

# The Optimal Design of the Walking Mechanism of the New Groove Laying Machine

Wei Ma, Jianghua Ge, Le Wang, Jilong Liang, Xiantao Zhang

School of Energy and Power with Mechanical Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang  
Email: gejianghua@sina.com

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2018; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, the main research object is the independent traveling mechanism of open groove laying machine. High issues are required, the structure of the traditional trenching equipment travelling mechanism and its components are optimally designed and strength checked. First of all, the corresponding improvement scheme is obtained by analyzing the traveling system of the ditching machine; secondly, computer aided design software is used to model and obtain corresponding CAD models for the existing open groove pipelining mechanism. A CAD model is obtained and the CAD model is optimized by using the optimization design software ANSYS to meet the environmental requirements of walking institutions. Finally, through Pro/E, the optimized traveling mechanism is re-modeled, assembled and simulated. ANSYS was used to analyze the structure of the optimized traveling mechanism. The main components of traveling mechanism are analyzed by the finite element method. It provides a sufficient theoretical foundation for the structure optimization design of the running mechanism of the groove laying machine.

## Keywords

Groove Laying Machine, Walking Mechanism, Optimization Design, ANSYS, The Simulation

---

# 新型开沟铺管机行走机构优化设计

马 唯, 葛江华, 王 乐, 梁继龙, 张先涛

哈尔滨理工大学机械动力工程学院, 黑龙江 哈尔滨  
Email: gejianghua@sina.com

收稿日期: 2018年4月3日; 录用日期: 2018年4月23日; 发布日期: 2018年4月30日

## 摘要

本文以开沟铺管机独立行走机构为主要研究对象,针对传统开沟铺管设备工作环境适应性差,工作环境要求高等问题,对传统开沟铺管设备行走机构的结构和其组成部件进行优化设计并进行强度校核。首先,对开沟铺管机的行走系统进行分析得到其相应的改进方案;其次,利用计算机辅助设计软件对现有的开沟铺管机行走机构进行建模并得到其相应的CAD模型,利用优化设计软件ANSYS等对该CAD模型进行优化,以满足行走机构的使用环境要求;最后,通过Pro/E对优化后的行走机构进行重新建模、装配、模拟仿真,利用ANSYS对优化后的行走机构的结构进行有限元分析,采用有限元法对行走机构的主要部件进行全面静力分析,为开沟铺管机行走机构的结构优化设计提供充分的理论基础。

## 关键词

开沟铺管机,行走机构,优化设计,ANSYS,仿真

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

机械设备的进步与发展,始终伴随着人类社会的进步。随着社会的进步和科技的发展,当今社会对通信能力的要求也越来越高,人与人之间的快速通信,地区与地区之间的通信显的尤为重要,特别是我国新疆、西藏等欠发达的地区,通信能力差,如果想提高这些地区的通信能力,就必须在这些地区铺设大量通信线路。这些地区往往环境恶劣、地形复杂、海拔较高,不适合大量人工作业,适合机械化开沟铺设管道,机械化开沟作业可节约大量人力物力,减少保障费用,可以克服环境恶劣、地形复杂、海拔较高等诸多不利因素,同时机械化开沟设备可大大提高工作效率,节省工作时间,更重要的是,该项机械化开沟设备可适用于多种复杂地形,斜坡、沟壑、土坡等复杂地形,具备非常强的对复杂地形适应能力,可更好更快的完成工程作业任务。

## 2. 开沟铺管机行走机构优化设计

### 2.1. 开沟铺管机行走机构的机构运动示意图

开沟铺管机是与人们生活相关的重要的机械之一,在人类的社会生活中发挥着重要的作用,开沟铺管机能一次完成开沟、铺管、覆土作业和铺设地下管线。常用的开沟铺管机有两种类型:一种是在暗沟犁的基础上发展而成,即将管道牵引在暗沟犁圆柱形塑孔器的后面,并铺设在由塑孔器塑成的孔内,具有较高的生产效率,但其在机械设计方面具有安全性、稳定性与低成本性,但不具有在复杂地形开沟作业的能力,设备地盘距离地面高度大约30至40厘米,车身高度较低,通过障碍局限性,开沟质量差等特点[1];另一种是采用链刀式或其他类型的开沟部件开出埋管沟,将管道置放沟内,再覆土压实。链刀式开沟铺管机能开出上、下等宽的深沟,由人工通过管子铺放滑道,将瓦管或波纹塑料管置放沟内。开沟部件是装有刀齿的环形链条,刀齿切割土壤并将其带到地面,由螺旋或带式输送机将土送到沟的一侧或两侧,铺管后再由复土装置将土回填沟内。机器作业时的速度为30~300米/小时,可使用中、小型拖拉机开挖深度较大的埋管沟,根据配套拖拉机的功率大小,最大沟深可达1.2~2.5米。还可以将开沟机安

