

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.12.005

# 丘陵山区农用自适应调平底盘设计与试验

刘平义<sup>1</sup> 彭凤娟<sup>1</sup> 李海涛<sup>1</sup> 王壮壮<sup>1</sup> 魏文军<sup>1</sup> 赵俊朋<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 北京中卓时代消防装备科技有限公司, 北京 101300)

**摘要:** 丘陵山区地形复杂,地面凹凸不平,针对农用车辆行驶稳定性较差、车体倾斜等问题,提出一种自适应调平方法,并根据丘陵山区农用动力底盘作业要求,设计一种自适应调平悬架及应用该悬架的自适应调平底盘。建立虚拟样机三维模型,并导入动力学分析软件 ADAMS 中进行仿真分析,将底盘仿真过程中的侧倾角和俯仰角与四轮刚性底盘在同等条件下仿真得到的侧倾角和俯仰角对比,自适应调平底盘参考某种作业环境在幅值和波长特定的波形地面上行走作业时,侧倾角和俯仰角之和可降低 60% 左右。通过对样机土槽试验结果分析,证明自适应调平方法的可行性和仿真分析的正确性。

**关键词:** 丘陵山区; 自适应调平悬架; 自适应调平底盘

**中图分类号:** S232.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2017)12-0042-06

## Design and Experiment of Adaptive Leveling Chassis for Hilly Area

LIU Pingyi<sup>1</sup> PENG Fengjuan<sup>1</sup> LI Haitao<sup>1</sup> WANG Zhuangzhuang<sup>1</sup> WEI Wenjun<sup>1</sup> ZHAO Junpeng<sup>2</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Beijing Zhongzhuo Fire Fighting Equipment Co., Ltd., Beijing 101300, China)

**Abstract:** With the improvement of agricultural mechanization in China, the development of agricultural machinery suitable for hilly and mountainous regions has been paid more and more attention; However, due to poor hilly and mountainous regions operating environment, when agricultural vehicles are in the walk, the processes of roll angle and pitch angle have a great change, affecting vehicle stability. The existing agricultural vehicle leveling is mainly through mechanical, electronic, hydraulic and other control technology to achieve, mostly when the body tilts, according to the degree of tilt of the vehicle to calculate the amount of adjustment and leveling, this method is characterized by complex control and high cost. Aiming at the problems, an adaptive leveling method was proposed. And an adaptive leveling suspension and an adaptive leveling chassis with the suspension were designed by using this method. Three-dimensional model was established by using 3D modeling software, and the model was introduced into dynamic analysis software ADAMS for simulation analysis. By analyzing the simulation process, it was possible that the sum of the roll angle and pitch angle of the adaptive leveling chassis can be reduced by about 60% when walking on amplitude and wavelength-specific waveform ground which referenced to a certain operating environment. The test of sample machine was carried out, and the results showed the feasibility of the adaptive leveling method and the correctness of the simulation analysis, that was, the adaptive leveling of the chassis can reduce the sum of roll angle and pitch angle when the chassis was running and can be realized and met the requirements of the agricultural chassis in the hilly area.

**Key words:** hilly area; adaptive leveling suspension; adaptive leveling chassis

## 引言

我国丘陵山区分布广阔,占国土面积的 43% 以

上,丘陵山区粮食及油料作物的产量在农业生产中所占比重较大<sup>[1-3]</sup>。但目前丘陵山区农业机械化最为薄弱,远落后于平原地区,主要原因之一是丘陵山

收稿日期: 2017-03-09 修回日期: 2017-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(51405494)

作者简介: 刘平义(1978—),女,副教授,主要从事机械设计及理论研究,E-mail: liupingyi@cau.edu.cn

区地形复杂,作业地块小、形状不规则、起伏频繁。适用于平原地区的农业机械在丘陵山区除了难以行走作业外,农具作业过程中车身及作业部件难以保持水平,影响作业质量,车辆容易倾翻,严重影响操作人员安全<sup>[4-11]</sup>。

