

# 1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机设计与试验\*

武广伟 付卫强 董建军 丛岳 孟志军

(北京农业智能装备技术研究中心,北京 100097)

**摘要:** 针对我国缺乏农田水渠开沟专用装备的现状,设计了1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机。该设备采用牵引式结构,开沟作业的动力由独立的液压系统提供,利用液压马达带动开沟刀盘旋转,开沟刀盘能同时实现切土和抛土的功能,开挖出梯形截面水渠。同时,设备集成了GPS拖拉机自动导航系统,提高了开沟直线度。田间试验结果表明,在土壤含水率15.8%,土壤坚实度0.31 MPa情况下,样机作业速度能够达到0.12 m/s,开沟深度407 mm,梯形断面的沟面宽度984 mm,沟底宽度305 mm,开沟深度稳定性可以达到97.1%,在使用拖拉机GPS自动导航的情况下,开沟最大直线偏差能控制在90 mm以内,机具能够稳定地一次性开挖梯形断面水渠,设备在北京、江苏、黑龙江等地开展了田间试验,均能在当地土壤条件下完成梯形截面水渠的开沟作业。

**关键词:** 开沟机 液压驱动 农田水渠 设计

**中图分类号:** S222.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0302-07

## 引言

农田灌溉水渠是我国农田重要的基础设施。在大面积农田灌溉中,利用灌溉水渠进行引水灌溉仍然是我国目前采用最多的一种灌溉方式,现有地面灌溉面积约占全国总灌溉面积的85%以上,其中80%以上为土渠,渠道以梯形截面、U型截面和矩形截面居多<sup>[1-2]</sup>。旋转开沟机是20世纪60年代出现的一种连续挖土机械,利用高速旋转的铣削盘铣削和抛掷土壤实现开挖沟渠,适宜开挖梯形截面农用水渠<sup>[3]</sup>。旋转开沟机因其所需牵引力小、工作效率高在国外获得广泛应用。我国从20世纪70年代开始旋转开沟机的研究,先后有1K-80、1K-100、ZQK-130等多种型号的机型,但由于多种原因未能推广应用<sup>[3-6]</sup>。

目前我国梯形截面农田灌溉水渠修建主要依靠人工以及挖掘机等工程机械,作业效率较低,用于梯形截面农田灌溉水渠施工的专用开沟设备相对较少,并且已有的旋转式开沟机以悬挂式机械传动为主,机械结构复杂,拖拉机动力消耗大,刀盘转速不宜调整<sup>[3-6]</sup>。针对以上情况,本文设计1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机,采用牵引式液压驱动工作原理,以实现一次性开挖梯形截面水渠。

## 1 整机结构和工作原理

### 1.1 整机结构

1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机采用牵引式结构,主要由集成GPS自动导航控制系统的拖拉机和开沟机机械主体2部分组成。主要包括拖拉机(集成GPS自动导航控制系统)、车载开沟机控制器终端、牵引架、发动机油箱、发动机、散热器、液压控制阀、液压缸、液压油油箱、支撑轮、开沟刀盘、离合器、开沟机控制器、液压泵、液压马达等部分。主要工作部件及结构如图1所示。

### 1.2 工作原理

该机采用液压驱动原理,整机采用牵引式结构,开沟机开沟作业的动力由独立的柴油发动机带动液压泵提供,相比机械式开沟机能够降低配套拖拉机动力50%以上,利用液压马达带动铣削刀盘进行逆向旋转切削土壤,2个铣削刀盘呈固定角度,行进过程中铣切并抛出刀盘本身所占据的沟型断面,中间三角土部分靠自身重力塌落在2个刀盘上,再由刀盘将这部分土壤抛出,随着机具的行进,能够开挖出梯形截面水渠<sup>[3-4,7]</sup>。该机利用液压缸带动支撑轮升降进行工作深度调整,并通过控制终端对农田开沟机刀盘旋转速度和液压缸升降进行自动控制,实现开沟刀盘转速和工作深度的实时调整。通过集成