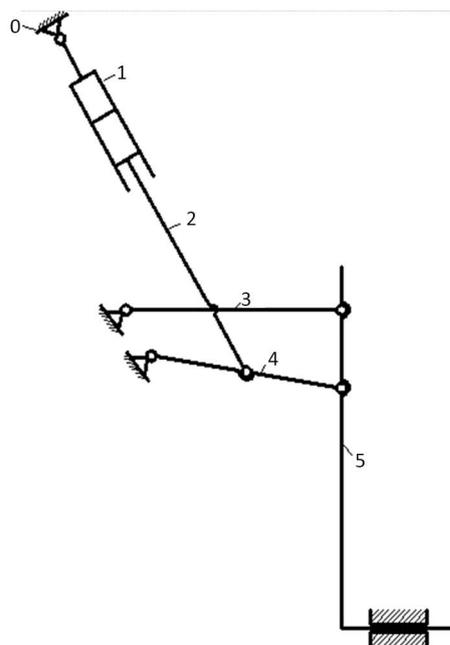
装在履带底盘上，将履带通过性强、环境适应性强等特点与开沟机设结合，利用履带底盘的高通过性来克服中小型拖拉机功率小，通过性差的特点，但设备笨重复杂，没有合理的减振系统，履带刚性的固定在车架上，设备在通过斜坡时非常容易侧翻，在泥泞道路，沙石道越障能力差，且使用成本高，费用大。

开沟铺管机整机主要分为工作区和行走区两大工作部分：工作区主要由开沟机构，升降机构，覆土回填机构组成，而动力行走区由行走机构，发动机，变速箱，驱动轮，传动区等组成。行走机构是开沟铺管机适应复杂工作环境的核心部件之一，开沟铺管机行走机构对复杂地形的通过能力，直接关系到整个开沟铺管机的工作性能，对于复杂多变的地形地貌，本开沟铺管机行走机构通过控制主油缸缸杆在主油缸缸筒内的伸缩，进而控制两小臂绕固定中心点的圆周摆动，从而带动履带行走机构的实现其合理的上下运动，同时履带行走机构也可以绕转向圆盘进行自由转动，四个行走机构可独立调节，也可以协同调节使得开沟铺管机整机保持平衡；该开沟铺管机能够在有大倾斜角度的地形下工作的能力，并同时保持机身平衡，可以快速的通过复杂地形，该机对复杂的地形和恶劣的自然环境适应能力强，适合在我国的新疆、西藏等偏远地区进行管道铺设工作，该设备同时也可以节约大量的人力物力财力，减少工作工序，加快工作进度。

传统开沟铺管设备中，开沟机行走机构与开沟机机身属于刚性连接，在工作过程中设备振动大，工作稳定性差，存在冲击，振动，进而导致开沟能力差，大大降低了其使用价值。因此，本文着重对开沟铺管机的行走机构进行了详细的结构优化设计。相比较之下，采用可主动干预调节的行走机构，可减小工作过程中带来的冲击和振动，适应复杂工作环境，提高工作效率和使用价值，因此，采用可主动调节的行走机构对提高设备的工作效率具有重要意义。

根据优化设计方案，开沟铺管机的行走机构设计如图 1 所示为行走机构机构运动示意图。主要由 6 大部分组成，0：机体；1：主油缸缸筒；2：主油缸缸杆；3：大摆动臂；4：小摆动臂；5：主支撑臂。

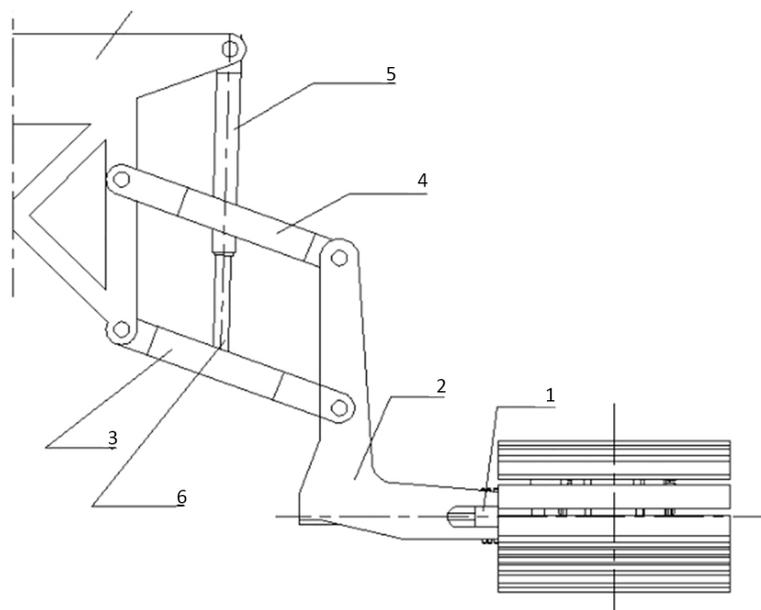
复杂地形开沟设备行走机构，如图 2 所示为行走部分的主视图、如图 3 所示为行走部分的俯视图，