现有农用车辆调平主要通过机械、电子、液压和控制等技术联合实现,多是车体发生倾斜后,根据车辆的倾斜程度计算出调节量并进行调平,控制复杂,成本较高<sup>[12-14]</sup>。如美国 JOHN DEER 公司的联合收获机<sup>[15]</sup>,采用电液自动调平系统,当车辆发生倾斜时,通过控制供油回路通断的方式,实现车体调平。中国一拖集团有限公司研制的东方红-国际(525EX 型)半喂入水稻联合收获机<sup>[16]</sup>,在车体上装有水平控制装置,通过左右支重轮自动调节的方法实现车体调平。本文立足于机械结构本体研究,提出一种适应丘陵山区作业的农用底盘自适应调平方法,并设计一种简易农用自适应调平底盘,利用悬架弹簧受到地面波动干扰时产生变形,实时吸收和释放能量实现自适应调平,从而减小在行驶作业过程中的车体倾斜。

## 1 自适应调平悬架设计

### 1.1 自适应调平方法

底盘在凹凸不平地面行走作业时,各悬架弹簧根据地形变化实时吸收和释放能量过程中,通过悬架夹角变化,改变悬架高度,减小底盘侧倾角和俯仰角,实现底盘动态调平,满足丘陵山区农用底盘的作业要求<sup>[17]</sup>。

### 1.2 自适应调平悬架方案设计

依据自适应调平方法,设计一种自适应调平悬架,如图 1 所示。该悬架由前悬臂、后悬臂、前拉簧、后拉簧、支承杆、车轮、支架组成,其中前悬臂、后悬臂、支承杆的一端共同绕支架上  $O$  点转动连接,前悬臂和后悬臂的另一端分别与车轮转动连接,支承杆的另一端与前拉簧和后拉簧连接,前拉簧和后拉簧的另一端分别与前悬臂、后悬臂连接。

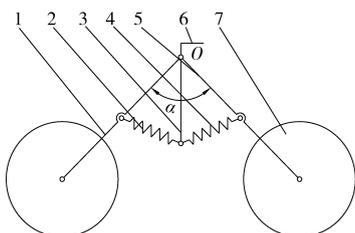


图 1 自适应调平悬架组成原理图

Fig. 1 Schematic diagram of adaptive leveling suspension

1. 前悬臂 2. 前拉簧 3. 支承杆 4. 后拉簧 5. 后悬臂 6. 支架 7. 车轮

### 1.3 自适应调平悬架关键参数设计

根据选定轮胎直径  $d$ ,设计悬架关键参数。

#### (1) 悬臂长 $l$

为确保底盘在凹凸不平地面上的行走通过性,自适应调平悬架的悬臂长  $l$  取值为

$$l = k_1 d \quad (1)$$

式中  $k_1$ ——结构设计参考系数,参考丘陵山区果园地面参数,取  $k_1 \geq 1$

#### (2) 支撑杆长 $m$

为确保自适应调平悬架在底盘调平过程中的通过性和调平效果,支撑杆长取值为

$$m = k_2 l \quad (2)$$

式中  $k_2$ ——结构设计参考系数,参考丘陵山区果园地面参数,取  $0 < k_2 < 1$

#### (3) 悬架弹簧参数

自适应调平悬架受力简图如图 2 所示,基于已知自适应调平悬架参数,根据悬架静态受力分析进行悬架弹簧关键参数设计。

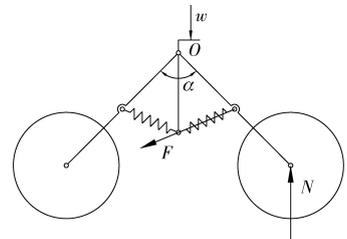


图 2 自适应调平悬架受力简图

Fig. 2 Adaptive leveling suspension force analysis

悬架承受载荷  $w$ ,根据单个悬臂力矩平衡,得

$$M_1 = Nl \sin(\alpha/2) \quad (3)$$

$$M_2 = \frac{cmpx}{n+x} \sin(\alpha/2) \quad (4)$$

其中  $x = \sqrt{m^2 + p^2 - 2mp \cos(\alpha/2)} - n$  (5)

$$N = \frac{w}{2} \quad (6)$$

$$M_1 = M_2 \quad (7)$$

将式(3)~(6)代入式(7)中,得

$$c = \frac{ul \sqrt{m^2 + p^2 - 2mp \cos(\alpha/2)}}{2pm (\sqrt{m^2 + p^2 - 2mp \cos(\alpha/2)} - n)} \quad (8)$$

