

郑侃,陈婉芝. 深松机具研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):16-20.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.004

# 深松机具研究现状与展望

郑侃,陈婉芝

(中国农业大学工学院/现代农业装备优化设计北京市重点实验室,北京 100083)

**摘要:**深松是提高作物产量的一项重要耕作方式,对于促进我国农业可持续发展和保障粮食安全具有重要意义。介绍近年深松面积和深松机数量的变化情况,根据深松铲工作原理及结构特点将深松机分为凿式深松机、全方位深松机,详细描述这2类机具的工作原理、作业特点,并总结现有的典型机具;最后分析现有深松机存在的问题并提出解决方法,为深松机的研究提供参考依据。

**关键词:**深松机具;凿式深松机;全方位深松机;现状;展望

**中图分类号:** S224.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0016-05

深松是指使用专用深松机,在不打乱原有土壤耕层结构的前提下进行深度松土的一种机械化耕整地作业方式,是保护性耕作的重要组成部分<sup>[1]</sup>。传统翻耕深度为16~30 cm,旋耕深度一般为14~16 cm<sup>[2]</sup>,翻耕、旋耕作业时犁铧、旋耕刀会对土壤有挤压、打击作用,长期使用会使耕层以下形成坚硬的犁底层,影响作物根系生长,使作物产量下降;虽然免耕减少了土壤耕作,保护了土壤结构,但播种、收获、植保时农具作业造成的土壤压实,再加上土壤的自然沉降,同样会导致土壤的紧实度、容重增加,影响作物生长<sup>[3-4]</sup>。通过深松作业可打破坚硬的犁底层,同时疏松土壤,增加土壤的透水性和透气性,改善土壤理化特性以及作物根系生长环境,是一项重要的作物增产技术<sup>[5-6]</sup>。

深松机是实现机械化深松作业的关键机具,深松铲则是深松机的关键工作部件。欧美等地区在20世纪30年代初对深松耕作和深松机具开展研究,现已形成较完善的理论体系和系列化的深松机具。我国于20世纪60年代开始对深松技术进行研究,近些年深松部件和深松机具的研制开发越来越受到重视,并取得了丰硕的成果<sup>[7]</sup>,但与国外先进的深松机具相比,仍然存在材料质量差、阻力功耗大、配套动力不足、结构设计不合理、种类繁多以及无法进行标准化、系列化管理等问题<sup>[8-9]</sup>。因此,了解和掌握深松机具及其关键部件的主要

类型和特点,探讨存在的主要问题,对于我国深松技术的研究和推广具有重要意义。

## 1 近年来深松面积和深松机数量变化情况

自2009年国务院常务会议决定对深松作业进行补贴以后,深松作业在全国适宜省份迅速展开,深松补贴实施后5年内的深松实施面积与深松机拥有量变化趋势如图1所示<sup>[10]</sup>,可以看出,全国深松作业面积和深松机拥有量明显增加,其中2013年全国深松面积为1 078.47万hm<sup>2</sup>,比2008年多211.49万hm<sup>2</sup>;2013年全国深松机拥有量为23.36万台,比2008年多14.79万台。2011年农业部办公厅印发的《全国农机深松整地作业实施规划(2011—2015年)》(农机发[2011]1号)<sup>[11]</sup>文件中指出:2013—2015年,在东北地区、黄淮海地区、南方蔗区、西北地区全面实施深松;2011—2015年,5年累计深松整地作业面积0.713亿hm<sup>2</sup>。农业部在2015年2月

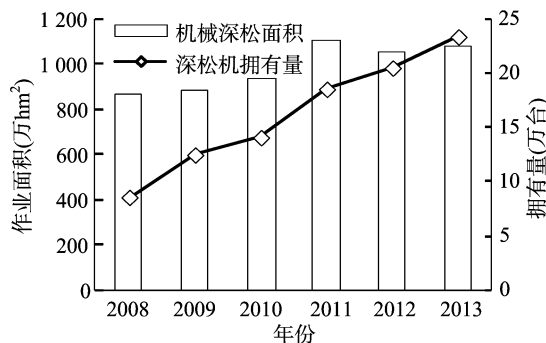


图1 2008—2013年全国深松面积及深松机拥有量变化

收稿日期:2015-11-20

基金项目:教育部创新团队发展计划(编号:IRT13039);公益性行业(农业)科研专项(编号:201503136)。

作者简介:郑侃(1987—),男,河南上蔡人,博士,主要从事保护性耕作秸秆还田机具研究。E-mail:zhengkan0219@163.com。

[54]田娜,王义祥,翁伯琦. 土壤碳储量估算研究进展[J]. 亚热带农业研究,2010,6(3):193-198.

