

园林电剪刀的设计原理与性能优化研究

王勇

浙江煌嘉电器有限公司 321000

【摘要】本研究针对传统园林电剪刀在实际应用中存在的诸多问题，如重量过大（通常 $\geq 3.2\text{ kg}$ ）、振动强烈（RMS值 $\geq 8.5\text{ m/s}^2$ ）、续航时间短（一般 ≤ 45 分钟）等，深入探讨了这些缺陷对操作者工作效率和身体健康的影响。为了克服这些技术瓶颈，本研究提出了一套基于人机工程学与轻量化设计的创新解决方案。通过拓扑优化刀头结构、开发双模式动力系统、采用复合减震技术等手段，成功实现了整机重量的显著降低（降至 1.8 kg ，减重比例达到43.8%）、手柄振动值的大幅下降（降至 3.2 m/s^2 ，完全符合ISO 22868国际标准）以及续航时间的显著延长（延长至120分钟）。在市政绿化工程中的实践应用表明，优化后的设备修剪效率提升了35%，操作者的肌肉疲劳指数下降了28%。本研究不仅为园林电动工具的创新设计提供了坚实的理论支撑，还为其未来的技术发展指明了路径。

【关键词】园林电剪刀；轻量化设计；振动抑制；人机工程学；能量管理

Study on the design principle and performance optimization of garden electric scissors

Wang Yong

Zhejiang Huangjia Electric Appliance Co., Ltd. 321000

【Abstract】In view of the many problems existing in the practical application of traditional garden electric scissors, such as excessive weight (usually 3.2 kg), strong vibration (RMS value 8.5 m/s^2), short endurance (generally 45 minutes), etc., this study deeply discusses the impact of these defects on the operator's work efficiency and physical health. To overcome these technical bottlenecks, this study presents an innovative set of solutions based on ergonomic and lightweight design. Through topology optimization of blade structure, develop dual-mode power system, using composite shock absorption technology, successfully realized the machine weight significantly reduced (to 1.8 kg , weight loss ratio of 43.8%), the handle vibration dropped (to 3.2 m/s^2 , fully meet the ISO 22868 international standard) and the significant extension of battery life (extended to 120 minutes). Practical application in municipal greening engineering shows that the optimized equipment pruning efficiency increased by 35%, and the operator's muscle fatigue index decreased by 28%. This study not only provides a solid theoretical support for the innovative design of garden power tools, but also points out the path for their future technological development.

【Key words】garden electric scissors; lightweight design; vibration suppression; ergonomics; and energy management

1.引言

1.1 研究背景

随着全球城市化进程的加速和人们对生活环境品质要

求的提高，园林工具市场呈现出蓬勃发展的态势。据 Allied Market Research 预测，到 2025 年，全球园林工具市场规模将达到 435 亿美元，其中电动修剪设备因其高效、环保的特点，市场份额占比超过 40%。然而，当前市场上的园林电动

工具仍存在诸多痛点,严重制约了其性能的进一步提升和作者的作业体验。

人体工学缺陷是首要问题。传统园林电剪刀的设计往往忽视了操作者的人体工学需求,连续操作 2 小时后,腕部受力往往超过 22 N,远高于 OSHA(美国职业安全卫生管理局)规定的 15 N 限值,长期操作极易导致操作者手腕和手臂的疲劳损伤。能效低下也是不可忽视的问题。传统有刷电机的效率仅在 60%–65%之间,能量转换效率低下,不仅增加了能耗,还缩短了设备的续航时间。

此外,环境适应性差也是传统园林电剪刀的一大弊端。其 IP 防护等级普遍低于 IPX4,无法满足多雨或潮湿环境下的作业需求,限制了设备的使用范围。

1.2 技术现状分析

1.2.1 典型产品对比

品牌型号	功率 (W)	刀片频率(次/min)	重量 (kg)
STIHL HSA 86	650	3, 200	2.9
Husqvarna 520iHE3	700	3, 500	3.1
本方案	750	4, 000	1.8

如上表,为了更直观地了解当前市场上园林电剪刀的技术水平,我们选取了 STIHL HSA 86 和 Husqvarna 520iHE3 两款典型产品进行对比分析。从功率、刀片频率和重量等方面来看,这两款产品虽然在一定程度上代表了行业的主流水平,但仍存在明显的不足。如 STIHL HSA 86 的功率为 650W,刀片频率为 3200 次/分,重量为 2.9kg; Husqvarna 520iHE3 的功率为 700W,刀片频率为 3500 次/分,重量为 3.1kg。而本研究所提出的方案,在功率达到 750W、刀片频率提高至 4000 次/分的同时,重量却降低至 1.8kg,实现了性能的显著提升。

1.2.2 技术瓶颈

除了上述提到的缺点外,当前园林电剪刀还存在一些技术瓶颈亟待突破。例如,刀片惯性力矩大导致启停延迟问题严重,传统设备的启停延迟时间往往超过 0.3 秒,影响了修

剪的效率和精度。同时,铝合金传动箱体散热性差也是一大问题,温升往往超过 65℃,长时间作业容易导致设备过热损坏。

2.设计原理与结构创新

2.1 动力系统

针对传统动力系统的不足,本研究提出了双模电机设计方案。该电机具有低速和高速两种工作模式,低速模式(0–2000 rpm)下,扭矩达到 35 N·m,适用于粗枝修剪;高速模式(2000–4000 rpm)下,功率密度提升至 5.2 W/g,满足了高效修剪的需求。此外,还开发了能量回收系统,制动时通过反向电动势回收 15%的动能,进一步提高了能量的利用效率。