式中  $M_1$ ——车轮对悬臂的作用力  $N$  对  $O$  点的力矩  
 $M_2$ ——悬架弹簧对悬臂的作用力  $F$  对  $O$  点的力矩

$c$ ——悬架弹簧刚度

$n$ ——悬架弹簧自然长度

$\alpha$ ——悬臂夹角

$p$ ——悬架弹簧的悬挂点与  $O$  点的距离

$x$ ——悬架弹簧的变量

## 2 自适应调平底盘设计

### 2.1 自适应调平底盘方案设计

自适应调平底盘主要由自适应调平悬架、车架、前桥和后桥等组成,如图3所示。

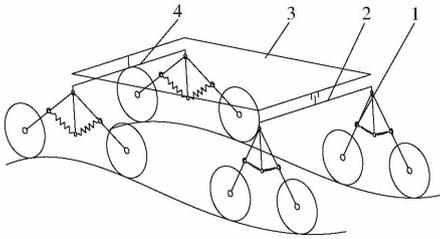


图3 底盘组成原理图

Fig.3 Schematic diagram of adaptive leveling chassis

1. 自适应调平悬架 2. 前桥 3. 车架 4. 后桥

该底盘前桥与车架铰接,前桥在转向机构的作用下相对车架在水平面内转动,完成前桥转向功能<sup>[18]</sup>,后桥与车架固定连接。4个自适应调平悬架分别依据给定轴距 $L$ 和轮距 $Q$ 相对于车架中央纵向平面对称安装在前、后桥上,可通过在一定范围的纵向摆动仿形更好地适应地形,协同悬架弹簧变形实现底盘调平。

### 2.2 自适应调平底盘关键参数设计

自适应调平底盘的关键参数分别为轮距 $Q$ ,轴距 $L$ 和底盘高度 $H$ 。轮距 $Q$ 可参照实际工作环境,如果园地面参数选取。底盘的仿形和调平性能,同侧前后悬架相邻的2个悬臂车轮不能相互干涉。由此,底盘轴距 $L$ 取值条件为

$$L \geq 2l + d \quad (9)$$

为确保底盘行走通过性,底盘高度 $H$ 的取值条件为

$$H > l \sin(\alpha/2) + d/2 \quad (10)$$

### 2.3 自适应调平底盘调平原理

底盘承受载荷 $W$ ,作业速度 $v$ ,前悬臂夹角为 $\alpha_1$ 、后悬臂夹角为 $\alpha_2$ ,以同一侧前后2个自适应调平悬架为例进行分析。底盘通过相对平坦地面时, $\alpha_1 \approx \alpha_2$ ,如图4a所示,悬臂夹角和悬架高度不变,底盘基本保持水平,此时悬架弹簧处于拉伸状态,称为工作初始状态,悬臂夹角为初始角。当底盘通过凸起地面时,如图4b所示,悬架弹簧在自适应调平过程中拉伸,悬臂夹角 $\alpha_1$ 增大,悬架弹簧储存弹性势能并降低悬架高度;反之前悬架通过后,悬架弹簧释放储存的弹性势能后收缩,悬臂夹角和悬架高度恢复为初始值,在整个自适应调整过程中,悬架通过弹簧改变悬臂夹角、导致悬架高度能配合地形变化而减小底盘的侧倾角和俯仰角。同理,当底盘前悬架通过凹下地面时,如图4c所示,悬架弹簧在自适应