收稿日期:2014-07-31 修回日期:2014-08-23

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101901)和新疆生产建设兵团重大科技资助项目(2013AA004-2)

作者简介:武广伟,副研究员,主要从事精准农业智能装备研究,E-mail:wugw@nercita.org.cn

通讯作者:孟志军,研究员,主要从事精准农业智能装备技术研究,E-mail:mengzj@nercita.org.cn

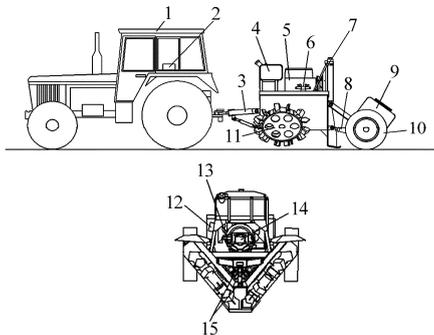


图 1 1KY-40 型液压驱动农田水渠开沟机结构简图

Fig. 1 Structure of 1KY-40 hydraulic drive ditcher

for farmland conduit

1. 拖拉机(集成 GPS 自动导航控制系统) 2. 车载开沟机控制器终端
3. 牵引架 4. 发动机油箱 5. 发动机 6. 液压控制阀
7. 散热器 8. 液压缸 9. 液压油油箱 10. 支撑轮 11. 开沟刀盘
12. 开沟机控制器 13. 离合器 14. 液压泵 15. 液压马达

拖拉机 GPS 自动导航控制系统能够实现开沟直线作业控制,保证开沟作业过程中的直线度。

## 2 主要结构与参数分析

### 2.1 开沟机功率

1KY-40 型液压驱动农田水渠开沟机开挖沟渠梯形断面参数参照 GB 50288—99《灌溉与排水工程设计规范》确定,梯形断面上口宽边  $a = 971$  mm,下底窄边  $b = 300$  mm,深度  $h = 400$  mm,坡度角  $\gamma = 50^\circ$ 。开沟机功率主要包括牵引功率和铤抛功率,其中铤抛功率消耗的功率占 95% 以上<sup>[3]</sup>,为了降低拖拉机的动力消耗,本机采用了牵引式设计,开沟刀盘的铤抛动力由独立的发动机提供,拖拉机只提供牵引力,可以配套 20~40 kW 较小功率拖拉机完成开沟作业。开沟机消耗总功率为<sup>[8-10]</sup>

$$P_1 = \frac{K_N(a+b)hv}{2} \quad (1)$$

式中  $v$ ——开沟机前进速度, km/h

$K_N$ ——旋耕比阻

其中开沟机设计前进作业速度  $v = 400$  m/h,旋耕比阻  $K_N = 0.3$ ,结合沟型断面几何尺寸,得到开沟机消耗总功率  $P_1 = 43.2$  kW,开沟机所需要的铤抛功率按照总功率 95% 计算为 41.04 kW,经过选型,确定开沟机所用发动机为 AB498 型柴油机,功率为 45.6 kW。

### 2.2 开沟刀盘设计

开沟铤削刀盘是开沟机的主要工作部件,对开沟机的工作性能有着多方面的影响。常见的铤削刀盘多采用“切抛合一”的工作原理<sup>[3,7]</sup>,如图 2a 所示为常见类型,安装的切土刀兼有切土和抛土 2 种作用,切土刀多用矩形或菱形直切刀,利用其棱角挤碎

土壤,不磨刃;本机设计过程中采用了“切抛分离”的工作原理,如图 2b 所示的本机类型,切土部件由切土刀和抛土板组成,按照旋转切土方向,斗式切土刀在抛土板前端,采用自磨砺切土刀片进行切土,切土角  $12^\circ$  远小于“切抛合一”原理的  $90^\circ$  切土角,“切抛分离”原理的切土方式其切削阻力远小于“切抛合一”原理,切削下来的土壤依靠抛土板甩出,而且切土与抛土分开,也很好解决了粘性土壤中粘刀的问题。

