

# 一种剪切设备的结构设计

唐白华\*, 赵天朋, 吴光文, 成 兴, 王春林, 赵文棋, 陈海伦, 李小虎, 黄 彪  
贵州理工学院机械工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年11月30日; 录用日期: 2023年2月3日; 发布日期: 2023年2月10日

## 摘 要

传统的剪枝机是以燃油为动力, 在内燃机的带动下, 使锯条运转, 实现锯断树枝。本文的自动剪切设备是丢掉了传统的以燃油为动力的形式, 采用类似剪刀原理, 利用充电电池提供电能, 通过控制器使其电机转动, 再经减速器减速后并且由电机轴方向输出换成垂直于电机轴的输出方向输出, 经齿轮的带动下, 实现剪刀的刀片运动, 从而能成功的剪枝。经实践证明该装置具有体积小、剪枝效率高、绿色环保等特点。

## 关键词

剪枝器, 自动, 果树, 环保

# Structure Design of a Shearing Device

Baihua Tang\*, Tianpeng Zhao, Guangwen Wu, Xing Cheng, Chunlin Wang, Wenqi Zhao,  
Hailun Chen, Xiaohu Li, Biao Huang

School of Mechanical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 30<sup>th</sup>, 2022; accepted: Feb. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: Feb. 10<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The traditional pruning machine is powered by fuel oil and driven by the internal combustion engine to make the saw blade run to cut branches. The automatic shearing equipment in this paper is to lose the traditional fuel driven form, adopt the similar scissors principle, use rechargeable batteries to provide electric energy, make its motor rotate through the controller, and then decelerate through the reducer, and change the output direction from the motor shaft direction to the output direction perpendicular to the motor shaft. Driven by the gear, the scissors blade movement is realized, so that the successful pruning can be achieved. The practice has proved that the

\*通讯作者。

文章引用: 唐白华, 赵天朋, 吴光文, 成兴, 王春林, 赵文棋, 陈海伦, 李小虎, 黄彪. 一种剪切设备的结构设计[J]. 机械工程与技术, 2023, 12(1): 38-45. DOI: 10.12677/met.2023.121005

device has the characteristics of small volume, high pruning efficiency, green environmental protection, etc.

## Keywords

Branch Clipper, Automatic, Fruit Tree, Environmental Protection

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着三农政策颁发, 要加强加快科技农业的发展, 农林业种植有了广阔的发展空间, 促进了山地土地资源的合理开发利用[1]。果树的修剪是各种水果生产中的一个重要环节, 它关系到树木的长势, 水果的产量以及品质的高低。目前, 国内的果树修枝工作基本上靠人工使用手动修枝剪和手锯来完成, 尤其是对于比较高的树枝, 修剪时需要登梯作业。这种方式劳动强度大、效率低, 而且还具有一定的危险性。国内果树气动剪枝机的生产刚刚起步, 作为关键部件的气动修枝剪还是以模仿国外的产品为主[2], 产品品种还比较少, 大多数产品以满足普通果园作业为主, 最大修剪高度在 5 m 以下, 最大修剪树枝直径为 25 mm, 对葡萄园和高大果树的修剪还缺乏相应的产品。另外, 许多产品的设计也没有针对本地区果农的作业需求做相应的改进。基于此背景下, 现设计了一种结构较小、质量轻便的自动剪枝器, 以满足果树剪枝作业的需求。

## 2. 工作原理

该自动剪枝器最重要的部分就是丢掉了传统的以燃油为动力, 并且以类似剪刀的剪枝方式来代替传统的锯条来实现剪断树枝, 其三维模型设计如图 1 所示。

剪枝器工作原理: 自动剪枝器是机械传动式修剪机械, 主要由动力系统、传动系统、剪枝工作系统等组成, 主要包括可拆卸电源电池、电动机、减速器、电路板、弹簧开关、剪刀口及其他辅件等部件, 各个部分通过机械连接组合成一个整体。在设计中做到了轻巧、合手, 执行部分采用了大马力的电动机为动力, 使用触碰开关来复位。在动刀片的锯齿最两边的外壁铸造上装长杆, 在动刀片运动时候, 只要刀片在打开或闭合刀一定的程度上, 长杆就会触碰到开关, 从而间接控制电机停止, 完成剪枝。通过实践证明该自动剪枝装置具有以下优点:

- 1) 达到小巧实用的效果, 且由原来的不可再生资源改为可再生资源, 起到了绿色环保的作用。
- 2) 自动剪枝器提出由电能代替电能方法, 可以做得电池的循环使用, 续航能力强, 效率高。
- 3) 自动剪枝器运用电池作为能量源, 减轻了重量, 在携带上非常的轻便; 而且充电后又可以继续使用; 没有大噪声, 没有剧烈的震动。

自动剪枝器主要参数:

剪枝直径  $\leq 25$  mm, 作业高度  $\leq 2$  m, 整机质量  $\leq 4$  kg。

## 3. 部件组成

### 3.1. 电源电池

锂电池具有绿色环保、环境温差变化适应性强、使用相对寿命较长和具备高功率承受力等特点, 移

动电源首选锂电池。锂电池通常分两大类：一类是锂金属电池：一般是使用二氧化锰为正极材料、金属锂或其合金金属为负极材料、使用非水电解质溶液的电池。另一类是锂离子电池：一般是使用锂合金金属氧化物为正极材料、石墨为负极材料、使用非水电解质的电池。表 1 为 4 种类型的锂电池对比[3]，通过对比几种电池，确定磷酸铁锂作为提供电源，电池结构如图 2 所示。

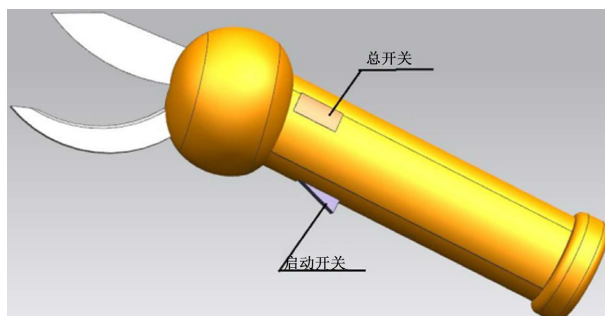


Figure 1. 3D model design drawing  
图 1. 三维模型设计图

Table 1. Comparison of four lithium batteries  
表 1. 4 种锂电池的对比

电池类型	标称电压/V	充电终止电压/V	放电终止电压/V	优点	缺点
钴酸锂电池	3.7	4.2	2.75	结构稳定、容量比高、综合性能突出、电化学性能优越、加工性能优异、振实密度大、能量密度高	安全性差、成本高
锰酸锂电池	3.7	4.2	2.00	振实密度大、成本低	耐高温性差，长时间使用过后温度急剧升高，电池寿命衰减严重
磷酸铁锂电池	3.2	3.6	2.00	寿命长、充放电倍率大、安全性好、高温性好、元素无害、成本低	能量密度低、振实密度小、低温使用性差
三元锂电池	3.7	4.2	2.75	高低温、循环、存储及各项电性能都比较平均，体积比能量高，材料价格适中，性能稳定	耐高温差、寿命差、大功率放电差、元素有毒

使用充电电池提供电能有以下优点：

- 1) 普遍具备可再生特性，可供人类永续利用；
- 2) 开发利用空间大；
- 3) 不含碳或含碳量很少，对环境影响小；
- 4) 分布广，有利于小规模分散利用。

### 3.2. 动力与传动

电动机是自动剪枝器的动力元件，结合本机小巧轻便、作业环境及作业对象等因素综合考虑，其标定功率为 3.5 W，最大功率 4.8 W，转速 3500 r/min。

减速器是在高速运转的动力通过减速机的输入轴上的齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速的目的，利用大小齿轮的齿数之比，得到传动比，从而得到需要输出的动力大小。减速器不但可以降低

速同时提高输出扭矩，扭矩输出比例按电机输出乘减速比，减速同时降低了负载的惯量，惯量的减少为减速比的平方。由于本装置的特性，采用一种行星减速器，行星齿轮传动分类如表 2，由一系列齿轮组成，由于产品类型多，结构紧凑，其应用日益广泛，可以作为转矩放大器[4]。减速器如图 3 中的 2 号结构所示。