[55]周涛,史培军,罗巾英,等. 基于遥感与碳循环过程模型估算土壤有机碳储量[J]. 遥感学报,2007,11(1):127-136.

[56]武曼曼,马友华,王强,等. 土壤碳储量及其碳固定研究[J]. 皖西学院学报,2014,30(2):124-128.

[57]于东升,史学正,孙维侠,等. 基于1:100万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):

2279-2283.

[58]雷能忠,黄大鹏,王心源,等. 基于ArcGIS的土壤有机碳密度及储量计算[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2008,31(11):1740-1743.

[59]程鹏飞,王金亮,王雪梅,等. 森林生态系统碳储量估算方法研究进展[J]. 林业调查规划,2009,34(6):39-45.

[60]Turner M G, Gardner R H. Quantitative methods in landscape ecology[M]. New York:Springer-Verlag,1991:479-517.

下发的《全国农机深松整地作业实施规划(2011—2015 年)》<sup>[12]</sup> 通知中对 2015 年深松整地作业任务作出了详细的规划和重要的部署,力争完成深松整地 0.133 亿 hm<sup>2</sup>。

表 1 为 2015 年中央财政对深松机的最高补贴额以及补贴机具种类<sup>[13-14]</sup>,中央财政对深松机最高可以补助 5 400

元/台,补贴机具种类 133 种,包括 33 种深松联合作业机。其中 4~5 铲深松机、4~5 铲振动深松机和全方位深松机的补贴种类最多,共为 83 种。由此可见,国家政策和财政支持、深松技术及机具的不断完善会进一步加快深松技术的推广应用。

表 1 2015 年深松机中央财政最高补贴额和种类

类型	中央财政最高补贴额 (元/台)	深松机总数量	深松联合作业机种类数量 (种)
3 铲及以下深松机	1 300	7 种	2
4~5 铲深松机	2 200	63 种	14
6 铲及以上深松机	4 500	18 种	4
3 铲及以下振动式、全方位式深松机	3 000	8 种全方位式	2
4~5 铲振动式、全方位式深松机	3 000	9 种振动式、11 种全方位式	4
6 铲及以上振动式、全方位式深松机	5 400	7 种振动式、10 种全方位式	7
总计		133 种	33

2 深松机主要结构类型及典型机具研究现状

结合深松铲的工作原理和结构将深松机分为凿式深松机和全方位深松机。

2.1 凿式深松机

凿式深松机的工作部件为凿式铲,主要由铲尖、铲柄构成。铲尖有凿形铲尖、箭形或鹅掌形铲尖、双翼形铲尖 3 种形式<sup>[15]</sup>,凿形铲尖宽度与铲柱宽度相近,工作时阻力较小,并且加工简单、强度高、易于更换;箭形或鹅掌形铲尖与双翼形铲尖宽度较大,常用于旋耕后起垄或中耕时表土行间疏松。铲柄分为弯弧式、直立式、倾斜式 3 种<sup>[16]</sup>,无论哪种铲柄在运动方向的投影总是垂直的。弯弧式铲柄和倾斜式铲柄,铲柄下部向前伸具有滑切作用,有一定的减阻效果,但加工较难,且结构突变处易受力变形;相反,直立式铲柄结构简单、制造容易,但破土时阻力相对较大。根据是否具有振动功能将凿式深松机划分为凿型深松机和凿式振动深松机两大类。

2.1.1 凿型深松机 凿型深松机工作时在拖拉机的牵引下,通过铲尖对土壤的挤压、上抬作用以及铲柄刃部对土壤的切割破坏作用使土壤松碎,深松深度一般为 30~50 cm,深松铲间距为 40~80 mm<sup>[17]</sup>。常见的凿型深松机有普通凿型深松机和翼铲式深松机 2 种。

