一种新型防风固沙、植被种植培养一体式修复机械

设

计

说

明

书

设计者：彭立军 陈翔 吕美昊 王锦松 余漩

指导教师：曹占龙 龚青山

湖北汽车工业学院科技学院

2022 年 3 月

一种新型防风固沙、植被种植培养 一体式修复机械

设计者：彭立军 陈翔 吕美昊 王锦松 余漩指导教师：曹占龙 龚青山

（湖北汽车工业学院科技学院，湖北）

摘要：随如今土地沙漠化问题越来越严重，生态防护和生态建设至关重要，而防风固沙林则是生态防护体系的第一道防线，是现在目前解决土地沙漠化的最直接最有效的方法.基于此自主设计了一款新型防风固沙、植被种植培养一体式修复机械，其分为防风固沙、植被培养装置和流水作业车构成，其中防风固沙、植被培养装置，主体由下端紧固装置和上端防风装置组成，可使防风固沙两种功能同时实现。创新设计的流水作业车能实现植入装置的智能装配，自动运输和植入。

关键词：防风固沙，植被培养，生态修复，土地荒漠化；生态防护；零件图；装配图；渲染；有限元分析；实物样机

**目录**

[作品内容简介 4](#_Toc21571)

[1 .设计背景及意义 5](#_Toc12155)

[1.1产品背景 5](#_Toc14378)

[1.2当前沙漠植被的种植情况 5](#_Toc1994)

[1.3目前沙漠种植的解决方法 6](#_Toc29138)

[2 设计方案 8](#_Toc10030)

[2.1工作原理 8](#_Toc29235)

[2.2整体介绍 10](#_Toc16267)

[3 控制系统设计概述 15](#_Toc15676)

[控制系统整体工作原理及选用原因 15](#_Toc44)

[4 理论设计计算 19](#_Toc31682)

[4.1总体尺寸设计 19](#_Toc4736)

[4.2电机选择 19](#_Toc28091)

[4.3强度与刚度校核 24](#_Toc2520)

[5 .部分结构的有限元分析 27](#_Toc18304)

[6 .实物照片 29](#_Toc17978)

[7 .创新点介绍 31](#_Toc6635)

[7.1创新点一 31](#_Toc2673)

[7.2创新点二 31](#_Toc9348)

[7.3创新点三 32](#_Toc18441)

[8 .市场前景及应用推广价值 33](#_Toc10795)

[9 .附录 34](#_Toc30691)

[1.专利受理书 34](#_Toc25554)

[2.参考资料 35](#_Toc19568)

# 作品内容简介

本作品为一种新型防风固沙、植被种植培养一体式修复机械。其中包含用于防风固沙、植被种植培养的装置和用于装配、植入该装置的流水作业车。

本作品主要运用于沙漠、荒漠边缘等风沙地区。用于生态防护和生态建设，其主要作用是防风固沙、解决土地荒漠化、水土流失等严峻问题。

其防风固沙、植被培养装置，包括伞状蹼爪、连接杆、种子舱、沙土钻头等结构组成。流水作业车由传送装置，姿态调整装置，上下机架、固定抓手，植入装置等机构组成。

防风固沙、植被培养装置，通过传送运输机构，姿态调整装置等到达预植入区域，随后植入装置向下旋转使其第一部分植入地下，之后回归原位。反复上述操作将植被培养装置的剩余部分，依次植入并完成装配。

植入地下的装置，通过顶部防风装置进行削弱风力，并通过伞状钩爪等装置，提供给装置强有力的抓地力。而连接杆处的种子仓采用可降解材料可提供种子一个优越的生长环境。

# .设计背景及意义

## 1.1产品背景

1）沙漠化的全球化影响

随着土地沙漠化侵蚀情况越来越严重，可用于耕种和建筑的土地急剧减少，自然灾害加剧。大面积区域的沙漠化不仅会严重影响生产发展，并且也使我们的生活环境遭到严重破坏。不止在我们国家，根据联合国的报告显示，全世界很多地区都面临着这种问题。怎样治理已经荒漠化的土地，让绿色的生态环境得到恢复，是一个急需解决的难题。

2）我国的治沙情况

我国是世界上荒漠及荒漠化土地分布较广的国家，中国的沙漠及沙漠化土地面积约为160.7万km，占国土面积的16.7%，我国土地沙漠化每年造成的直接经济损失有17.4亿～20.4亿元，全部经济损失可达近900亿元。近半个世纪以来，中国的沙漠化研究治理工作已经取得了一些令世人惊叹的成就，中国已成功遏制荒漠化扩展态势，荒漠化、沙化、石漠化土地面积近5年以年均2424平方公里、1980平方公里、3860平方公里的速度持续缩减，其中代表性的有三北防护林、京津风沙源治理等工程，但沙漠化点上治理、面上破坏、局部好转、总体恶化的局面仍未得到根本改观。

在2021年的植树节，国家林业和草原局有关负责人表示， “十四五”时期，我国将全面落实封禁保护修复制度，将按照“多采光、少用水、新技术、高效益”的理念，构建沙区种养加产供销、农文旅一体化的现代产业体系，加快乡村振兴步伐。继续深化履约和国际合作，向全球分享中国治沙经验，推动全球荒漠化防治再上新台阶，助推全球生态系统健康安全，做到“持续、科学、合作”的治理体系。

## 1.2当前沙漠植被的种植情况

1）种植未能实现机械化，种植效率较低

在网上查找已经可以售卖的植装置没有专门针对沙漠的种植机械，最多的只是适应普通农田的打孔投苗的装置，不能用于沙漠的特殊环境，一些能查到专利和论文中关于沙漠治理的机械很少，能生产出来并大规模执行的几乎没有。现最常见的沙漠种植是先通过地钻打孔机在沙土中打入一定深度后，将树苗栽种在孔洞中，埋土后施肥浇水完成种植。这样的工作效率较低，种植速度慢，设想如果能机械化种植，据数据调查。两个工人每小时约可种20.5株沙漠植物，约21.4天可种440株（以梭梭树为例，440株一亩），我国荒漠化土地占地约241万亩（160.7万平方千米），每年的增长约3600亩，是约422人一年全年无休的种植量。以上不难看出，荒漠化治理急切需要一种高效的机械化的沙漠种植装置。

2）沙漠种植人工成本较高，且工人较少

沙漠种植工人的工作环境是在炎热且干燥的沙漠环境，不仅仅是吧树苗种下去，树苗的浇水施肥和维护的工作需要长期不断地做工作，会占据总工作时间的1/12左右。现在沙漠种植工人几个月才能见一次家人，并且条件艰苦，很难招到种植工人，提高待遇吸引扩大工人规模，也不是能够有效提高种植效率的办法，并且相应的资金投入成本会更高，由此看来，用这些资金能够研发出一种高效的种植方法才是解决问题的关键。

3）种植物种较为单一

在土地荒漠化治理种，最常种植的是蔡科梭梭树这样的小乔木和杨柳科的沙柳这两种在沙漠种有极强生根生长能力的植被，物种较少，多样性差，对于土壤的优化改良的效果不佳，周期较长，如能使更多种植物能在一些辅助作用下，在沙漠种生长出来，对土壤结果的优化能达到更快更好的效果。

## 1.3目前沙漠种植的解决方法

防风固沙是现在目前解决土地沙漠化的最直接最有效的方法，防风固沙中的植物工程，也就是通过沙生植物的种植来改善土壤环境的方法，不仅能够有效地解决荒漠化的问题，而且还可以达到恢复自然生态的作用。

现在沙生植物很多都是直接在松散沙质进行种植，通过植物生长后根系固定土壤，但是因为植物生长的周期较长，相应的固沙治理的效率较低，而且能直接生长的多为灌木和矮小的植物，防风效果不会很理想，如若我们去培育或引进适合在沙漠生存的高大植被，治理沙漠化土地的成本又会非常高。因此亟需一种沙漠植被培养装置在防风固沙的同时，保障更多的原生植物的生长，来达到治理环境的效果。

1）包地育苗，招商引资

根据承包地区的不同，承包费用不同，相应的都有优惠政策，一亩的租金50人民币左右，一亩地整理成能收益的土地在8000人民币左右，其中主要包括挖井、滴灌和沙障固沙等，两、三年土地肥了以后可以开始种植经济作物，在五、六年左右才能够回本，前期投入大，在前期是没有任何收入的，并且还有着一定的风险。如果能够成功回本后，回报的周期是比较长的，利润也是比较高的。如果能降低种植的风险，减少或避免沙城暴等自然灾害的威胁，土地治理期间的风险率降低，却能吸引更多的人投身荒漠化治理，沙障是已经有成熟的机械化铺设，实现沙土表面的防风，对植物起到一定的保护作用。总造价成本太高，在铺设过程中费工非常大，还需要人工维护。高昂的成本还是会让很多投资者望而却步。如何有更加高效、绿色、高性价比的种植保护，是进一步推进沙漠化治理亟需解决的。

2）“点沙成土”黑科技固沙等

现有的科技前沿的种植解决办法是直接改变沙漠的沙土，沙漠种的土壤干燥且松散，植物根系基本不法固定，通过使用纤维粘合剂，实现“土壤化”，使沙土适合植物生长，可缩短土壤优化的时间，加快植物固沙，种植多样的植物或能够达到经济效益的药材或花卉，但每亩的治理成本约2000人民币，技术人员员工菲及其他成本，费用是比较昂贵的，难以大规模执行。还有通过育苗培养等方向研究的，但多因为成本较高和种植局限性无法大规模种植，解决种植问题还是目前看来最佳的突破方向。

