

适用于复杂地形的割草机的设计

钱继明, 褚园*, 史俊超, 张晓鑫, 张鲜飞

黄山学院, 安徽 黄山

收稿日期: 2022年5月10日; 录用日期: 2022年6月9日; 发布日期: 2022年6月16日

摘要

目前国内割草机大多适用于在平坦地面上进行杂草割除的工作, 难以适应复杂地形的工作要求, 且目前大多割草机以旋刀式割草为主, 安全性低且噪声较大。为此通过理论分析和三维模型设计, 设计一款既适用于平地切割, 又适用于复杂地形的小型手推式割草机。该设计克服了现有的手推式割草机在复杂地形割草作业时出现沙石卡住刀片或传动装置、行动轮抓地不牢出现打滑以及前进动力不足等问题, 力求割草机能够在复杂地形中更加高效的工作。

关键词

割草机, 复杂, 地形

The Design of Lawn Mower Suitable for Complex Terrain

Jiming Qian, Yuan Chu*, Junchao Shi, Xiaoxin Zhang, Xianfei Zhang

Huangshan University, Huangshan Anhui

Received: May 10th, 2022; accepted: Jun. 9th, 2022; published: Jun. 16th, 2022

Abstract

At present, most domestic lawn mowers are used for weeding on flat ground, which is difficult to meet the working requirements of complex terrain. Rotary blade mowers are mainly used in most lawn mowers, with low safety and high noise. Therefore, a small hand push lawn mower suitable for both flat cutting and complex terrain is designed, through theoretical analysis and three-dimensional model design. The problems of the existing hand push lawn mower, such as sand and stone blocking the blade or transmission device, the loose grip of the action wheel, slipping and

*通讯作者。

insufficient forward power are overcome, so as to make the lawn mower work more efficiently in complex terrain.

Keywords

Lawn Mower, Complex, Terrain

Copyright © 2022 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

世界上第一台割草机于 1830 年问世,发展至今已有超过百年的历史。随着我国现代化果园、茶园、牧草产业的发展,割草机逐渐成为果园、茶园以及牧场生产环节中必不可少的设备。随着时代的发展,科技的进步,市场对割草机的需求也在逐年增加[1]。对如今的割草机市场而言,国外相对于国内的割草机研究起步较早,技术已经十分成熟。尤其是在欧美以及日本等发达国家,割草机技术已经处于世界领先地位。但国外割草机价格昂贵,在国内使用时也会出现零件不适配以及与国产动力机械配套性差异较大等问题,导致维修成本较高。而且国外割草机大多是体积大、功率大的大型自动化割草机,这对于以平原和地势平坦的牧场为主的欧美地区是十分适用的,而对山地、丘陵等地区这些大型设备就不再适用。目前,在山地、丘陵地带使用的割草机大多是采用履带轮,虽然能够完成复杂地形的行走,但机器体积较大,并不适用于小规模除草作业。国内割草机主要以旋转刀式割草机、滚刀式割草机为主,与国外发达国家相比还是比较落后,故研究一款适合在复杂地形工作的割草机对于我国的市场需求是十分必要的[2]。

目前国内市场上常见的国产通用割草机设备仍以背负式割草机为主,这种割草机存在质量大、振动强烈、作业区域内粉尘多等缺点,长期作业严重影响操作人员的身体健康。欧美国家的大型割草机更多的运用在平原地区,而国内的果园、茶园等种植区大多是放置在地势不平坦的山坡上作业,并不适合,所以设计一款适用于复杂地形的小型割草机就显得尤为重要。

