9ST－460 型草地振动式间隔松土机改进设计与试验*

董向前[1]　宋建农[1]　王继承[1]　李永磊[1]　刘洪来[2]
（1. 中国农业大学工学院，北京 100083；2. 中国农业大学动物科学技术学院，北京 100193）

【摘要】 针对原 9ST－460 型草地振动式间隔松土机在草原试验中出现的问题，对机具的传动系统、激振部件以及松土部件进行改进设计，并进行了草原试验。试验结果表明，改进的机具运行平稳可靠、草地作业效果好，能够满足退化草场改良的需要。作业后草地的土壤容积密度降低、含水率增加，作业后的草地 3 年内平均每公顷年增收 155 元。

关键词：松土机　草场改良　优化　试验
中图分类号：S222.12⁺9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2011)04-0062-04

Improved Design and Experiment of 9ST－460 Vibration Spacing Scarifier for Grassland

Dong Xiangqian[1]　Song Jiannong[1]　Wang Jicheng[1]　Li Yonglei[1]　Liu Honglai[2]
(1. *College of Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*
2. *College of Animal Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*)

Abstract

Aimed to the problems revealed in latest grassland tests of the 9ST－460 vibration spacing scarifier, optimizations were carried out on the transmission mode of the parts, vibrating and loosening components. The results of comparing test indicated that the improved device ran steadily and showed good performance. The bulk density of soil decreased but water content increased after scarifying. The yearly average economic benefit increased by 155 RMB/hm^2 in next 3 years after scarifying, which well fulfilled the requirements of grassland improvement procedure.

Key words　Scarifier, Grassland improvement, Optimization, Experiment

引言

针对我国草场生态比较脆弱，草场土壤坚实度非常大的特点，研究开发的 9ST－460 型草地振动式间隔松土机，实现了对高坚实度草原土壤的疏松作业，达到草原改良和草场生态恢复的目的。但该机存在传动系统设计和机具选用的激振部件配置不合理导致机具运行不稳，需要经常对传动部件进行更换，不能提供稳定的激振动力，导致机具作业效果不好，土壤翻垡现象严重等问题，为了更好满足草场虚实作业的要求，提升现有机具的作业性能，需要对机具的结构进行改进设计。

1　整机结构与特点

图 1 为草地振动间隔松土机结构简图。机具采用三点悬挂装置与拖拉机挂接，由前导圆盘切根装置、松土部件、摆动安装架和曲柄连杆激振机构等组成工作单体，横向配置 4 组工作部件，每组间隔 600 mm，单组松土部件工作幅宽 280 mm。

机具的主要技术特点：由前导圆盘切根装置切断牧草横向生长的根系，形成条状土垡；土垡在振动松土铲作用下，完成土壤强制疏松，而后铺放于原来位置；为防止土垡过于疏松和跑墒，在土垡铺放后由镇压装置进行压实[11]。

收稿日期：2010－06－11　修回日期：2010－09－25
* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD28B0802)
作者简介：董向前，博士生，主要从事农业机械设计及理论研究，E-mail：dxq0558@126.com
通讯作者：宋建农，教授，博士生导师，主要从事农业装备工程研究，E-mail：songjn@cau.edu.cn

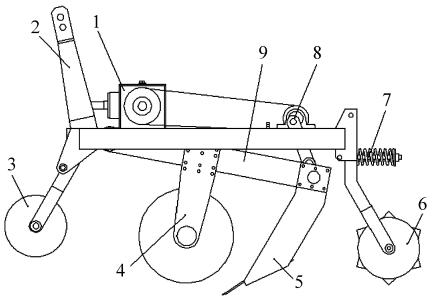

图 1　9ST－460 型草地振动式间隔松土机结构简图

Fig. 1　Structure diagram of 9ST－460 vibration spacing scarifier for grassland

1. 变速箱　2. 悬挂架　3. 限深轮　4. 前导圆盘切根装置　5. 松土部件　6. 镇压轮　7. 镇压轮调节机构　8. 曲柄连杆激振机构　9. 摆动安装架

2　关键部件改进设计

2.1　传动系统

图 2 为动力传输示意图，动力按箭头方向传递。图 2a 为原机动力传输示意图，该套动力传递方式中采用万向节、锥齿轮和链轮传动。拖拉机输出动力经万向节传输至变速箱，经变速箱锥齿轮变速变向，分配至两侧传动主轴，传动主轴Ⅰ至曲柄连杆激振机构Ⅲ之间采用链传动。这种设计能够实现精确和较远距离的动力传输，但是由于链传动只能用于平行轴间的传动，相距较远两轴难以保证平行，经常会出现因两轴安装不平行导致链条在运行中出现断裂的现象。而且工作部件为 4 组，需要用 2 组链传动，不能保证 2 条链的松紧度一致，运行中会出现一条链平稳运转，另一条链出现跳齿和脱链的现象，使机具不能平稳正常的作业。