# 设计方案

## 2.1工作原理

**培养装置工作原理**：

培养装置分为三个模块， 第一个模块是钻头模块，钻头模块的底部配有钻头，通过与机械夹爪配合来实现将培养装置钻入沙地；第二个模块是种子仓模块，将种子放在种子仓内一起钻入沙地内，种子仓采用可降解的材料制成，可分解用于做种子的营养成分，使种子更好的发芽生长；第三个模块是蹼爪模块，仿生鸭子脚蹼，可增大受力面积。位于种子仓外壳，在钻入沙地后蹼爪受力张开，起到良好的固沙作用。

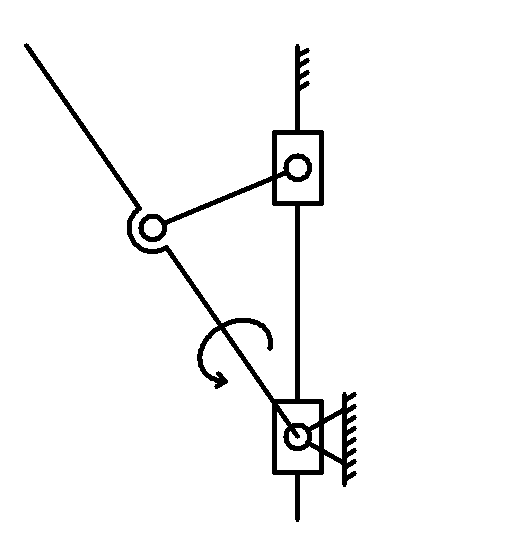


图2.1蹼爪机构示意图

**种植装置工作原理:**

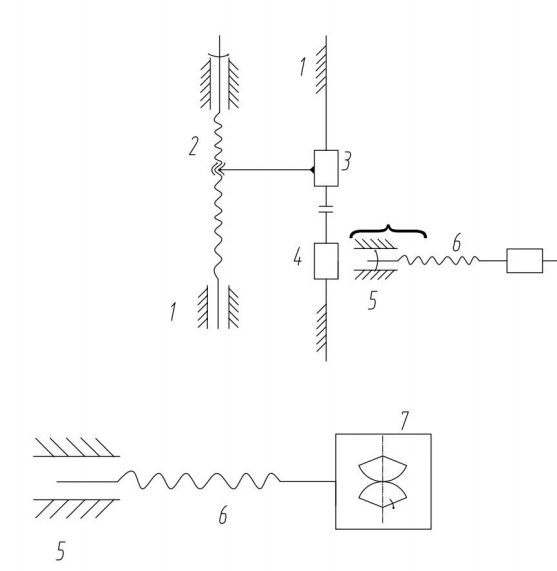


图2.2种植装置机构示意图

按下种植装置启动按钮，下方的夹手在横向丝杠的带动下向培养装置运动，当靠近时机械手自动夹取，而后退回旋转机构的下方，这时纵向丝杠电机启动带动整体机架向下方移动，钻地电机也随之转动，靠近后培养装置后会通过电机下方的机构和培养装置的上方创新机构形成啮合带动着培养装置一起旋转，随着机架整体的向下移动钻头也向沙地方向钻，机械手逐渐张开，将培养装置钻入沙地后纵向丝杠电机会反转将丝杆带动整体机架向上移。这样一个运动周期就完成了，反复多次将培养装置拼装完成。

## 2.2整体介绍

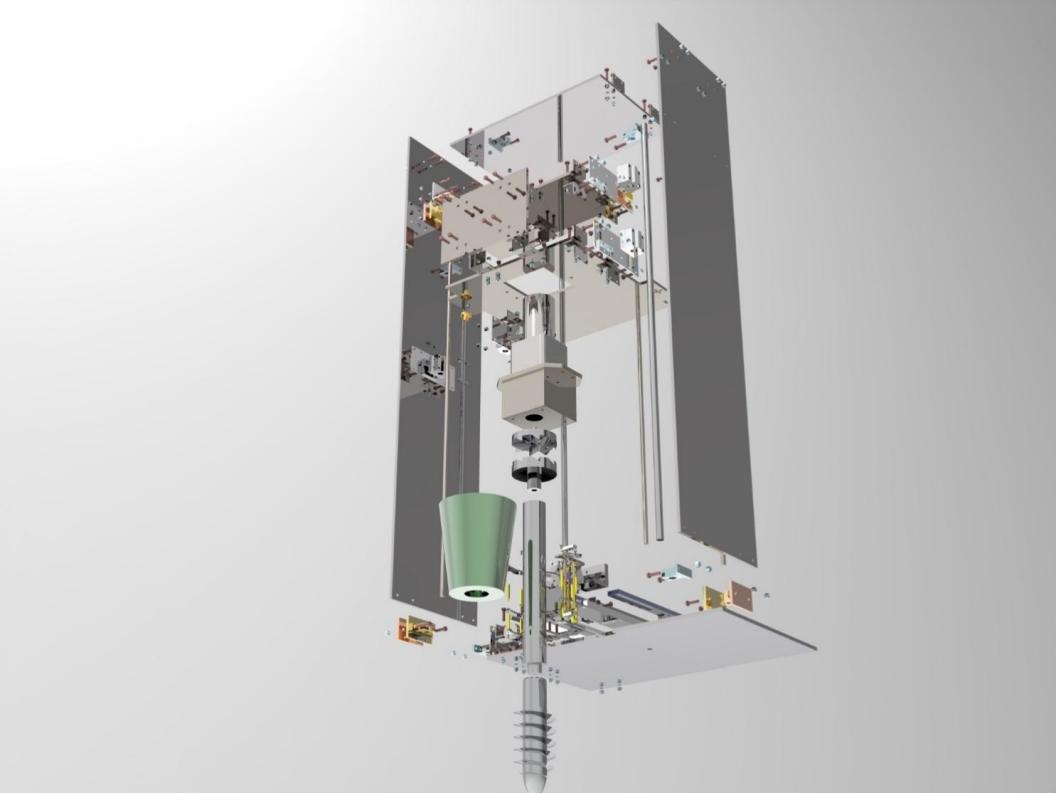


图 2.1 整体爆炸渲染图

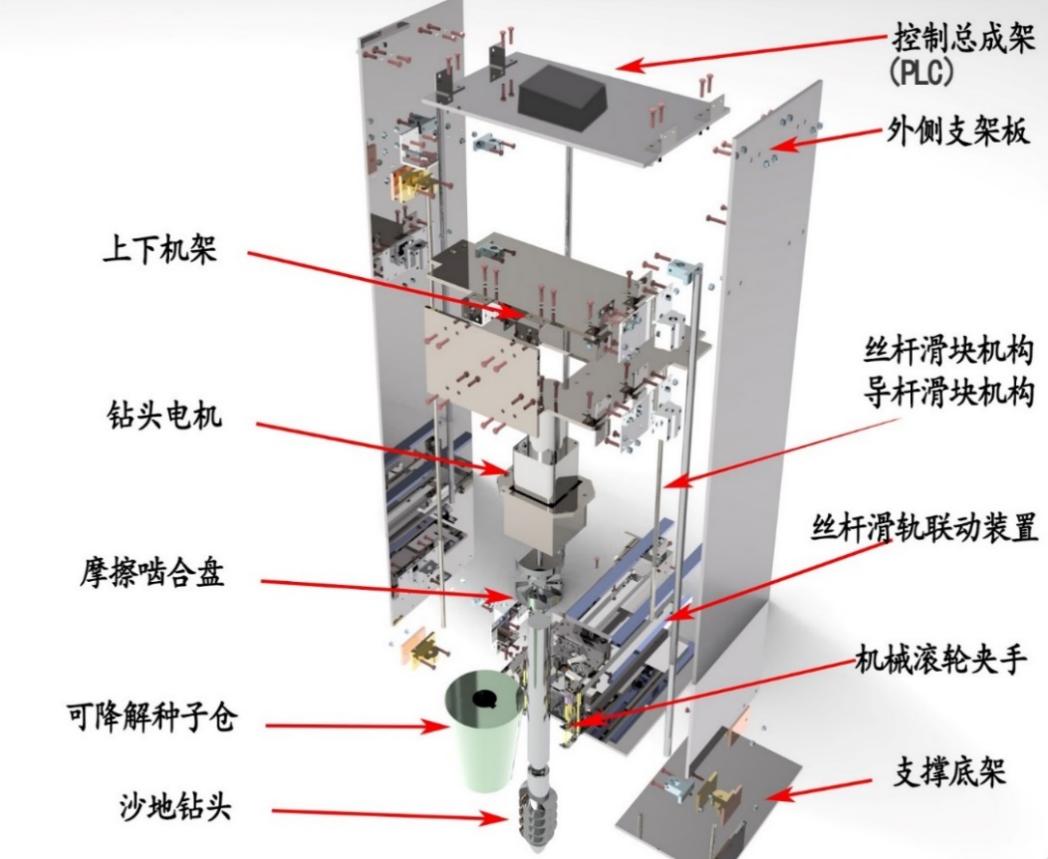
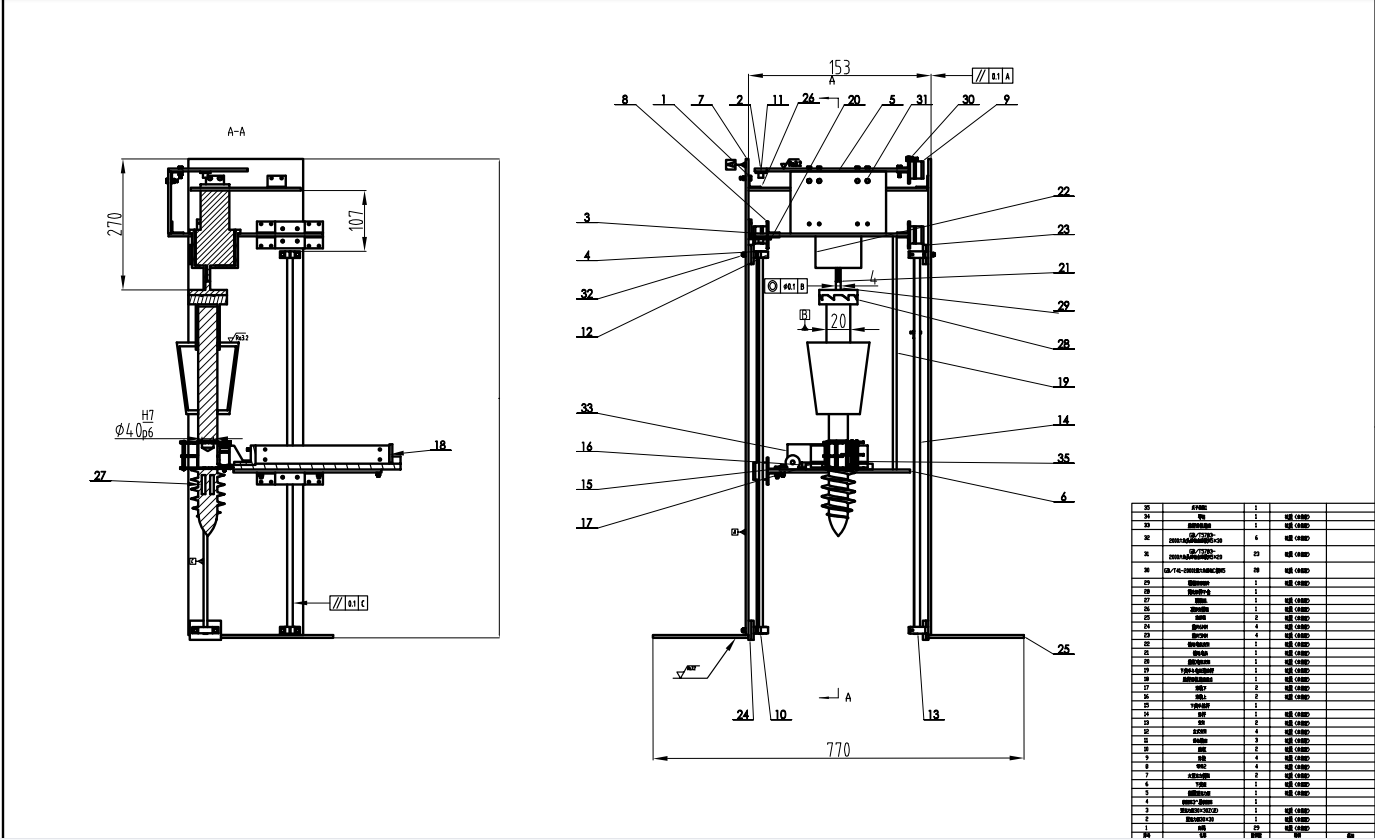