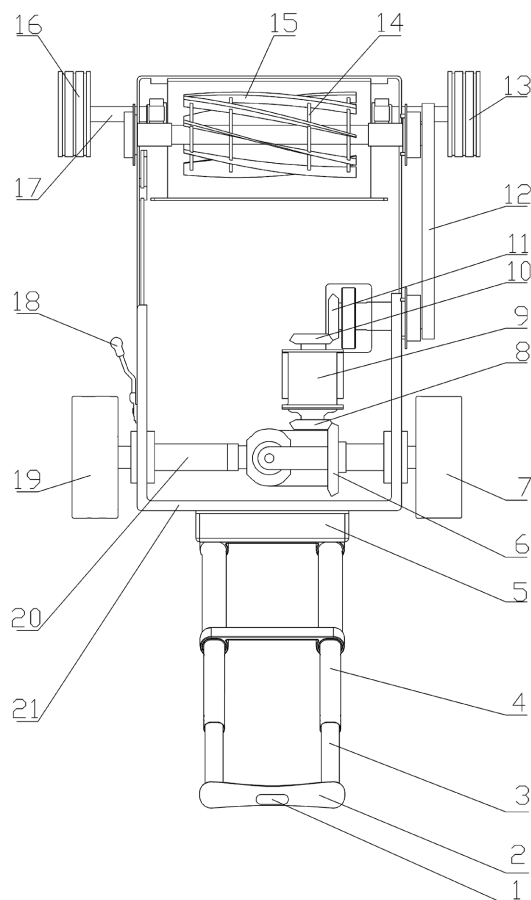
2. 适用于复杂地形割草机的需求

目前,割草机的应用普及度较高,能够广泛的运用于私人花园、公共绿地和专业草坪的草皮修剪,在园林机械产品的总需求中所占比重较大。但对适用于复杂地形割草机的研究国内仍处于初级阶段,可供参考的资料比较少。然而,果园、茶园等地形复杂的种植区,除草难度大。如南方地区很多种植茶叶的茶园大多以阶梯状种植在山坡上,在日常的除草工作上,一般的自动化除草设备是完全上不去的,背负式的割草机要一直背着然后再爬上山坡,费力费时,而且保护措施较差,茶树和杂草之间的距离很近,很容易出现将茶树也割断的情况出现[3]。因此对能适用于复杂地形、具有较高效率割草机的需求日益紧迫。

3. 割草机的总体结构和工作原理

3.1. 总体结构

本设计的割草机主要由推扶把手、滚筒割草装置、齿条和两个齿轮所组成的传动装置、前轮抬起装置、行动轮等几个部分组成。割草机设计结构原理图如图 1 所示。



1-按钮；2-扶手；3-上端伸缩杆；4-下端伸缩杆；5-垫块；6-锥齿轮①；7-右后轮；8-锥齿轮②；9-电动机；10-锥齿轮③；11-锥齿轮④；12-皮带；13-右前轮；14-刀片挡板；15-刀片；16-左前轮；17-前轮轴；18-手柄；19-左后轮；20-后轮轴；21-壳体

Figure 1. Schematic diagram of design structure

图 1. 设计结构原理图

割草机的推扶把手装置与割草机的主体框架相连接，把手采用了可调节的设计，可将拉杆拉长或者缩短以适应不同高度的割草工作，在平坦的地面除草工作时，可伸缩的扶杆也更适用于不同身高的操作者操作。

割草机采用直流电动机作为主要的动力来源，用手推把手来控制割草机前进的方向，通过电动机带动安装于电动机两端的锥齿轮转动，两端的锥齿轮分别带动后轮的转动和位于割草机前端的割草装置的转动，进而完成除草作业。

割草装置采用滚筒型，主要由轴，刀片以及刀片挡板组成。皮带传动装置由两个传动轮和皮带组成的传动装置。以及可调节前端高度的抬起装置，用于割草机遇到较大石块等障碍物时，抬高割草机的割草装置避免刀片的磨损。

3.2. 工作原理

本割草机由电动机提供动力，通过齿轮还带轮传动完成割草机的割草工作，并推动割草机的后轮向前运动。割草机的转向运动是通过在割草机的前轮上装的换向轴以及步进电机，配合割草机的推扶把手完成的。

4. 主要结构设计

4.1. 传动系统设计

在传动系统的设计上，由于割草机需要在复杂地形进行除草工作，所以传动系统的稳定性要求高，在整体传动装置上主要是利用齿轮传动将电动机的能量传递给后轮以及滚筒割草装置[4]。割草机传动系统如图2所示。