0: 机体；1: 主油缸缸筒；2: 主油缸缸杆；3: 大摆动臂；4: 小摆动臂；5: 主支撑臂

Figure 1. Motion picture of walking mechanism

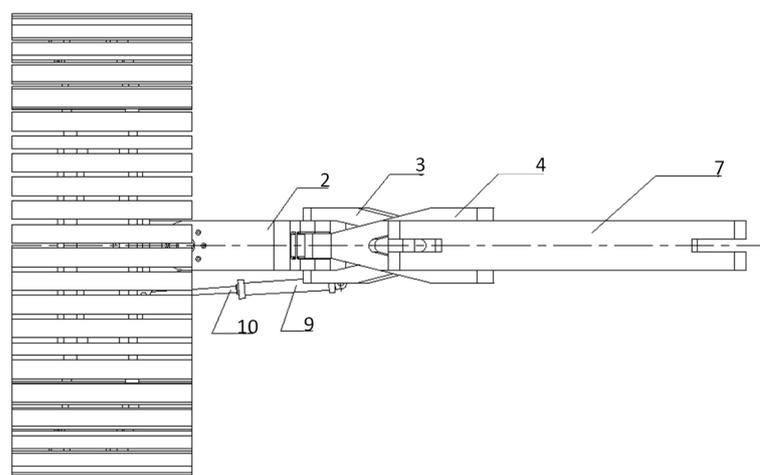
图 1. 行走机构机构运动示意图



1: 转向关节; 2: 大臂; 3: 下小臂; 4: 上小臂; 5: 油缸缸筒; 6: 油缸缸杆

**Figure 2.** The main view of the walking part

**图 2.** 行走部分的主视图



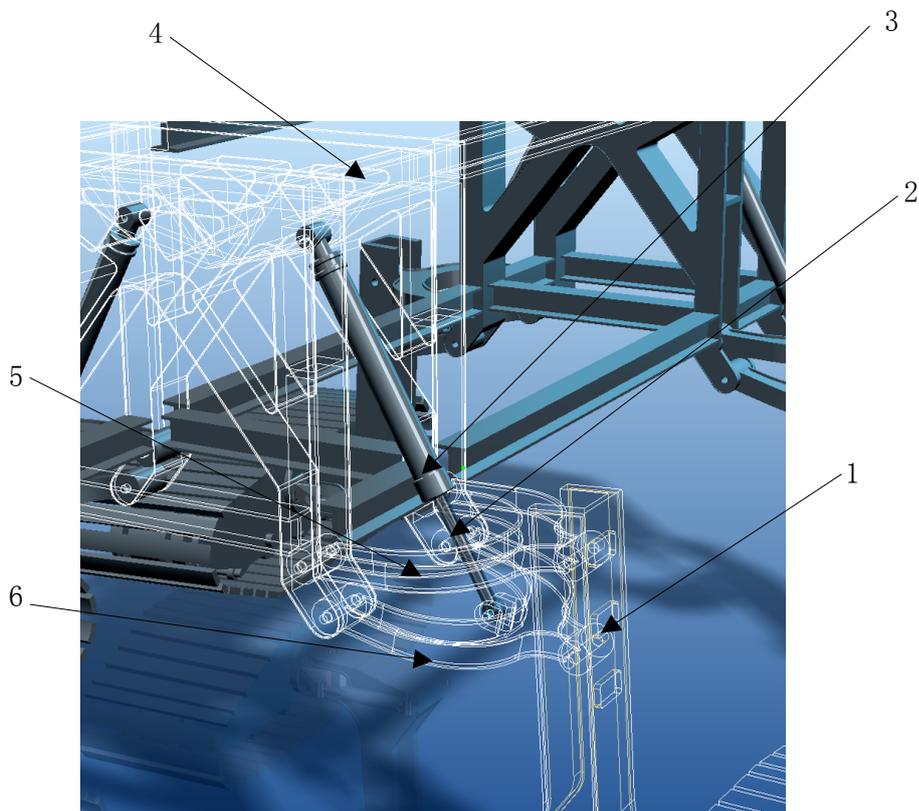
2: 大臂; 3: 下小臂; 4: 上小臂; 7: 主机架; 9: 转向油缸缸筒; 10: 转向油缸缸杆;

**Figure 3.** The top view of the walking part

**图 3.** 行走部分的俯视图

当开沟铺管机进行开沟作业时，如果是在平坦的工作表面进行作业，只需要保持四个独立行走机构在同一工作高度上即可。如果在地形比较复杂的恶劣工作环境下工作，此时可以通过调节油缸缸杆 6 在油缸缸筒 5 内移动来改变独立行走机构的工作状态，以此使整机无论在平坦的工作表面还是复杂的工作表面都能保持整机平衡。

通过 Pro/E 软件对行走机构的各部分零件进行三维建模得到三维模型，并进行装配，如图 4 所示为行走机构局部装配图，然后进行运动仿真，检验设计的合理性，并检验其运动是否产生干涉。通过三维软件仿真后，各零部件之间并无干涉，装配合理，符合机械设计要求[2] [3]。局部装配图如下，该开沟铺