调整过程中收缩,悬臂夹角 $\alpha_1$ 减小,悬架弹簧释放弹性势能并增大悬架高度;反之前悬架通过后,悬架弹簧吸收能量后拉伸,悬臂夹角和悬架高度恢复为初始值,在整个自适应调整过程中,悬架通过弹簧改变悬臂夹角、导致悬架高度能配合地形变化从而减小底盘的侧倾角和俯仰角。当底盘前后悬架同时通过凹凸不平地面时,如图4d所示,前悬架通过凸起地面,悬臂夹角 $\alpha_1$ 增大,后悬架通过凹下地面,悬臂夹角 $\alpha_2$ 减小,在整个自适应调整过程中,前后2个悬架通过弹簧分别改变悬臂夹角、导致悬架高度能配合地形变化从而减小底盘的侧倾角和俯仰角。同理,4组自适应调平悬架也能通过弹簧分别改变悬臂夹角、导致悬架高度能配合地形变化从而减小底盘的侧倾角和俯仰角,满足丘陵山区农用动力底盘调平的作业要求。

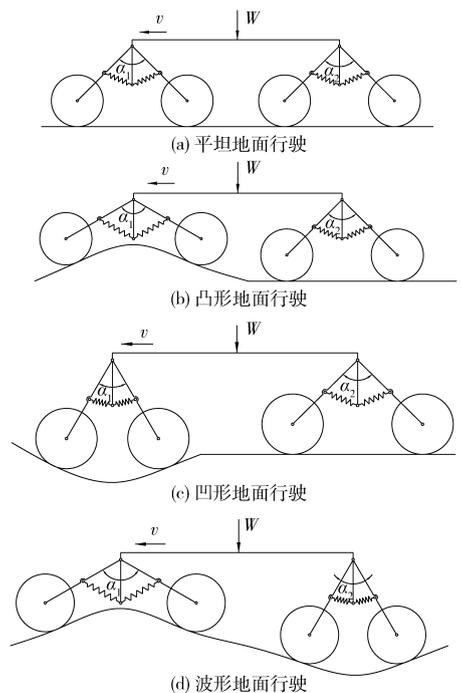


图4 底盘调平原理图

Fig.4 Leveling schematic diagram of chassis

## 3 自适应调平底盘仿真分析

依上述设计方法,根据GB/T 2979—2008选用轮胎 $18 \times 8.50 - 82PR$ ,设计底盘关键参数如表1所示。

我国轮式拖拉机基本工作速度为 $4 \sim 12 \text{ km/h}$ ,缓行速度小于等于 $2 \text{ km/h}$ ,如栽植、开沟、深耕耕作等作业状态时最低可达 $0.2 \text{ km/h}$ <sup>[19]</sup>。由于丘陵山区地面复杂,因此选用通常作业速度 $2.5 \text{ km/h}$ 。

### 3.1 虚拟样机模型

建立自适应调平底盘的三维模型,导入到ADAMS中进行仿真分析。经过模型简化、添加材料

表 1 主要参数

Tab. 1 Main parameters

参数	数值
轴距 $L/\text{mm}$	2 100
轮距 $Q/\text{mm}$	1 600
轮胎直径 $d/\text{mm}$	450
悬臂长 $l/\text{mm}$	700
支撑杆长 $m/\text{mm}$	350
悬架弹簧自然长度 $n/\text{mm}$	180
悬架弹簧刚度 $c/(\text{N}\cdot\text{mm})$	20
质量 $M/\text{kg}$	537.3

信息、约束和弹簧以及真实地面和轮胎,施加 500 kg 载荷等步骤,最终建立运动仿真模型如图 5 所示。在自适应调平底盘仿真过程中,分别采用 ADAMS 自带的 Fiala 轮胎模型、3D 路面 road\_3d\_roof\_example.rdf,并通过轮胎和地面在 ADAMS/tire 模块中的相互作用仿真模拟真实行驶状况<sup>[20]</sup>。轮胎与地面模型建成后,轮胎与车架转动连接,并对 8 个车轮同时添加驱动。