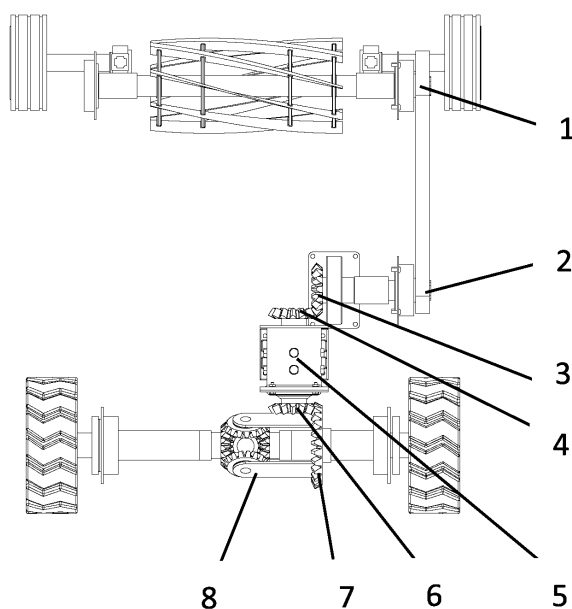


Figure 2. Schematic diagram of mower transmission system
图2. 割草机传动系统示意图

4.1.1. 滚筒割草装置的传动过程

在割草机的内部安置了一个电动机5，在电动机的前端连接锥齿轮4和锥齿轮3。当电动机启动时，锥齿轮4和3啮合传递转动，从而带动由带轮1和带轮2所组成的带传动装置。由于带轮1和割草机的滚筒割草装置在同一根轴上，伴随带轮1的转动，滚筒装置也随即转动进行割草作业。

4.1.2. 割草机主动轮的传动过程

由于齿轮传递运动可靠，瞬时传动比恒定且使用效率高，寿命长，结构紧凑，外尺寸小，更加适合在复杂环境中的工作。故主动轮的传动装置选用齿轮传动。

在电动机的下端安装了一个锥齿轮6，其主要作用是将电动机的转动传递给割草机的后轮使其前进。锥齿轮6与锥齿轮7相互啮合。通过锥齿轮7的转动，带动后轮轴上由锥齿轮8等五个锥齿轮组成的锥齿行星轮。在后轮轴上使用行星轮的结构使得传递转动的效率更高。锥齿行星轮的转动带动后轮的转动，从而完成割草机的前进和割草作业。

4.1.3. 割草机行动轮的仿真分析

结合相关理论分析，计算并设计了割草机滚筒割草装置的尺寸，利用solidworks对各个零部件和整体进行建模。并利用Inspire软件对各个零件进行应力仿真，进行改进优化。

在割草机行动轮的结构设计方面，可以通过Inspire软件对行动轮进行受力分析，利用分析结果作为依据，设计行动轮。

1) 行动轮的仿真分析

转轮首先设计选用半径为 120 mm，内圆孔半径为 20 mm，厚度为 50 mm 的普通碳钢，应力分析过程如下。

图 3 和图 4 分别为行动轮的应力图和位移图。对行动轮进行整体建模，为了方便分析和计算，对行动轮进行简化处理，不影响仿真结果。考虑到实际工作中，工作人员会将一些重物放在装置上，所以假定载荷 $F = 800 \text{ N}$ 。