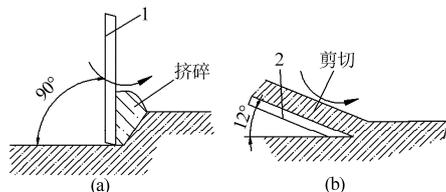


图 2 铤削刀盘切土原理图

Fig. 2 Working principle diagram of symmetrical cutter

(a) “切抛合一”原理 (b) “切抛分离”原理

1. 切抛板 2. 自磨砺切土刀片

开沟铤削刀盘的主要设计参数有铤削刀盘线速度、刀盘直径、切刀数、切土刀进给量<sup>[3,7]</sup>。

#### 2.2.1 铤削刀盘运动分析

开沟刀盘的旋转方向主要有顺铤和逆铤 2 种。由于逆铤方式使开沟机在土壤沟内运行路程大大缩短,减少了功率消耗,有利于沟型成型,本研究铤削刀盘采用逆铤方式<sup>[3]</sup>。开沟机工作时,随着机具前进,旋转的铤削刀盘连续不断地切削土壤,并将切下的垫片抛出沟外。因此,旋转刀盘上的刀齿切削土壤时的运动轨迹为一条加长余摆线<sup>[3,8]</sup>。设刀盘轴心为直角坐标系的原点,开沟机前进方向为  $x$  轴,沟坡至沟底的方向为  $y$  轴(图 3)。

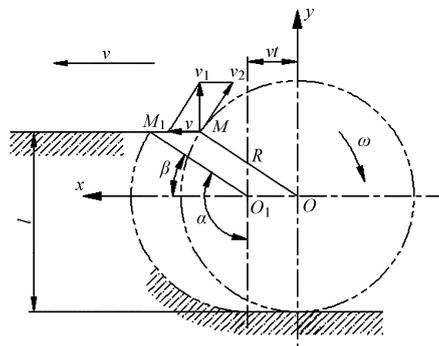


图 3 铤削刀盘运动分析图

Fig. 3 Movement analysis of symmetrical cutter

刀齿端点  $M$  的运动轨迹可用时间  $t$  的参数方程表示为

$$\begin{cases} x = R\cos(\alpha - 90^\circ) + vt \\ y = R\sin(\alpha - 90^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

式中  $R$ ——刀齿回转半径, mm

$\alpha$ ——接触角, ( $^\circ$ )

若以刀盘旋转角速度  $\omega$  表示接触角  $\alpha$ , 则  $\alpha = \omega t$ , 式(2)表示为

$$\begin{cases} x = R\sin\omega t + vt \\ y = -R\cos\omega t \end{cases} \quad (3)$$

刀齿端点  $M$  沿  $x$  轴和  $y$  轴的速度分量通过对时间  $t$  求一阶导数得出, 即

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = v + R\omega\cos\omega t \\ v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega\sin\omega t \end{cases} \quad (4)$$

$M$  点瞬时切削速度为

$$v_2 = \sqrt{R^2\omega^2 + v^2 + 2vR\omega\cos\omega t} \quad (5)$$

将  $v_1 = R\omega$  代入式(5)得

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + v^2 + 2vv_1\cos\omega t} \quad (6)$$

由运动分析可知, 机具前进速度  $v$ 、刀齿回转半径  $R$ 、旋转角速度  $\omega$  是影响双圆盘开沟机的功率消耗的主要因素。

### 2.2.2 铣削刀盘切削土壤受力分析

铣削刀盘线速度  $v_1$  是影响铣切、抛撒土壤能耗的重要因素,  $v_1$  的选择需要遵循保证惯性卸载、保证必要的切土距离、尽量减少整机能量消耗 3 个原则<sup>[3]</sup>。要实现惯性卸载必须保证铣削刀盘以一定线速度  $v_1$  抛撒土壤, 且  $v_1 > v_3$ , 这里的  $v_3$  是刀盘实现惯性卸载的临界速度。欲求出  $v_3$ , 对铣削刀盘端部切削土壤进行受力分析(图 4)。