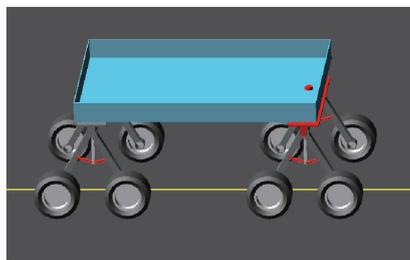


图 5 自适应调平底盘运动仿真模型

Fig. 5 Motion simulation model of chassis

### 3.2 底盘调平效果仿真分析

丘陵山区地面大多凹凸不平,仿真过程中分析地面基本特征后简化为单一波形和连续波形两种地面并建立参考坐标系;为了设计适用性,对地面参数没有采取定量数值描述,而是考虑底盘与通过地面的尺寸制约比例关系,使用底盘的特征关键参数对地面特征关键参数进行比例关系描述。利用 ADAMS 后处理模块,将底盘仿真过程中的侧倾角和俯仰角与四轮刚性底盘在同等条件下仿真得到的侧倾角和俯仰角对比,检验调平效果。

依据平谷丘陵山地地面参数,在 ADAMS 中添加幅值为 1.33 倍轮胎半径、波长为 0.7 倍轴距的单一波形地面,对底盘沿  $X$  轴行走作业进行模拟仿真(图 6),获得底盘行走过程中的侧倾角和俯仰角,同理得到四轮刚性底盘的侧倾角和俯仰角并进行对比(图 7)。

由图 7 可得,自适应调平底盘的最大侧倾角为  $3.4^\circ$ ,最大俯仰角为  $1.9^\circ$ ,四轮刚性底盘的最大侧倾角为  $10.8^\circ$ ,最大俯仰角为  $2.6^\circ$ 。相对于四轮刚

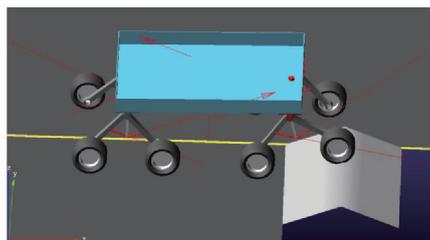


图 6 底盘在单一波形地面运动仿真

Fig. 6 Motion simulation of chassis in single waveform ground

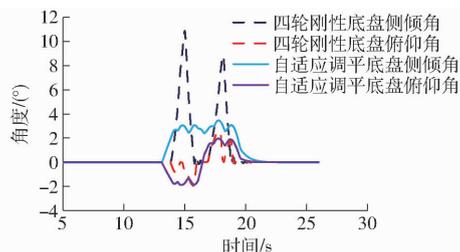


图 7 自适应调平底盘和四轮刚性底盘侧倾角和俯仰角对比(单一波形地面)

Fig. 7 Roll angle and pitch angle of chassis before and after leveling (single waveform ground)

性底盘,自适应调平底盘的侧倾角和俯仰角之和降低了 60.4%。

添加幅值为 1.33 倍轮胎半径、波长为 1.2 倍轴距的连续波形地面,对底盘偏离  $XOZ$  平面  $30^\circ$  斜向行走作业进行模拟仿真(图 8),获得底盘行走过程中的侧倾角和俯仰角与四轮刚性底盘的侧倾角和俯仰角并进行对比(图 9)。

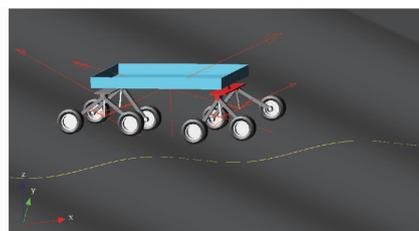


图 8 底盘在连续波形地面运动仿真

Fig. 8 Motion simulation of chassis in continuous waveform ground

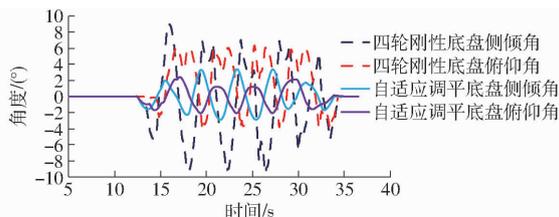


图 9 自适应调平底盘和四轮刚性底盘侧倾角和俯仰角对比(连续波形地面)