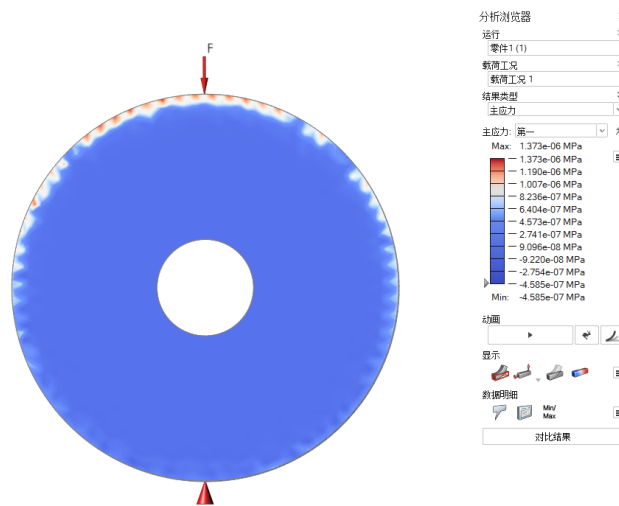


Figure 3. Stress diagram of action wheel

图 3. 行动轮的应力图

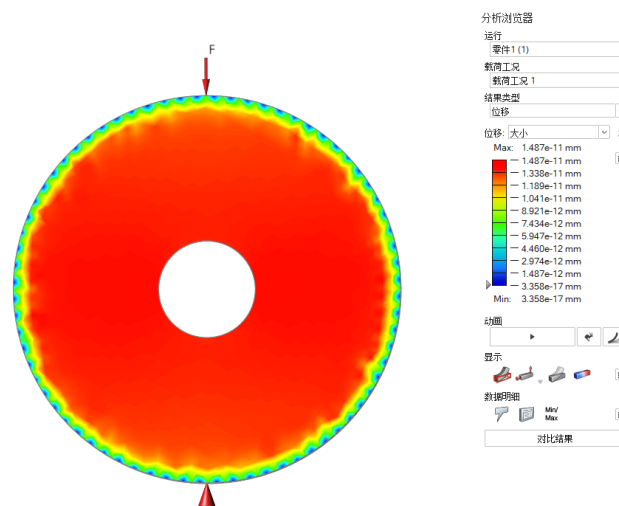


Figure 4. Displacement diagram of action wheel

图 4. 行动轮的位移图

通过仿真分析结果可以看出，转轮的最大应力集中在与地面的接触处，为 1.37 MPa，远小于材料的屈服应力。在位移图看出，行动轮的最大位移量发生在转轮的上方，这是因为转轮与地面出有固定约束，转轮的位移只能发生在相反的自由端。

从仿真结果可以看出，在对外圆优化后，在中间圆孔处产生了最大的位移。因此，可以根据仿真结果，对整个行动轮进行优化设计。

2) 行动轮的优化设计

通过仿真分析，可以看出行动轮设计存在的问题。现在对行动轮的外圆和内圆孔处进行加强设计，增加厚度，减少应力集中。整体材料改用 1060 铝合金，满足材料力学性能的同时，减轻了材料的重量。在转轮的中间部分，并没有发生应力集中，为了行动轮的美观和轻量化要求，在行动轮中间开阵列的孔。如图 5 所示。



Figure 5. Optimized action wheel hub model

图 5. 优化后的行动轮轮毂模型

在有限元静力分析中，必须采用足够的约束来稳定模型。为了便于分析和计算，将模型进行简化，提高运算效率，不影响仿真的结果。

优化后的割草机的行动轮半径为 200 mm，加强部分厚度为 40 mm，材料为 1060 铝合金。继续在相同面上施加载荷力 $F = 800\text{ N}$ ，进行静力学仿真。

图 6 和图 7 分别为优化后行动轮静应力分析图和位移图。可见最大应力发生在约束处，即为行动轮与地面接触处，且在载荷为 800 N 时，它的最大应力为 1.3 MPa，远小于材料屈服力，故行动轮选用 1060 铝合金满足要求。