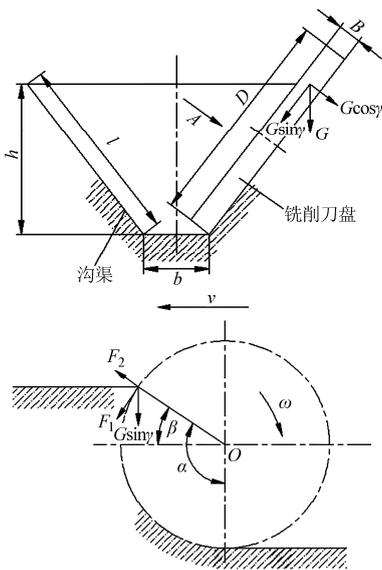


图 4 铣削刀盘端部切土受力分析图

Fig. 4 Force analysis of symmetrical cutter

端部土壤质点的受力平衡方程为

$$F_2 = G\sin\gamma\sin\beta + fF_1 \quad (7)$$

其中  $F_2 = \frac{Gv_3^2}{gR}$   $F_1 = G\sin\gamma\cos\beta$

式中  $F_1$ ——铣削刀盘端部切向方向受力, N

$F_2$ ——铣削刀盘端部法向方向受力, N  
代入式(7)得

$$v_3 = \sqrt{\sin\gamma(\sin\beta + f\cos\beta)} \sqrt{Rg} \quad (8)$$

式中  $\gamma$ ——沟形坡度角, ( $^\circ$ )

$\beta$ ——刀齿端点和刀盘中心连线与机组前进方向的夹角, ( $^\circ$ )

$g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$

$f$ ——土壤和刀齿表面的摩擦因数

由式(8)可以看出,  $v_3$  取决于刀盘半径  $R$ 、沟渠断面形状和土质条件。在保证惯性卸载、保证必要的切土距离、尽量减少整机能量消耗 3 个原则情况下, 通常可在  $7 \sim 15 \text{ m/s}$  范围内选取<sup>[3,7]</sup>, 本文选取  $v_1 = 10 \text{ m/s}$ 。

### 2.2.3 刀盘直径

刀盘直径  $D$  影响着抛撒土壤的效果, 是影响开沟机作业性能的一个主要设计参数。刀盘直径通常是按切土刀的最大回转直径计算<sup>[7]</sup>, 即

$$D = (1.25 \sim 1.45)l \quad (9)$$

式中  $l$ ——梯形断面斜边长度, mm

其中根据梯形断面深度  $h = 400 \text{ mm}$ , 坡度角  $\alpha = 50^\circ$ , 得到  $l = 522 \text{ mm}$ 。当梯形断面坡度角  $\alpha \leq 50^\circ$  时,  $D = 1.45l = 756.9 \text{ mm}$ , 经过圆整后, 本机刀盘直径  $D$  设计值为  $760 \text{ mm}$ 。

### 2.2.4 切刀数和进给量

铣削刀盘同一圆周上切土刀数量  $Z$  由每把刀的进给量确定(取整数)<sup>[7]</sup>, 即

$$Z = \frac{6000v}{cn} \quad (10)$$

或

$$Z = \frac{\pi Dv}{cv_1} \quad (11)$$

式中  $n$ ——铣抛刀盘转速,  $\text{r/min}$

$c$ ——切土刀的进给量, mm

本文取  $c = 4 \text{ mm}$ ;  $v = 0.5 \text{ km/h}$ ;  $D = 760 \text{ mm}$ ;  
 $n = \frac{60v_1}{\pi D} = 251.4 \text{ r/min}$ , 则  $Z \approx 6$ , 开沟铣削刀盘切土

刀设计为 6 把。本开沟机铣削刀盘主要由斗式切土刀、刀盘体、抛土板 3 部分组成, 共有 6 把斗式切土刀和 6 个抛土板, 斗式切土刀和抛土板相间安装, 均匀分布在刀盘体上, 如图 5 所示。