普通凿型深松机。普通凿型深松机松土系数仅为 0.2~0.3<sup>[18]</sup>,工作幅宽较小,适用于间隔深松;并且在稍深的土层处,铲柄与铲尖对两侧土壤产生强烈的挤压,增加土壤的压实,不利于土壤疏松;此外,深松后铲柄会在土层中留下垂直缝隙,造成水分蒸发,尤其对于干旱地区而言不利于保墒<sup>[19]</sup>。国内典型的机具有山西河东雄风农机有限公司生产的 1S-250A 型深松机(图 2)<sup>[20]</sup>,该机采用凿形铲尖和弯弧式铲柄,深松铲之间的间距为 50 cm,为了增大机具的通过性,前机架安装 2 个深松铲,后机架安装 3 个深松铲,所需动力 66.2 kW 以上,深松铲工作深度为 30~35 cm。国外典型的机具有德国雷肯公司生产的 1S-225C 型深松机(图 3)<sup>[21]</sup>,该机 3 个凿形铲安装在机架主梁上,深松铲间距为 70 cm,深松铲最大深松深度达 65 cm,需要配套动力 55~129 kW。

翼铲式深松机。在普通凿型深松机铲柄两侧增加翼铲形

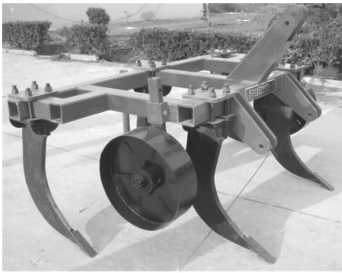


图2 河东雄风 1S-250A 型深松机



图3 雷肯 1S-225C 型深松机

成翼铲式深松机,相比普通凿型深松机有以下特点:(1)增加了深松工作幅宽,扩大了松土面积,提高了深松效率;(2)双翼铲入土后,翼板上倾角向上抬起土壤,使其发生断裂,当双翼铲通过后,土壤重新回落进一步松碎,从而提高了松土系数<sup>[22]</sup>;(3)双翼铲消除了铲柄对两侧土壤压实;(4)双翼铲上方土壤全面疏松,双翼铲下方经铲尖运动形成鼠道,有利于排涝,减少土壤水蚀;(5)双翼铲增加了工作能耗,尤其是作业达到一定深度时,能耗加剧<sup>[23]</sup>。现有典型的翼铲式深松机如豪丰 1S-250 型深松机(图 4)<sup>[24]</sup>,其深松铲按“前 3 后 2”方式安装在机架上,采用直立式铲柄和凿形铲,并将翼铲安装在铲柄中部以减少能耗,深松铲间距为 40 cm,工作深度为 25~30 cm,需要配套动力 66.2~88.2 kW。国外有马斯奇奥公司生产的 PINOCCHIO200 型深松机<sup>[25]</sup>(图 5),深松铲按“前 2 后 3”方式安装在机架上,采用弯弧式铲柄和凿形铲;翼铲安装于铲柄下部,增大了对深层土壤的疏松;深松铲间距为 37 cm,深松深度为 40 cm,需要动力为 70~130 kW。

2.1.2 凿式振动深松机 凿式振动深松机是在凿型深松机



图4 豪丰 1S-250 型深松机



图5 马斯奇奥 PINOCCHIO200 型深松机

基础上增加了激振源。振动深松机最大的优点是牵引阻力小,其原理是利用土壤的弹塑性性质,将振动位移置于土壤的弹塑性变形区,使其阻力在小于塑性变形最大阻力的同时又获得塑性变形的特点,从而减小牵引阻力,相比非振动式深松机能减少 6.9% ~ 17.0% 的阻力<sup>[26]</sup>。根据激振源是否需要动力驱动,可以将凿式振动深松机振动方式分为自激振动和强迫振动。