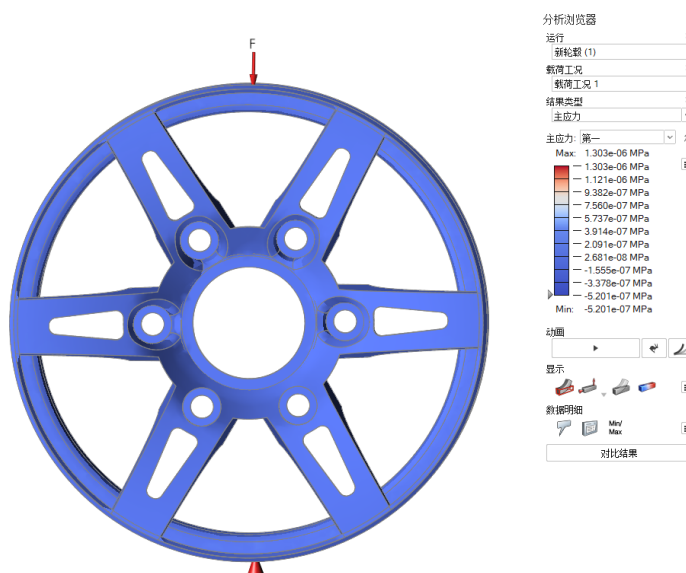


Figure 6. Stress diagram of rear driving wheel after optimization

图 6. 优化后行动轮应力图

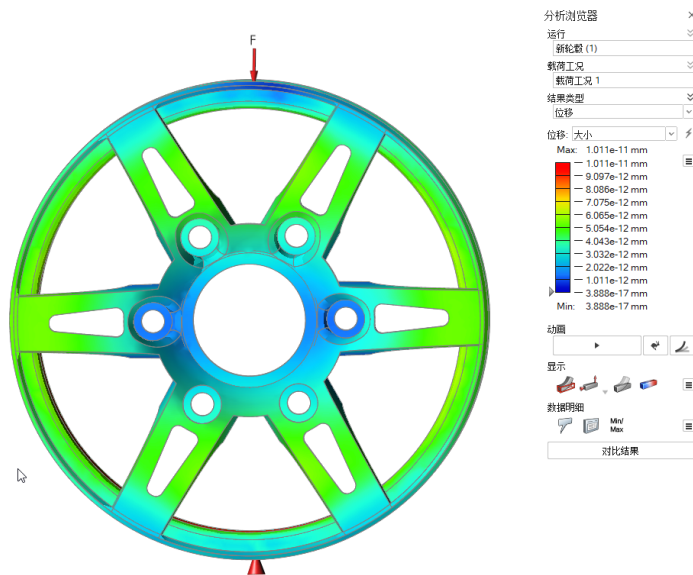


Figure 7. Displacement diagram of rear driving wheel after optimization
图 7. 优化后行动轮位移图

4.2. 扶手调节机构设计

本割草机采用的是手推的方式来控制割草机运动方向。由于割草机需要既能在平坦的地面上进行除草工作，又能够适应复杂地形的除草工作，所以割草机的扶手设计为可伸缩的方式[5]。扶手整体模型如图 8 所示。



Figure 8. Model diagram of handrail device
图 8. 扶手装置外形图

扶手是利用弹簧的伸缩原理来实现扶手的长度调节。在扶手上端安装一个按钮，在按钮的下方放置两个弹簧，当使用者按下按钮时压板下压使控制滑杆整体下压，在控制滑杆最前端有一个斜槽，当施加压力时，会将斜槽压进锁定滑块中，在锁定滑块下方有一锁定压簧使锁定滑块前端脱离卡槽使拉杆活动，然后即可通过拉动拉杆使滑块前端卡住另一个卡槽来实现扶手长度的伸缩。扶手伸缩装置模型如图 9 所示。

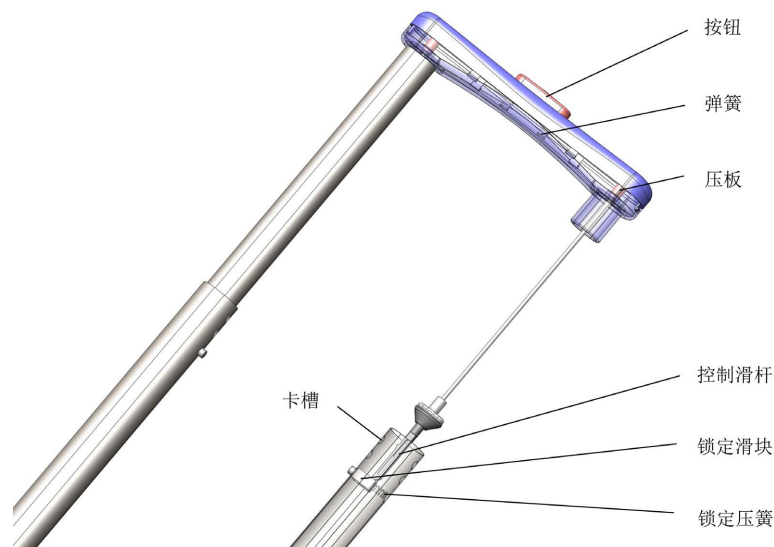


Figure 9. Model diagram of handrail expansion device
图 9. 扶手伸缩装置模型图

当将其割草机对家庭庭院或牧场进行除草工作时，可通过调节割草机扶手的长度以适应不同操作者的习惯，使操作者能够更好的使用。当将此割草机运用于复杂地形时，如种植在山坡上的果园和茶园时，采用可伸缩的扶把手，能够使割草机在有高度差的地形上更加的灵活，使操作者进行除草工作时，只需要通过调节割草机的扶把手对割草机的整体高度进而对高地形或对处于低地形的杂草进行除草工作。