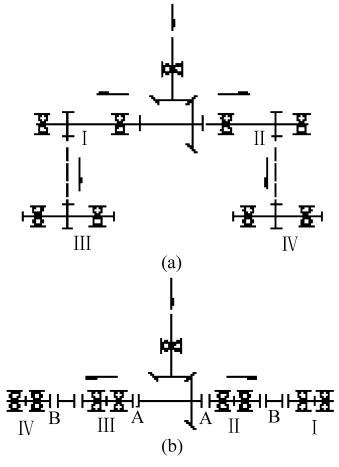

图 2　动力传输示意图

Fig. 2　Structure of power transmission

(a) 原机动力传输图　(b) 改进后的动力传输图

图 2b 为改进后的动力传输图，拖拉机输出动力经由万向节与变速箱输入轴相连，动力经变速箱锥齿轮变速变向，横向采用齿形联轴器 A 传递给两侧的第Ⅱ、Ⅲ组工作部件；由于第Ⅰ和Ⅳ组工作部件相距较远，采用一个中间轴加两个小万向节 B 传动连接。

该套动力传输方式中，齿形联轴器的承载能力大，补偿两轴相对位移性能好，且工作可靠，适宜用作变速箱至传动主轴之间的传动。中间传动方式为一根轴加上 2 个万向节，万向节在传递过程中允许两轴间有一点的偏差，这样对 4 组激振部件在安装过程中的定位要求不需很精确，实现简单、可靠的传动。

2.2　激振装置

机具采用二维振动松土原理对土壤进行疏松，振动系统采用强迫振动形式，振动机构为曲柄连杆机构[2]。

图 3 为原机曲柄连杆激振机构的结构示意图[1]。机构采用偏心曲轴与连杆配合作用，两组工作部件通过联轴器相连，两根曲轴安装相位相差 180°，连杆分别驱动两个摆动安装架并带动松土部件进行振动。

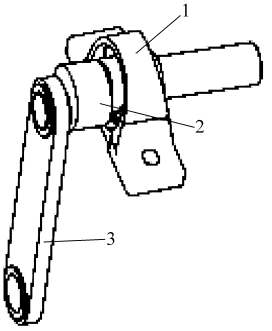

图 3　曲柄连杆激振机构示意图

Fig. 3　Crank link vibration mechanism

1. 轴承座　2. 偏心曲轴　3. 连杆

机构通过轴承座固定于机架，曲轴的一端与连杆相连，另一端由联轴器与另一组部件相连，两组激振部件中安装有链轮，动力通过链轮传递过来，带动曲轴转动，进而带动连杆作摆动。运动过程中，轴承座端由于不断受到径向冲击力，长时间工作会发生疲劳断裂，偏心曲轴与连杆直接相连会导致连杆孔径拉长变形。

图 4 为改进后偏心轴连杆式振动装置示意图[3]。此装置由偏心轴和连杆组成，曲轴与连杆之间安装有轴承，曲轴的两端各有一个轴承座，两个轴承座面对面安装，平均分担曲轴和连杆在运动过程中所产生的冲击力。曲轴和连杆之间装有轴承，依靠轴承带动连杆运动，消除了曲轴与连杆之间的磨损。

由于不同激振组件之间的动力传递增加了中间轴和万向节，这样可以缩短曲轴的长度，而且由于万向节传递中允许一定的角度偏差，可以提高整体激振部件的可靠性和稳定性。

2.3　松土部件

原机松土铲(图 5)采用前端折弯的平面式铲形，材料为 65Mn 钢，前端弯折利于铲的入土，但由

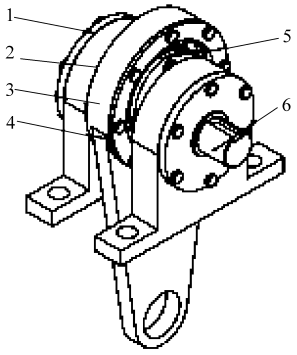

图 4 偏心轴连杆式振动装置示意图

Fig. 4 Diagram of eccentric shaft link vibration device

1. 轴承端盖 2. 轴承座 3. 连杆 4. 连杆定位圈 5. 轴承挡圈 6. 偏心轴

于 65Mn 钢的冷变形塑性低、回火脆性好,不易弯折加工,在作业中松土铲在弯折部分会发生断裂,因此改进设计使用组合式松土部件。图 6 为改进设计松土部件示意图,由铲架、松土铲和铲尖组成。因松土部件在坚硬的土壤中工作,铲尖除了应具有较强的松碎土壤的能力,还要有足够的强度、刚度和耐磨性能,故铲尖设计为尖头凿形铲,它利用楔子原理碎土,工作中土体受铲面的挤压,当挤压力大于土体的剪切强度时,土体被剪切破坏[4]。

