

36V 锂电茶树修剪机设计

刘景成 王军 刘计东
(山东华盛农业药械有限责任公司 山东 临沂 276600)

摘要: 与以汽油机为动力的手持工具相比, 以电能为动力的手持工具可满足颗粒排放标准要求。本文以安全电压 36V 电源为基础, 设计一款茶树修剪机, 根据电池外形尺寸及重量, 设计电池结构为背负式, 电动机与齿轮传动机具以法兰连接为一体。本文设计的茶树修剪机续航时间长、重量轻、切割效率高, 可无极调速, 满足不同工况下的使用要求, 可有效降低劳动负荷, 提高操作舒适性。

关键词: 茶树修剪机; 背负式; 续航时间; 舒适性

0 引言

采茶工作人员平均年龄较大, 茶树修剪工具的重量对操纵的舒适性影响尤为明显。锂电产品重量轻, 操纵舒适性强, 修剪效率高, 续航能力强, 对比以汽油机为动力的工具, 具有明显优势。操作上, 锂电茶树修剪机可以设置无级调速模式, 对应不同疏密程度, 有助于提高整机续航能力。另一个影响机具续航能力的因素是空载负载, 减小空载损耗可有效提高续航能力, 也可提高机具运行的流畅性。

1 锂电茶树修剪机工作原理

1.1 锂电茶树修剪机动力来源

36V 锂电茶树修剪机电源是以 18650 (18 代表柱状直径为 18mm, 65 代表电池高度为 65mm, 0 代表电池的形狀为圆柱形) 柱状电池为基本电池单元, 集成 (通过柱状电池的串并连) 的 36V、20Ah 电池包, 对电动机提供电能。因在实际工作中, 工作负荷动态变化, 为保证电动机输出功率的稳定性, 需要一款控制器动态调整电动机输入电流, 进而稳定输出功率。控制器主要性能指标包括输出部分的工作电压、工作温度范围、最大工作电流及短路保护电流。电动机通过电动机法兰面与箱体法兰面固定, 电动机输出轴通过不同的连接结构 (一般为螺纹结构) 与传动结构连接, 从而向外传递动力。工作原理结构简图如图 1 所示。

1.2 传动箱工作原理

传动箱工作原理图如图 2 所示。齿轮轴上端通过螺纹与电动机相连接, 并通过法兰进行固定。下

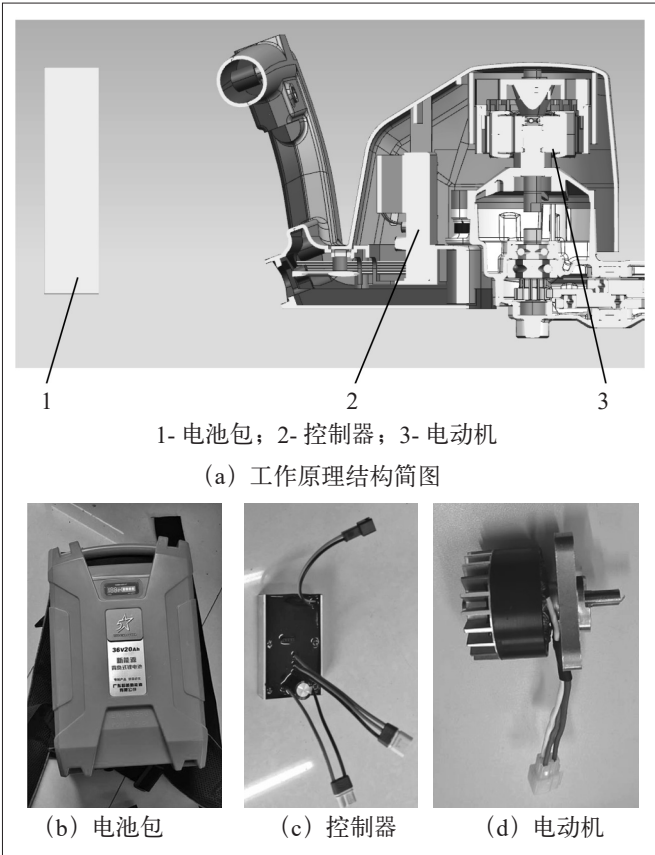


图 1 锂电茶树修剪机组装图

端齿轮与凸轮轴压合齿轮啮合传动。凸轮轴压合通过上下凸台连接连杆大端, 连杆小端带动剪刀铆合上及剪刀铆合下做往复运动, 并通过垫片控制间隙, 进而带动刀片做往复运动完成切割。齿轮轴与凸轮轴压合为斜齿配合, 传动比为 48 : 14。电动机输出恒定转速 8000r/min, 此传动比可让剪刀转速达到

