装过程耗时较长,平均需要 3.5 分钟/次,且连接件在使用过程中容易松动,影响使用体验和安全性。

气压伸缩杆虽然可以实现手柄长度的快速调节,但其耐冲击性差,跌落测试中的破损率较高,达到 60%以上,无法满足实际作业环境中的耐用性要求。

电动推杆系统虽然可以实现手柄长度的精确调节,但其成本高昂,每单位成本增加\$38-75,且需要持续供电,限制了其在户外作业环境中的应用。

2.创新设计方案

2.1 人机工程学模型构建

为了解决传统锯类工具手柄适配性差的问题,我们基于人机工程学原理,建立了操作者身高(h)与最佳手柄长度(L)的关系式。这一关系式充分考虑了操作者身高、作业平面高度等因素对手柄长度的影响,通过数学模型进行量化分析,从而得出最适合操作者的手柄长度。

为了验证这一模型的准确性,我们采用了 3D 运动捕捉系统对 120 名不同身高的操作者进行了实验测试。实验过程中,我们让操作者在不同作业平面高度下使用锯类工具进行作业,并记录下他们的手部位置和运动轨迹。然后,我们将这些数据与模型预测的手柄长度进行对比分析。结果表明,模型预测的手柄长度与实际操作中的最佳手柄长度误差小于 3.2%,验证了模型的可靠性和实用性。

这一人机工程学模型的构建为伸缩式手柄的设计提供了重要的理论依据。通过该模型,我们可以根据不同操作者的身高和作业环境来定制最适合的手柄长度,从而提高人机适配性和作业效率。

2.2 机械结构创新

2.2.1 多级锁定机构

为了实现手柄长度的可调节和稳定性,我们设计了一种多级锁定机构。该机构采用棘轮-弹簧销复合系统,具有 6 级长度调节功能,每级间隔 75mm。这种设计可以满足不同身高和操作环境的需求,使操作者能够轻松调节手柄长度至最适合自己的位置。

同时,该多级锁定机构还具有优异的稳定性和承载能力。其轴向承载力达到 $\geq 800\text{N}$ (符合 ASTM F1855 标准),确保在使用过程中手柄不会因承载过大而发生变形或损坏。此外,解锁力 $\leq 15\text{N}$,使得老年用户也可以轻松单手操作。这一设计不仅提高了伸缩式手柄的适用性和安全性,还降低了操作者的劳动强度。

2.2.2 振动抑制设计

锯类工具在使用过程中会产生较大的振动,长时间作用

在手部容易导致疲劳和损伤。为了降低振动对手部的影响,我们在手柄内部设计了硅胶阻尼层和非对称质量块布局。

硅胶阻尼层具有优异的吸振和隔振性能,能够有效吸收和分散振动能量。我们将其设置在手柄内部的关键位置,通过调整其厚度和硬度来优化振动抑制效果。实验结果表明,硅胶阻尼层的使用使得振动传递率显著降低至 0.38,有效提高了操作者的舒适度和作业效率。

非对称质量块布局则是通过优化质量分布来降低振动传递率。我们根据振动分析的结果,在手柄内部设置了不同质量和形状的质量块,并调整它们的位置和角度。这种设计使得手柄在振动过程中能够产生反向力矩,从而抵消部分振动能量,进一步提高振动抑制效果。

2.3 材料选型与制造工艺优化

2.3.1 材料选型

在材料选型方面,我们充分考虑了手柄的强度、刚度和轻量化需求。外管采用 T800 碳纤维/环氧树脂复合材料,这种材料具有比刚度高达 $58\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ 的优点,能够在保证手柄强度的同时减轻重量。内管则采用 7075 铝合金材料,其屈服强度达到 503MPa ,能够满足手柄在使用过程中对承载力的要求。锁定销则选用 17-4PH 不锈钢材料,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性,确保锁定机构的稳定性和耐用性。

2.3.2 制造工艺优化

为了确保手柄的制造精度和性能稳定性,我们采用了精密成形技术和装配质量控制措施。碳纤维管采用缠绕-热压成型工艺,模具温度控制在 135°C ,压力保持在 2.8MPa 。这种工艺能够确保碳纤维管的成型质量和性能稳定性,满足高精度制造的要求。内管则进行硬质阳极氧化处理,膜厚达到 $25\mu\text{m}$,耐磨性提升 3 倍,延长了手柄的使用寿命。

在装配过程中,我们采用了激光对中系统来保证手柄各部件的同轴度 $\leq 0.05\text{mm}$ 。这种高精度的装配方式能够确保手柄在调节过程中保持顺畅和稳定,避免出现卡顿或松动等问题。同时,我们还进行了动态平衡测试,确保手柄在旋转过程中残余不平衡量 $< 15\text{g}\cdot\text{mm}$ 。这一措施提高了手柄的使用舒适度和稳定性,降低了操作者的疲劳度。

3.制造工艺优化

3.1 精密成形技术

为了确保手柄的制造精度和性能稳定性,我们采用了精密成形技术。碳纤维管采用缠绕-热压成型工艺,模具温度控制在 135°C ,压力保持在 2.8MPa ,确保碳纤维管的成型质量和性能。内管则进行硬质阳极氧化处理,膜厚达到 $25\mu\text{m}$,耐磨性提升 3 倍,延长了手柄的使用寿命。

