

基于振动减阻原理的深松机牵引阻力试验

李霞^{1,2}, 付俊峰¹, 张东兴^{1*}, 崔涛¹, 张瑞¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 石河子大学机电学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 为了减少深松时的牵引阻力, 基于振动深松原理, 研制出了 1SZ-460 型振动深松机。该文对振动深松减阻进行了试验分析研究, 采用以振动作为单因素的试验设计, 分别在不同作物残茬覆盖条件下进行试验。试验结果表明, 振动深松和不振动深松的沟槽剖面宽度不同, 振动后沟底形成了鼠道利于蓄水保墒, 振动后土壤的体积质量减小, 振动牵引阻力比不振动降低 6.9%~17%, 且不同的土壤特性和地表覆盖对牵引阻力会有一定的影响。试验结果为进一步优化机械结构、提高整机的动力和经济性能提供一定的参考依据。

关键词: 农业机械, 振动, 牵引, 深松机, 阻力

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.007

中图分类号: S222.1⁹

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0032-05

李霞, 付俊峰, 张东兴, 等. 基于振动减阻原理的深松机牵引阻力的试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 32-36.

Li Xia, Fu Junfeng, Zhang Dongxing, et al. Experiment analysis on traction resistance of vibration subsoiler[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 32-36. (in Chinese with English abstract)

0 引言

我国广大农村地区土地由于多年采用小型拖拉机进行翻耕或旋耕, 造成土壤存在严重的“浅、实、少”问题, 即土壤耕层浅、耕层内有效土壤少、犁底层坚实。多数地区的耕层深度只有 10~15 cm, 与作物生长发育所需的耕层 30~35 cm 有巨大差异, 造成作物根系不发达, 容易倒伏, 制约产量的进一步提高。2009 年 12 月《国务院关于进一步实施东北地区等老工业基地振兴战略的若干意见》提出的深松补贴被纳入 2009 年中央财政新增农资综合补贴资金支持范围。随着我国旱地耕作保墒农艺新技术的发展, 研制新型的深松作业机具势在必行。但深松机具是农业机械中的动力需求“大户”, 深松能耗往往是种植或收获作业能耗的 3~5 倍^[1-4]。因此, 如何减少深松作业阻力, 使广大农村地区使用中型拖拉机即可进行深松作业是急于解决的关键问题之一。

美国、西欧等国家对于深松机具的研究已相当完善, 并形成系列, 其松土方式主要有挤压松土和振动松土 2 种形式。我国研制的深松机采用的深松部件主要有: 凿形铲深松器、振动鼠道式深松器、弯腿犁型深松器、可调翼铲深松器和全方位深松器^[5-8]。这些机型均存在阻力消耗大的问题, 给深松机的动力配套带来了一定的困难,

进而影响了深松机的推广应用。以往的研究发现深松铲的振动能有效减少牵引阻力, 1993 年 Sakai 等调查研究发现振动对牵引阻力和功率消耗的影响, 土壤剪切力的波动主要是振动过程中垂直方向上的加速度引起的^[9-11]。因此采用振动原理能降低牵引阻力, 节约动力消耗。

本文主要针对深松机减阻问题, 采用振动原理进行田间试验研究, 以便为进一步优化机械结构, 提高整机的动力性和经济性提供依据。

1 深松机振动工作原理

1.1 振动深松机的结构与技术参数

目前耕作机具中减少牵引阻力的技术和方法主要有: 充注气体或液体、振动法、电渗法、表面改性或改形、仿生法^[12]。综合考虑这些方法, 振动深松机采用振动方式, 使土壤耕作机具产生一定频率的振动, 疏松土壤, 达到减少阻力的目的^[13]。

本试验所用 1SZ-460 型振动式深松机是由中国农业大学研制, 结构如图 1 所示, 主要由机架、偏心轴、连接板、深松铲和限深轮等组成。深松铲振动动力由拖拉机动力输出轴通过万向传动轴经偏心轴一端输入, 偏心轴另一端将往复运动及相应动力传递给连接板等连接结构, 带动深松铲产生振动, 实现对土壤的深松作业。振动深松降低了牵引杆上的牵引阻力, 使得中型轮式拖拉机亦能完成先前必须由大型拖拉机完成的深松作业。

