

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.08.009

水田高茬秸秆还田耕整机设计与试验*

周勇 余水生 夏俊芳

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

【摘要】 设计了一种双轴水田秸秆还田耕整机。阐述了该机工作原理及其总体结构设计,并进行田间试验检测其性能。田间试验结果表明,该机可一次性实现水田高茬秸秆的埋覆还田、旋耕碎土、平整地表等多项功能,耕深158.7 mm,耕深稳定性为84.86%,秸秆埋覆率94.19%,耕后地表平整度25 mm,生产率0.87 hm²/h,能够满足水稻播栽对耕整地的农艺要求。

关键词: 耕整机 水田 秸秆还田 设计 试验

中图分类号: S222.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)08-0046-04

Design and Experiment of Cultivator for High Straw Returning in Paddy Field

Zhou Yong Yu Shuisheng Xia Junfang

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract

A cultivator which can achieve the purpose of high straw returning by rotary tillage with double roller was designed. The overall structural design and working principle of the cultivator were introduced. The field tests were conducted in order to examine its operating performance. The results of field tests indicated that the cultivator could realize multiple functions at the same time, such as the high straw mulching and returning, soil crashing, and surface leveling. The working qualities of cultivator which met the agrotechnical requirement of rice sowing and transplanting were as follows: the tillage depth of 158.7 mm, the stability of tillage depth of 84.86%, the straw coverage rate of 94.19%, the surface roughness after rotary tillage of 25 mm, and the productivity of 0.87 hm²/h.

Key words Cultivator, Paddy field, Straw returning, Design, Experiment

引言

传统的人畜力耕整机具或常规旋耕机耕越来越难以满足水田耕整农艺要求,往往需要犁耕、耙碎、耖平等多道工序,造成能量大量消耗,土壤耕层结构破坏,作业效率低,秸秆还田效果差^[1-3]。

旱地秸秆还田保护性耕作机具较为成熟,但其作业环境、作业对象与水田截然不同,使其在水田的使用效果差。本文设计一种适合高茬水田耕整的双

轴旋耕埋草整地机,一次性作业即可完成秸秆埋覆、旋耕整地、地表平整等多道工序,能将大量秸秆直接还田并达到水稻播栽前的农艺要求。

1 总体结构与工作原理

1.1 总体结构

螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机的整体结构如图1所示,主要由前置旋耕埋秆刀辊、后置旋耕埋秆刀辊、中间隔板、挡土板、平地板、埋秆弹齿、中

收稿日期:2012-03-05 修回日期:2012-04-15

* 国家自然科学基金资助项目(50975115)和公益行业(农业)科研专项经费资助项目(201203059)

作者简介:周勇,讲师,博士,主要从事农业机械设计与性能试验研究,E-mail: zhyong@mail.hzau.edu.cn

通讯作者:夏俊芳,教授,博士生导师,从事农业机械设计与性能试验研究,E-mail: xjf@mail.hzau.edu.cn

间传动箱、侧边传动箱和侧边支撑板等组成^[4-9],其中前置旋耕埋秆刀辊安装高度比后置旋耕埋秆刀辊安装高度高 80 cm。该机采用三点式悬挂机构,正悬挂于轮式拖拉机后方。通过调节拖拉机的三点悬挂机构上拉杆的长度,可以改变前、后置旋耕埋秆刀辊在高度方向上的相对位置,实现耕深调节;或者通过三点悬挂机构控制系统来调节该机的耕深。

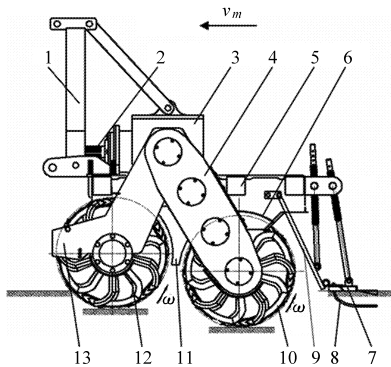


图 1 整机结构简图

Fig. 1 Structure of whole machine

1. 悬挂架 2. 动力输出轴 3. 中间传动箱 4. 侧边传动箱
5. 机架 6. 罩壳 7. 平田拖板 8. 埋秆弹齿 9. 挡土板 10. 后置旋耕埋秆刀辊 11. 中间隔板 12. 前置旋耕埋秆刀辊 13. 侧边支撑板

1.2 工作原理

螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机与 62.5 ~ 73.5 kW 的轮式拖拉机配套,拖拉机动力输出轴经万向节传动轴将动力输入中间传动箱,再经过一次减速后,将动力分别传到两侧边传动箱,最后由侧边传动箱输出轴分别传递给前、后两个螺旋刀辊,驱动刀辊正向旋转,实现顺铤土壤^[10]。该机动力传动系统由中间向两侧同时传递,整机结构左右对称分布。