### 2.3 液压系统设计

该机液压系统主要为开沟刀盘同向铣削转动和液压缸伸缩带动机体升降 2 个动作提供液压动力。为了简化系统结构和控制难度, 本机采用了液压泵与拖拉机后液压输出装置分别提供油源, 齿轮液压泵通过离合器直接与柴油机动力输出轴连接, 向 2 个液压马达提供油源, 液压缸回路的液压油源由拖

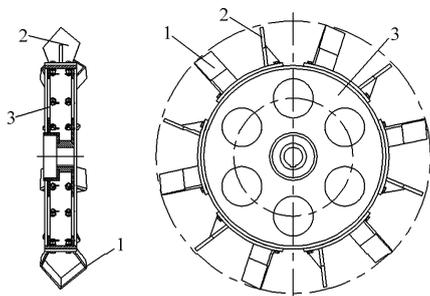


图5 铣削刀盘结构图

Fig. 5 Structure of symmetrical cutter

1. 斗式切土刀 2. 抛土板 3. 刀盘体

拖拉机后液压输出装置提供, 2个液压回路各自独立, 液压系统原理如图6所示。

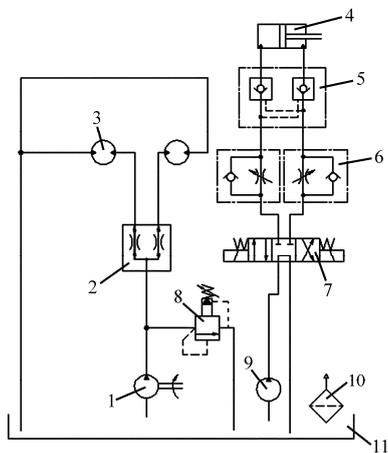


图6 液压系统原理图

Fig. 6 Principle diagram of hydraulic system

1. 齿轮泵 2. 分流集流阀 3. 液压马达 4. 液压缸 5. 叠加式双向液压锁 6. 叠加式单向节流阀 7. 电磁换向阀 8. 液压阀 9. 拖拉机后液压输出装置 10. 回油过滤器 11. 液压油箱

### 2.3.1 液压马达的选型

上文计算开沟机刀盘铣削土壤所消耗的铣为 41.04 kW, 单个刀盘铣削功率为 20.52 kW, 则单个铣削刀盘的最大扭矩为<sup>[11]</sup>

$$T = \frac{9550P_2}{n} \quad (12)$$

式中  $T$ ——单个铣削刀盘最大扭矩,  $N \cdot m$

$P_2$ ——单个刀盘铣削功率, kW

当  $P_2 = 20.52$  kW,  $n = 251.4$  r/min 时, 单个铣削刀盘的最大扭矩  $T = 779.5$   $N \cdot m$ , 单个液压马达的驱动扭矩应不低于 800  $N \cdot m$ , 通过选型选定宁波新宏液压公司生产的 XHM3-250 型液压马达, 额定扭矩 810  $N \cdot m$ , 最高转速 600 r/min, 理论排量 0.25 L/r。

### 2.3.2 液压泵的选型

液压马达所需流量为<sup>[11]</sup>

$$Q = \frac{Un}{1000} \quad (13)$$

式中  $Q$ ——流量, L/min

$U$ ——液压马达理论排量, L/r

当  $U = 0.25$  L/r,  $n = 251.4$  r/min 时单个液压马达所需流量  $Q = 62.85$  L/min, 双马达同时驱动所需流量为 125.7 L/min, 发动机转速设为 2 200 r/min, 根据液压泵的排量、发动机转速及系统压力进行综合考虑, 选择阜新液压泵厂生产的 CBTx-F563-B 型齿轮泵。