1: 大臂; 2: 油缸缸杆; 3: 油缸缸筒; 4: 主机架; 5: 上小臂; 6: 下小臂

Figure 4. Walking mechanism assembly drawing

图 4. 行走机构局部装配图

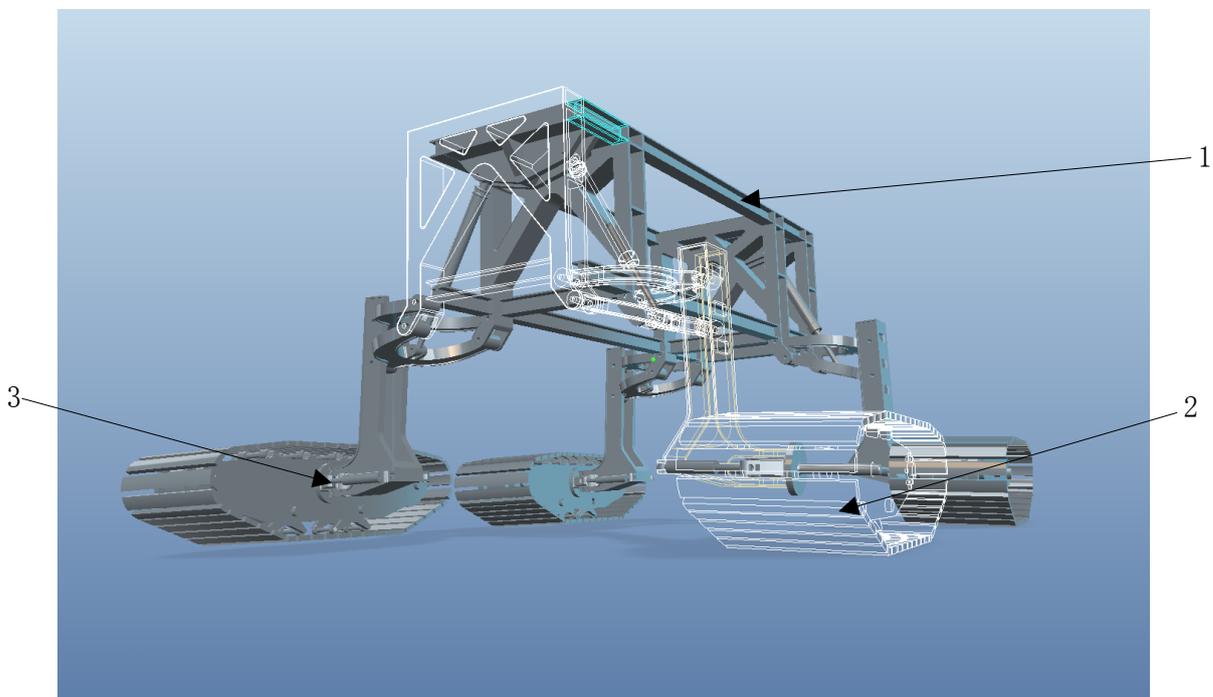
管机进行开沟作业时，根据作业地形和作业环境的要求，通过调节油缸 1 中的油缸缸杆 2 的伸缩，控制下小臂 3 与上小臂 4 绕销钉的转动范围，调整行走机构的高度，以此来适应复杂地形，使设备车身在进行作业时保持平稳，工作时履带行走机构可绕转向关节通过油缸 1 与油缸缸杆 2 的伸缩实现自由转动。该设备工作时还可以实现原地 360 度自由转动，具体实施方法如下：四个独立履带行走机构通过转向油缸与转向油缸缸杆的伸缩向内旋转 45 度，即个实现原地 360 度自由旋转。图 3 为所设计行走机构的三维模型及相关零件的装配图。

## 2.2. 行走机构结构的创新

该设备通过延长主支撑臂 3 的长度，以此来提高该设备的工作高度，以便于通过较为复杂的地形，该开沟设备具有 4 个独立悬挂的行走装置，每个行走装置可以对其进行独立的调节，可以实现开沟机的原地 360 度旋转，斜坡行走，横向行走，纵向行走，可以灵活的独立调节 4 个独立行走装置的高度，从而通过沟壑，陡坡等复杂地形，具备通过性强，转向角度小等特点，如图 5 所示为行走机构部件布置模型 1，如图 6 所示为行走机构部件布置模型 2。