图 2.2 模块介绍图

图2.3整体工程图

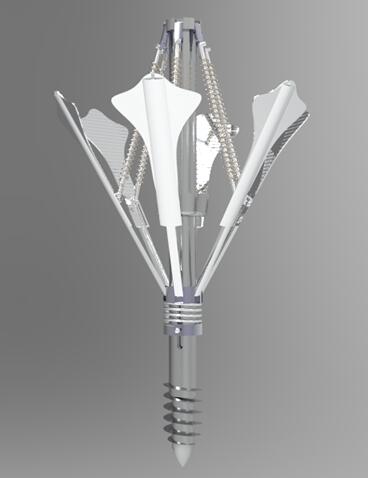


图 2.4 完整钻头蹼爪部分渲染图

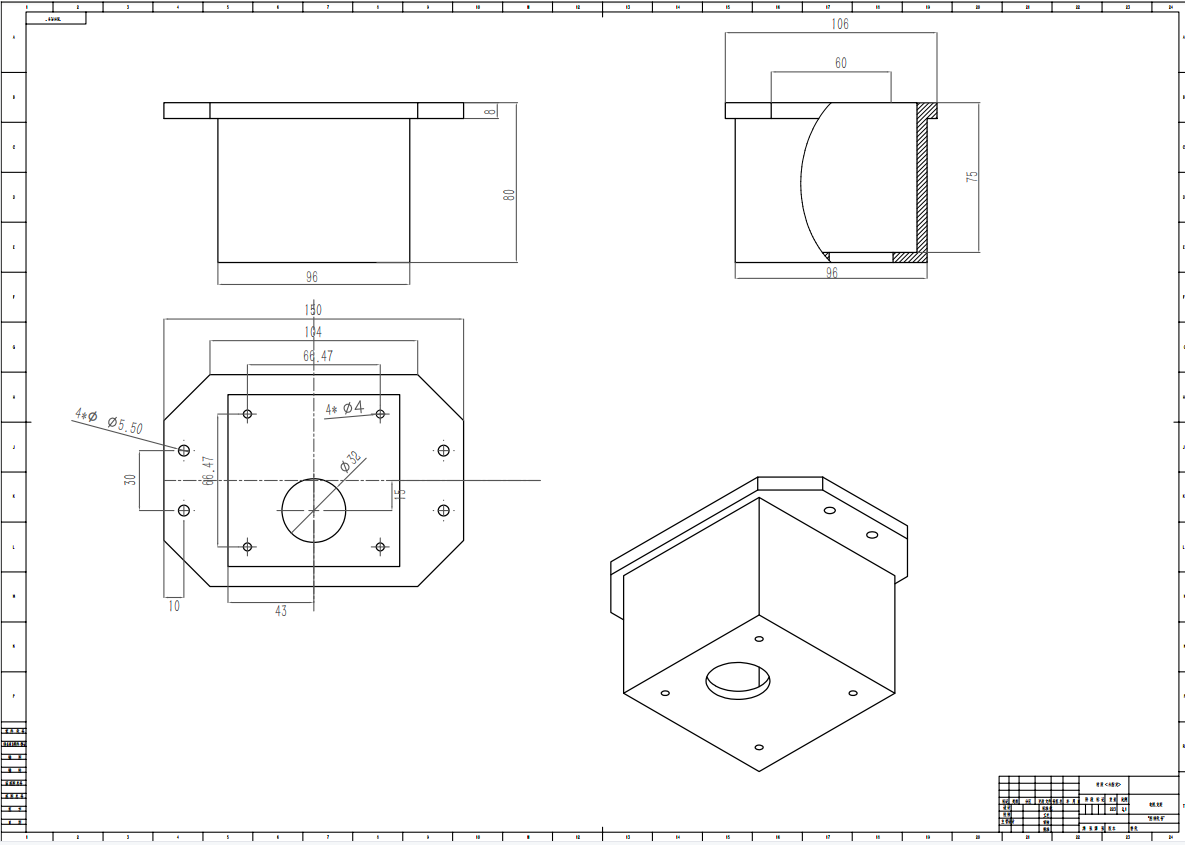


图2.5钻头电机支架工程图

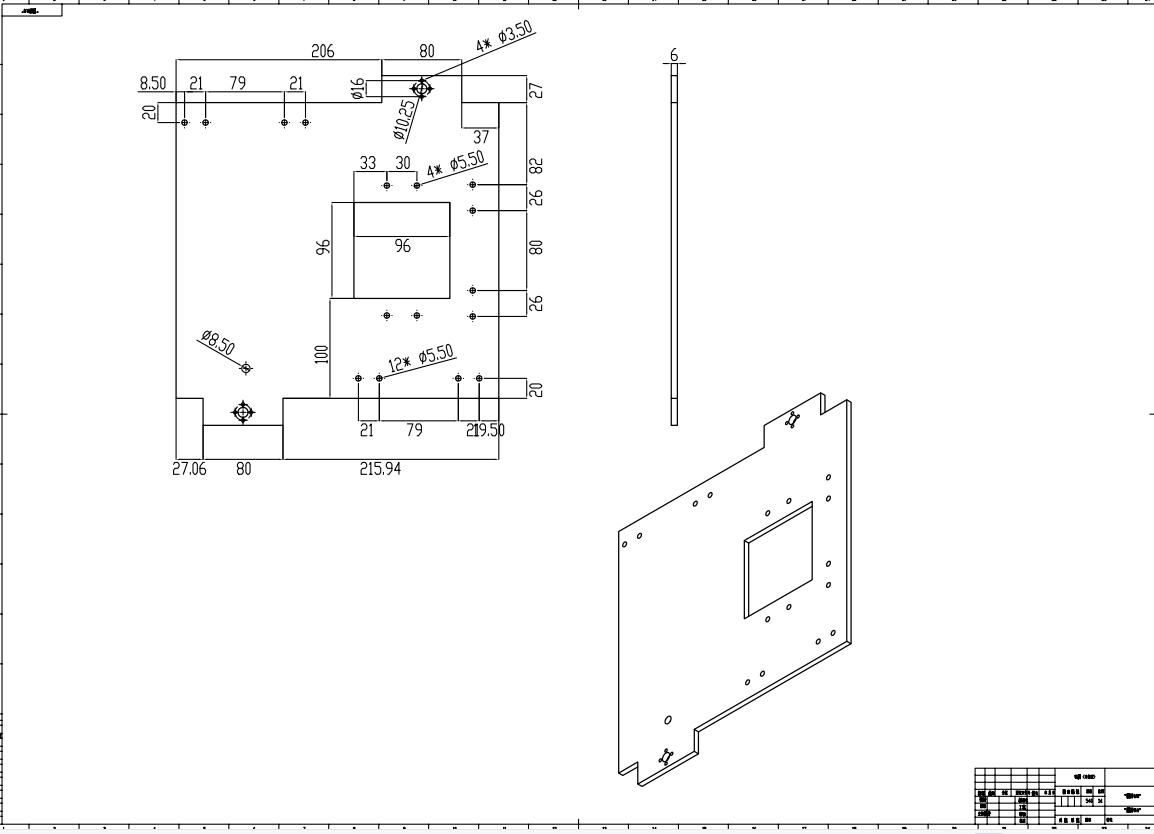
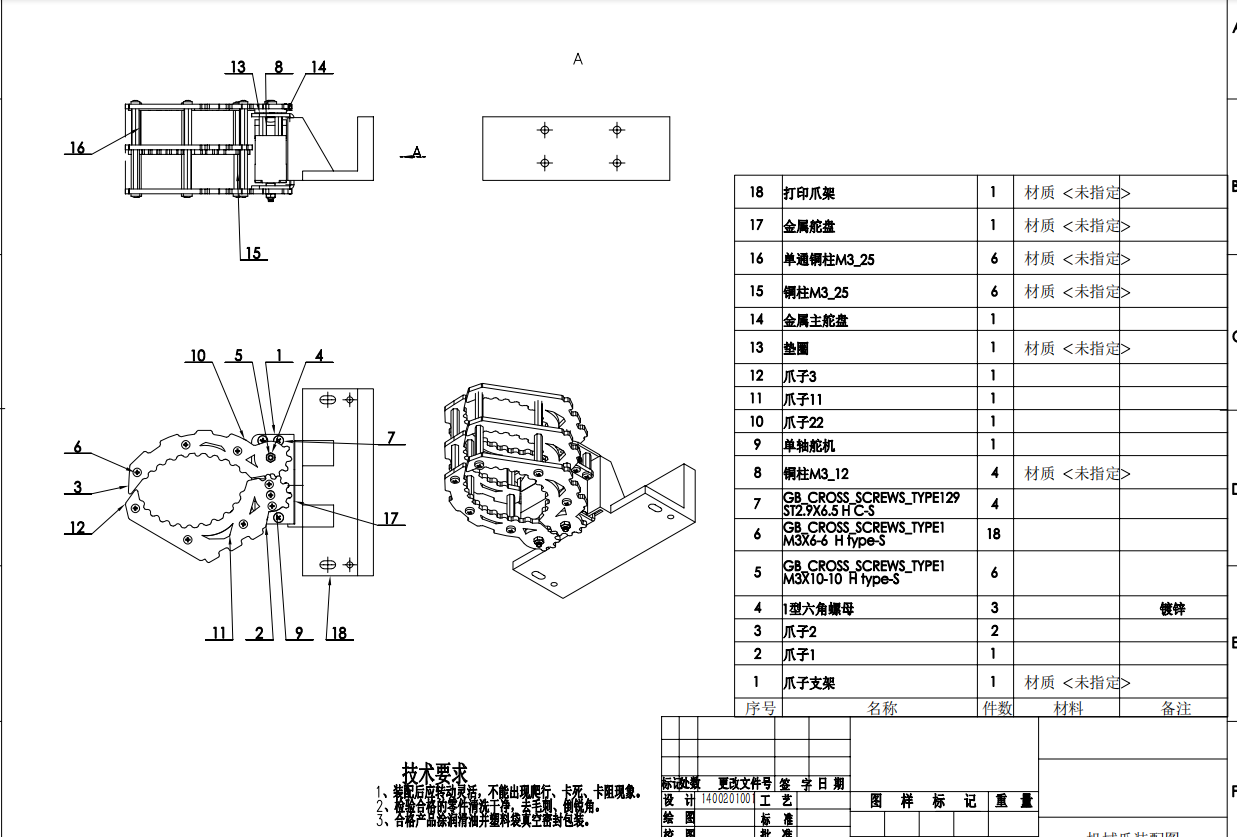


图2.6承载电机板的工程图

图2.7机械夹爪装配图工程图

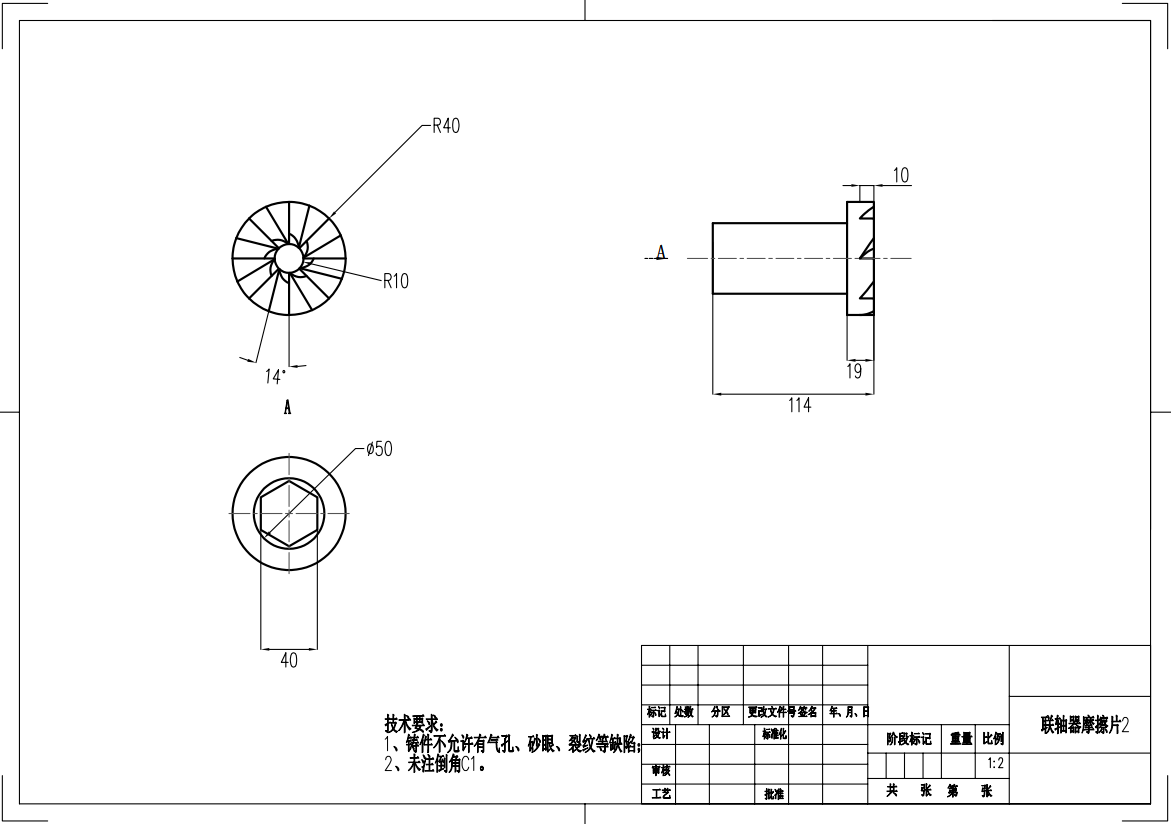


图2.8承轴器摩擦片工程图



图2.9为本产品设计的logo图