作业时,前置旋耕埋秆刀辊入土深度约为预定耕深的 1/2,其主要功能是翻耕土壤和压埋秸秆,并将秸秆和土壤揉捏混合,实现秸秆首次埋覆;后置旋耕埋秆刀辊入土深度为预定耕深,在耕层土壤进一步细碎、起浆的同时,实现残留秸秆的再次压埋。前置刀辊和后置刀辊之间有隔板,前置刀辊工作时向后抛出的残碎秸秆与泥土甩到中间隔板上后落在地表,以保证甩出的泥土、秸秆不会干扰后置刀辊的工作。后置刀辊作业后,平田拖板随机组前进将已耕地表趟平,平田拖板下方布置的埋秆弹齿可以将遗漏在已耕地表的秸秆最后压入泥土,以保证耕整后的地表质量能够满足水稻播栽的农艺要求。

2 关键部件设计

2.1 前、后刀辊的配置

螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机,前置刀

辊和后置刀辊均采用顺铤的组合形式。前置刀辊在实现秸秆埋覆的同时旋耕表层较浅的土层,后置刀辊加大旋耕深度的同时对土壤再次粉碎、对秸秆实现二次埋覆。前置刀辊和后置刀辊的有效工作幅宽为 2 000 mm。

前置刀辊由 6 组左、右旋向的螺旋刀辊组成,而每组螺旋刀辊均由左弯刀、螺旋横刀、立刀、右弯刀和刀盘组成^[4-6],如图 2 所示。立刀焊接在螺旋横刀上,螺旋横刀与左、右弯刀焊接,左、右弯刀分别紧固在刀盘上。左、右弯刀在工作中将待耕的土壤切割成一定幅宽,降低刀辊总体切削阻力;螺旋横刀在刀辊旋转工作中,一方面将耕作层土壤逐步切成条条,完成条状旋耕、条垡抛起并折断的碎土过程,另一方面将秸秆压入土壤,便于碎土对秸秆覆盖;螺旋横刀上布置的纵向立刀,在刀辊旋转工作中,对待耕土壤进行纵切和对残留的秸秆根部进行一定程度的分割,同时把下一个螺旋横刀需要旋耕的土壤垡条切成小段,增加刀辊的碎土能力和减小横刀切削阻力。

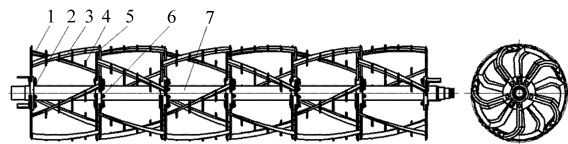


图 2 前置埋草刀辊结构简图

Fig. 2 Structure sketch of stubble-bury roller

1. 左弯刀 2. 端面刀盘 3. 螺旋横刀 4. 立刀 5. 右弯刀
6. 中间刀盘 7. 刀轴

左旋横刀与右旋横刀按照对称布置,呈“人”字形对称排列为一对,整个埋草刀辊由 3 对这样的组合依次沿轴向布置,组成一个不重、不漏的整幅螺旋刀辊。采用对置式布置,左、右螺旋横刀在切削过程中受到土壤的反作用力在沿着刀轴方向的分力能够相互抵消,刀辊轴向受力平衡。

后置刀辊的整体结构与前置埋草刀辊类同,由 6 组 3 对左、右旋向的螺旋刀辊组成。为了保证机组作业后的地表平整性好,后置螺旋刀辊在选择对应螺旋横刀旋向时需考虑和前置埋草刀辊相应段呈反向布置,即前置刀辊螺旋横刀旋向为左旋,则与其前后对应的后置旋耕刀辊螺旋横刀旋向为右旋,反之亦然。从而降低刀辊对土壤横向推送造成的不平整度,减少平地拖板的工作负荷,减小机组前进阻力。