## 2.3. 行走机构细节展示图以及开沟机特殊工作状态展示

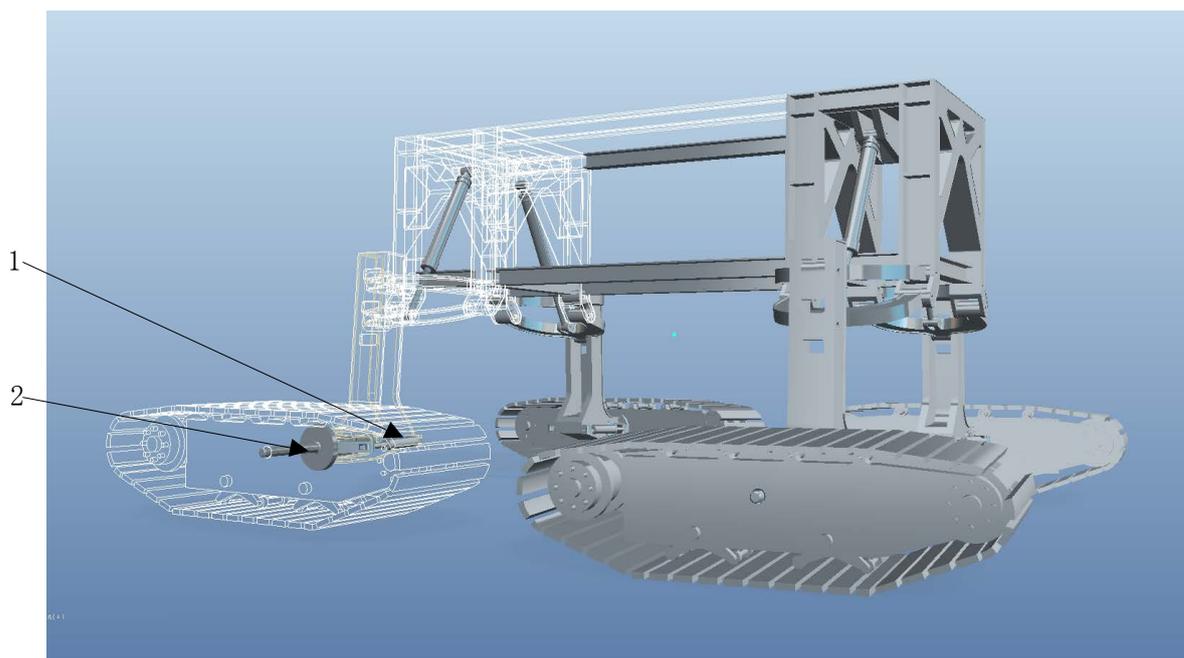
该设备具备独立的四个行走机构，可以适应多种工作环境，具备多种工作状态，具体的工作状态如下，如图 7 所示为行走机构部件布置模型 3，如图 8 所示为行走机构部件布置模型 4，如图 9 所示为开沟机平行行走状态 1，如图 10 所示为开沟机平行行走状态 2，如图 11 所示为原地旋转状态 1，如图 12 所示为



1: 主机架; 2: 行走履带; 3: 转向关节

**Figure 5.** The walking mechanism part layout model one

**图 5.** 行走机构部件布置模型 1

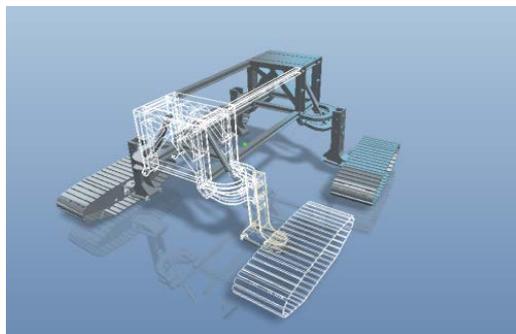


1: 转向油缸组; 2: 行走机构连接销轴

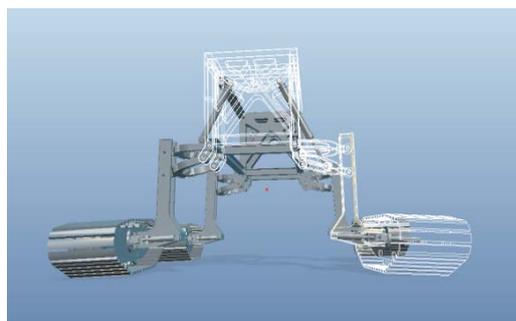
**Figure 6.** The walking mechanism part layout model two

**图 6.** 行走机构部件布置模型 2

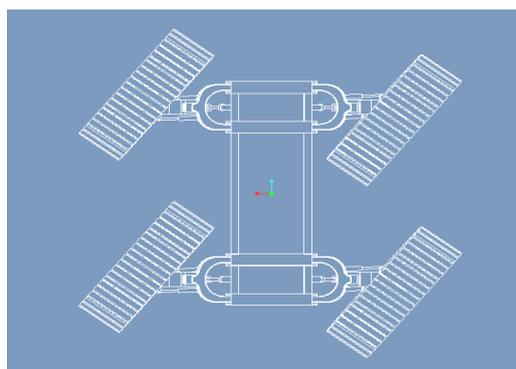
开沟机原地旋转状态 2, 如图 13 所示为开沟机通过斜坡。



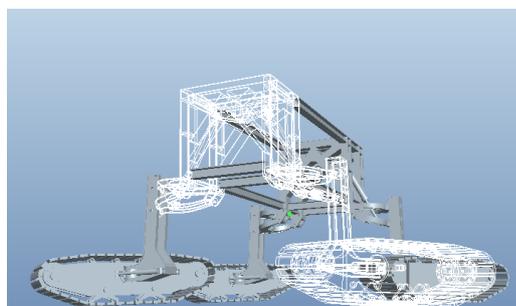
**Figure 7.** The walking mechanism part model three  
**图 7.** 行走机构部件布置模型 3