# 控制系统设计概述

## 控制系统整体工作原理及选用原因

因PLC抗干扰能力强，可靠性高，环境适应性好，编程方法简单易学，应用灵活通用性好，有完善的监视和诊断功能,它还配有可靠的输入输出电路，可直接用于控制对象及外部设备使用极其方便，即使在很恶劣的工业环境中仍可以保持可靠运行。故本控制系统采用PLC作为控制器单元。

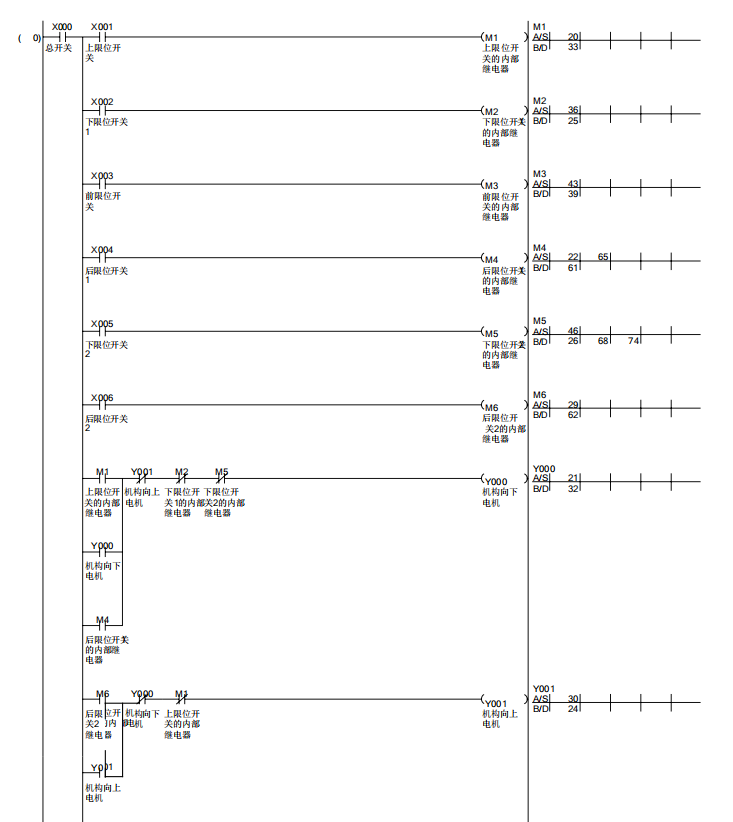
PLC的输入电路是用来采集被控设备的检测信号或操作命令的,输出电路则是用来驱动被控设备的执行机构,而执行机构与检测信号、执行命令之间的控制逻辑则靠微处理器执行用户程序来实现。一个循环结束后，紧接着下一个循环开始，周而复始，直到停止运行为止。

