

小型残膜回收机的设计与分析

李小虎¹ 罗峰¹ 杨苡霞¹ 罗莎²

(1 贵州师范大学机械与电气工程学院 贵州 安顺 550025; 2 贵州师范大学大数据学院 贵州 安顺 550025)

摘要: 残留的地膜将会对土壤、农作物、环境等诸多方面造成巨大危害。但是市场上的可降解的地膜的成本对于普通农民来说又难以支付,在山东等平原地区已经有了大型的残膜回收机器提高残膜的回收效率,但是目前却没有适合贵州的小型残膜回收机,因此此次的主要目标就是针对贵州山地地貌特色,计算设计出一款普通农民就能承担得起的且适用于贵州大多数土地的残膜回收机。

关键词: 小型; 残膜回收机; 旋转滚齿

0 引言

贵州地形特殊,山地崎岖不平,田地狭窄。因此现在市场上的残膜回收机在贵州使用一般存在着两个较为严重的问题:一是机体体积大,不便于在贵州田地面积不大的作业条件下开展作业;二是现存的残膜回收机普遍采用大型拖拉机作为动力源,拖拉机价格昂贵,普通农民可能无法承担。针对以上问题,我们专门讨论与拟设计了一款小型残膜回收机,该残膜收割机动力源借鉴贵州现已基本普及的微耕机的动力源为基础,以使其不仅使用与面积窄小的土地也适用于宽阔的土地。在山东等平原地区已经有了大型的残膜回收机器提高残膜的回收效率,但是目前却没有适合贵州的小型残膜回收机,因此此次的主要目标就是针对贵州山地地貌特色,设计适用于贵州大多数土地的残膜回收机。此外,针对农业机具要求尽量轻巧且性价比高的特点,设计结构较为合理的机型,解决大型或传统回收机在贵州无法正常开展作业的情况。

小型残膜回收机设计意义: 通过整个过程的设计计算,推出一款适用于贵州独特地貌的残膜回收机,解决贵州地区对残膜回收的问题,提高残膜回收的工作效率,解决贵州此类机器的空缺问题。

小型残膜回收机工作原理: 移动至目标田地后,小型残膜回收机由贵州已基本普及的微耕机作为行进动力源,拖动整机行进。工作前,通过松开固定螺栓螺母,调节随动轮高度调节卡槽与轮轴滑槽相对高度,使滚齿能插入土地,达到残膜回收深度。再固定好螺栓螺母,闭合电机开关开始残膜回收工作。工作时,整机由微耕机带动前进,滚齿在带传动的带动下逆着整机前进方向转动,挑出地膜。转动半周后地膜被梳齿梳落进入机体后部储存空间。收集一定数量的残膜后,可打开插销将后置掀板转动翻开,即可取出收集好的残膜集中处理。所述滚齿因在工作状态时高度要低于两随动轮,而在非工作状态时,为避免滚齿因与地面碰撞而损坏,因而需使滚齿离地高度高于两侧轮。两随动轮高度的调节可以根据操作者的需要来进行,见图 1。