**Figure 8.** The walking mechanism part model four  
**图 8.** 行走机构部件布置模型 4



**Figure 9.** Parallel running state one  
**图 9.** 开沟机平行行走状态 1



**Figure 10.** Parallel running state two  
**图 10.** 开沟机平行行走状态 2

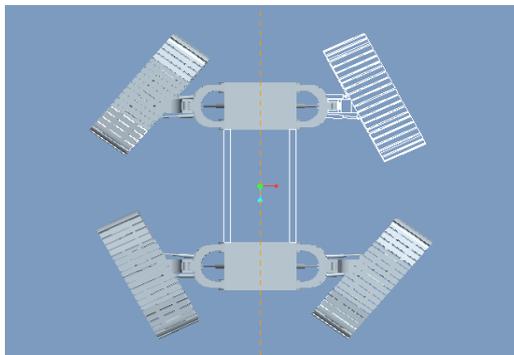


Figure 11. Machine *in-situ* rotation one

图 11. 开沟机原地旋转状态 1

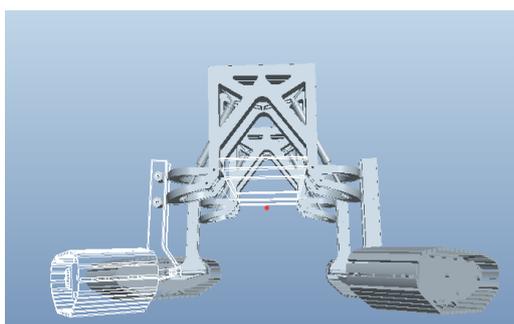


Figure 12. Machine *in-situ* rotation two

图 12. 开沟机原地旋转状态 2

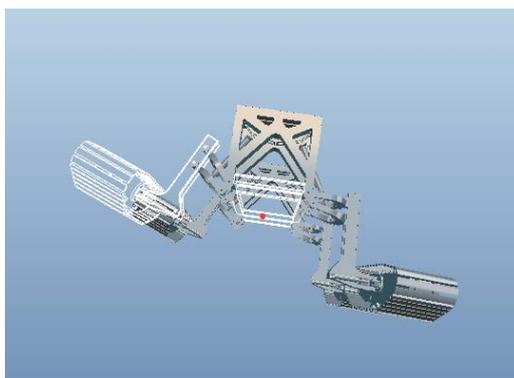


Figure 13. Machine through the slope

图 13. 开沟机通过斜坡

### 3. 有限元仿真分析

#### 3.1. 载荷工况分析

全地形开沟铺管机在工作过程中,行走机构承受的载荷种类很多,就其载荷的性质来看,行走机构所受到的主要载荷有弯曲、扭转载荷等几种。其中弯曲载荷主要产生于设备车身、车载设备、操控装置等的质量;扭转载荷产生于路面不平度对开沟设备造成的非对称支撑;在极限的工作条件下,行走机构还会承受一定的纵向载荷[4] [5]。

该设备依靠 4 个独立行走装置的协同调节,从而适应路面不平度对开沟设备造成的扭转载荷,该设

备工作速度较低，并不需要进行深度的动力学分析，故只需要对行走机构的主要结构进行静力分析即可全面的了解行走机构的应力分布情况。

### 3.2. 主支撑臂结构分析

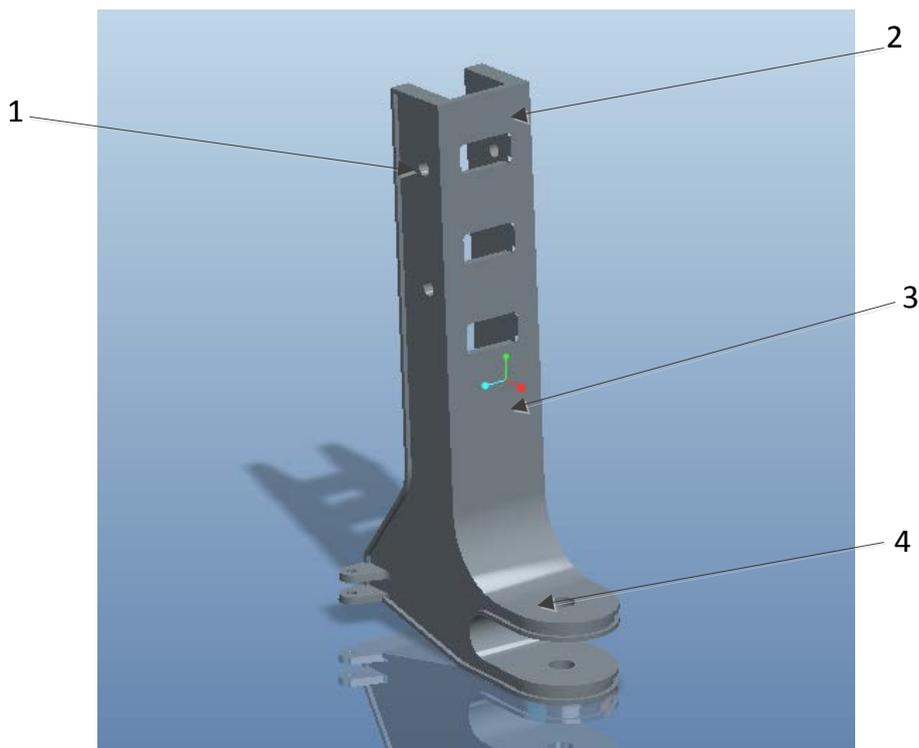
主支撑臂是开沟铺管机的重要组成，如图 14 所示为主支撑臂，主支撑臂是整个行走机构的最主要受力部件，同时主支撑臂同时受到来自其他几个与其相连接部件的力，并分担着行走机构整体受力弯曲所产生的弯曲应力，主支撑臂由立柱、筋板、连接销孔、履带转向节延伸组成，本项目中我们使用 ANSYS 对行走机构的主支撑臂进行分析，如图 15 所示。