**凿式自激振动深松机。**凿式自激振动深松机的激振源主要来自变化的土壤阻力,即由于土地表不平导致耕深变化、不同范围土壤力学性质不均匀以及秸秆量不同等因素引起的土壤阻力变化,这种振动方式引起的冲击和对土壤的压实作用小,并且保护了深松铲和其他部件<sup>[27]</sup>。现有激振源的弹性元件有压缩弹簧、钢板弹簧、液压 3 种。此类深松机作业过程中,当深松铲受土壤阻力大于弹性元件预作用力时,深松铲将绕连接点转动,铲尖向上抬起,同时压缩弹性元件存储弹性能量;当土壤阻力减少时,弹性元件会释放存储的弹性能量,带动深松铲反向转动剪切土壤,深松铲因不断变化的土壤阻力产生振动,从而减少牵引阻力。现有此类深松机有美国大平原制造公司生产的 SS1300A 型垂直深松机(图 6)<sup>[28]</sup>,整机工作幅宽 305 cm,深松铲弹性元件采用 2 个压缩弹簧,5 个深松铲之间的间距为 76 cm,工作深度为 20 ~ 50 cm,需要 150 ~ 255 kW 动力;图 7 所示的丹麦格兰集团生产的 CLG - II 型深松机<sup>[29]</sup>,整机工作幅宽在 90 ~ 225 cm 范围内可调,深松铲间距在 30 ~ 100 cm 范围内可调,深松铲弹性元件为钢板弹簧,需配套 121 kW 以上动力;图 8 所示的加拿大 LASOLE 制造公司生产的 MAX 型深松机<sup>[30]</sup>,深松铲采用液压弹性元件,深松深度为 40 ~ 70 cm,深松铲间距为 76 cm,工作幅宽为 365 cm,配置动力为 112 ~ 186 kW。

**凿式强迫振动深松机。**凿式强迫振动深松机激振源动力来自拖拉机,其原理是拖拉机输出轴将动力传递给深松机振动机构,振动机构把转动变为深松铲既定频率和振幅的振动,同时深松铲带动土壤振动,土壤经周期性振动后破碎,达到深松目的。振动机构一般由偏心轴、偏心轴承、十字连接器、连接板和支撑转动轴等部件组成<sup>[31]</sup>。凿式强迫振动深松机虽然减少了工作阻力,但拖拉机驱动需要耗能,且对已破碎的土



图6 大平原 SS1300A 型深松机

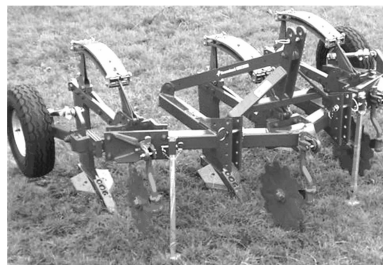


图7 格兰 CLG-II 型深松机



图8 LASOLE MAX 型深松机

壤有冲击压实作用<sup>[32]</sup>,同时振动易使深松铲及其他部件产生疲劳破坏,影响深松机使用寿命。郓城县工力有限公司生产的郓农 ZS - 180 型振动深松机(图 9)<sup>[33]</sup>,该机采用振动机构带动整个深松铲振动,深松深度为 25 ~ 40 cm,需要配套 50 ~ 75 kW 动力。图 10 为德国 CLEMENS 公司生产的 TLK833 型深松机<sup>[34]</sup>,该机只有 1 个深松铲,主要用于果园深松,利用振动机构带动翼铲实现振动深松,而深松铲和铲柄不振动;最大深松深度为 60 cm,只须配套动力 30 kW。



图9 郓农 ZS-180 型振动深松机

## 2.2 全方位深松机

全方位深松机的作业原理完全不同于凿式深松机。该类机具有以下特点:(1)松土性能好,松土系数可以达到 0.77<sup>[35]</sup>,且松土范围大,作业后地表平整;(2)与凿式深松机相比,全方位深松机充分利用刀刃的切割作用,对土壤的压实



图10 CLEMENS TLK833 型深松机

作用较小<sup>[36]</sup>; (3) 能完整地保持地表植被覆盖, 有利于减少风蚀、水蚀<sup>[37]</sup>; (4) 动力消耗大、秸秆覆盖时通过性差、易堵塞; (5) 不适用于中耕时深松作业。根据深松铲形状分为“V”形铲式深松机和侧弯式深松机。