该机主要技术参数为: 外形尺寸(长×宽×高) 1 800 mm×2 200 mm×1 500 mm; 整机质量为 350 kg, 其中偏心振动机构质量为 50 kg, 偏心距为 10 mm, 转速可以通过调节拖拉机输出轴的转速来改变; 工作幅宽 2 400 mm; 松土深度 200~450 mm; 振动频率 9~12 Hz; 振幅 10 mm, 生产效率 0.6~1.2 hm²/h; 配套动力为 37 kW 以上的轮式拖拉机。

收稿日期: 2011-01-19 修订日期: 2011-04-15

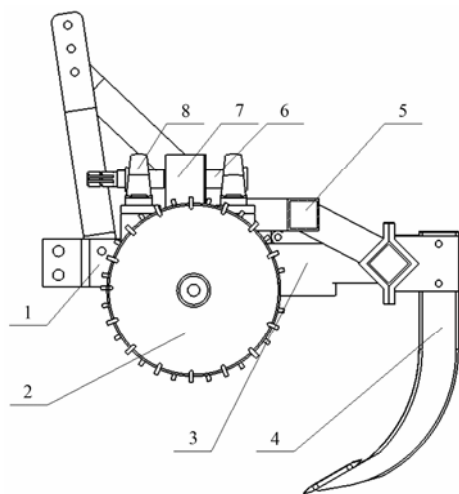
基金项目: 玉米机械化生产工艺与装备系统优化研究与示范项目(200903059); 国家现代玉米产业技术体系机械化研究室、农业部土壤—机器—植物系统技术重点实验室。

作者简介: 李霞(1978—), 女, 博士, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: lixia0415@163.com

*通信作者: 张东兴(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械装备与计算机测控研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: zhangdx@cau.edu.cn

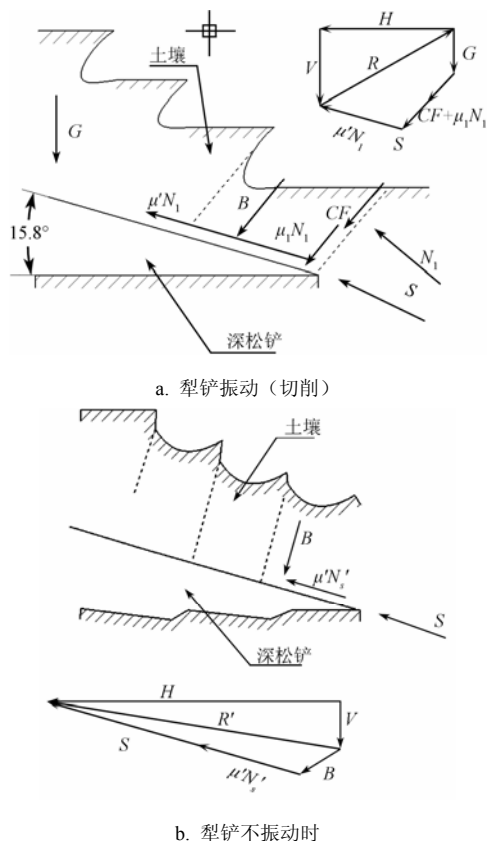


1. 机架 2. 限深轮 3. 连接板 4. 深松铲 5. 横梁 6. 偏心轴 7. 偏心轴承 8. 轴承座

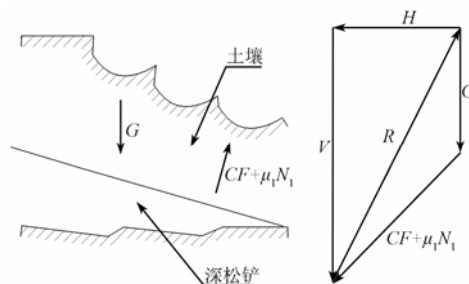
图 1 1SZ-460 型振动深松机
Fig.1 1SZ-460 vibrating subsoiler