1 传动主要部分设计方案

带传动结构如图 2 所示。

1.1 土壤阻力及电机功率的计算

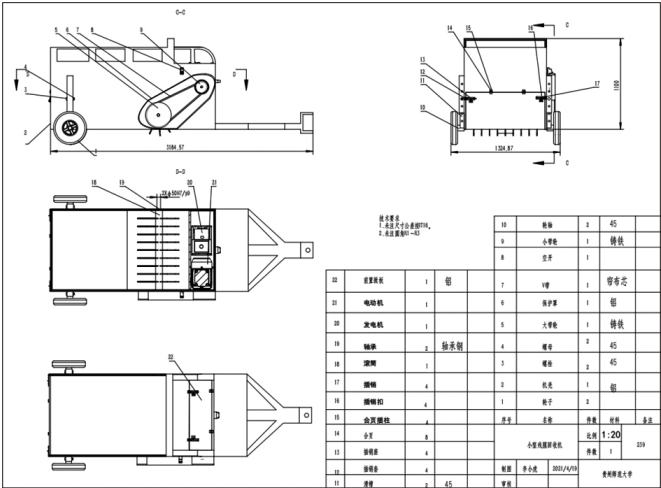


图 1 整机装配图

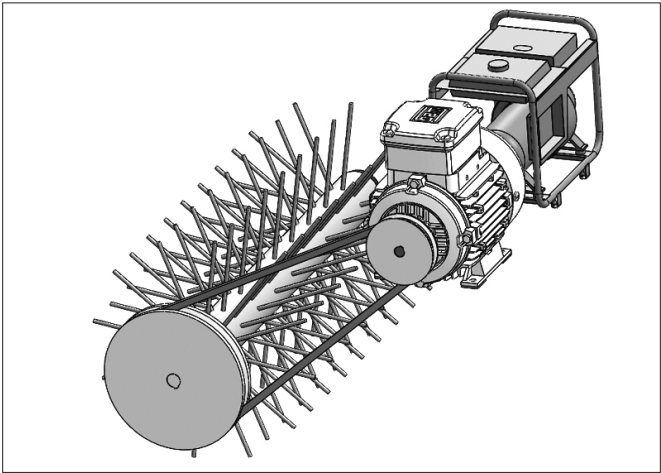


图 2 带传动结构图

因滚齿初步设计直径尺寸为 8mm,地膜深度在 2 ~ 8cm,工作时滚齿插入泥土的功能工作深度 h 约 2 ~ 10cm,很容易就知道滚齿插入土壤最深处时与土壤接触面积 S 为:

$$S = \pi d h = 3.14 \times 8 \times 10 = 0.24 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

1.1.1 土壤阻力的计算

根据农业机械设计手册可知:贵州地区的大部分为红壤土质,土壤阻比为 40~60kPa。可参考土壤阻比计算单根钉齿所受到的土壤阻力 $F_{阻}$,有:

$$K_i = \frac{F_{阻}}{ab} \quad F_{阻} = K_i ab$$

式中： K_i 成为土壤阻比； $F_{阻}$ 是土壤的土壤阻力，单位为 N； a 代表钉齿的工作深度，单位为 m； b 为钉齿工作宽度，单位为 m。

其中，查农用机械手册可得 $K_i=60\text{MPa}$ 、 $a=0.05\text{m}$ 、 $b\approx 0.01\text{m}$ 。因此，有：
$$F_{阻} = K_i ab = 60 \times 0.05 \times 0.03 = 0.09\text{kN}$$

此外，光由生活经验都不难得知滚齿挑开残膜时，所受阻力还会与地膜的厚度有关，又因国内地膜的厚度在 0.008mm 左右，且残膜面积在 $1 \sim 36\text{cm}^2$ 之间。面积实在是很小，正因如此，残膜对滚齿的阻力基本就可以忽略不计。

1.1.2 土壤与钉齿之间的摩擦力的计算
$$F_r = fF_y = 0.3 \times 60 = 18\text{N}$$

式中： F_r 是土壤与滚齿之间的摩擦力，单位为 N； f 指摩擦系数； F_y 是滚齿部件所受到的作用于垂直方向上的压力，单位为 N；
所以滚齿工作时水平方向上所受的合力为：
$$F_x = F_{阻} + F_r = 108\text{N}$$

所以单根滚齿所受合力为：
$$F_{合} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 123.55\text{N}$$

综上，机器工作时滚齿所受总阻力为滚齿根数 $F_{合} = Z \times 123.55 = 1111.95\text{N}$

1.1.3 电动机功率计算
电动机所需功率 P_w 应由机器工作阻力合运动参数计算求得，如

$$P_w = \frac{FV}{1000\eta_w} \text{ kW}$$

通过机械设计手册可查得机械传动和摩擦副的效率概略值，由手册表可知：

$$\eta_w = \eta_{滚动轴承} \times \eta_{V带传动} = 0.96 \times 0.98 = 0.94$$

因此，电动机所需功率 $P_{w\Box} = \frac{1111.95\text{N} \times 1.57\text{m/s}}{1000 \times 0.94} \approx 2\text{kW}$

1.2 电机的选定
因为此次设计的是适用贵州大多数土地环境的小型残膜回收机，其功率较大型农用机械相比，其电动机功率较低，故此次设计的电机选用小功率异步电动机。通过查阅机械设计手册不难得知，YC 系列的电动机不仅是采用了单相电阻起动的异步电动机，而且该类电动机还具有起动力矩大的特点，在起动电流小的工作环境能更好的适应工作需要，相较其他类型的电机，它更加适用于满载起动的机械。正因如此，根据所需功率和具体要求，初步选定电动机型号为 YC100L2-2。