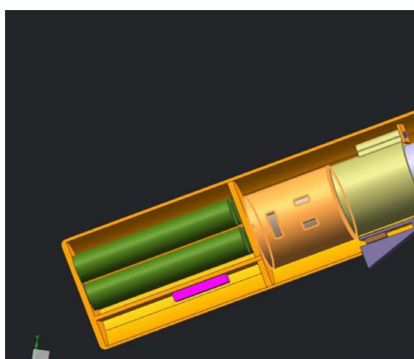


Figure 2. Battery structure of automatic pruner

图 2. 自动剪枝器的电池结构

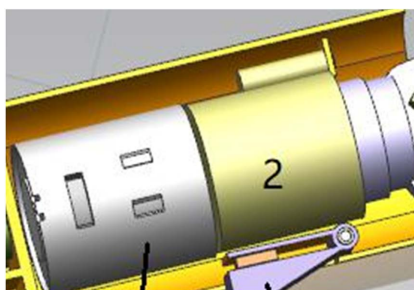


Figure 3. Reduction gear

图 3. 减速装置

Table 2. Common planetary gear transmission types

表 2. 常用行星齿轮传动类型

序号	按基本结构命名	按啮合方式命名	传动比范围	传动效率	特点
1	2K-H 型	NGW 型	2.8~12.5	0.97~0.99	加工与装配工艺简单，可用于任何情况下，单级传动
2	2K-H 型	NW 型	7~17	0.97~0.99	双联行星轮，加工与装配复杂，可用于任何情况下
3	2K-H 型	NN 型	30~100	效率低	制造精度较高，适用于短期间断工作
4	2Z-X 型	NGW 型	2.8~13	0.97~0.99	效率高，体积小，结构简单，可用于任何情况下
5	3Z 型	NGWN 型	20~100	0.8~0.9	结构紧凑，传动范围比较大，适用于短期间断工作
6	3K-H 型	NGWN 型	20~100	效率较低	制造与装配工艺性不佳，适用于短期间断工作
7	K-H-V 型	N 型	7~71	0.7~0.94	齿形及输出机构要求较高

本文设计为单级行星减速器，在传递动力时，行星轮数目越多越容易发挥行星传动齿轮的优点，但是行星轮数目越多，传动机构将会更复杂，制造难度增加，载荷不均衡等，一般取行星轮数目  $C_S = 3$ 。则：

传动比： $i = 5.2$ ；输入功率： $P = 3.5 \text{ W}$

根据齿轮强度及传动平稳性，取高速级太阳轮齿数  $Z_{A1} = 20$ ，由传动比条件， $Y = i * Z_{A1} = 104$ ；内齿圈齿数  $Z_{B1} = Y - Z_{A1} = 84$ ；行星轮齿数  $Z_{C1} = (Z_{B1} - Z_{A1}) / 2 = 32$ 。最终得：

输入轴转速： $n_1 = 3500 \text{ r/min}$ ；输出轴转速： $n_2 = 60 \text{ r/min}$

### 3.3. 剪切装置

#### 1) 剪切结构

剪切装置类似剪刀，其主要结构如图4所示，动刀片和定刀片的固定是需要一根轴穿过它们的轴孔，并用螺栓拧紧。在动刀片的尾部有延长一小块，且在这一小块上有齿轮在它的边缘，与这小块上齿轮相连的是主齿轮。动力由主齿轮传递给剪刀组件中动刀，动刀和定刀咬合完成剪切树枝动作，动作结束后由回位弹簧带动动刀回位，完成一次剪切动作[5]。

#### 2) 材料选择

考虑到需要减轻重量，对材料的密度、弹性模量以及抗拉强度等进行综合分析，参考表3进行材料的选择，选择45号调制钢作为刀片材料，这样选择既满足了工作要求也适用于经济性。