Fig. 9 Roll angle and pitch angle of chassis before and after leveling (continuous waveform ground)

由图 9 可得,自适应调平底盘的最大侧倾角为  $3.4^\circ$ ,最大俯仰角为  $2.5^\circ$ ,四轮刚性底盘的最大侧

倾角为 $9.5^\circ$ ,最大俯仰角为 $6.3^\circ$ 。相对于四轮刚性底盘,自适应调平底盘的侧倾角和俯仰角之和降低了 $62.6\%$ 。

## 4 自适应调平底盘样机试验

### 4.1 底盘样机参数

参照微耕机尺寸试制自适应调平底盘小比例样机,如图10所示,样机主要参数:车轮直径 $130\text{ mm}$ ,轴距 $600\text{ mm}$ ,轮距 $400\text{ mm}$ ,悬臂长度 $200\text{ mm}$ ,支撑杆长度 $100\text{ mm}$ ,弹簧自然长度 $50\text{ mm}$ ,弹簧刚度 $2.38\text{ N/mm}$ ,弹簧悬挂位置为悬臂中点处,底盘质量 $26.8\text{ kg}$ 。为方便底盘在行驶过程中侧倾角、俯仰角的测量和数据输出,车架上安装LVT426T型双轴数字型倾角传感器,该传感器采用非接触式测量原理,能实时输出当前的俯仰角和侧倾角,动态测量精度在 $\pm 0.3^\circ$ 范围内,分辨率小于 $0.05^\circ$ ,上位机接收数据。



图10 底盘样机

Fig. 10 Prototype of chassis

### 4.2 试验条件

选择农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室的土槽作为试验场所。在土槽内人工堆砌幅值为 $80\text{ mm}$ 、波长为 $420\text{ mm}$ 单一波形和幅值为 $80\text{ mm}$ 、波长为 $720\text{ mm}$ 的连续波形地面进行试验,样机速度为 $0.6\text{ km/h}$ ,图11为过单一波形地面试验过程,图12为过连续波形地面试验过程。



(a) 试验状态1 (b) 试验状态2

图11 单一波形地面底盘样机试验

Fig. 11 Prototype test of chassis in single waveform ground

### 4.3 试验结果与分析

对读取的试验数据进行分析得出样机在试验过程中的侧倾角和俯仰角变化曲线,如图13、图14所示。

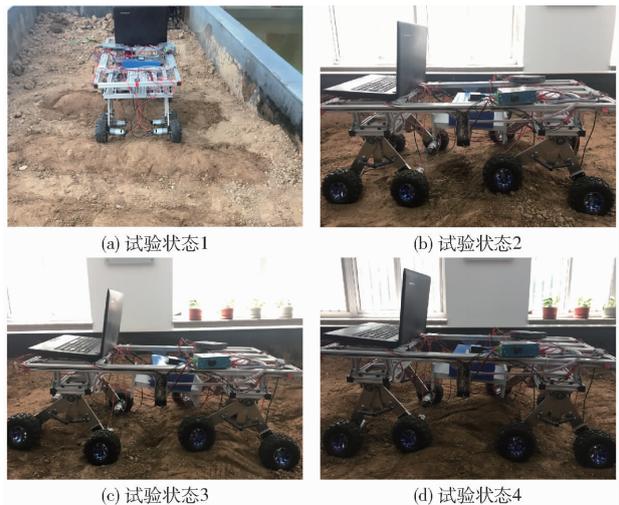


图12 连续波形地面底盘样机试验

Fig. 12 Prototype test of chassis in continuous waveform ground

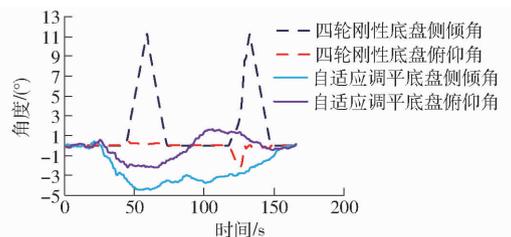


图13 样机试验过程中的侧倾角和俯仰角(单一波形地面)