1.2 振动深松机的松土原理

振动深松与普通深松在切削土壤的方法上有着本质的区别,普通深松属于一维切削,而振动深松除水平切削以外,还有垂直切削,属于二维切削,二维切削比一维切削具有更大的优越性,其受力模型见图2。由图2可见,若将工作过程分为切削和提升2个阶段,则无论是切削还是提升阶段,其水平分力都远远小于不振动切削的水平分力^[4]。激振力来自竖直方向,水平方向激振力很小。振动减阻的原理是利用土壤具有弹塑性的力学性质,将振动位移置于土壤的弹性变形区,使其阻力小于塑性变形的最大阻力,又获得塑性变形的特点,减少牵引阻力。



b. 犁铲不振动时



c. 犁铲振动(提升)

注: G 为土块的质量, N ; N_1 为作用于前失效面的法向载荷, N ; μ_1 为土壤内摩擦系数; N'_s 为倾斜工作部件深松铲的法向载荷, N ; μ' 为土壤与深松铲的摩擦系数; F 为前剪切失效面的面积, m^2 ; C 为土壤的内聚力压, Pa ; B 为土壤的加速度, N ; S 为土壤的纯切削阻力, N ; R 为总切削力, N ; H 为总切削力的水平分力, N ; V 为总切削力的竖直分力, N 。

图 2 振动减阻机理

Fig.2 Vibrating drag reduction mechanism

2 材料与方法

2.1 试验材料与方法

2.1.1 试验地概况

试验时间: 2010 年 11 月 22 日。试验在河北省固安县西市村农田进行,地形平坦,坡度小于 5° ,种植春玉米、白菜、花生等作物,有少量收获后遗留的秸秆及杂草。土壤类型为带状壤土,年降雨量 $500 \sim 600 \text{ mm}$ 。土壤的含水率 19.02% ,土壤深松前体积质量为 0.56 g/cm^3 。

2.1.2 试验仪器

试验用牵引车为雷沃 950 拖拉机 1 台,2 轮驱动,工作机为约翰迪尔 52.92 kW 拖拉机 1 台,2 轮驱动,输出轴额定转速 720 r/min 。ALIYIYI 艾力数显式推拉计,型号为 HF-1000,生产厂家是浙江乐清市艾力仪器有限公司,联想 x200s 笔记本电脑 1 台,标杆 24 根,秒表 1 个,牵引钢丝绳 1 条,牵引插销 3 个,1SZ-460 型振动深松机 1 台,环刀 40 个,干燥箱 1 台。

2.2 试验方法

2.2.1 试验因素

影响深松机牵引阻力和牵引功耗的参数有机器前进速度 V 、耕作深度、深松铲的振动、深松铲的结构型式、土壤的物理特性等工作参数,还与获取数据所采用的测试仪器、设备的精度和操作人员的技术水平有关^[15-17]。田间试验的不定因素较多,如采用多因素试验,试验数据显著性差。为了确定深松机振动减少牵引阻力的程度,将振动设为主要因素,牵引阻力作为评价指标。

2.2.2 试验步骤

将地块按试验要求划分为小区,每个小区长 50 m ,宽为机具幅宽 6 倍,每个小区的两端插好标杆,测量时取中间 20 m 为测量范围。分别用环刀取不同深度的土壤样本,用恒温干燥箱 105°C 烘干 8 h 。

由于是三点悬挂,传感器不好安装,目前大都是以拖拉机拖曳拖拉机的方式进行,用两台拖拉机,前 1 台为牵引拖拉机,后 1 台为悬挂拖拉机,将拉力传感器安装在两拖拉机之间,后拖拉机作为被动机具一起被牵引,测试时先测出整个机组的牵引阻力,再测出后挂拖拉机

的牵引阻力如图 3 所示, 两者相减即为牵引力。

牵引拖拉机的档位设为高 1 档, 深松深度为 30 cm, 后面工作拖拉机挂空挡。振动作业时后面工作拖拉机的动力输出轴转动, 转速为 720 r/min, 通过联轴器带动深松机上的偏心轴转动, 从而振动深松铲实现上下振动。不振动作业时后面工作拖拉机的动力输出轴不转动, 因此深松铲不振动。对比分析深松中振动和不振动牵引阻力的变化, 以及不同残茬覆盖物的地表深松时牵引阻力的大小不同。