本控制系统采用开关量逻辑控制和闭环过程控制。

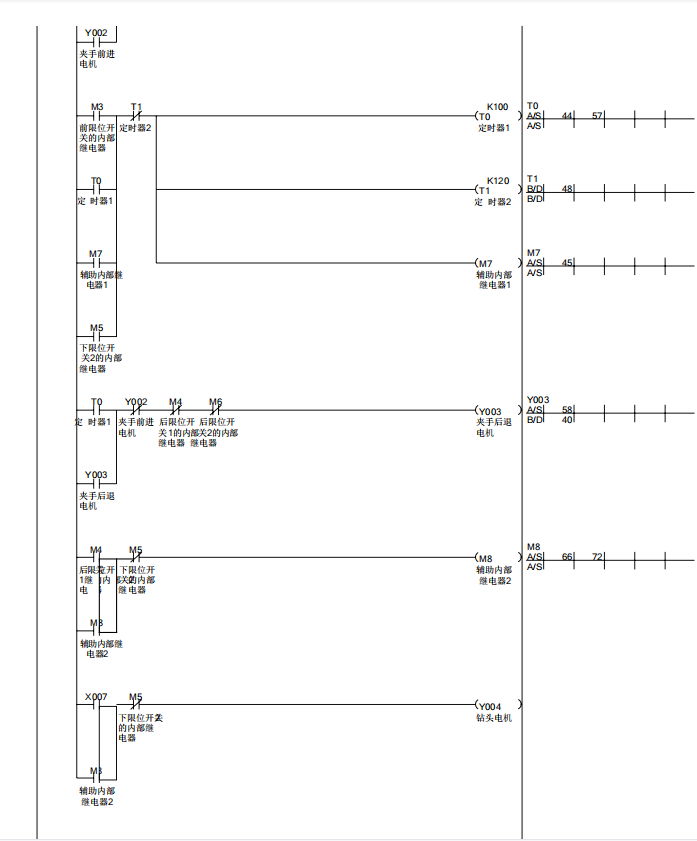
本产品程序（方案一PLC强电控制）：

梯形图

数据名：MAIN



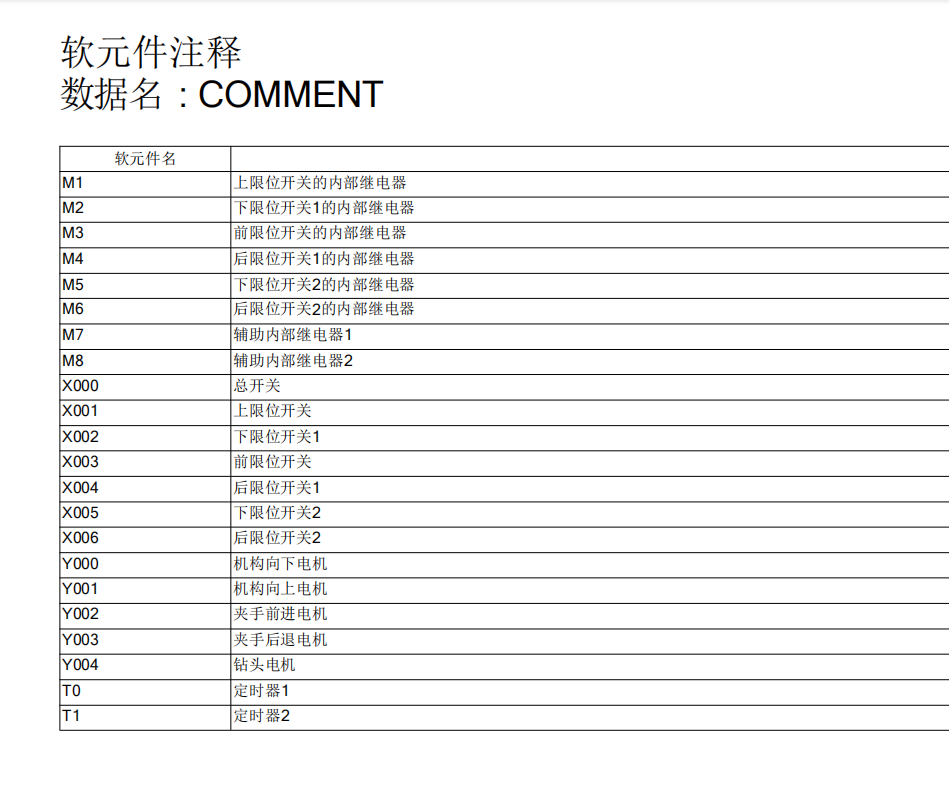




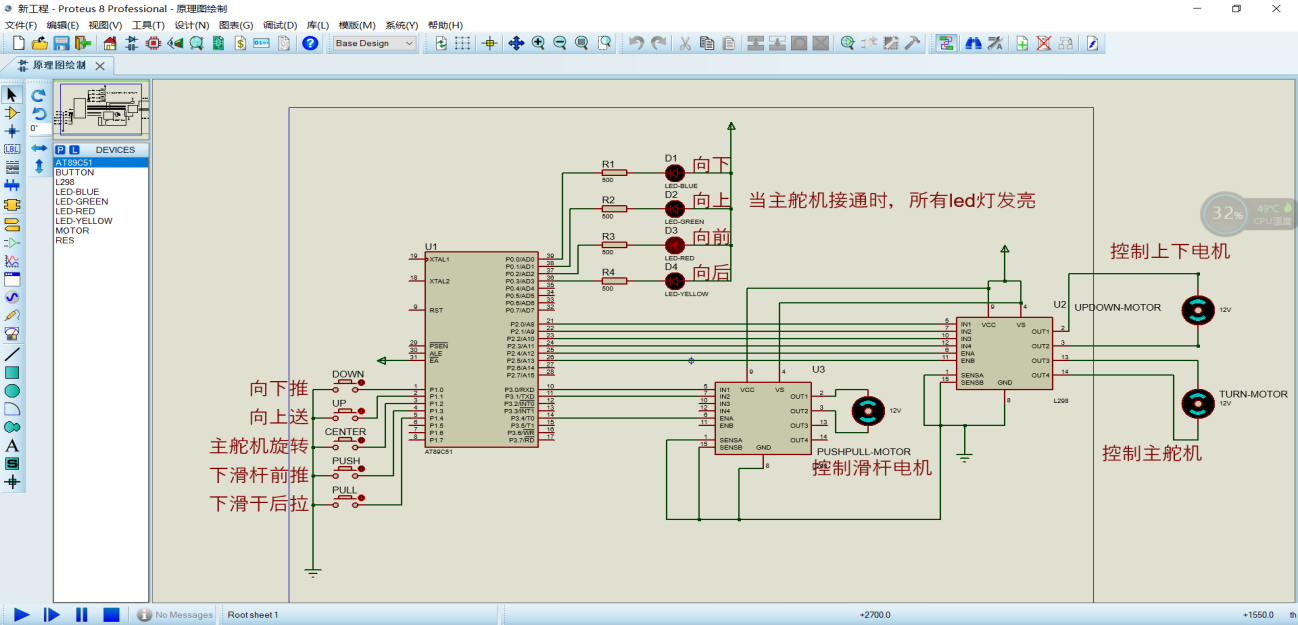


软元件注释

数据名：COMMENT



本产品程序（方案二51单片机弱电控制）：



功能介绍：

按键DOWN：控制上下电机正转，正转即向下推动，按下时LED D1点亮，松开熄灭；

按键UP：控制上下电机反转，反转即向上拉，按下时LED D2点亮，松开熄灭；

按键CENTER：控制主舵机旋转，按下时全部LED点亮，松开全部熄灭；

按键PUSH：控制下滑杆正转，即向前推动，按下时LED D3点亮，松开熄灭；

按键PULL：控制下滑杆反转，即向后拉，回到原处，按下时LED D4点亮，松开熄灭；

电机驱动芯片L298N。没有按键按下时，所以led灯熄灭，电机不转。

开始工作时，按下按键PUSH，LED D3点亮，控制滑杆电机开始正转，此时，下滑杆向前推送，即将到达防风固沙植被培养装置前时，松开按键，LED D3熄灭，电机停止工作，通过外部按键控制机械爪子进行对防风固沙植被培养装置的抓取，在抓到装置时，按下按键PULL，LED D4点亮，下滑杆开始往回拉，在拉取到预定位置时，松开按键PULL，按下按键DOWN，LED D1点亮，控制上下电机正转，将滑杆向下推动，在到达一定高度时，松开按键DOWN，按下按键CENTER，使装置与主舵机啮合，再按下按键DOWN，此时，LED灯开始闪烁，表示上下电机与主舵机同时工作，主舵机旋转，上下滑杆向下推动，达到将防风固沙植被培养装置送入土下，完成之后，松开按键DOWN和按键CENTER，按下按键UP，将上滑杆向上拉，然后往复以上步骤，将接下来的装置钻入沙土。

本产品设计强电、弱电两套控制方案，增加使用范围。

# 理论设计计算

## 4.1总体尺寸设计

此产品为了能将培养装置钻入沙地内我们进行了精心的产品尺寸设计。

（1）整体外形尺寸

本作品的整体高度为1012mm，宽度为250mm，最大长度为689mm，最小为450mm。

（2）机械夹手尺寸

张开最大距离为120mm，最小夹距为30mm，为了让机械手可以稳稳夹住培养装置本产品还另外加上了12个外径25mm的滚轮，加入滚轮可以让机械手夹住培养装置时还可以旋转。

## 4.2电机选择

**电动机类型的选择**

按照工作要求和工况条件，考虑到我们要实现的功能较多我们将每个功能拆分每个电机对应一个功能，我们将用到5个电机，并且考虑到安全因素我们采用24v直流电机，24v的直流电源我们使用电源转换器将220v交流电转换得到。

**确定传动装置（拖地模块）的效率**

查表得：

闭式圆柱齿轮的效率：

工作机的效率：

总效率

**选择钻孔电动机容量**

工作机所需功率为：

电动机所需额定功率:

其转速大于钻孔电机的转速，因此选用减速比为 60 的齿轮系进行运动传递。

**动力学参数计算**

钻孔电动机输出参数：

齿轮箱输出轴的参数：

主杆轴的参数：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 轴名称 | 转速 n(r/min) | 功率 P/W | 转矩 T/(N•m) |
| 钻孔电机轴 | 3100 | 60 | 0.184 |
| 齿箱轴 | 51.67 | 58.8 | 10.72 |
| 主杆机轴 | 51.67 | 55.32 | 10.22 |