2.2 螺旋刀辊主要参数

每组螺旋刀辊的有效工作幅宽 B 约为 340 mm,刀辊轴上相邻两组螺旋刀辊重耕宽度为 8 mm。螺旋横刀切削刃所在中心圆直径 $D = 460$ mm,初定其

最大切削深度 $h = 80 \text{ mm}$ 。参照螺旋齿圆柱平面铣刀的设计,增大螺旋角 ψ 可同时增加工作齿数和切削刃的工作长度,增大斜角切削的效果,因而实际切削前角将显著增加,切削条件大为改善^[11],选取 $\psi = 50^\circ \sim 70^\circ$ 代入

$$Z = \frac{12.6D\cos\psi}{D+4h} \quad (1)$$

计算得到外周铣刀齿数 $Z = 2.5 \sim 4.8$ 个^[12]。为了提高碎土效果,取 $Z = 5$ 个。

因此,刀辊两端端面刀盘的外端面上开有 5 个均布的刀槽;中间刀盘的两个端面上分别均布 5 个刀槽,且两端面上的刀槽均匀交错排列,即相邻刀槽交错角为 36° 。

参照船式旋耕埋草机螺旋刀辊的结构参数^[4-6],选取 $\psi = 64^\circ$ 。根据式

$$\theta = \frac{360B}{\pi D \tan\psi} \quad (2)$$

计算出与螺旋横刀焊接的左、右端面弯刀相互交错角 $\theta \approx 41^\circ$ 。

结合螺旋齿圆柱平面铣刀的几何角度(图 3)^[11]和参考铣刀合理几何参数的选择原则^[13],确定螺旋横刀前角 $\gamma_o = 20^\circ$ 、后角 $\alpha_o = 8^\circ$,并代入

$$\tan\gamma_n = \tan\gamma_o \cos\psi \quad (3)$$

$$\cot\alpha_n = \cot\alpha_o \cos\psi \quad (4)$$

求得螺旋横刀的法前角 $\gamma_n \approx 39^\circ$ 、法后角 $\alpha_n \approx 18^\circ$,则按

$$\beta_n = 90^\circ - \gamma_n - \alpha_n \quad (5)$$

计算得出法楔角 $\beta_n = 33^\circ$ 。因此,设计的螺旋横刀截面尺寸如图 4 所示,并螺旋横刀按照前角 $\gamma_o = 20^\circ$ 、后角 $\alpha_o = 8^\circ$ 的要求焊接在左、右弯刀上。

初步确定机组田间作业速度 $v_m \geq 3 \text{ km/h}$,螺旋刀辊的工作转速 $n = 330 \text{ r/min}$,则螺旋横刀切割土壤的切土节距为^[14]

$$S = \frac{50\,000v_m}{3nZ} \quad (6)$$

计算得 $S \geq 30 \text{ mm}$ 。

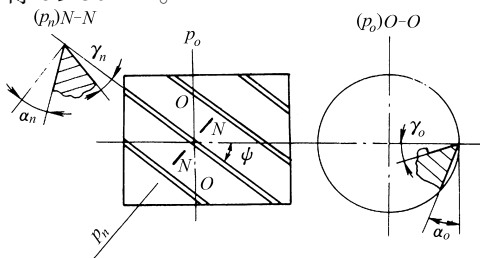


图 3 螺旋齿圆柱平面铣刀的几何角度
Fig. 3 Geometric angle of spiral tooth cylindrical milling cutter

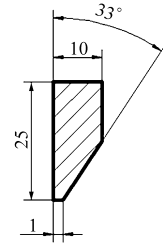


图 4 螺旋横刀截面尺寸

Fig. 4 Sectional dimension of spiral cross tool

为使焊接在螺旋横刀上的立刀能将相邻下一个螺旋横刀切割土堡分段,参照 S 的值,取立刀切削刃相对回转中心的最大距离为 245 mm ,且在每一螺旋横刀上均布 4 个立刀。

2.3 防缠草装置的设计

为了防止螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机作业时刀辊轴颈处缠草,该机在刀辊轴的两端轴颈处设计了防缠草装置。即在刀辊左右端面刀盘外侧分别安装两把 L 型切草刀,该切草刀随刀辊一起旋转,在对应机架侧板内侧对称安装两把 L 型固定切草刀,如图 5 所示。采用动刀与定刀错位相切割的原理,在刀辊旋转中轴颈处形成闭合的封闭区,能够有效防止轴颈缠草。

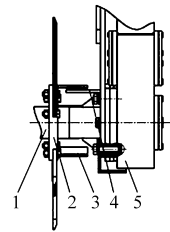


图 5 防缠草装置

Fig. 5 Anti-wind grass device

1. 刀轴 2. 端面刀盘 3. 动切草刀 4. 定切草刀 5. 侧边传动箱

3 性能试验及结果分析

3.1 性能试验

3.1.1 试验目的

通过田间试验,测定螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机的主要性能指标,包括耕宽、耕深、耕深稳定性、秸秆埋覆率、地表平整度和纯小时生产率。