当拖拉机启动后打开拉力计的传感器和连接的笔记本电脑, 行驶平稳后运行测力程序, 开始测量牵引阻力的大小, 取试验小区中间行走平稳的 20 m 记录瞬时牵引阻力的大小。



a. 牵引系统工作图 b. 测力计安装位置图
图 3 牵引阻力测试系统

Fig.3 Praction resistance test system

3 结果与分析

3.1 振动深松对沟槽的影响结果分析

试验所得振动与不振动 2 种沟槽宽度结果如表 1 和图 4 所示。

表 1 振动和不振动深松后沟槽的宽度和深度
Table 1 Width and depth of trench after subsoiling with and without vibratory

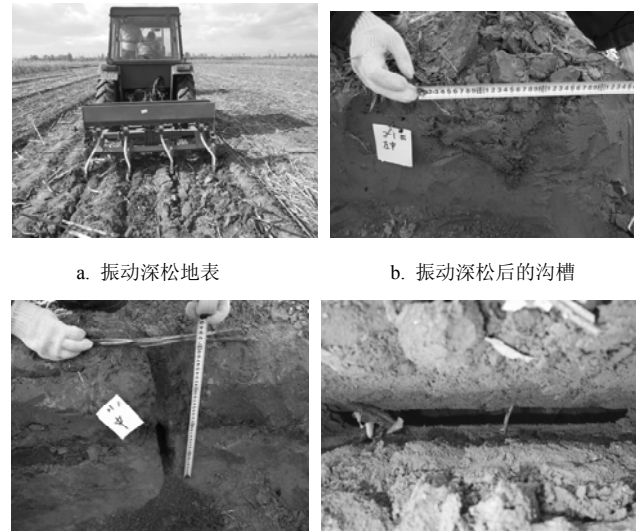
试验号	上沟槽宽/cm		下沟槽宽/cm		耕深/cm	
	振动	不振动	振动	不振动	振动	不振动
1	20	30	5	5	40	35
2	25	30	4	5	38	37
3	20	25	4	4	38	30
4	20	30	5	5	25	26
5	30	35	6	6	27	35
平均	23	30	4.8	5	33.6	32.6

由表 1 可见, 振动深松和不振动深松对土壤的深松沟槽和沟深有很大影响。深松铲深松后沟槽呈“V”型, 振动时上沟槽宽度要小于不振动时上沟槽的宽度。

由图 4 可见, 振动后对土壤整体破坏度较小, 地表平整没有出现翻土现象, 从图 4c 看出振动后在沟底形成了鼠道, 对于干旱地区, 利于蓄水补墒, 形成节水型“雨养农业”; 适于低洼及涝区渗水排涝作业, 增大土壤透气性; 利于盐碱地排盐洗碱, 改善土壤环境。

当拖拉机输出轴不转动时, 深松铲不振动, 深松铲受到阻力较大, 不能合理地剪切土壤, 出现了一道与深松铲形状相似的沟槽如图 4d, 深松效果较差。同时在试

验进行中, 拖拉机轮胎出现了严重的打滑现象, 行走速度由原来同种情况下振动时的 3.14 km/h, 降低为 1.53 km/h。



a. 振动深松地表 b. 振动深松后的沟槽
c. 深松形成的鼠道 d. 不振动深松铲划出的沟
图 4 深松后沟槽图

Fig.4 Groove sections after subsoiling

3.2 振动深松对土壤体积质量的影响结果分析

深松铲的振动和不振动对土壤的疏松度是有影响的, 因此试验前和试验后对试验小区土壤进行采样, 测得结果如表 2。

表 2 土壤体积质量的对比
Table 2 Comparison of soil bulk density

土层/cm	体积质量		
	深松前	不振动	振动
0~10	1.57	1.21	1.16
>10~20	1.68	1.34	1.18
>20~30	1.63	1.43	1.35
>30~40	1.61	1.55	1.39

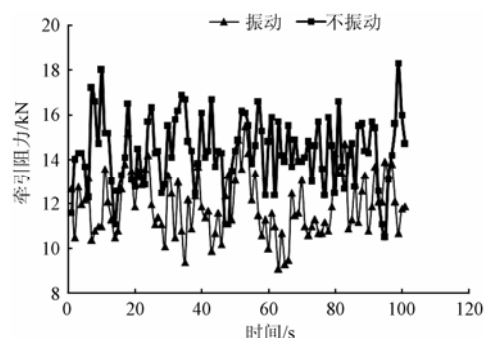
由表 2 得出, 振动后土壤体积质量减小, 达到减小土壤紧实的目的, 有利于作物根系的生长, 从而提高农作物的产量。