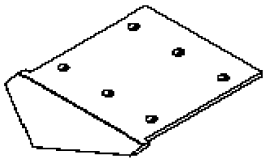

图 5 松土铲

Fig. 5 Break shovel

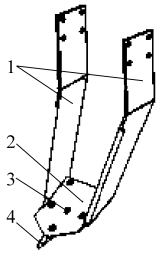

图 6 松土部件示意图

Fig. 6 Structure of scarification parts

1. 铲架 2. 松土铲 3. 沉头螺钉 4. 铲尖

铲架设计成倒梯形框架式结构,铲架两边侧板分别向内折弯 5°,使铲架前端较后端略窄,上端较下端略宽,从而减少土垡条通过铲架时与铲架侧板的接触面积,提高土垡条在松土铲上的通过性。草原试验发现,土垡条在通过松土铲时,由于振动产生向上窜垡,土垡条容易堵塞松土铲架,采用倒梯形框架式结构有效地解决了这一问题。

2.4 改进后整机

图 7 为改进后机具结构图,由机架、限深轮、前导圆盘切刀、松土铲工作架、松土部件、镇压轮、偏心轴连杆式振动装置、变速箱、动力输入轴等组成,机具横向配置 4 组工作部件,通过三点悬挂装置与拖拉机配套作业,表 1 为机具的主要技术参数。

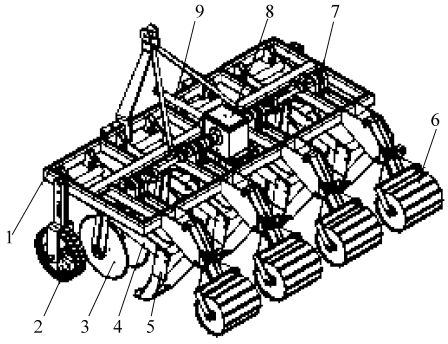

图 7 振动间隔松土机结构图

Fig. 7 Schematic diagram of vibration spacing scarifier

1. 机架 2. 限深轮 3. 前导圆盘切根装置 4. 松土铲工作架 5. 松土部件 6. 镇压轮 7. 偏心轴连杆式振动装置 8. 变速箱 9. 动力输入轴

表 1 振动间隔松土机主要技术参数

Tab. 1 Technical parameters of vibrationspacing scarifier

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	1 898×2 540×1 440
整机质量/kg	1 800
工作幅宽/mm	2 400
作业行数	4
作业深度/mm	150~200
工作频率/Hz	6~10
作业效率/$hm^2 \cdot h^{-1}$	0.6~1.0
配套动力/kW	48

3 草地试验

3.1 试验区概况

试验点选择在河北沽源国家草地生态系统野外科学观测研究站,该点位于内蒙古典型草地东南舌状延伸地带,其自然景观为干草地,年均温 1℃,年平均降水量 430 mm,主要集中于 7~9 月,约占全年降水量的 80%,年均最高温度同时出现在雨季。该试验区草地类型为:羊草+克氏针茅+杂类草,土壤类型属于栗钙土[5]。

3.2 草地试验

试验区南北长 2 000 m,东西宽 500 m,面积为 100 hm^2,松土作业时间在 2007 年 5 月份草地解冻后草地植被返青前。

试验前对草地土壤的物理特性进行测定,作业后进行围栏保护,每隔一段时间对草地土壤的特性进行测定,每年 9 月份对草地的产量进行一次测定。

采用收获法对试验区和对照区草地生产力进行测定,采用环刀取土法测定土壤容积密度和含水率。

3.3 结果与分析

试验所用的动力为 TN654 型拖拉机,功率为 47.8 kW,试验中机具作业稳定,传动系统、激振部件和松土均能正常工作,作业效果良好。与原机相

比，作业后的断条率下降 1.3%，植被破坏率下降 0.8%，生产率为 0.85 hm^2/h，作业幅宽为 2.4 m，作业平均深度为 185 mm，松土比例为 43.4%，满足草场耕作要求。

草地经过间隔松土作业后，土壤容积密度显著下降，0～20 cm 容积密度下降 13.71%，20～40 cm 容积密度下降 14.38%；容积密度下降导致土壤的孔隙度增加，土壤毛管持水能力增加，使土壤含水率在各个不同时段与对照相比均有所提高[6]。从牧草春季返青到秋季枯黄的整个生育期其土壤含水率平均增加 2.15%，尤其在 5 月中旬至 6 月期间，其含水率变化更为显著，如图 8 所示。