表 4.1 各轴转速、功率和转矩表

拖地模块电机采用减速电机。

减速电机选择分析比较：

对所需直流电机参数计算如下：

电机功率公式：

其中，T 为转矩，单位 N•m；ω为角速度，单位 rad/s。在电机工作的范围内任何状态均适用。

直流电机的最大功率对应于转矩为 1/2 最大转矩，转速为 1/2 最大转速（即空载） 的工况，公式为：

但在选择时应该设法让电机运转在最佳状态，以便获得更长的运行时间。

电机速度：

转速是关键指标，通常以 r/min 标记。根据以下公式估算速度：

vr 为拖布盘的转速， vm 为电机转速。

v 为电机转速，D 为驱动轮直径。

通过计算，选择额定功率 60W，额定电压 24V，输出转速为 3100r/min 的齿轮减速直流电机。

电动机及齿轮箱的外形尺寸：

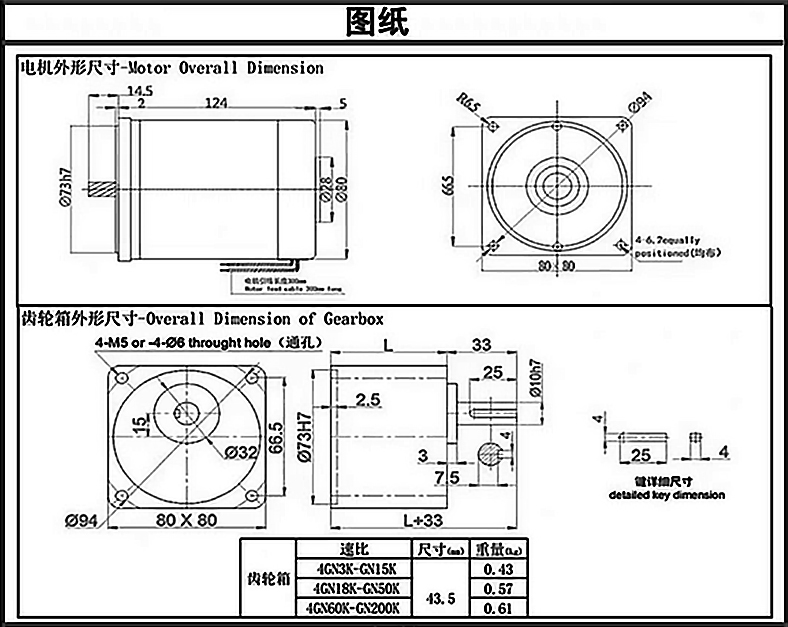


图4.1电机及齿轮箱外形尺寸图

丝杆电机及齿轮箱的外形参数：

根据计算丝杆电机采用UN=24V,PN=15w,n0=6000r/min，减速比i=171.43

下夹手进退电机及齿轮箱外形参数

根据计算下夹手进退电机采用UN=24V,PN=20w,n0=6000r/min，减速比i=131.25

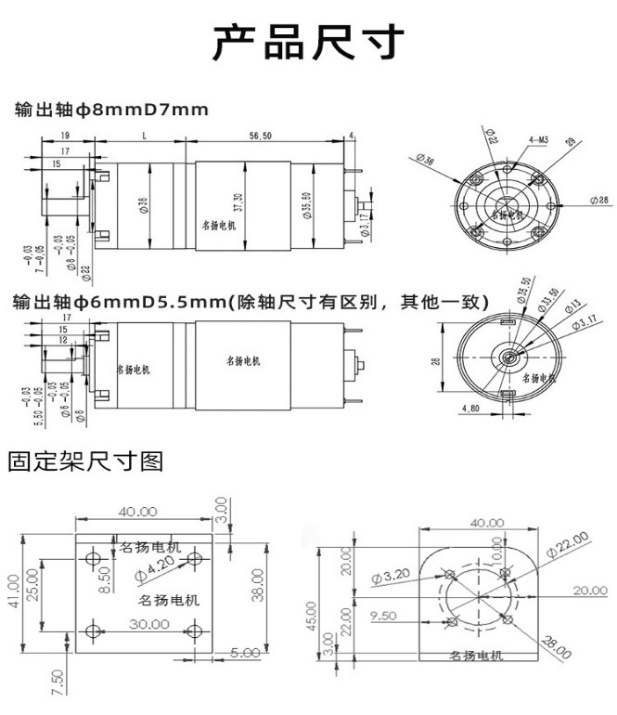


图4.2输出轴及固定架尺寸图纸

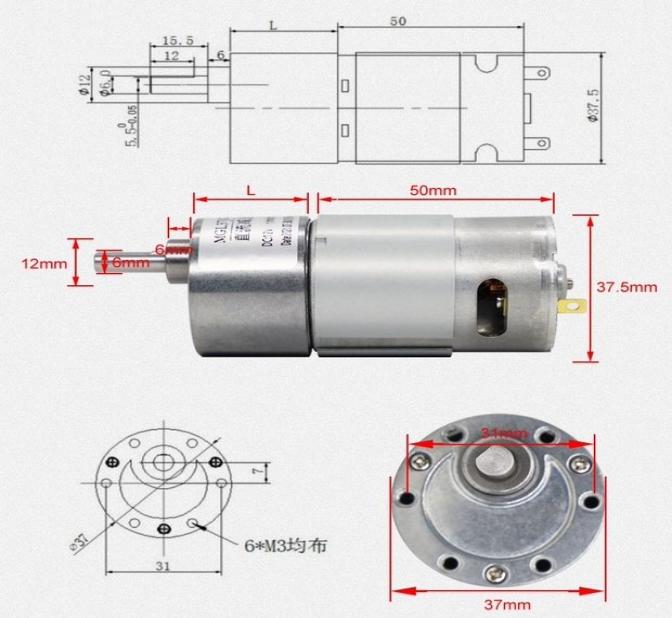


图4.3大电机尺寸图纸

## 4.3强度与刚度校核

**4.3.1培养装置主轴强度校核**

材料为防锈铝合金，力学性能如下：

抗拉强度：

条件（名义）屈服轻度：

伸长率：（%）20

硬度：S)

安全系数K=1.5，则[]=26/1.5=

直径d（50mm），长度L为4m，

1.主轴的抗拉强度计算

主轴最小截面:

==1.463

/=5000/(1.463)=3.418=[]

∴ 符合强度要求

2.主轴的扭转强度计算

T=3.3KN·m=3300(N·m)

G=E/[2(1+u)]=70/[2(1+0.33)]=26.316(GPa)

=(=(=6.126

=33004/(26.3166.126)=0.819(rad)=46.926

=3300/(26.3166.126)=0.205(rad)=11.73

综上：单位扭转角为11.73，相对扭转角为46.926

**4.3.2插销强度校核**

1.材料使用304不锈钢

直径d（待定），长度L为50mm，[=136.67，

=1/2L =1/2\*5000\*1/2\*40\*=50（N·m）

（1）直径d取5mm

=/32=/32=12.27

=/=50/(12.27)=4.075（pa）=4075（MPa）

（2）直径d取10mm

=/32=/32=98.17

=/=50/(98.17)=0.509（pa）=509（MPa）

（3）直径d取12mm

=/32=/32=169.64

=/=50/(169.64)=0.295（pa）=295（MPa）

总结304不锈钢达不到强度要求。

2.材料使用45号钢

直径d（待定），长度L为50mm，45号钢力学性能如下：

抗拉强度：

屈服强度：

伸长率：（%）16

断面收缩率：（%）40

=L=×5000××40=50（N·m）

安全系数K=1.5；许用屈服强度[= /k=355/1.5=236.67

直径d取10mm

=/32=/32=98.17

=/=50/(98.17)=0.509（pa）=509（MPa）

总结45号钢达不到强度要求。

3.材料使用40Cr

直径d（待定），长度L为50mm，40Cr力学性能如下：

抗拉强度：

屈服强度：

伸长率：（%）9

断面收缩率：（%）45

=L=5000×40=50（N·m）

安全系数K=1.5；许用屈服强度[= /k=785/1.5=523.33

直径d取10mm

=/32=/32=98.17

=/

=50/(98.17)=0.509（pa）

=509=[

∴符合强度要求

综上：销轴材料选用40Cr，直径为10mm，长度为50mm

# .部分结构的有限元分析

通过强度校核评估螺栓连接结构的安全性和验证螺栓连接结构设计与选型的合理性，得出最大应力是439Mpa s=640/490大于1.25 满足强度要求。

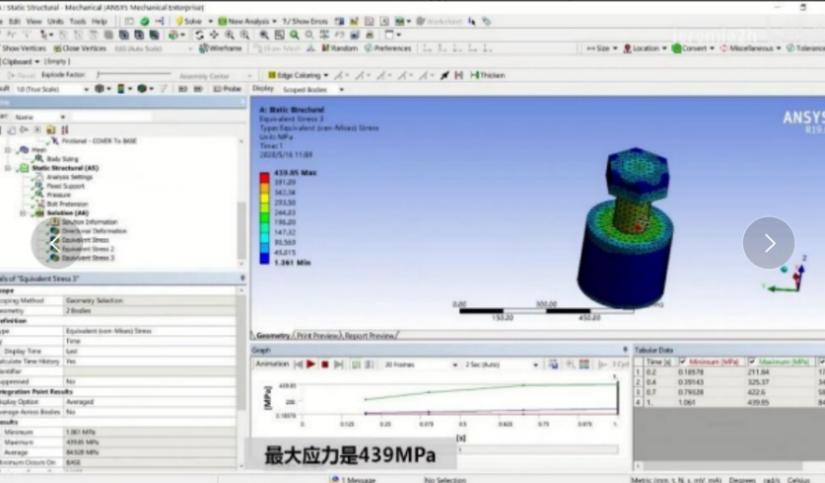
****

图5.1 螺栓有限元分析

本团队自行设计的摩擦啮合盘讲电机扭矩传递给钻头及杆，当钻手接触沙地受到反作用力会集中到摩擦啮合盘之间，故对摩擦啮合盘进行有限元分析。在正常工作载荷下啮合盘最大应力17.5MPa远大于使用要求。