2.2 人机交互设计

2.2.1 握持结构优化

为了改善操作者的手部舒适度和减轻肌肉疲劳,本研究对握持结构进行了优化。通过 Tekscan 压力传感系统对手柄曲面进行测试和分析,成功将掌心压力峰值从 280 kPa 降至 190 kPa。同时,手柄表面包覆了 Santoprene 热塑性弹性体,摩擦系数从 0.85 提高至 1.25,增强了防滑性能。

2.2.2 安全保护机制

为了保障操作者的安全,本研究在设备中集成了多项安全保护机制。如红外感应模块,能够探测 0–15 cm 范围内的障碍物,响应时间不超过 8 ms;过载保护机制,在电流超过 12 A 时自动切断电源,有效防止了设备因过载而损坏。

3.关键性能优化研究

3.1 轻量化设计

轻量化设计是本研究的重点之一。通过对设备各部件的材质进行替换和优化,成功实现了整机重量的显著降低。如外壳材质从 ADC12 铝合金替换为碳纤维增强 PA6,减重率达到 41.7%;齿轮组材质从 20CrMnTi 替换为粉末冶金

Fe-Cu-Ni, 减重率为 28.3%; 刀片支架材质从 304 不锈钢替换为钛合金 TC4, 减重率为 35.6%。

3.2 振动抑制方案

振动是园林电剪刀作业过程中产生的主要副作用之一, 对操作者的身体健康和工作效率都有严重影响。本研究采用了三级减震系统来有效抑制振动。其中, 橡胶-金属复合基座具有 0.25 的阻尼比, 能够有效吸收和消散振动能量; 悬臂式动力隔离架将动力系统与手柄部分隔离, 减少了振动的传递; 动态平衡配重块则通过补偿偏心量 (≤ 0.02 mm) 来进一步降低振动。实测数据显示, 在空载和切割 $\Phi 20$ mm 树枝的工况下, 本设计的振动值分别为 1.8 m/s^2 和 3.6 m/s^2 , 远低于传统设备的 4.3 m/s^2 和 9.1 m/s^2 。

3.3 能量管理优化

续航时间是园林电剪刀性能的重要指标之一。本研究通过采用 21700 锂电芯 (5.0 Ah) 和动态功率调节算法 (基于卡尔曼滤波预测负载), 成功延长了设备的续航时间。续航测试结果显示, 在持续修剪 $\Phi 15$ mm 紫薇枝条的工况下, 工作时间从 45 分钟延长至 118 分钟, 满足了长时间作业的需求。

4. 应用案例与效果评估

4.1 市政绿篱修剪项目

为了验证本研究的实际应用效果, 我们在上海市浦东新区世纪大道绿化带 (总长 8.2 km) 进行了市政绿篱修剪项目。实施结果显示, 单日修剪面积从 900 m^2 提升至 1215 m^2 , 设备故障率从 1.2 次/千小时降至 0.3 次/千小时, 操作者的肌肉疲劳度 (通过 EMG 测试) 下降了 32%。这些数据充分证明了本研究的实用价值和优越性。

参考文献

[1]手持式、可移式电动工具和园林工具的安全第 208 部分: 手持式电剪刀和电冲剪的专用要求 [J]. 电动工具. 2022 (3).

4.2 果园精细修剪应用

果园精细修剪对设备的切口平整度和修剪直径有着严格的要求。为了满足这些需求, 本研究开发了微型刀片组件 (刃长 60 mm, 厚度 1.2 mm) 和高精度伺服电机 (定位精度 $\pm 0.1^\circ$)。实际应用结果表明, 切口平整度 $Ra \leq 50 \mu\text{m}$, 有效防止了病菌的侵入; 最小修剪直径达到 $\Phi 3$ mm, 满足了柑橘类新梢的修剪需求。同时, 切口愈合时间缩短至 5 天 (传统工具需 7-9 天), 误剪率 $\leq 0.5\%$, 显著提高了果园的修剪效率和质量。

5. 结论与展望

本研究通过多学科协同创新, 成功开发出新一代园林电剪刀。该设备在轻量化设计、振动控制和能量管理等方面都取得了显著的成果, 符合人机工程学要求 (NIOSH 抬举方程 LI 值 ≤ 1.0), 振动控制技术达到国际先进水平 (比 STIHL 最新机型低 42%), 在市政、果园等场景验证了实用价值 (综合效率提升 35% 以上)。

然而, 本研究仍存在一些不足之处和待改进的地方。例如, 设备的智能化程度还有待提高, 目前尚缺乏基于物联网的智能诊断系统来实时监测设备的工作状态和预测故障; 同时, 对于生物可降解材料的刀具应用也值得进一步研究和探索, 以降低设备对环境的影响。

因此, 未来的研究方向将主要包括以下几个方面: 一是开发基于物联网的智能诊断系统, 实现设备的远程监控和故障预警; 二是研究生物可降解材料的刀具应用, 提高设备的环保性能; 三是继续优化设备的轻量化设计和振动控制技术, 进一步提高产品市场占有率。