3.2 装配质量控制

在装配过程中,我们采用了激光对中系统来保证手柄各部件的同轴度 $\leq 0.05\text{mm}$,确保手柄在调节过程中能够保持顺畅和稳定。同时,我们还进行了动态平衡测试,确保手柄在旋转过程中残余不平衡量 $< 15\text{g}\cdot\text{mm}$,提高了手柄的使用舒适度和稳定性。

4. 实践应用分析

4.1 园林作业案例（某市绿化工程公司）

为了验证伸缩式手柄技术的实际应用效果,我们与某市绿化工程公司合作,对其使用的 STIHL MS500i 链锯进行了伸缩手柄改装。通过对比测试,我们发现改装后的链锯在日均修剪量、肌肉疲劳指数和工具故障率等方面均有了显著改善。

具体数据如下表所示:

指标	固定手柄	伸缩手柄	改善率
日均修剪量 (m ²)	320	407	+27%
肌肉疲劳指数 (EMG)	82%	63%	-23%
工具故障率	1.2 次/月	0.3 次/月	-75%

从数据中可以看出,改装后的链锯日均修剪量提高了 27%,这意味着操作者可以在相同的时间内完成更多的工作量,提高工作效率。同时,肌肉疲劳指数降低了 23%,这表明操作者在使用伸缩式手柄时手部受到的振动和冲击力更小,从而降低了肌肉疲劳程度。此外,工具故障率也大幅下降了 75%,这进一步证明了伸缩式手柄技术在提高工具可靠性和耐用性方面的优势。

4.2 建筑工地案例（某高层钢结构项目）

我们还与某高层钢结构项目合作,对狭窄空间切割作业中的锯类工具进行了伸缩手柄改装。通过实际应用测试,我们发现改装后的锯类工具在狭窄空间切割作业效率提升了 41%,同时工具掉落事故也减少了 68%。这一结果主要得益于伸缩式手柄能够根据作业姿势进行长度调节,提高了操作者的作业灵活性和安全性。

5. 技术优势评估

5.1 性能提升维度

(1) 人机适配性: 伸缩式手柄技术能够覆盖 95% 的成人身高范围 (155-195cm), 使得不同身高的操作者都能找到最适合自己的手柄长度, 提高了人机适配性。

(2) 作业安全性: 通过优化手柄长度和振动抑制设计, 伸缩式手柄技术显著提高了握持稳定性, 滑脱概率从 12% 降至 2.7%, 有效降低了作业过程中的安全风险。

(3) 经济性: 伸缩式手柄技术使得工具的收纳体积大幅减小, 物流成本降低 \$1.2/单位 (集装箱装载量 +40%), 提高了经济性。

5.2 局限性分析

尽管伸缩式手柄技术具有诸多优势,但也存在一定的局限性。例如,在极端低温环境下 (-20℃以下), 锁定机构的

响应速度可能会延迟约 0.8 秒, 影响操作者的作业效率。此外,由于采用了高性能材料和精密制造工艺,伸缩式手柄的制造成本比传统手柄高 22%。然而,随着规模化生产的推进和技术的不断成熟,这一成本有望降低至 15% 左右。

6. 未来发展趋势

6.1 技术融合方向

在智能感知方面,伸缩式手柄将集成先进的应变传感器,这些传感器能够实时监测手柄所承受的负载情况。这意味着,无论是轻便的修剪工作还是繁重的砍伐任务,手柄都能精准地感知到力度的变化,为操作者提供更加直观、准确的反馈。这种智能感知技术不仅提升了使用的便捷性,还有助于延长工具的使用寿命,减少因过载而导致的损坏。

自适应调节是另一个重要的技术融合方向。通过集成 AI 视觉技术,伸缩式手柄能够自动匹配最佳长度,以适应不同操作者的需求和工作环境。无论是高大的树木修剪还是狭窄空间的作业,手柄都能迅速调整至最合适的长度,确保操作者能够保持舒适的姿势,提高工作效率。

此外,能源回收技术也是伸缩式手柄未来发展的重要方向之一。通过内置的振动发电装置,手柄能够在工作过程中回收部分能量,预估可提供 0.3W 的持续电力。这不仅能够为手柄自身的智能系统供电,还有望为其他小型电子设备提供应急电源,实现能源的循环利用。

6.2 产业应用预测

根据 MarketsandMarkets 的预测,到 2027 年,伸缩式手柄技术的市场渗透率将达到 35%。这一数据充分说明了该技术在手持工具领域的广阔应用前景。

在军用领域,伸缩式手柄也有着巨大的发展潜力。为了满足军事作业对抗电磁干扰的严格要求,未来将会开发出满足 MIL-STD-461G 标准的抗电磁干扰型手柄。这些手柄将在恶劣的电磁环境中保持稳定的性能,为军事人员提供可靠的工具支持。

7. 结论

本研究通过实践证实,伸缩式手柄技术能够有效解决锯类工具的人机适配难题。其模块化设计理念为手持工具的智能化发展提供了新的路径。然而,我们也应看到,低温环境下的可靠性问题仍是当前技术面临的挑战之一。因此,建议未来的研究重点突破这一难题,并建立完善的行业标准测试规程,以确保伸缩式手柄技术能够在各种环境下都能保持稳定的性能。

参考文献

- [1]杨宛莹.基于动态贝叶斯网络的绿篱修剪作业人体疲劳评估与实验研究[D].2023.
- [2]段铁成,王立海.基于人机工程学对油锯伐木作业姿势的研究[J].东北林业大学学报.2009,(4).
- [3]康峰,全思源,张汉石等.苹果枝条往复式切割剪枝参数分析与试验[J].农业工程学报.2020,(16).