3.3 振动深松对牵引阻力的影响结果分析

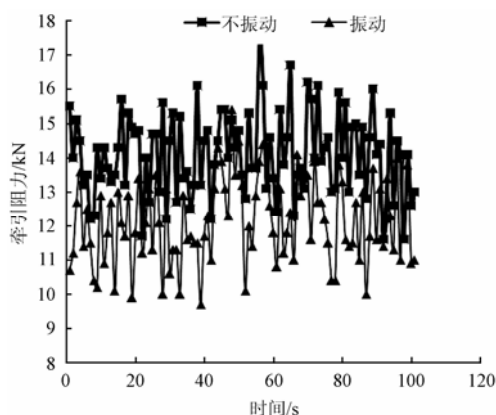
试验测得牵引阻力的数值如图 5 所示, 它是随时间的变化而变化的, 曲线呈跃动式。这主要是由于地表不平引起的耕深变化、土壤力学性质不均匀、土壤杂物等原因引起的土壤阻力变化以及由拖拉机发动机振动引起的悬挂或牵引力系统的振动。从图 5 可以看出振动时牵引阻力要小于不振动时的牵引阻力。在不同的地块中由于前茬作物不同, 收获后地表覆盖物也不一样, 因此牵引阻力平均值也不同, 如表 3 所示。

通过计算得出振动深松比不振动深松能减少 6.9%~17%的阻力。并且在不同的地表牵引阻力的减少也不一样, 通过表 3 和图 5 分析, 得出振动和不振动在不同的地况条件下对牵引阻力变化的影响。不同的作物收获方

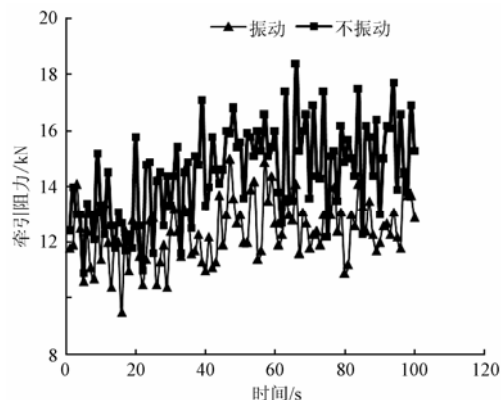
式和残茬的覆盖对牵引力也有一部分影响。比如花生是人工收获, 并且花生是收获根茎, 因此花生地的牵引阻力相对要小。白菜地收获后地表残留白菜叶, 并且白菜地有小块的田埂, 也对牵引阻力有影响, 总体看来振动时牵引阻力减少。



a. 白菜地牵引阻力对比



b. 花生地牵引阻力对比



c. 春玉米地牵引阻力对比

图5 不同地况牵引阻力

Fig.5 Traction resistances in different conditions

表3 牵引阻力的对比

Table 3 Comparison of traction resistances

上茬作物	牵引阻力/kN		减少/%
	振动	不振动	
白菜	12.31	14.28	13.80
花生	12.95	13.91	6.90
春玉米	12.48	14.86	16.02

3 结论与建议

1) 振动深松减少了牵引阻力, 从而可以减少拖拉机对土壤的压实; 同时可实现一些因牵引阻力过大而难于实现的特大耕深的作业。

2) 根据试验分析得出: 深松铲振动后土壤的平均体积质量为 0.46 g/cm^3 , 深松铲不振动土壤的平均体积质量为 0.49 g/cm^3 。振动深松后土壤体积质量减小, 利于作物根系的生长。

3) 试验结果表明振动作业可使机具的牵引阻力降低 $6.9\% \sim 17\%$ 。轮胎滑转率下降, 从而使发动机的功率得以充分发挥。这一点理论分析与试验结果相吻合, 但振动参数如振幅、频率、振动角对牵引力影响的程度应作进一步的定量分析研究。

[参 考 文 献]