## 2.4 控制系统设计

开沟机自动控制系统的设计应当使驾驶员能够在拖拉机驾驶室方便可靠地对开沟机进行操作。通过对开沟机工况进行分析, 根据功能需求, 开沟设备自动控制系统应实现开沟机发动机的启/停、油门大/小调节、电动推杆推动离合器分/合、液压缸升降等功能, 从线缆布线、系统的可扩展性等方面考虑, 控制系统采用基于总线的分布式控制方案<sup>[12-13]</sup>, 如图7所示。

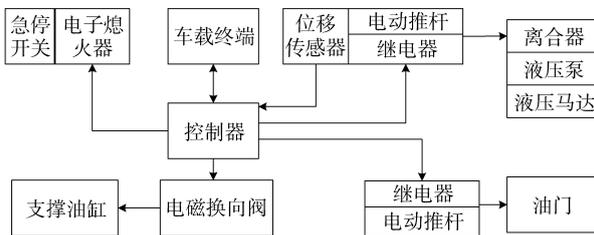


图7 控制系统原理图

Fig. 7 Principle diagram of control system

根据控制系统的控制方案确定了控制器功能应实现 12 路光电隔离数字量输入, NPN 输入形式, 输入电流为 10 mA; 8 路光电隔离数字量输出: 其中有 4 路是继电器隔离输出, 最大输出电流为 5 A; 另外 4 路是光电隔离晶体管输出, 用于高频场合, 最大输出电流为 5 A; 3 路 AD(模拟量)输入, 采样精度是 8 位, 采样范围是 0~10 V, 有过压保护、防静电等功能; 有 1 路标准的 RS232 串行通信接口, 可以与计算机等上位软件通信; 主电源可采用 12 V 直流电。

根据设备工况, 结合控制器的设计, 采用总线控制的方式设计了控制程序。主程序在完成系统初始化之后, 等待控制终端发送控制命令, 得到控制命令后, 主控制器完成相应的控制动作。控制软件流程如图8所示。

车载控制终端采用新汉(中国)有限公司车载终端, 型号为 VMC1000(XPE), 采用 RS232 总线通讯, 基于车载终端设计了人机交互软件, 车载终端能够对开沟机进行工况控制, 如图9所示。

## 2.5 拖拉机 GPS 自动导航控制系统集成

由于开沟作业的机具作业速度普遍在 200~600 m/h, 需要具有爬行挡功能的拖拉机进行牵引, 通常需要通过划线的方式来保证开沟的直线度, 由

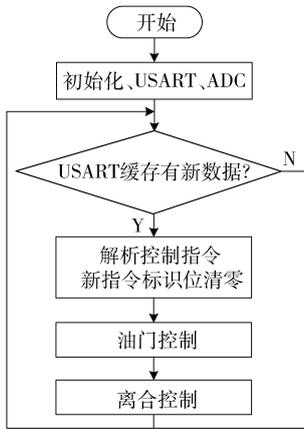


图8 控制器控制软件流程图

Fig. 8 Flow chart of control software



图9 车载终端控制软件界面

Fig. 9 Interface of vehicle terminal control software

针对东风 554 型拖拉机开芯式全液压转向系统,设计了满足自动转向要求的电液比例系统,通过集成定位系统、液压系统、电控系统、导航控制系统构成 1 套适合开沟机开沟作业的拖拉机 GPS 自动导航控制系统<sup>[14-15]</sup>,系统组成如图 10 所示。