### 3.3. 静载荷工况分析

#### 3.3.1. 单位制确定及材料属性定义

多数的有限元计算程序都不规定所使用的物理量单位，为了方便使用，不同的问题可以使用不同的单位，但在同一个问题中各物理量的单位必须是统一的。由于在实际工程问题中可能会用到各种不同单位的物理量，如果只是按照习惯采用常用的单位，表面上看单位是统一的，实际上却不统一，从而导致错误的计算分析结果。也就是说对于实际工程问题，不能按照手工计算的惯来选择各物理量的单位，而必须遵循一定的原则。

物理量的单位与所采用的单位制有关。物理量可分为基本物理量和导出物理量，在结构和热的相关计算中的基本物理量有：质量、长度、时间和温度。导出物理量的种类很多，如面积、体积、速度、加速度、压力、应力、导热率、比热、热交换系数、能量、热量、功率等，都与基本物理量之间有确定的



1: 连接轴销孔; 2: 筋板; 3: 立柱; 4: 转向节

Figure 14. The main bracket

图 14. 主支撑臂

关系。基本物理量的单位确定了所用的单位制，然后可根据相应的公式得到各导出物理量的单位。具体的做法是，首先确定各物理量对的量纲，在根据基本物理量单位制的不同得到各物理量的具体单位。由于提供的设计资料中，尺寸材料均采用毫米，其他均采用毫米、其他均采用 kg-m-s 单位制[6]。为减少建模过程的工作量，建模初期并没有对尺寸单位进行换算。

该设备所使用的材料性能如下：由于主支撑臂是整个行走机构最重要的组成部件，同时也是主要的受力部件，所以应采用的材料为 16 Mn，抗拉极限 480 MPa 至 520 MPa，屈服极限 280 MPa 至 350 MPa，弹性模量 200 GPa，剪切模量 79.4 GPa，泊松比 0.3。

### 3.3.2. 网格的划分

如图 16 所示为主支撑臂网格划分后图片，对主支撑臂的主要受力部位进行较细的网格划分，以便于得到精确的求解结果。

### 3.3.3. 载荷与边界条件设定

设备在静载荷工况下，开沟铺管机行走机构承受的载荷是主要在重力加速度作用下而产生的。本文根据主要载荷的分布状况将其布置在主支撑臂的轴孔承载面上[7] [8] [9]。

此外，为消除行走机构的刚体位移，需要对主支撑臂与大摆动臂和小摆动臂的装配位置的节点处进行约束，静载荷工况下，其边界条件为：约束主支撑臂与大摆动臂和小摆动臂的装配位置的节点的三个平动自由度 UX、UY、UZ，从而释放三个转动自由度 ROTX、ROTY、ROTZ；约束主支撑臂与履带架装配节点的垂直方向自由度 UZ，释放其他自由度。

### 3.3.4. 计算结果及其评价

静载荷工况下的高应力区，主要分布在主支撑臂下端圆弧过度处，如图 17 所示，其余部分的应力值都相对较小，图中最高应力处产生在主支撑臂与转向销轴的连接处旁的内部过度圆弧处[10]，应力值为 64.8 MPa，这是由于主支撑臂下端延伸处过长，转向连接轴轴载质量较大造成的。材料的屈服度在 280 MPa 到 350 MPa 之间，故安全系数为 4.32 到 5.40，由此可见车身结构是满足强度要求，并具有较大的强度冗余，具体参数如图 17 所示为主支撑臂应力云图。