- [1] 彭卓敏, 丁艳, 朱继平, 等. 耕作机械节能减排检测技术分析与研究[J]. 中国农机化, 2009(5): 69—71, 75.
Peng Zhuomin, Ding Yan, Zhu JiPing, et al. Teehcnical analysis and research of deteetion in energy-saving emission reduction to farming machinery[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2009(5): 69—71, 75. (in Chinese with English abstract)
- [2] 邱立春, 李宝筏. 自激振动深松机减阻试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 72—76.
Qiu Lichun, Li Baofa. Experimental study on the self-excited vibration subsoiler for reducing draft force[J]. Transactions of the CSAE[J]. 2000, 16(6): 72—76. (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈浩, 吴伟蔚, 刘新田, 等. 轮胎压实对机具牵引阻力的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 41(2): 52—57.
Chen Hao, WuWeiwei, Liu Xintian, et al. Effect of wheel traffic on working resistance of agricultural machinery in field operation[J]. Transactions of CSAE, 2010, 41(2): 52—57. (in Chinese with English abstract)
- [4] 朱瑞祥, 张军昌, 薛少平, 等. 保护性耕作条件下的深松技术试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 145—147.
Zhu Ruixiang, Zhang Junchang, Xue Shaoping, et al. Experimentation about subsoiling technique for conservation tillage[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 145—147. (in Chinese with English abstract)
- [5] Arvidsson J, Keller T, Gustafsson K. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 79: 221—231.
- [6] Kasisira L L, du Plessis H L M. Energy optimization for subsoilers in tandem in a sandy clay loam soil[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 86(2): 185—198.
- [7] Shahgoli G, Fielke J, Desbiolers J. Optimising oscillation frequency in fscillatory tillage[J]. Soil and Tillage Research 2010, 106(2): 202—210.
- [8] Sakai K, Hata S I, Takai M, et al. Design parameters of four-shank vibrating subsoiler[J]. Trans of ASAE, 1993, 36(1): 23—26.
- [9] Busscher W J, Bauer P J, Frederick J R. Deep tillage management for high strength southeastern USA Coastal

- Plain soils[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85: 178—185.
- [10] Temesgen M, Hoogmoed W B, Rockstrom J, et al. Conservation tillage implements and systems for smallholder farmers in semi-arid Ethiopia[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104: 185—191.
- [11] 赵伟, 张文春, 周志立, 等. 深松旋耕组合作业机的研制与试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 125—128. Zhao Wei, Zhang Wenchun, Zhou Zhili, et al. Development and experimental research of combined subsoiling and rotary tilling set[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 125—128. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [13] 李艳龙. 杠杆式振动深松机关键部件研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009. Li Yanlong. Research on the Key Components of the Lever Vibrating Ripper[D]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [14] 黄虎, 王晓燕, 李洪文, 等. 固定道保护性耕作节能效果试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 140—143. Huang Hu, Wang Xiaoyan, Li Hongwen, et al. Experimental research on energy saving of conservation tillage[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(12): 140—143. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王瑞丽, 李宝筏, 牛彦, 等. 行间深松部件的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, (7): 133—135. Wang Ruili, Li Baofa, Niu Yan, et al. Experimental study on in-line subsoiler[J]. Journal of agricultural mechanization research, 2006, (7): 133—135. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王俊发, 刘孝民, 陈玉芳, 等. 振动深松机理的探讨[J]. 佳木斯大学学报, 2000, 18(4): 335—338. Wang Junfa, Li Xiaomin, Chen yufang, et al. Study on vibrating tillage mechanism[J]. Journal of Jiamusi University, 2000, 18(4): 335—338. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘文卿. 实验设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

Experiment analysis on traction resistance of vibration subsoiler

Li Xia^{1,2}, Fu Junfeng¹, Zhang Dongxing^{1*}, Cui Tao¹, Zhang Rui¹

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

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, ShiHeZi University, ShiHeZi 832003, China)

Abstract: A vibration subsoiler model 1SZ-460 was developed based on vibration principle in order to reduce the traction resistance. Vibration was selected as the main factor for the experimental design, and field experiments were carried out in different stubble of crop. The results showed that the groove profile width was quite different for vibration and nonvibration operations. Subsoiling operation with vibration gave an help to form the rat way to store water, and reduce soil bulk density. Traction resistance with vibration was 6.9%-17% less than that of non-vibration, and the traction resistance was also affected by the differences of soil characteristics and land coverage conditions. The results provide a reference for further study on soil subsoiling as well as mechanical structure optimization.

Key words: agricultural machinery, vibrations, traction, subsoiler, resistance