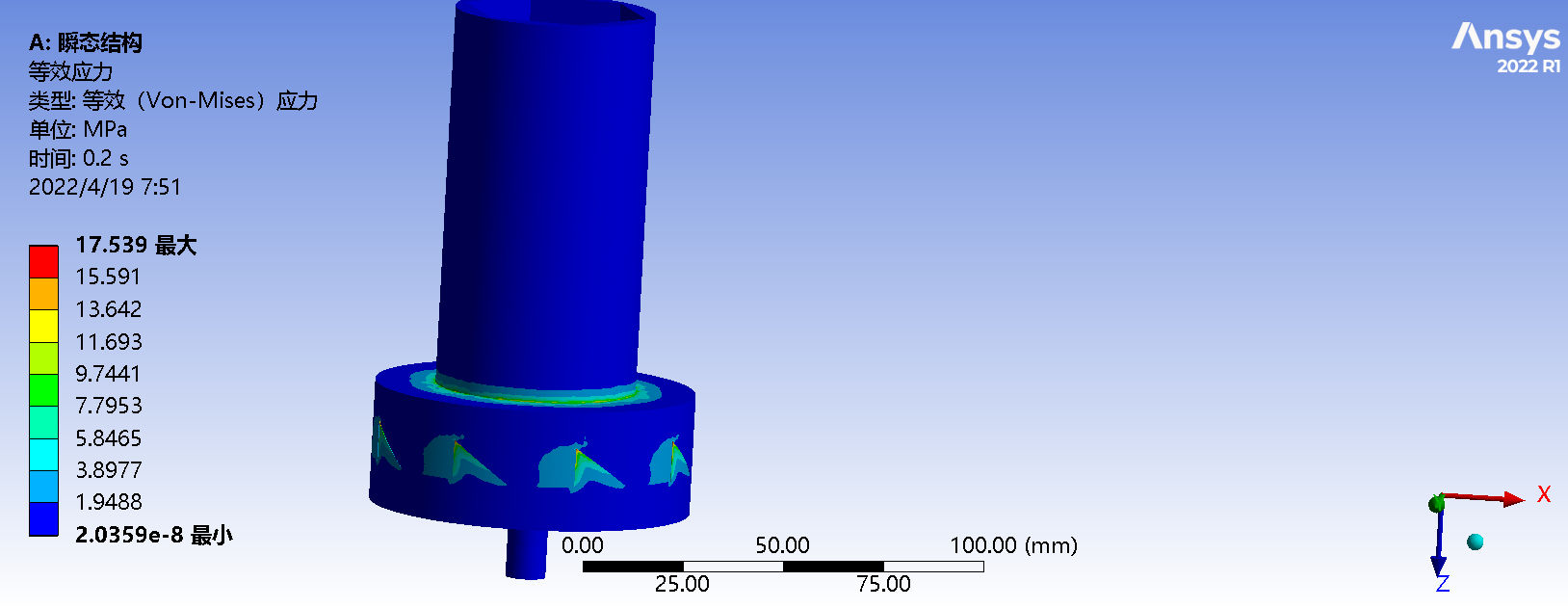


图5.2钻头与电钻啮合处有限元分析

当钻头接触沙地，沙地给予板一定的反作用力。若板强度达不到使用要求。机器将不能正常工作或在工作中会发生事故降低机器使用寿命。故我们团队对板进行有限元分析，其所受最大应力53.4MPa，满足使用要求。

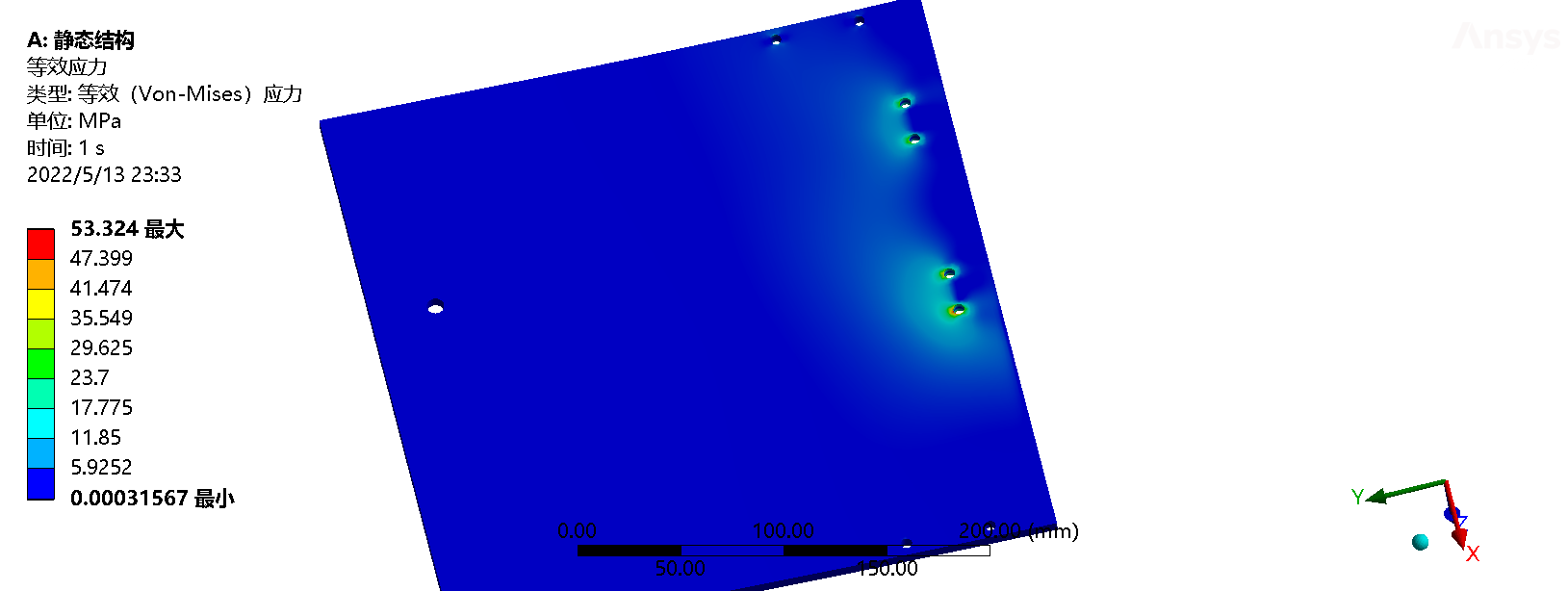


图5.3承载夹手的板子有限元分析图

# .实物照片

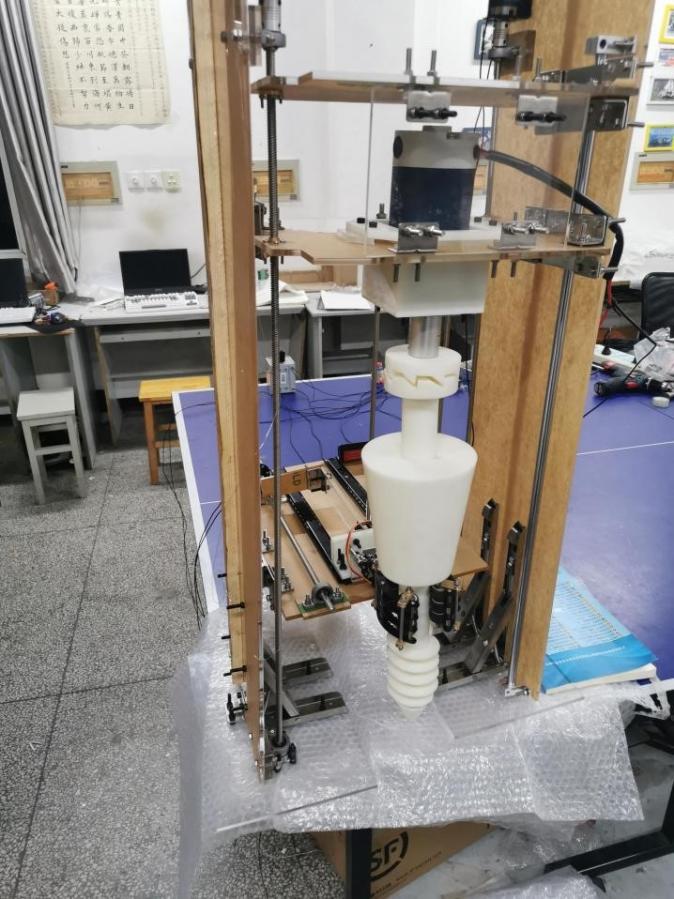


图 6.1 整机展示图



图6.2钻头及机械滚轮夹实物图

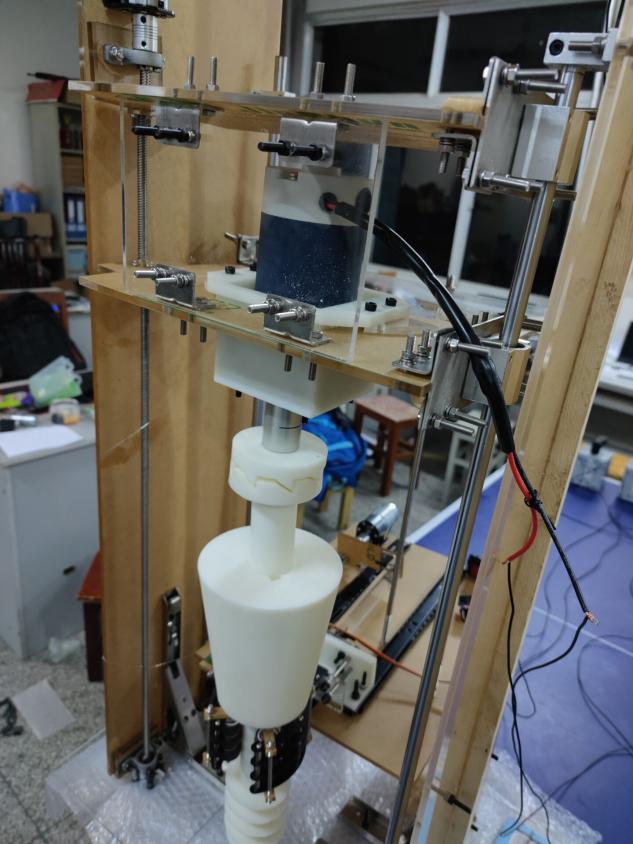


图 6.3 钻头电机及摩擦片展示图



图6.4夹手丝杆滑轨展示图

# .创新点介绍

## 7.1创新点一

通过创新的摩擦啮合盘将电机与培养装置弹性连接，实现扭矩的传递，带动钻头钻入沙地的同时可快速自动化分离；抓取钻头的机械滚轮夹手，通过12个橡胶轮及其支架可以实现抓取培养装置的同时不阻碍电机带其旋转的步骤