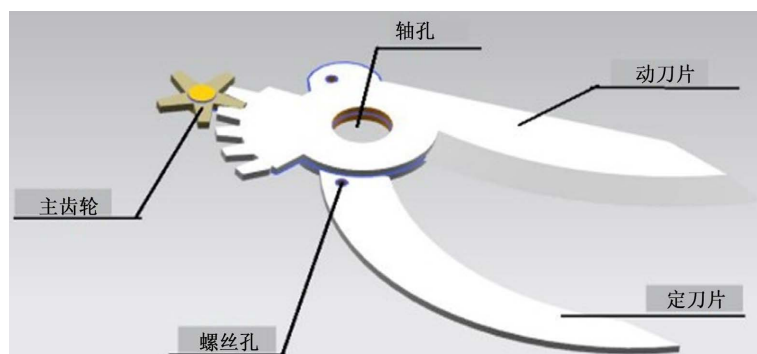


Figure 4. Shearing device

图4. 剪切装置

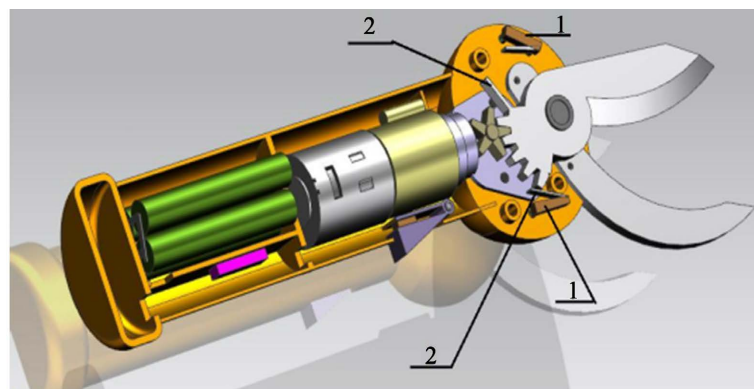


Figure 5. Overall internal structure. 1. Limit switch, 2. Long pole

图5. 整体内部结构。1. 限位开关，2. 长杆

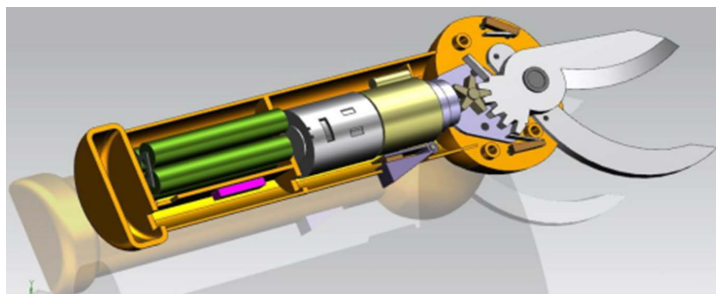
**Table 3.** Performance of each material**表 3.** 各材料性能

材料	密度 $\text{g/cm}^3$	弹性模量/GPa	剪切模量/GPa	抗拉强度/MPa
不锈钢	7.9	200	77	1100
铝	2.7	73	28	310
铝镁合金	2.2	41	26	290
钛	4.7	115	44	300
45 钢	7.9	200	370	600

### 3.4. 辅助装置

为了使剪枝器的动刀片在打开和闭合时开口都要在一定范围之内，在剪枝器的头部上下两部分都安装了有限位开关，而在动刀片的齿轮的两边固定有一根长杆在上边，当动刀片打开或闭合到一定的范围后，长杆就会按到限位开关的限位片，以此来使动刀片停止运动，如图 5 中的 1 号、2 号结构所示。

在手把里，主要有齿轮、减速器、电机、电池、电路板、启动开关等零部件，当在使用该智动剪枝器来剪枝时，只需要按住启动开关即可。此时，电路会接通，电动机高速转动，再通过减速器减速，最后又通过主齿轮的转动来输出动力，结构如图 5 所示。在剪枝器头部和手把的交接处装有一个滑动总开关，所有的开关都必须在总开关开启后才能运作。设计图与实物图分别如图 6、图 7 所示。

**Figure 6.** 3D display of pruner**图 6.** 剪枝器三维展示**Figure 7.** Physical internal structure of the pruner**图 7.** 剪枝器实物内部结构

## 4. 使用调查结果

此自动剪切装置符合大多用户的需求，并且在后面的技术发展及设计会按大众的需求方向去努力，

图下结果的分析是基于用户体验了该自动剪枝器后的实际感受。在使用人群中随机抽取 60 名用户进行问卷填写，并对填写的内容进行了数据统计和分析。制作统计图和分析结果如图 8~10 所示。