(1) “V”形铲式全方位深松机。“V”形铲刀是“V”形铲式全方位深松机的主要工作部件, 由底刀和 2 个左右对称的侧刀等构成。作业时, “V”形铲刀的底刀和 2 个侧刀切出梯形截面的土堡条, 当机具以一定速度前进时, “V”形铲刀将土堡条向上抬升、撕裂, 土堡条因剪切、拉伸得到疏松, 松碎后的土壤回落到“V”形沟内, 无较大的孔隙, 有利于干旱地区保墒<sup>[38]</sup>。

典型的机具有北京银华春翔农机有限公司生产的春翔 1SQ-340 型全方位深松机 (图 11)<sup>[39]</sup>, 机具有 3 个“V”形铲刀, 其中 2 个“V”形铲刀对称安装在前机架梁上, 深松深度为 40~50 cm, 需要配套动力 73.6~88.3 kW。图 12 为中国农业大学董向前等研制用于草地疏松的振动深松机<sup>[40]</sup>, 该机融合了全方位深松机和振动深松机的优点, 深松深度为 15~20 cm, 需要配套动力 90 kW。

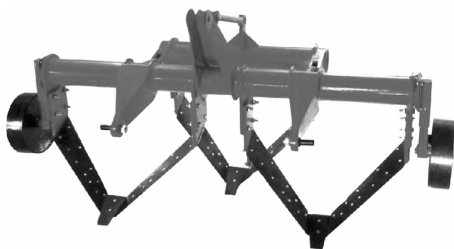


图11 春翔 1SQ-340 型全方位深松机



图12 9ST-460 型振动深松机

(2) 侧弯式深松机。侧弯式深松机是全方位深松机和凿式深松机的结合, 与全“V”形铲式全方位深松机碎土原理相似, 其主要结构“L”形侧弯铲柄分为垂直部分和倾斜部分, 铲尖安装在倾斜部分的下端。工作时, 侧弯铲柄的倾斜部分对土壤进行切割, 并向上抬起土堡, 对该部分土壤进行剪切、拉伸破坏, 从而达到松土效果, 而铲尖能够在松土层底部形成鼠

道, 增加雨水入渗。为了抵消整个机具的左右侧向力, 成对安装深松铲。该类机具的特点是侧弯铲柄取代凿式深松机的铲尖进行碎土, 在能耗相同的条件下, 提高了机具的入土性能, 且碎土效果比凿式深松机好<sup>[9]</sup>。

山东奥龙农机机械制造有限公司生产的 1S-310 型深松机 (图 13)<sup>[41]</sup>, 整机共有 6 个深松铲, 每 2 个深松铲组成 1 组, 且倾斜部分向内侧倾斜并对称安装在深松铲前方、中间、后方, 深松铲间距为 52 cm, 深松深度 $\geq 30$  cm, 需要配套动力 $\geq 99.2$  kW。图 14 为德国 DALBO 公司生产的 Ratoon 系列深松机<sup>[42]</sup>, 可配备 2、4、6、8 个深松铲, 深松工作幅宽 120~300 cm, 根据深松铲数量分别需要配套动力 30、60、90、120 kW; 为消除侧向力, 深松铲以相同的倾斜方向安装在前梁和后梁; 整个深松铲采用液压弹性元件与机架连接, 以增加碎土率、保护深松部件。

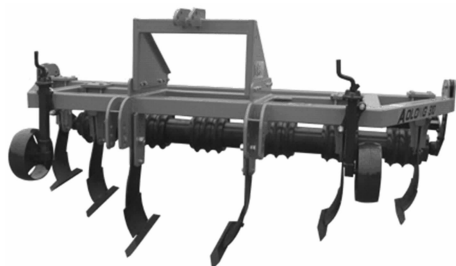


图13 奥龙 1S-310 型深松机



图14 DALBO Ratoon 系列深松机

### 3 展望

#### 3.1 深松机作业减阻

深松作业造成的能耗是种植、收获作业等其他种植工序的 3~5 倍<sup>[43]</sup>, 减少深松机具作业时的耕作阻力是降低能耗的主要措施<sup>[44]</sup>。现有的深松减阻研究有仿生减阻、振动减阻、流体润滑减阻、改变深松铲结构参数以及改善深松部件的分布等, 并取得了较好的成果。仍须对以下方向进行研究: (1) 增加深松铲对不同土壤的碎土特性以及土壤机械动力学研究, 从理论上解释深松阻力来源; (2) 已有的深松铲减阻技术在致力于减少深松能耗的同时, 应该考虑降低减阻深松铲的加工难度和成本; (3) 多数深松减阻研究仅限于试验条件下模拟, 应结合田间实际状况真正做到应用推广。