图7.1钻头与电机啮合部分实物图



图7.2夹手实物图

## 7.2创新点二

本产品的培养装置部分可以有效的解决植物在沙漠中难以生存的问题，且是首个将植物与可降解材料结合运用到沙漠的项目，又能有助于解决我国北方秸秆处理问题。通过将植物种子包裹在可降解的种子培育仓中，后期可降解并提供一定的养分来促进植物生长，从而使植物在较为恶劣的沙漠环境中也可以生存下去。

## 7.3创新点三

种植装置我们采用多段式设计可以大大加强抓地力且可以有效的预防主杆断裂；扎入沙子下的部分-伞状钩爪，采用六个蹼形关节爪圆周分布（源于仿生鸭子的脚蹼起增大受力面积的作用）与连接杆等结构，每个蹼形关节爪下端与连接杆联动连接，实现展开与收缩运动，钩爪形状为脚蹼状，其设计增大与沙的接触面积，使抓地力变得更强。通过主杆受到向上的拉力，整个蹼爪逐渐张开，使得抓沙越加牢固，从而实现产品可以在沙漠中正常运行，以达到我们最终改善生态环境的目的。

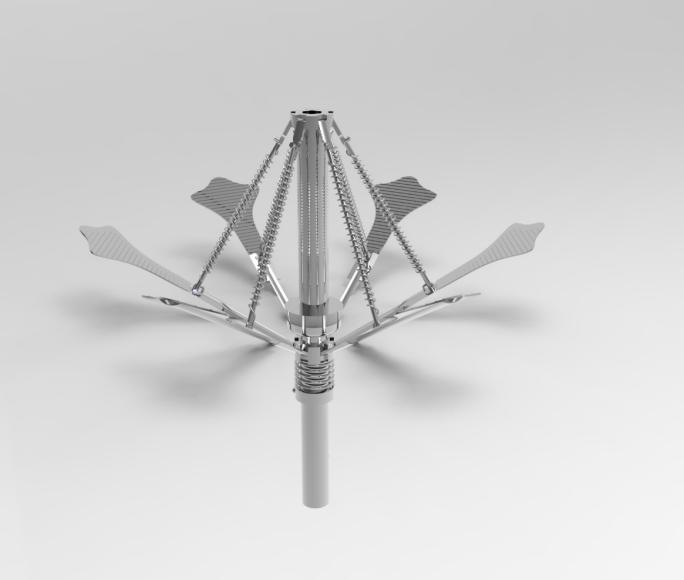


图.7.3 蹼爪模型图

总的来说本产品实现打孔、种植一体化，提高种植效率，优于人工劳力

# .市场前景及应用推广价值

主要用途及适用范围：

主要用途：主要用于在恶劣环境中实现打孔种植植被一体化

适用范围：主要适用于沙漠边缘等沙地特征环境，应用于在植物难以生存的沙漠等较恶劣的环境中种植沙生植物或应用于在大面积沙漠边缘种植工程。

本产品总的来说，是对以往治理沙漠环境的一个创新创意。

1.在植物方面，我们考虑了它的存活性，选择在沙漠中易于存活的沙生植物，通过为其创造较沙漠来说恶劣程度较低的生存环境，来保证它的生存；

2.对于沙漠的土地特征，我们采用特殊蹼爪结构通过本产品与沙漠接触来实现抵御沙漠的风沙环境；

3.且响应国家环保号召，产品种子仓采用可降解的秸秆材料，在植物初步生长完成后缓慢分解，做到既不污染环境，降解后又可为植物提供养料；

4.对于我国北方秸秆如何处理问题起到了积极作用，通过把秸秆制成产品的方式既消耗了秸秆又使产品达到环保等级起到1+1>2的效果；

5.植被存活率高于其他种植装置，且不受劳动力限制。

# .附录

**1.专利受理书**



图 9.1 专利受理书

**2.参考资料**

[1]《机械原理》（高等教育出版社 孙恒 第八版）

[2]《机械设计》（高等教育出版社 濮良贵 第九版）

[3]《机电传动控制》（华中科技大学出版社 冯清秀 第五版）

[4]《几何量公差与检测》（上海科学技术出版社 甘永立 第十版）

[5]GB/T 1800.1-2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》

[6]GB/T 1800.2-2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第2部分：标准偏差等级和孔、轴极限偏差表》

[7]GB/T 1804-2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

[8]支承轴偏载设计的方法研究（张杰）

[9]一种可降解材料及由其制成的固沙苗木栽培钵(钱铁清)

濮良责，纪名刚. 机械设计. 8版. 北京: 高等教育出版社，2006.

[10] 谢联先C B. 机械零件的承载能力和强度计算. 汪一麟，等译，北京:机械工

业出版社，1984.

[11] 王步瀛. 机械零件强度计算的理论和方法，北京: 高等教育出版社，1986.

[12] 温诗铸，黄平. 摩擦学原理. 3版. 北京: 清华大学出版社，2008.

[13] 全永昕，施高义. 摩擦磨损原理. 杭州: 浙江大学出版社，1988.

[14] 郑林庆. 摩擦学原理. 北京: 高等教育出版社，1994.

[15] 周仲荣，Vincent Leo. 微动磨损. 北京: 科学出版社，2002.

[16] 温诗铸. 纳米摩擦学，北京: 清华大学出版社，1993.

[17] 卜炎. 螺纹联接设计与计算. 北京: 高等教育出版社，1993.

[18] 涂铭旌. 机械零件的失效分析与预防，北京: 高等教育出版社，1993.

[19] 成大先. 机械设计手册，5版. 北京: 化学工业出版社，2007.

[20] 余俊. 滚动轴承计算:额定负荷、当量负荷及寿命，北京: 高等教育出版社，1993.

[21] 花家寿. 新型联轴器与离合器, 上海: 上海科学技术出版社，1989.

[22] 吴宗泽. 机械结构设计准则与实例. 北京: 机械工业出版社，2006.

[23] 许尚贤. 机械设计中的有限元法 北京: 高等教育出版社，1992.

[24] 邓星钟. 机电传动控制[M]，4版. 武汉: 华中科技大学出版社，2007.

[25] 程周. 电机拖动与电控技术[M]，2版. 北京: 电子工业出版社，2007.

[26] 王兆安，刘进军. 电力电子技术[M]， 5版. 北京: 机械工业出版社，2009.

[27] 李建勇，孙卫青. 机电一体化技术[M]，北京: 科学出版社，2009.

[28] 全国技术产品文件标准化技术委员会.技术产品文件标准汇编:机械制图卷

[29] 全国技术产品文件标准化技术委员会.技术产品文件标准汇编:技术制图卷

[30]. 北京: 中国标准出版社，2007.第十届全国大学生机械创新设计大赛作品设计说明书

[31] 汪勇，张玲玲. 机械制图[ M]. 成都: 西南交通大学出版社，2011.

[32] GB/T1800.1- -2009 产品几何技术规范(CPS)极限与配合 第1部分:公差、

偏差和配合的基京:中国标准出版社,2009.

[33] GB/T1800.2- 2009 产品几何技术规范(CHS)极限与配合 第2部分:标准公差

等级和孔、铀极限偏差表. 北京: 中国标准出版社，2009.

[34] GB/T1184- -1996形状和位置公差未注公差值 北京:中国标准出版社，1997.

[35] GB/T4249- -2009产品几何技术规范(GPS)公差原则. 北京: 中国标准出版

社，2009.

[36] GB/T1958- -2004 产品几何量技术规范(CPS)形状和位置公差检测规定. 北

京:中国标准出版社，2009.

[37] GB/T275- -1993 滚动轴承 与轴和外壳孔的配合. 北京: 中国标准出版社，

1993.

[38] GB/T307.1- -2005 滚动轴承向心轴承公差. 北京: 中国标准出版社，

2005.

[39] 刘鸿文. 简明材料力学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社，2016.

[40] 乘来商. 平面连杆机构的计算设计 北京: 高等教育出版社，1999.

[41] 邹慧君. 机械运动方案设计手册[M]. 上海: 上海交通大学出版社，1994.

[42] 吕仲文. 机械创新设计[M]. 北京: 机械工业出版社， 2004.

[43] 余跃庆. 现代机械动力学[M]. 北京: 北京工业大学出版社，2001

[44] 谢黎明. 机械工程与技术创新[M]. 北京: 化学工业出版社，2005.

[45] 张春林，曲继芳. 机械创新设计[M]. 北京: 机械工业出版社2012.