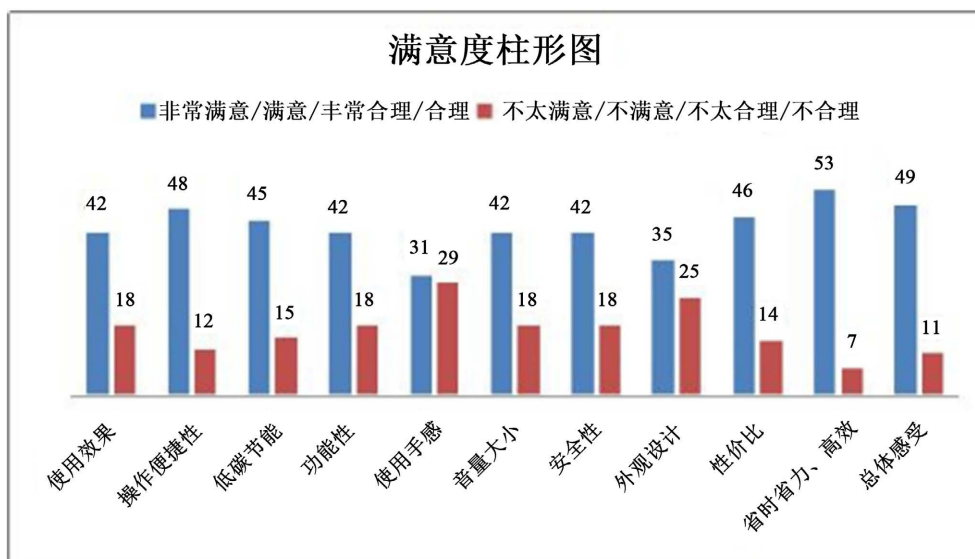


Figure 8. Column chart  
图 8. 柱状统计图

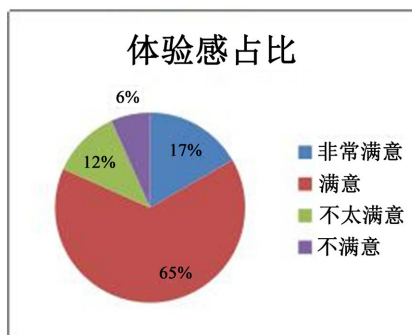


Figure 9. Perception of experience  
图 9. 体验感占比

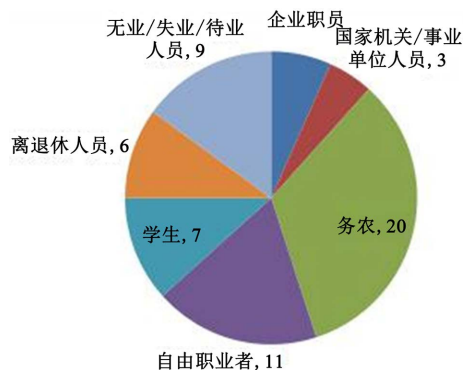


Figure 10. Proportion of investigators  
图 10. 调查人员占比

由以上三个图表可知,在 60 名用户体验者中,65%的用户总体觉得满意,17%的用户觉得非常满意,综合来说共有 81%的用户在体验感上都是比较好的。其中产品的省时省力效率高,操作便捷性这两个方面平均达到 84%的满意度,由此可以看出自动剪枝器在这两个方面做得尤为突出。但是在外观设计和手感上用户的满意度平均只达到 55%的满意度,说明在用户群体中有一部分人群是比较重视外观和手感的,应对此做出改进以达到更高的满意度。在产品的其余七个方面,包括使用效果、低碳节能、功能性、噪音、安全性、性价比等方面都是比较满意的,平均满意度达 71.9%。

## 5. 结论

实现果树修剪机全机械化和自动化对发展农业经济、提高管理效率、降低成本具有重要现实意义[6]。当前,我国果园多零散分布在丘陵、山地,剪枝机械化占比低[7]。受条件限制,本文所设计的剪枝器还有部分内容并未完善,如使用过程中剪枝器力学性能变化以及剪切数据等还需完善,后续也会逐一解决剪枝器续航使用时间、使用舒适度等相关问题与技术。如何优化剪枝机械性能、实现智能化、机械化程度,是作为未来枝条修剪的重要发展方向,不断探索研究自适应能力强、通用性好、多功能集成的剪枝机械。

## 基金项目

高层次人才启动项目(XJGC20190927);贵州省科技计划项目(黔科合基础[2019]1152 号);国家级大学生创新创业训练计划项目(项目名称为自动化剪枝控制系统设计,项目编号为 202114440047)。

## 参考文献

- [1] 李少云,张晖,谢康.自动剪枝器的研究设计[J].科技风,2014(9):30.
- [2] 李凤鸣,邢硕,翟雯雯.气动果树剪枝机研发方向的探讨[J].林业机械与木工设备,2011,39(11):8-10.
- [3] 周嫣.三元锂电池在新能源汽车上的设计与应用[J].北京工业职业技术学院学报,2020,19(4):4-9.
- [4] 王亚芹,钱斌,徐冠军.行星减速器机械效率影响因素分析[J].芜湖职业技术学院学报,2021,23(4):41-44.
- [5] 陈翊栋,刘轶.果树气动剪枝机工作原理及现状[J].农业机械,2008(25):54-56.
- [6] 李守根,康峰,李文彬,周三章,韩雪梅.果树剪枝机械化及自动化研究进展[J].东北农业大学学报,2017,48(8):88-96. <https://doi.org/10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2017.08.011>
- [7] 张德学,秦喜田,刘学峰,李青江,闵令强,任冬梅.国内外果园枝条修剪研究进程与配套设备[J].中国果树,2021(2):6-12. <https://doi.org/10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2021.02.003>