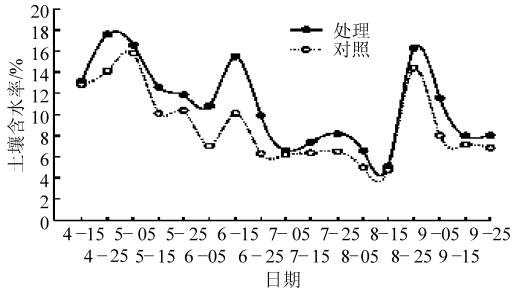

图 8　作业后土壤含水率的变化

Fig. 8　Soil water content change afterscarifying

作业后的草地经过连续 3 年的效果观察与分析，经济效益概算如表 2 所示。草地经过作业后的第 2 年所得增产直接效益就可以收回作业所需费用。若三年后综合计算，每改良 1 hm^2 草地则可以获益 466 元，年均获益 155 元。参照内蒙古草地有关报道，松土改良草地提高生产力可持续 8～10 年[7]。

表 2　草地振动松土作业经济效益概算

Tab. 2　Economic benefits evaluation after scarifying

年份	费用 /元·hm^{-2}	对照产草量 /kg·hm^{-2}	试验产草量 /kg·hm^{-2}	增产率 /%	净增干草量 /kg·hm^{-2}	当年草价格 /元·kg^{-1}	新增收益 /元·hm^{-2}	累计新增收益 /元·hm^{-2}
2007	300	1 165.7	1 304.8	11.93	139.1	0.70	97.3	－202.7
2008	0	1 203.8	1 599.5	32.87	395.7	0.70	277.0	74.3
2009	0	787.8	1 223.0	55.24	435.2	0.90	391.7	466.0

4　结论

（1）改进设计后的传动系统、激振部件和松土部件工作可靠、性能稳定，适宜于草地振动间隔松土机的工作需要。

（2）草地试验表明，改进后机具的作业效果良好，作业后的断条率和植被破坏率均有所下降。

（3）经过振动间隔松土作业后，草地土壤容积密度降低、土壤含水率提高，作业后的草地增收效果明显。

参　考　文　献

1　武广伟，宋建农，李永磊，等. 草地振动式间隔松土机设计与试验[J]. 农业机械学报，2010，41(2)：42～46.
Wu Guangwei，Song Jiannong，Li Yonglei，et al. Design and experiment on vibration spacing scarifier for meadow[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2010，41(2)：42～46.（in Chinese）

2　殷涌光，程悦荪，李俊明. 振动式二维切削土壤减小阻力机理[J]. 农业机械学报，1992，23(2)：11～16.
Yin Yongguang，Cheng Yuesun，Li Junming. The reasons of resistance reduction for vibratory cutting soil in two directions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，1992，23(2)：11～16.（in Chinese）

3　宋建农，董向前，王继承，等. 偏心轴连杆式振动装置：中国，ZL200920110110.8[P]. 2010－05－12.

4　李艳龙，刘宝，崔涛，等. 1SZ－460 型杠杆式深松机设计与试验[J]. 农业机械学报，2009，40(增刊)：37～40.
Li Yanlong，Liu Bao，Cui Tao，et al. Design and field experiment on 1SZ－460 lever-type subsoiler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2009，40(Supp.)：37～40.（in Chinese）

5　刘洪来，张卫华，王堃. 开垦对农牧交错带地带性和非地带性草地土壤性质的影响[J]. 农业工程学报，2009，25(10)：272～277.
Liu Honglai，Zhang Weihua，Wang Kun. Effect of reclamation on soil properties of zonal and intrazonal grasslands in agro-pastoral ecotone[J]. Transactions of the CSAE，2009，25(10)：272～277.（in Chinese）

6　冯雨峰，刘洪来，吕进英，等. 原地放垡振动间隔松土对羊草草地质量的影响[J]. 农业机械学报，2010，41(8)：43～46.
Feng Yufeng，Liu Honglai，Lü Jinying，et al. Effect of situ-vibration spacing scarifying technique to leymus chinensis grassland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2010，41(8)：43～46.（in Chinese）

7　刘树强，史有财，李茂林. 羊草草地松土复壮效果研究[J]. 草业科学，1989(6)：50～53.
Liu Shuqiang，Shi Youcai，Li Maolin. A study on rejuvenation of Leyums Chinensis rangeland by soil loosing[J]. Pratacultural Science，1989(6)：50～53.（in Chinese）