4.3. 切割装置的设计

为使该割草机满足使用复杂地形工作，割草机的切割装置以及关键部位的设计显得尤为重要。切割装置的设计主要有滚筒刀片的结构设计，刀片使用的数量以及刀片安装在滚筒上的排列方式设计，整个滚筒割草装置的高度位置设计。滚筒刀片的形状、排列方式、数量等对整个割草机在进行割草工作时对杂草的切断效果以及振动有密切的关系，直接影响整个割草机在工作时的性能。

4.3.1. 滚筒刀片的结构设计

由于所设计的割草机需要适用于果园、茶园、丘陵等复杂地形的杂草清除的工作，且该割草机采用手推来调整割草机的方向，所以旋刀的方式不太适合该割草机的适用，采用滚筒式的割草装置会显得更加合适[6]。滚筒式的割草装置大多在滚筒上安装直刀片来切断杂草，但采用直刀片时割草的效率比较低且对杂草的切断效果也不是很好，所以为了更加适应所设计的这款割草机的工作环境，该割草机所采用有一定弧度的刀片，这种刀片在设计时让原本直的刀片呈一定的弧度，相对于普通直刀片，这种刀片在切割杂草时切割的效率更高并且推着割草机前进时，进入滚筒内的杂草在这种刀片的切割下切断效果更好，更适用于该割草机在复杂地形进行割草的工作[2]。在刀片的制作加工上采用的是3D打印的方法，当刀片磨损时，可通过3D打印得到新刀片进行更换。滚筒割草装置模型如图10所示。

4.3.2. 滚筒刀片的数量与排列方式

针对不同的工作环境，来合理安排安装在滚筒装置中刀片的数量，在保证在当前的工作环境下杂草切断质量，尽可能的减少刀片的使用数量，以此来减少整个割草机在运作时的动力消耗，降低割草机的作业成本。

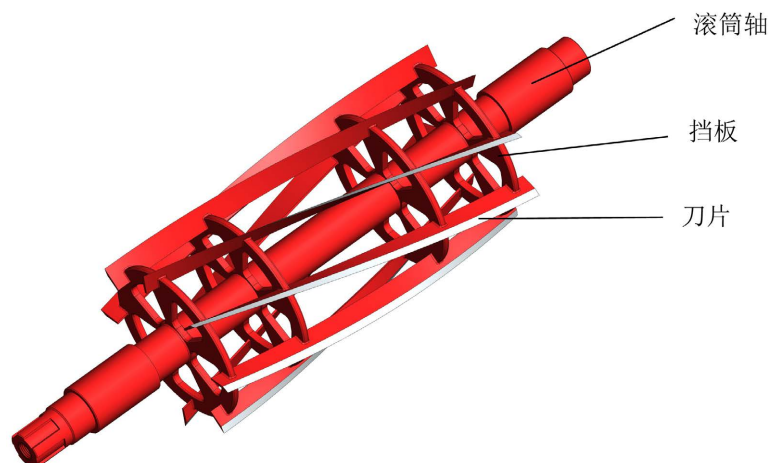


Figure 10. Model diagram of roller mower
图 10. 滚筒割草装置模型图

割草机实际使用刀片的数量受很多因素影响。首先，受不同工作环境的影响。在庭院或牧场的杂草种类单一且易切割的环境下，可选择使用少量的刀片。减少刀片的数量不仅可以减少割草机工作时的动力消耗，还可降低割草机的作业成本。在坡地或者茶园等复杂的环境下，根据作业要求适当增加的刀片数量，以确保割草机正常作业。其次，受工作具体需求的影响。作业幅度、割草前进速度不同，那么所选刀具的数量也不同。如果滚筒刀片数量过少，则会出现切割不彻底，部分杂草未被割到，缠绕割草装置，影响割草工作的进行。而滚筒刀片数量选择过多，则消耗的能量也会增多，过多的刀片数量也会间接的妨碍割过杂草的排出，造成杂草在滚筒中堵塞。

该割草机采用滚筒式的割草装置，刀片呈圆弧状，按圆周排列，工作时将合适数量的刀片均匀安装在滚筒上。为防止刀片在非工作面与杂草接触，在割草时导致不必要的磨损和因杂草挤压引起的刀具移位。为保护刀片，在滚筒的外围安装一定数量的挡板，滚筒上预设了卡扣的位置。根据不同的挡板数量和分布方式选择不同的卡扣来固定挡板。挡板的安装使整个割草装置工作更加稳定，效率更高。