#### 3.2 深松联合作业机具

深松联合作业机具是深松机具发展的一个重要方向, 具有以下优点<sup>[45]</sup>: (1) 作业效率高, 可有效缓解农忙时机具紧张状况; (2) 提高大马力拖拉机利用率, 节省油料, 降低作业成本, 作业次数减少, 减少对土壤的破坏, 保护土壤团粒结构; (3) 降低金属材料消耗, 减少机具存放面积。现有的深松联合整地机多数为深松机与其他作业机具简单组合, 结构设计

不合理,以至于无法保证作业性能和质量;整机适应性、可靠性较差,若遇到黏重土壤,机具阻力会急剧增大,且拖拉机会打滑,不适于大面积推广应用。因此,需要研制适应不同地区、不同季节的系列化、标准化且具有较高可靠性的多功能深松联合作业机,以满足我国农业生产需要。

#### 参考文献:

- [1] 张强,张璐,于海业,等. 复合形态深松铲耕作阻力有限元分析与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(8):61-65.
- [2] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上册)[M]. 北京:中国工业出版社,1971:223-242.
- [3] Evans S D, Lindstrom M J, Voorhees W B, et al. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 137(1/2):43-49.
- [4] 郑侃,何进,李洪文,等. 中国北方地区深松对小麦玉米产量影响的Meta分析[J]. 农业工程学报,2015,31(22):7-15.
- [5] 郭志军,佟金,周志立,等. 深松技术研究现状与展望[J]. 农业工程学报,2001,17(6):169-174.
- [6] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:35.
- [7] 杨光明,朱云,张瑞勤,等. 我国深松机械的研究现状和发展趋势[J]. 湖南农机:学术版,2009,36(5):7-10.
- [8] 刘欣,吕霞,王帅. 我国深松机械的现状分析和发 展建议[J]. 农业科技与装备,2011(2):130-131.
- [9] 吕振邦. 多功能深松机及其关键部件的设计与试验研究[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [10] 农业部南京农业机械化研究所. 中国农业机械化年鉴(2009—2014年)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009—2014.
- [11] 全国农机深松整地作业实施规划(2011—2015年)[EB/OL]. [2015-11-09]. <http://www.nongji360.com/list/20111/9501441081.shtml>.
- [12] 农业部办公厅关于做好2015年农机深松整地工作的通知[EB/OL]. [2015-11-09]. [http://www.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tfw/201502/t20150205\\_4397876.htm](http://www.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tfw/201502/t20150205_4397876.htm).
- [13] 2015—2017年全国通用类农机中央财政资金最高补贴额一览表[EB/OL]. [2015-11-09]. <http://news.nongji360.com/html/2015/03/201585.shtml>.
- [14] 部级归档农机购置补贴产品信息表(第一批)[EB/OL]. [2015-11-09]. <http://202.127.42.97:8089/njml/newsDetailTwo.jsp?lanm=01&wenzid=20>.
- [15] 柴民杰,李洪文,何进,等. 秸秆覆盖地深松机的设计与试验研究[J]. 农机化研究,2006(7):136-138.
- [16] 朱凤武,佟金. 土壤深松技术及高效节能仿生研究的发展[J]. 吉林大学学报:工学版,2003,33(2):95-99.
- [17] 荆苗. 双排反向振动深松机的设计及田间试验[D]. 焦作:河南理工大学,2012.
- [18] 周桂霞,汪春,冷江龙,等. 机械化深松技术的研究现状及发展趋势[J]. 农机化研究,2005(3):44-45.
- [19] 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.
- [20] 山西河东雄风农机有限公司. 深松犁[EB/OL]. [2016-06-27]. [http://hedongxiongfeng.cn/ProductsShow.asp?d\\_id=175](http://hedongxiongfeng.cn/ProductsShow.asp?d_id=175).
- [21] LENKEM Labrador[EB/OL]. [2015-11-10]. <http://lemken.cn/Proinfo.aspx?id=142>.
- [22] 王帅. 1S-2型深松整地机深松铲的设计[J]. 农业科技与装备,2012(8):33-35.