其基本性能电动机参数如下表 1 所示：
1.3 其他参数的选择
主要设计参数如表 2 所示。

2 带传动结构设计
带传动具有运转平稳，噪声小且具有吸振、缓冲的作用，在发生过载时带与带轮将发生打滑现象，从而使其他零件不至损坏，即带传动的过载保护作用。其次，带传动的结构简单，制造安装及维护都较为方便，所以本次设计选用带传动

表 1 基本性能电动机参数

功率 (W)	电压 (V)	频率 (Hz)	额定转矩 (kN·m)	转速 (r/min)
2200	320	50	2.0	710

表 2 主要设计参数

外形尺寸 (长 × 宽 × 高) / (mm × mm × mm)	≈	3194 × 1304 × 1300
配套动力 (微耕机) / (kW)	≥	8.85
作业幅宽 / (mm)	≈	1000
作业深度 / (mm)	≈	80
牵引速度 / (km/h)	≈	1 ~ 4.3
作业旋转速度 / (r/min)	≈	0 ~ 150
连接方式	≈	牵引式

的传动方式。
2.1 皮带选型
V 带传动比较特殊，一般情况下 V 带传动相比于其他传动方式而言，会比其他几种传动方式更好地适用于中心距小和传动比大的工作环境，带传动的整体结构也比较紧凑，因此此次传动部分皮带类型选用普通 V 型皮带。

2.2 带轮的选用及带传动的主要几何参数
根据选定电动机的额定转速及执行机构滚筒的工作转速不难得出，带传动机构传动比：
$$i = n_1/n_2 = d_1/d_2 \approx 4.7$$

式中， n_1 给定为大带轮转速， n_2 给定为小带轮转速， d_1 为设置为大带轮直径， d_2 设置为小带轮直径。

因此初步设定大带轮直径为 470mm ，小带轮直径为 100mm 。

带传动的主要几何参数：
根据机械设计手册不难得知，带传动的主要几何参数有中心距 a 、带长 L (V 带为 L_d)、包角 α 和带轮基准直径 d 等。它们之间有如下近似关系：

带与带轮接触弧所对应的中心角成为包角，小带轮上的包角 $\alpha_1 = 180^\circ - 2\theta$

初步设定两带轮中心距 $a = 670\text{mm}$
因 θ 很小，一般取 $\theta \approx \sin \theta = (d_1 - d_2) / 2a \approx 0.28$ ，故：

$$\alpha \approx 180^\circ - \frac{d_1 - d_2}{a} \times 57.3^\circ = 148.36^\circ > 120^\circ$$
，合适
因此，带的基准长度 L_d 为：

$$L_d = \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + (d_1 - d_2)\theta + 2a\sqrt{1 - \sin^2 \theta} = 2284.9\text{mm}$$

再经数学变换可得：

$$L_d \approx 2a + \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4a} = 2284.9\text{mm}$$
$$a \approx \frac{2L_d - \pi (d_1 + d_2) + \sqrt{[2L_d - \pi (d_1 + d_2)]^2 - 8 (d_1 - d_2)^2}}{8} = 670\text{mm}$$

2.3 带传动的运动特性及失效分析
2.3.1 有效拉力的计算
正常工作时，一般情况下有效拉力 F 和圆周阻力 F' 相等。在具体工作环境中，也就是在带传动机构工作时，圆周阻力 F' 即为从动轮上的工作阻力矩 T_1' 所产生的作用在

圆周方向的阻力,即:

$$F' = 2T_1' / d_1 \quad ①$$

所以有正常工作时,有效拉力 $F=F'=2T_1' / d_1=1111.95\text{N}$

2.3.2 紧边拉力及松边拉力的确定

即有

$$F=F_1-F_2 \quad ②$$

再有当带刚要开始打滑时,紧边拉力 F_1 和松边拉力 F_2 之间存在下列关系

$$F_1=F_2e^{f\alpha} \quad ③$$

其中, e 为自然对数的底 ($e \approx 2.718$);

f 为带和轮缘间的摩擦因素 (根据带和带轮材质查常用摩擦系数参考表为 0.3~0.5, 取 $f=0.4$);

α 为传动带在带轮上的包角 (rad);