Fig. 13 Roll angle and pitch angle during test of chassis prototype (single waveform ground)

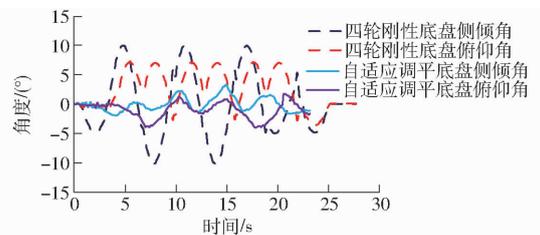


图14 样机试验过程中的侧倾角和俯仰角(连续波形地面)

Fig. 14 Roll angle and pitch angle during test of chassis prototype (continuous waveform ground)

由图13可得,底盘调平后的最大侧倾角为 $4.42^\circ$ ,最大俯仰角为 $2.05^\circ$ 。相对于四轮刚性底盘的最大侧倾角 $11.3^\circ$ ,最大俯仰角 $2.18^\circ$ ,自适应调平底盘的侧倾角和俯仰角之和降低了 $52.01\%$ 。由图14可得,底盘调平后的最大侧倾角为 $3.30^\circ$ ,最大俯仰角为 $4.03^\circ$ ,相对于四轮刚性底盘的最大侧倾角 $9.71^\circ$ ,最大俯仰角 $6.53^\circ$ ,自适应调平底盘的侧倾角和俯仰角之和降低了 $54.86\%$ 。试验结果和仿真结果的差值主要来自人工堆砌地形、地面特征参数误差,以及试验测量误差。

通过对样机试验结果分析,该设计能够实现底

盘的自适应调平,满足丘陵山区农用底盘的作业要求。

## 5 结论

(1)提出了一种农用底盘自适应调平方法,利用悬架弹簧可根据地形变化实时吸收和释放能量进行实时动态调平,减小底盘侧倾角和俯仰角。

(2)设计了一种自适应调平悬架及应用该悬架

的自适应调平底盘,并运用 ADAMS 对该底盘进行仿真分析,得到底盘参考平谷丘陵山地地面参数在幅值和波长特定的波形地面上行走作业时,侧倾角和俯仰角之和可降低 60% 左右,满足丘陵山区农用底盘的作业要求。