- [23] 韩树明. 深松机功耗消耗影响因素及其关系的试验研究[J]. 农机化研究,2008(5):128-130.
- [24] 河南豪丰机械制造有限公司. 深松机[EB/OL]. [2015-11-11]. [http://www.hnhft.com/Products\\_xx.asp?S=000101&NewID=137](http://www.hnhft.com/Products_xx.asp?S=000101&NewID=137).
- [25] MASCHIO Pinocchio200[EB/OL]. [2015-11-11]. [http://www.maschionet.com/catalog/product/pinocchio/zh\\_cmn](http://www.maschionet.com/catalog/product/pinocchio/zh_cmn).
- [26] 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试验[J]. 农业工程学报,2012,28(1):32-36.
- [27] 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.
- [28] GREAT PLAINS Subsoiler[EB/OL]. [2015-11-11]. <http://www.greatplainsmfg.com.ua/en-gb/products/710/sub-soiler-narrow-tillage>.
- [29] GREAT PLAINS Subsoiler[EB/OL]. [2015-11-11]. [http://cn.kverneland.com/node\\_80887/node\\_80897/node\\_80958/CLG-II](http://cn.kverneland.com/node_80887/node_80897/node_80958/CLG-II).
- [30] LASOLE Max Subsoiler[EB/OL]. [2015-11-11]. <http://en.lasole.ca/max-subsoiler/>.
- [31] 李霞,张东兴,王维新,等. 受迫振动深松机性能参数优化与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(21):17-24.
- [32] 王雪艳. 振动深松技术与关键部件研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [33] 山东郓城工力有限公司 ZS-180型震动深松机[EB/OL]. [2015-11-13]. [http://www.ycgongli.com/gb794787\\_2411224.html](http://www.ycgongli.com/gb794787_2411224.html).
- [34] CLEMENS Technologies Subsoiler[EB/OL]. [2015-11-13]. <http://www.clemens-online.com/index.EN.php?cnt=p4010&nav=m207&dash=tiefenlockerer>.
- [35] 李建军. 全方位可调式深松机的设计[D]. 长春:吉林大学,2010.
- [36] 王方艳. 全方位深松机引选试验研究[J]. 农机化研究,2010,32(1):173-175.
- [37] 谷谒白,刘向阳. 1SQ-250型全方位深松机的研制与试验[J]. 北京农业工程大学学报,1994,14(4):42-48.
- [38] 郭新荣,谷谒白,廖植樨. 1SQ-250型全方位深松机性能分析[J]. 农业系统科学与综合研究,2000,16(3):225-227.
- [39] 北京银华春翔农机有限公司 春翔春翔牌 1SQ-340 全方位深松机[EB/OL]. [2015-11-13]. [http://www.nongji360.com/company/shop2/product\\_1814\\_1439.shtml](http://www.nongji360.com/company/shop2/product_1814_1439.shtml).
- [40] 董向前,宋建农,王继承,等. 9ST-460型草地振动式间隔松土机改进设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(4):62-65.
- [41] 山东奥龙农业机械制造有限公司. 全方位深松机[EB/OL]. [2015-11-13] <http://www.sdaljx.com/zhsh.asp?id=448>.
- [42] DAL BO Ratoon Subsoiler[EB/OL]. [2015-11-13]. <http://www.dal-bo.com/Ratoon>.
- [43] 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.
- [44] 孙成明,曹军,刘涛,等. 稻麦周年生产农机深松整地技术及其操作规范[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):346-348.
- [45] 韩秀芳,高勇,谢宏昌,等. 机械深松联合整地技术的作用及效益分析[J]. 农机使用与维修,2010(1):31-33.