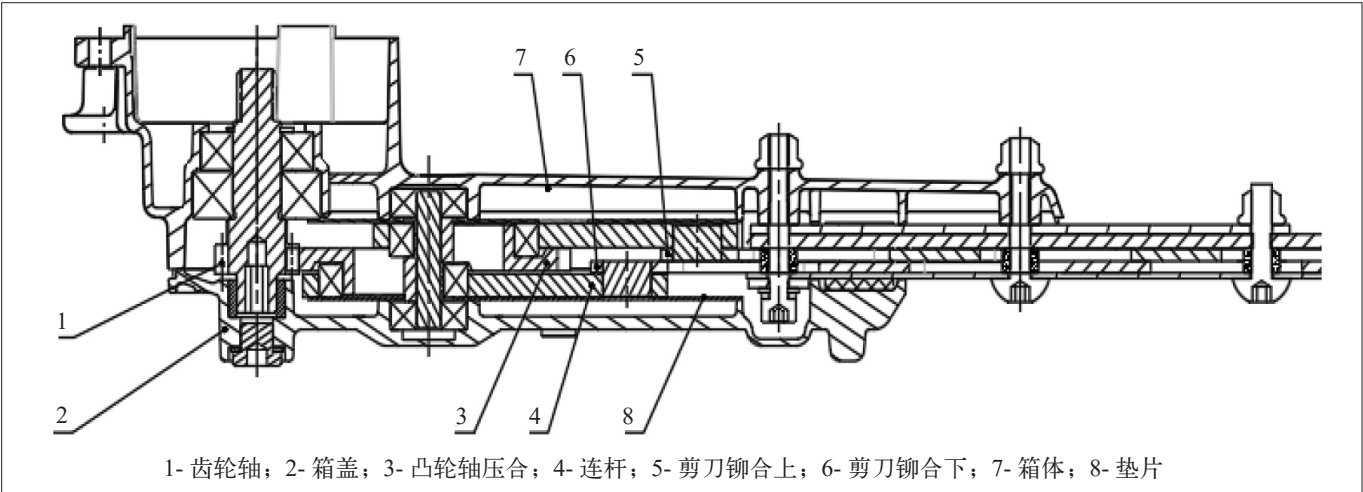


图2 传动箱工作原理图

2500r/min 左右，使其具有较为优秀的切割效率。

2 整机结构设计及参数测试

整机重量、续航能力和切割效率是评价茶树修剪机的重要指标。测试内容主要涉及电压、电流、功率及电动机转速等。

2.1 电池、控制器、电动机设计基础

通过 18650 电芯（3.6V/2.5Ah）的串并连设计，集成 36V、20Ah 电池包。电池包的性能指标如表 1 所示。

表 1 电池包性能参数指标

项目	规格	备注
标称容量	2000mAh	在 25℃，标准充电后，0.2C 放电至 27.0V
最小容量	1800mAh	在 25℃，标准充电后，0.2C 放电至 27.0V
标称电压	36.0V	3.6V
充电电压	42.0V	4.20V
放电截止电压	27.0V	任意一节电池电压低于 2.70V 停止放电
内阻	$R \leq 150\text{m}\Omega$	—
充电温度条件	0 ~ 50℃	温度过高，导致电池自我保护，不再充电
使用温度条件	-20 ~ 55℃	温度过高或过低，导致电池自我保护，不再充电

想要达到恒定转速输出，控制器需要在外界负载增大的同时，控制电动机电流电压的输入，增大输入电流，从而稳定电动机的输出转速。在输电过程中控制器放热，为保护控制器本身，需要对控制器进行过热保护设置。控制器性能参数如表 2 所示。