(3)自适应调平底盘样机土槽试验证明了自适应调平方法的可行性以及仿真分析的正确性,为丘陵山区农用动力底盘推广应用提供了理论参考。

## 参 考 文 献

- 王升升,耿令新. 丘陵山区农业机械化发展现状及对策[J]. 农业工程,2016,6(5):1-4.  
WANG Shengsheng, GENG Lingxin. Development situation and countermeasures of agricultural mechanization in hilly and mountain areas[J]. Agricultural Engineering, 2016, 6(5): 1-4. (in Chinese)
- 杨印生,吴才聪,冯传平. 日本精确农业的研究现状[J]. 农业机械学报,2001,32(2):107-110.  
YANG Yinsheng, WU Caicong, FENG Chuanping. The status of precision agriculture in Japan[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 107-110. (in Chinese)
- 鲍向东,刘锡勇. 贵州丘陵山区小型多功能田间作业机研究[J]. 农业机械,2011(28):120-121.
- 高焕文,李问盈,李洪文. 我国农业机械化的跨世纪展望[J]. 农业工程学报,2000,16(2):9-12.  
GAO Huanwen, LI Wenyong, LI Hongwen. Prospects of China agricultural mechanization facing the 21st century[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(2): 9-12. (in Chinese)
- 张延化,胡志超,王冰,等. 南方丘陵山区水稻机械化收获探析[J]. 农机化研究,2012,34(3):246-248.  
ZHANG Yanhua, HU Zhichao, WANG Bing, et al. Analysis of rice and wheat harvesting of hills and mountains in the southern[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(3): 246-248. (in Chinese)
- 耿端阳,张铁中,罗辉,等. 我国农业机械发展趋势分析[J]. 农业机械学报,2004, 35(4):208-210.
- 宋建武,刘恒新. 加快突破丘陵山区农业机械化的发展瓶颈[J]. 中国农机化,2010,31(2):16-19.
- 刘平义,王振杰,李海涛,等. 行星履带式农用动力底盘设计与越障性能研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014,45(增刊): 17-23. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2014s103&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2014s103&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.003.  
LIU Pingyi, WANG Zhenjie, LI Haitao, et al. Design and overcoming obstacles ability research of tracked driving chassis with planetary structure[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(Supp.): 17-23. (in Chinese)
- LIU Pingyi, LI Haitao, ZHANG Shaoying, et al. Theoretical analysis and experiment of all terrain adaptive locomotion vehicle[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 2): 134-139.
- 尚书旗,杨然兵,殷元元,等. 国际田间试验机械的发展现状及展望[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊1):5-8.  
SHANG Shuqi, YANG Ranbing, YIN Yuanyuan, et al. Current situation and development trend of mechanization of field experiments[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp. 1): 5-8. (in Chinese)
- 陈霓. 论农业机械化发展与山区经济[J]. 农机化研究, 2007, 29(10): 238-240.  
CHEN Ni. Agricultural mechanization and economy of mountain area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(10): 238-240. (in Chinese)
- 谭冠政,徐雄,肖宏峰. 工业机器人实时高精度路径跟踪与轨迹规划[J]. 中南大学学报:自然科学版,2005, 36(1):102-107.  
TAN Guanzheng, XU Xiong, XIAO Hongfeng. Real-time and accurate hand path tracking and joint trajectory planning for industrial robots[J]. Journal of South University: Science and Technology, 2005, 36(1): 102-107. (in Chinese)
- 黎运宇,李明. 我国农业机械化新技术应用与展望[J]. 中国农机化学报,2014,35(3):296-301.  
LI Yunyu, LI Ming. Application of novel technologies in agricultural mechanization and its new directions[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(3): 296-301. (in Chinese)
- 王涛,杨福增,王元杰. 山地拖拉机车身自动调平控制系统的设计[J]. 农机化研究,2014,36(7):232-235.  
WANG Tao, YANG Fuzeng, WANG Yuanjie. Design of body automatic leveling control system of hillside tractor[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(7): 232-235. (in Chinese)
- 张连岭. 现代农业机械化新技术应用手册[M]. 北京:中国机械出版社,2009:97-99.
- 夏小斌,蔡涛. 国产半喂入联合收割机市场前景乐观东方红-国际半喂入水稻联合收割机应时问世[J]. 现代农业装备, 2003(6):69-72.
- 罗锡文. 对发展丘陵山区农业机械化的思考[J]. 农机科技推广,2011(2):17-20.
- 王亚,陈思忠,李海涛,等. 高地面仿形性动力底盘的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊1):39-44.  
WANG Ya, CHEN Sizhong, LI Haitao, et al. Design and experiment of high performance profiling terrain chassis with power train [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 1): 39-44. (in Chinese)
- 朱国范,艾英宝. 关于黑龙江省一九八六至一九九五年农用拖拉机型谱的探讨[J]. 农机化研究,1986,12(6):1-9.
- 杜岳峰,朱忠祥,毛恩荣,等. 基于 ADAMS 的丘陵山地小型玉米收获机仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):1-5.  
DU Yuefeng, ZHU Zhongxiang, MAO Enrong, et al. Simulation on small-scale corn harvester for hilly area based on ADAMS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.): 1-5. (in Chinese)