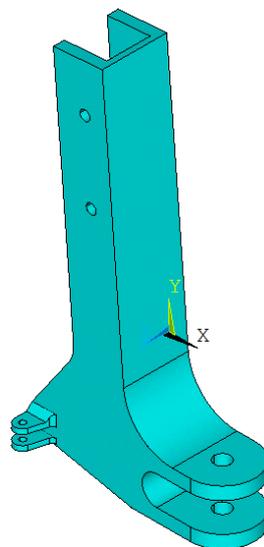


Figure 15. Finite element model of main bracket

图 15. 主支撑臂有限元模型

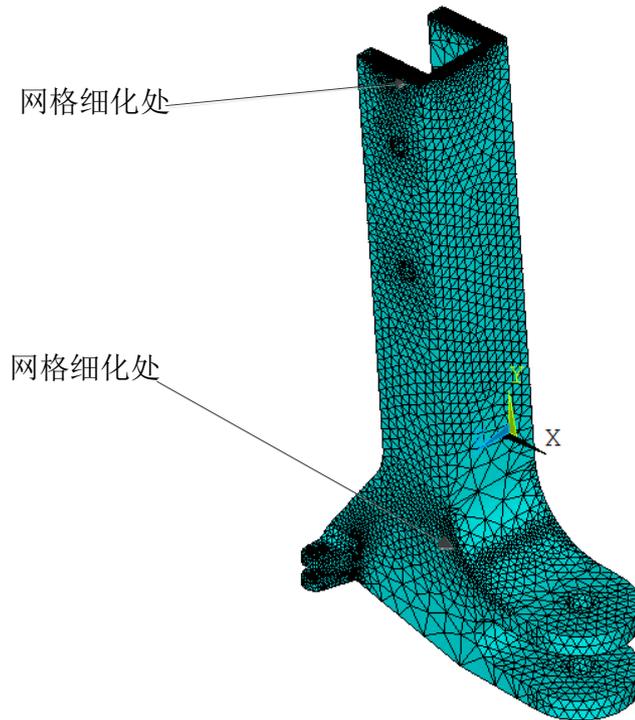


Figure 16. After mesh generation of main bracket  
图 16. 主支撑臂网格划分后

SEQV (AVG)  
DMX =33853  
SMN =0.22832  
SMX =64812

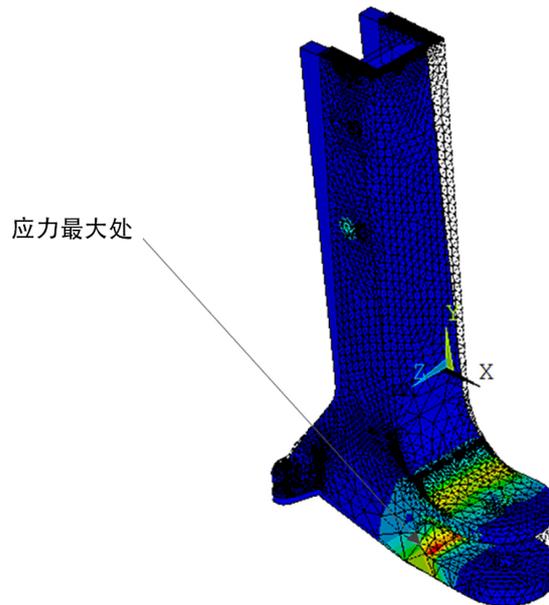


Figure 17. Colored stress patterns of main bracket  
图 17. 主支撑臂应力云图

静载荷工况下由于变形量过小，在此不予以说明。

#### 4. 优化结果

通过对开沟铺管机行走机构进行上述的结构优化设计，改善了传统行走系统行走平稳性差，振动大，易受到冲击，不能适应复杂工作环境等问题，因此运用 ANSYS 进行结构优化设计是很有必要的。通过结构优化设计，我们的到了主支撑臂的应力云图，对主支撑有了进一步的了解，从而使得整体结构得以更加紧凑，工作平稳，环境适应性增强，工作效率得以提高。

#### 参考文献

- [1] 陈朝海, 段洁利, 闫国琦, 孙振刚, 杨洲. 果园开沟机研究现状与发展对策[J]. 现代农业装备, 2013(2): 64-68.
- [2] 董建军, 武广伟, 付卫强. 我国农田开沟机研究进展及展望[J]. 农机化研究, 2014, 36(2): 237-240.
- [3] 叶强. 葡萄园小型开沟机开沟部件设计与试验[D]. 湖南农业大学, 2013.
- [4] 李杰银. 果园开沟机实验研究及优化设计[D]. 河北农业大学, 2013.
- [5] 王京凤. 微型果园开沟机的设计分析与优化[D]. 西北农林科技大学, 2010.
- [6] 柴立发, 刘俊峰, 杨欣, 蔡雅琨. 链式开沟机悬挂装置的有限元分析[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1): 33-36.
- [7] 张琦, 王伟, 廖结安. 枣园施肥机开沟器的设计与有限元分析[J]. 农机化研究, 2016, 38(4): 23-28.
- [8] 王虎奇, 何海钊, 陈忠毅. 基于 ANSYS 的装载机铲斗结构静强度的有限元分析[J]. 广西工学院学报, 2009, 20(3): 92-95.
- [9] 武添松. 链式开沟机开沟装置的设计及有限元分析[D]. 吉林大学, 2013.
- [10] 薛子萱. 立式螺旋开沟机工作部件设计及优化[D]. 西北农林科技大学, 2011.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [met@hanspub.org](mailto:met@hanspub.org)