3.1.2 性能测定依据

根据湖北省地方标准 DB 42/T440.1—2007《船式旋耕埋草机》的要求进行性能测定。

(1) 耕宽:旋耕埋草机单行程的实际作业幅宽。

(2) 耕深:旋耕埋草作业后旋耕底层至水田泥面的垂直高度。

(3) 耕深稳定性:旋耕埋草作业后田块耕深的一致性程度。

(4) 秸秆埋覆率: 作业田块内单位面积上被旋耕埋覆的秸秆量占该面积上原残留秸秆量的百分比。

(5) 地表平整度: 旋耕埋草作业后田块泥土表面平整的程度。

3.1.3 试验条件

2011 年 9 月 23 日在华中农业大学现代农业科技试验基地水稻核心试验区选取了两块晚稻秸秆田块进行试验, 其中田块 1 的尺寸为 21.1 m × 28.6 m, 田块 2 的尺寸为 24 m × 28.6 m, 残留秸秆全部站立于田间, 秸秆的平均高度为 300 mm, 湿秸秆量为 3.1 kg/m²; 秸秆平均分布状态为 29.78 束/m²、14.63 株/束; 试验田块水层深度 20 ~ 50 mm。配套动力为 70 kW 的东方红-LX954 型拖拉机。

3.1.4 试验结果

按照旋耕埋草机的作业质量检测标准(DB 42/T440.1—2007)对本机的田间作业质量进行测量, 试验结果如表 1 所示。

3.2 结果分析

(1) 田间行进速度为 4.36 km/h, 纯工作小时生产率为 0.87 hm²/h, 它们略高于设计参数, 主要是因为田块面积较小, 作业时间利用率低。

(2) 作业后秸秆埋覆率为 94.19%, 秸秆埋覆还田效果好。

(3) 耕深为 158.7 mm, 达到设计要求; 耕深稳定性为 84.86%, 作业过程平稳。

表 1 田间作业性能检测结果

Tab. 1 Measurement results of working performance

检测项目	设计值	检测结果(平均值)
田间作业速度/km·h ⁻¹	≥3	4.36
耕宽/mm	2 000	2 014
耕深/mm	100 ~ 160	158.7
耕深稳定性/%	≥80	84.86
秸秆埋覆率/%	≥90	94.19
地表平整度/mm	≤30	25
纯小时生产率/hm ² ·h ⁻¹	≥0.6	0.87

(4) 地表平整度为 25 mm, 旋耕整地、地表平整质量好, 能够满足水稻的种植需要。

4 结论

(1) 采用左、右双螺旋组合的螺旋刀辊并行配置作业模式, 实现前置刀辊在实现秸秆埋覆的同时旋耕表层较浅土层, 后置刀辊加大旋耕深度的同时对土壤再次粉碎、对秸秆实现二次埋覆是可行的, 能满足水田耕整的需要。

(2) 通过田间性能试验, 结果表明: 螺旋双辊式水田高茬秸秆还田耕整机能一次性完成水田高茬秸秆埋覆还田、旋耕整地和地表平整等多项作业工序, 其主要性能指标均符合设计技术要求, 作业质量能够满足水稻种植的农艺要求。

参 考 文 献

- 王琳, 臧英, 罗锡文. 我国水稻生产机械化发展对策[J]. 农机化研究, 2009, 31(6): 1~4, 20.
Wang Lin, Zang Ying, Luo Xiwen. Development countermeasure of rice production mechanization in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(6): 1~4, 20. (in Chinese)
- 王承义, 詹雄伟. 浅述农业生态环境与水稻生产机械化[J]. 中国农机化, 2004(6): 26~27.
- 章秀福, 王丹英, 符冠富, 等. 南方稻田保护性耕作的研究进展与研究对策[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 346~351.
Zhang Xiufu, Wang Danying, Fu Guanfu, et al. Research progress and developing strategy in paddy-field conservation tillage in the south of China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 346~351. (in Chinese)
- 夏俊芳, 张国忠, 许绮川, 等. 多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 331~334.
Xia Junfang, Zhang Guozhong, Xu Qichuan, et al. Research on the mechanized technology of rotary tillage and stubble-mulch for paddy field under multiple rice cropping system[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2008, 27(2): 331~334. (in Chinese)
- 张国忠, 许绮川, 夏俊芳, 等. 1GMC-70 型船式旋耕埋草机的设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 214~217.
- 王志山, 夏俊芳, 许绮川, 等. 船式旋耕埋草机螺旋刀辊作业功耗试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 44~47.
Wang Zhishan, Xia Junfang, Xu Qichuan, et al. Power consumption experiment of rotary tillage and stubble-mulch knife roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 44~47. (in Chinese)
- 王金武, 尹大庆, 韩永俊, 等. 水稻秸秆整株还田机的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(10): 54~56.
Wang Jinwu, Yin Daqing, Han Yongjun, et al. Design and experiment of whole rice straw returning machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(10): 54~56. (in Chinese)
- 贾洪雷, 马成林, 刘枫, 等. 秸秆与根茬粉碎还田联合作业工艺及配套机具[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 46~49.
Jia Honglei, Ma Chenglin, Liu Feng, et al. Study on technology and matching machine for stalk/stubble breaking and mulching combined operation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 46~49. (in Chinese)