联立①②③三式可求得 $F_1=1759.15\text{N}$

$$F_2=647.24\text{N}$$

2.3.3 初拉力的计算

因带传动工作时,只有当最大摩擦力 $F_{\max} \geq$ 圆周阻力 F' 时,带传动才能保证不打滑,处于正常的运转状态。如果最大静摩擦力不足以克服最大工作阻力,则皮带将会在带轮上发生打滑现象,就有:

$$F_{\max}=2F_0 \frac{1-\frac{1}{e^{f\alpha}}}{1+\frac{1}{e^{f\alpha}}} \geq F=1111.95\text{N}$$

所以可求得带传动皮带所受初拉力 $F_0 \geq 1208.64\text{N}$, 选定初拉力 $F_0=1250\text{N}$

3 设计总结

通过这次对小型残膜回收机的设计计算,主要得出了以下数据:

(1) 通过初步对小型残膜回收机的整体设计,主要得出结构主体有,机身车壳,起膜机构,工作采用的动力源,带传动机构参数以及各个机身结构等组成。通过查阅已知资料再结合实际应用的需要,已经确定了小型残膜回收机的长×宽×高尺寸为 2500mm×1325mm×1100mm,工作时起膜机构的宽度为 1000mm 等这些主要的作业参数。

(2) 通过对小型残膜回收机钉齿结构的设计、滚齿的设计、梳齿的设计等主要零部件的设计,已经确定了最大工作深度 100mm,滚齿的工作宽度为 1000mm,直径为 500mm,单个钉齿的直径为 8mm 以及其他装置的设计数据。

(3) 通过对带传动系统的设计,确立了滚齿的转动速度的范围为 0~150 r/min,确立了带传动系统的运动特性及其主要参数。

(4) 通过对钉齿运动的运动学和动力学分析,可知钉齿在起膜的整个过程中没有较大的速度变化,位移的运动

规律符合设计的需要,加速度造成的冲击不会很大。所以,整机设计合理,可以满足正常工作需要。

4 结语

本设计的特点之一在于采用在贵州已经基本普及的微耕机作为动力源,机器挂置在微耕机后方由微耕机带动,最大限度减轻农民经济负担,且微耕机体积小,操作简单,使用方便,易于农民上手。此外采用独特仿梳齿结构,能将滚齿挑起的残膜“梳落”,方便收集。

基金项目: 本文为贵州省高等学校贵州师范大学大学生创新创业训练计划项目省级项目“小型残膜回收机”(编号: S202010663040)研究成果。

参考文献:

- [1] 严伟,胡志超,周新星,等.残膜回收机拾膜机构研究现状及展望[J].农机化研究,2016,38(10):258-262+268.
- [2] 高鹏.残膜回收机械化中存在的问题及其对策[J].江西农业,2017(09):29.
- [3] 谢建华,侯书林,刘英超.残膜清理回收机具的研究现状及存在的问题[J].中国农机化,2012(05):41-44.
- [4] 陈光东.旋齿式废膜回收技术在临夏州推广应用[J].农业机械,2020(08):86-87.
- [5] 杨思远.南方残膜回收机设计与试验[D].湖南农业大学,2018.
- [6] 周新星,吴努,严伟,等.耙齿式残膜回收机收膜机构参数优化与试验[J].中国农业大学学报,2017,22(05):90-98.
- [7] 张佳,王宏,尹君驰,等.铲筛式残膜回收机分离机构的设计及试验[J].中国农机化学报,2019,40(12):184-189.
- [8] 周乐,唐炜,谢建华.残膜回收机具研究现状及存在问题[J].新疆农机化,2019(05):13-15+32.
- [9] 甄健民.梳齿式耕层残膜回收机的设计与试验研究[D].塔里木大学,2019.
- [10] 蒙贺伟,李进江,王能勇,等.梳齿滚筒式残膜回收机的设计[J].农机化研究,2012,34(03):145-148.
- [11] 张吉兵,张静,杨宪章.小型残膜回收机的设计与试验研究[J].农机化研究,2015,37(12):214-217+221.
- [12] 胡洁.土壤残膜回收机的研究[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2016(05):193-194.
- [13] 张攀峰.旋耕钉齿式耕层残膜回收机的设计与试验研究[D].塔里木大学,2018.
- [14] 张攀峰,胡灿,王旭峰,等.旋耕钉齿式耕层残膜回收机起膜部件动力学分析[J].农机化研究,2018,40(04):14-18+2

作者简介: 李小虎(1998.04-),男,汉族,贵州安顺人,本科,研究方向:农用机械。