控制器对外连接线包括电动机线、电源线、启动开

表 2 控制器性能参数

项目	详细内容	标准
过充保护	过充电检测电压	$(4.25 \pm 0.05)\text{ V}$
	过充电解除电压	$(4.13 \pm 0.1)\text{ V}$
过放保护	过放电检测电压	$(2.8 \pm 0.1)\text{ V}$
	过放解除电压	$(3.0 \pm 0.1)\text{ V}$
	额定工作电流	8A
过流保护	过电流保护电流	$(33 \pm 5)\text{ A}$
	保护解除条件	断开负载
	检测延迟时间	100 ~ 300ms
短路保护	保护条件	外部电路短路
	保护解除条件	断开短路电路
温度保护	充电温度保护	$(55 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$
	充电温度保护解除	$(50 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$
	放电温度保护	$(75 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$
	放电温度保护解除	$(60 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$
内阻	主回路通态电阻	60mΩ Max
消耗电流	工作时电路内部消耗	50μA Max

关线及电池包通讯线，如图 3 所示。电动机线为与电动机连接线，提供电力，控制输出电流大小。电源线为与电池连接线，主要控制输入电流大小。开关线可控制整机启动。电池包通讯线为弱点线，控制开关线路，调整速度。

电动机是三相九绕组六极内转子电动机，三相绕组采用星形联结方式。电动机工作时，线圈和换向器旋转，磁钢和碳刷不旋转，线圈电流方向的交替变化由随电动机转动的换向器和电刷完成。通过 N、S 极相互吸引的运动趋势，带动转子进行高速转动^[1]。改变电刷的位置，就可以改变定转子磁极的夹角，从而改变电动机的旋转方向。电动机性能参数如表 3 所示。

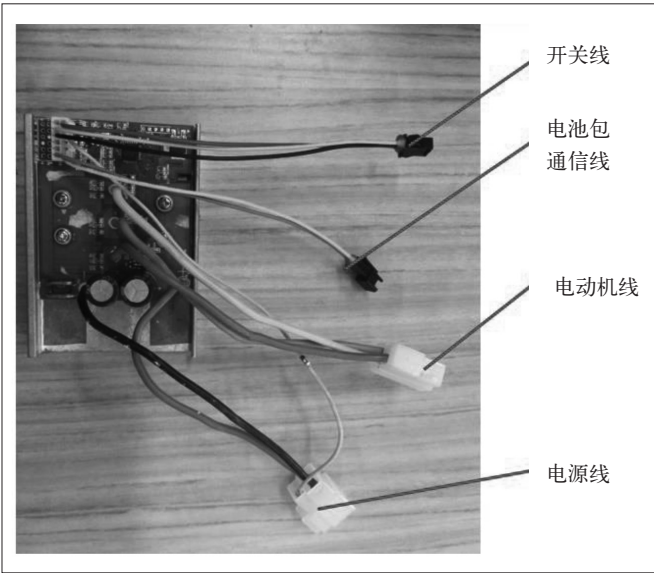


图 3 控制器组成部分

表 3 电动机性能参数

项目	规格	备注
额定电压	36V、DC	
空载转速	(8500±300) r/min	36V、DC 电压下测试
空载电流	< 3.7A	
额定输出功率	1000W	
额定转矩	1.3Nm	
额定转速	(7350±300) r/min	
槽极数	12 槽 14 极	
面向轴伸端方向电动机转向	逆时针	
耐压	AC600V/50Hz/5MA/1s	
绝缘电阻	冷态, 500VDC/1s	> 10MΩ

2.2 整机测试

锂电茶树修剪机的续航能力是衡量机器性能的重要参数。整机测试：利用 36V、20Ah 电池包充满电后，整机处在恒定高速状态下，分别对电流、电压、功率和电动机转速进行记录，直至对电池电压进行保护状态，整个过程耗时 5.33h。实际工况与试验工况虽有区别，但是空载试验能反映出电池、电动机、控制器的基本状态。电流、电压、功率、电动机转速随时间的变化曲线见图 4。电动机的经济指标主要指电动机实际运行过程中，因自身发热而损失的能量，其输入功率及损耗功率与时间关系曲线见图 5。电流、转速、功率、电动机效率与转矩的关系曲线见图 6。

由图 4 可知，整机启动时除了启动电流较大外，在达到电池保护电压前为恒定电流输出，也是恒定

功率输出，进而对应恒定转速输出。由图 5 可知，电动机自身损耗功率和电动机输入功率正相关。由图 6 可知，在一定范围内，电动机效率和电流正相关；当输出功率达到最大值后，电动机效率随输出功率的减小而减小（因电流增大，线圈放热增多，整体效率降低）。