- the ASAE, 2002, 45(1): 47 ~ 54.
- 4 Tsay J R, Liang L S, Lu L H. Evaluation of an air-assisted boom spraying system under a no-canopy condition using CFD simulation[J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(6): 1 887 ~ 1 897.
 - 5 傅泽田, 王俊, 祁力钧, 等. 果园风送式喷雾机气流速度场模拟及实验验证[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 69 ~ 74.
Fu Zetian, Wang Jun, Qi Lijun, et al. CFD simulation and experimental verification of air velocity distribution of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 69 ~ 74. (in Chinese)
 - 6 Sidahmed M M, Brown R B. Simulation of spray dispersal and deposition from a forestry airblast sprayer-part II: droplet trajectory model[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(1): 5 ~ 17.
 - 7 Gorokhovski M, Chtab-Desportes A, Voloshina I, et al. Stochastic simulation of the spray for mation assisted by a high pressure[C]. AIP Conference Proceedings, 2010, 1207: 66 ~ 73.
 - 8 陈发元, 汪小昆, 丁为民, 等. 果树喷雾用圆盘风扇三维气流速度场数值模拟与验证[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 51 ~ 55.
Chen Fayuan, Wang Xiaochan, Ding Weimin, et al. Numerical simulation and experimental verification of 3-D air-velocity field of disk fan used in orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 51 ~ 55. (in Chinese)
 - 9 Baetens K, Nuyttens D, Verboven P, et al. Predicting drift from field spraying by means of 3D computational fluid dynamics model[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 56(2): 161 ~ 173.
 - 10 Delele M A, De Moor A, Sonck B, et al. Modelling and validation of the air flow generated by a cross flow air sprayer as affected by travel speed and fan speed[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(2): 165 ~ 174.
 - 11 Delele M A, Jaeken P, Debaer C, et al. CFD prototyping of an air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 55(1): 16 ~ 27.
 - 12 祁力钧, 赵亚青, 王俊, 等. 基于 CFD 的果园风送式喷雾机雾滴分布特性分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 72 ~ 76.
Qi Lijun, Zhao Yaqing, Wang Jun, et al. CFD simulation and experimental verification of droplet dispersion of air-assisted orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 72 ~ 76. (in Chinese)
 - 13 傅泽田, 祁力钧, 王秀, 等. 农药喷施技术的优化[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 109 ~ 111.
 - 14 袁雪, 祁力钧, 王虎, 等. 温室摇摆式变量弥雾机喷雾参数响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 45 ~ 50, 54.
Yuan Xue, Qi Lijun, Wang Hu, et al. Spraying parameters optimization of swing, automatic variables and greenhouse mist sprayer with response surface method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 45 ~ 50, 54. (in Chinese)
 - 15 祁力钧, 王沛, 张建华, 等. 杂草叶片表面结构对雾滴铺展和蒸发的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(3): 335 ~ 340.
Qi Lijun, Wang Pei, Zhang Jianhua, et al. Influence of weed leaves surface structures on droplet spread and evaporation [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2012, 30(3): 335 ~ 340. (in Chinese)

(上接第 49 页)

- 9 李永磊, 宋建农, 王继承, 等. SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 143 ~ 147.
Li Yonglei, Song Jiannong, Wang Jicheng, et al. Design and experiment of a SGTN-180 type rotary tillage-straw returning-fertilization combined machine[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(2): 143 ~ 147. (in Chinese)
- 10 丁为民, 王耀华, 彭高植, 等. 正、反转旋耕刀性能分析及切土扭矩比较试验[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(1): 113 ~ 117.
Ding Weimin, Wang Yaohua, Peng Songzhi, et al. Comparison experiment and property analysis of up-cut and down-cut rotary blades[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(1): 113 ~ 117. (in Chinese)
- 11 陈日曜. 金属切削原理[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- 12 阿克. 铣刀齿数的确定[J]. 机械工人(冷加工), 1981(5): 45.
- 13 乐兑谦. 金属切削刀具[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- 14 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: 中国农业科技出版社, 2007.