4.3.3. 滚筒高度的设计

在滚筒割草装置上，为了适应不同的地形，在滚筒上设计了高度可调节的装置，根据所需割草的深度以及不同的地形来决定滚筒的高度。经调研，设定了滚筒高度的可调区间。

最低滚筒高度为 10 cm，割草机前方杂草地势低于割草机所处位置时，可调低割草机滚筒的高度，使其能够切割处于凹坑中的杂草。常用档为 15 cm。适用于割草机在牧场或庭院等平坦地面进行割草工作时，此时将滚筒调整到距离地面较近的位置，来得到更好的割草效果，提高工作效率。最高滚筒高度为 20 cm。适用于割草机在复杂地形工作时，遇到地面有石块或硬物，如果滚筒的高度过低就可能会导致滚筒的刀片和石块或土块进行碰撞，造成刀片磨损，甚至会导致刀片被破坏。通过滚筒高度的调节，使得割草机在处理不同地形的杂草时都能够达到割草的效果，不论是平坦的地面还是凹凸不平的地面都能通过调节割草机的滚筒高度来进行切割杂草的工作[7]。

5. 割草机的整体模型的特色

将割草机的各个部分组装在一起，得到滚筒割草机的整体模型图，如图 11 所示。采用前轮滚筒高度可调、改变刀具形状和排布方式等方法，克服了现有的手推式割草机在复杂地形割草作业时出现沙石卡住刀片的现象。对传动装置进行了设计和仿真，防止小车出现前进动力不足等现象。升级后轮轮胎，条

件允许的情况下，可以选用热熔轮胎；条件有限时，也可以选用防滑轮胎，增大轮胎的受力面积，防止出现行动轮抓地不牢出现打滑的现象。

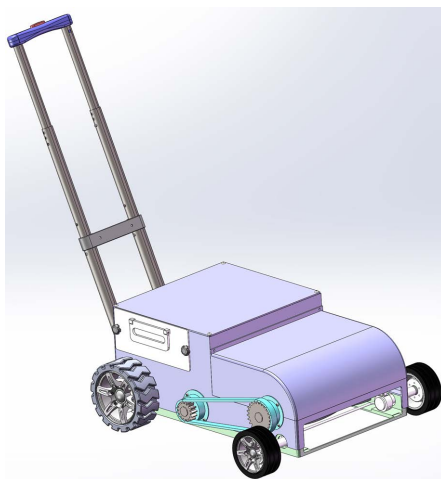


Figure 11. Overall model diagram of roller lawn mower
图 11. 滚筒割草机整体模型图

6. 结论

1) 运用齿轮、齿条以及锥齿行星轮的结构使割草机传动效率稳定。在割草机的传动系统采用齿轮传动为主要的传动方式，后轮轴利用锥齿组成的行星轮使割草机在工作中后轮转动稳定。

2) 运用可调节长度的推扶把手来适应不同操作者以及地形。在割草机推扶把手的设计上通过按动把手上的按钮来使得拉杆上的锁定滑块松动以及收紧来调节推扶把手的长度。

3) 运用滚筒割草装置以及弧面刀片来提高割草面积以及杂草切断率。相对于盘型割草装置，滚筒割草装置割草面积更大。相对于直刀片，弧面刀片在割草作业时切断率更高。

基金项目

黄山学院大学生创新创业训练计划项目资助(S202110375045)。

参考文献

- [1] 吕斌. 玉米收获机上配置秸秆切碎还田部件的研究[J]. 农业科技与装备, 2016(2): 23-24.
- [2] 陈玉华, 田富洋, 闫银发, 等. 国内外牧草收获机械发展现状及其趋势[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(3): 1-5.
- [3] 李雪军, 王鹏飞, 杨欣, 等. 果园莖面割草机设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(5): 47-52.
- [4] 王鹏飞, 刘俊峰, 高迎, 等. 随行自走式果园割草机的设计与试验研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(9): 99-103.
- [5] 祝福如, 张志荣. 一种可伸缩割草机[P]. 中国专利, 201620857372.0, 2016-08-10.
- [6] 熊永森, 王金双, 徐中伟. 小型往复式果园割草机设计[J]. 农机化研究, 2007(6): 68-69.
- [7] 王东清. 实用型多功能割草机的研制[J]. 林业机械与木工设备, 2003(31): 12-13.