3 整机将来优化提升方向

3.1 电池、控制器、电动机方面

现有电池包偏重，长时间背负产生的劳动载荷较大。可选用储存能量密度更高的电池，以减小电池重量与体积，可以使整机的续航能力更强。

控制器方面，现阶段最重要的是控制器的匹配性。良好的匹配性，可使电池、电动机满足不同的工况要求。现有控制器在体积及发热方面有待提升。为避免控制器过热自保护，需要增大散热片的体积，过大的散热片导致控制器整体的体积增大，在整机设计时，控制器的位置就会受到限制。

电动机效率有待提高。电动机效率与铜芯缠绕的圈数和极数正相关，但过多的极数和缠绕的圈数又是影响电动机成本的关键因素，将来可选效率更高的电动机进行装配^[2]。

3.2 机具轻量化设计

茶树修剪机中重量占比最高的部件是箱体和刀片。为了提高茶树修剪机的操纵舒适性，在设计之初，做了如下的改进：

（1）箱体方面，为了减小箱体的体积，选择斜齿以达到减小中心距的目的。对于齿轮本身，增加三个减重孔，不仅能够减少齿轮重量，同时可使箱体内润滑脂上下流动，降低箱体温度。

（2）剪刀方面，提高强度，降低重量。加工方式由冲压成型改进为激光切割成型，使尺寸更加精准，同时能够避免冲压成型造成的暗伤。对剪刀刀架增加减重孔，达到轻量化目的^[3,4]。

4 结语

本文设计的锂电茶树修剪机具有续航时间长、切割效率高、重量轻等特点，同时无需考虑排放问题。相对于以汽油机为动力的小排量茶树修剪机，锂电茶树修剪机在性能上具有较大的优势，唯一不足是成本相对较高。随着锂电产品的不断推广，成本控

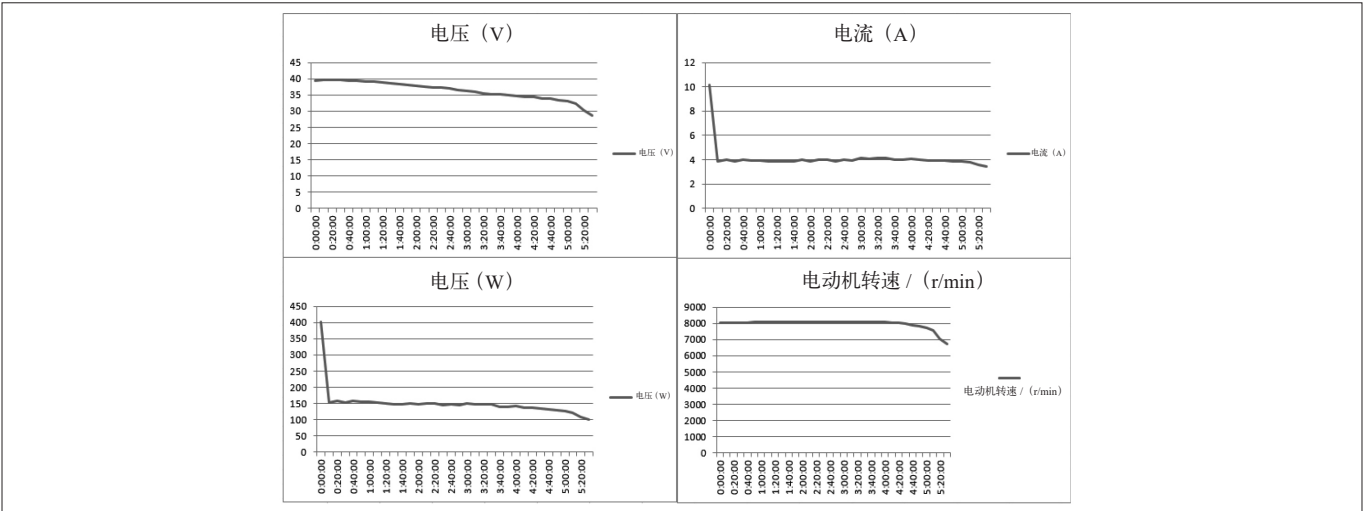


图 4 电压、电流、功率、电动机转速变化曲线

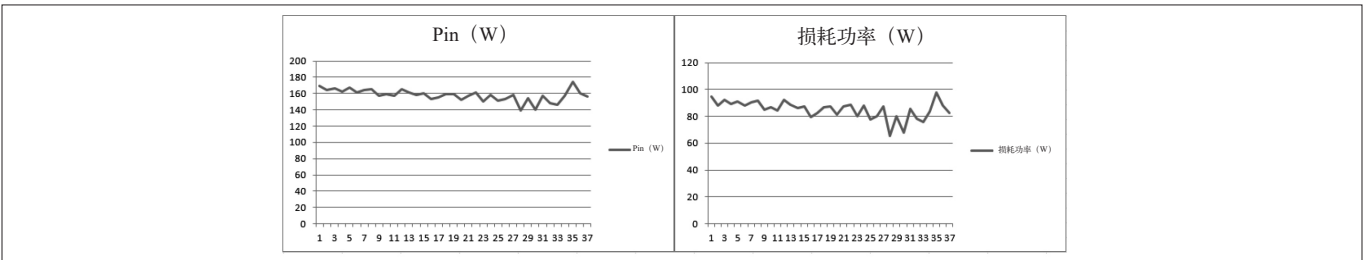


图 5 电动机输入功率及损耗转速变化曲线

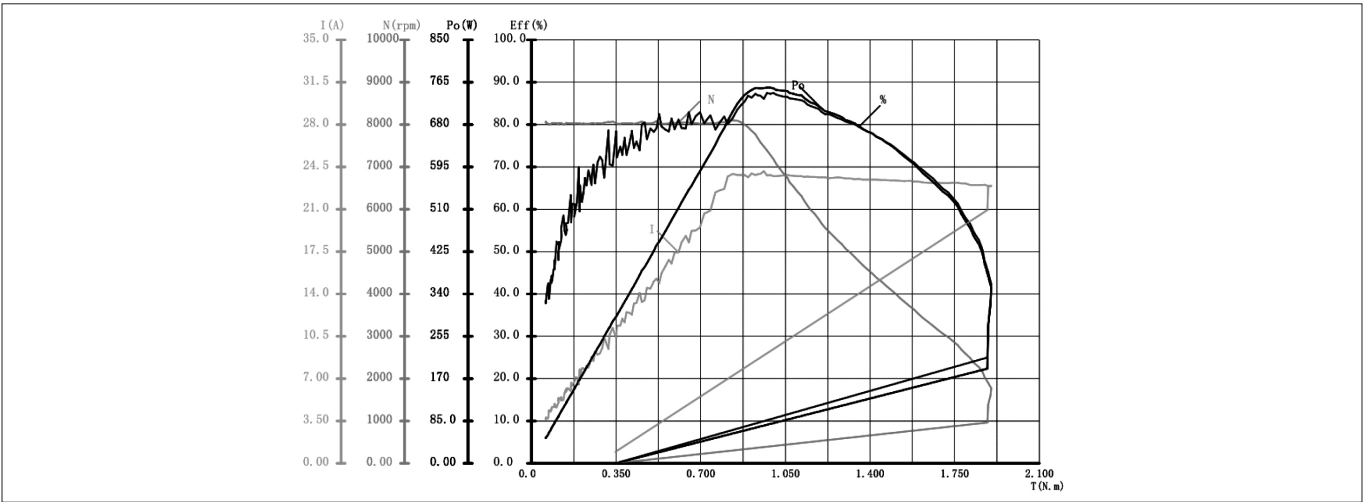


图 6 电动机特性曲线

制方案的不断改进，锂电茶树修剪机的市场竞争力将得到进一步提高。

参考文献：

[1] 杨耕, 罗应立. 电机原理与电力拖动系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2022:6-7.
[2] 卢耀祖, 郑惠强, 张氢. 机械结构设计 [M]. 2 版. 上海: 同

济大学出版社, 2009:25-26.
[3] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计 [M]. 8 版. 北京: 高等教育出版社, 2006:246-248.
[4] 成大先. 机械设计手册 [M]. 4 版. 北京: 化学工业出版社, 2002:148-149.

作者简介：刘景成（1990.11-），男，汉族，山东临沂人，硕士研究生，工程师，研究方向：手持式园林工具。