于人为因素往往导致开沟设备作业过程中开沟直线度偏差较大,因此本机尝试通过在拖拉机上集成 GPS 自动导航控制系统来提高机具的开沟直线度。

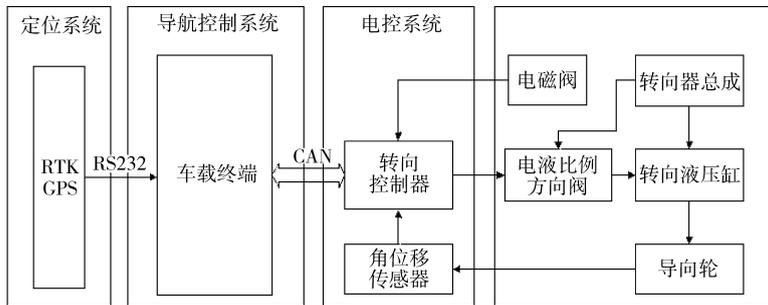


图10 拖拉机自动导航系统组成原理图

Fig. 10 Principle diagram of tractor automatic navigation system

### 3 机具性能试验与分析

2013 年 10 月,在北京市昌平区小汤山国家精准农业示范基地委托黑龙江农垦农业机械试验鉴定站依据开沟机鉴定试验大纲对样机作业效果进行试验检测。

试验地状况:地势平坦,土壤含水率 15.8%,土壤坚实度 0.31 MPa,环境温度 2~4℃,环境相对湿度 34%~37%。机具配套动力:东风 554 型拖拉机(带爬行挡)。

试验前对样机进行试运转和调试,使机器达到最佳工作状态后进行性能试验和生产试验,主要进行开沟深度、开沟深度稳定性、沟面宽度、沟底宽度、沟底浮土厚度、开沟最大直线偏差、作业速度等参数测试,测试数据见表 1,并对试验指标测定结果进行分析<sup>[16-18]</sup>。

#### 3.1 开沟深度

沿行程方向等间距测 10 处。测试前先清除沟底及抛落在沟旁的土块。在原地表与两沟壁交线之间放一直尺,测量沟底中心点到直尺的距离作为测量点开沟深度,开沟深度平均值即为所求开沟深度<sup>[18]</sup>,计算公式为

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{10} \quad (14)$$

式中  $h$ ——开沟深度平均值,mm

$h_i$ ——第  $i$  个测量点的开沟深度,mm

#### 3.2 开沟深度稳定性

根据测得的 10 处开沟深度数据,得到开沟深度标准差为 11.73 mm,开沟深度变异系数为 2.9%,开沟深度稳定性系数为 97.1%,测量数据见表 1。

表 1 样机作业性能测量数据

Tab. 1 Measurement data of ditcher working performance

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
开沟深度	420	385	405	418	412	419	406	390	408	407
沟面宽度	982	991	975	984	987	990	980	985	988	978
沟底宽度	306	308	310	298	305	306	308	298	309	302
开沟直线偏差	46	55	60	52	82	90	51	48	74	50

### 3.3 沟面宽度

在与开沟深度相同测点位置分别测试,测试结果按式(14)计算<sup>[18]</sup>,得出行程内沟面宽度的平均值为984 mm。

### 3.4 沟底宽度

在与开沟深度相同测点位置分别测试,测试结果按式(14)计算<sup>[18]</sup>,得出行程内沟底宽度的平均值为305 mm。

### 3.5 沟底浮土厚度

在与开沟深度相同的测点位置选定对应沟底中心为测量点,测量该测量点的浮土厚度,然后测量不同测量点的浮土厚度,测试结果按式(14)计算<sup>[18]</sup>,得出测量区内沟底浮土厚度的平均值为15 mm。

### 3.6 开沟最大直线偏差

测量一个行程100 m,找出行程两端相同测点位置上选定沿垂直行程方向沟壁上口所对应的2点为测量点,以2个测量点为直线端点,用米尺拉直作为基准线,用钢卷尺测出行程中沿垂直行程方向沟壁上口离基准线的距离,沿行程方向等间距测10处<sup>[18]</sup>,其最大偏差值为90 mm。

### 3.7 作业速度

测量样机在一个测定时间内前进的行程,然后按式(11)计算出作业速度,机具作业距离为50 m,作业测定时间为420 s,计算出作业速度为0.12 m/s。

### 3.8 试验结果

试验检测结果如表2所示,1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机能够实现一次性开挖出梯形截面水渠,机具的作业性能达到了设计技术要求,机具的作业速度能够达到1 h开挖432 m水渠,同等条件下对类似开沟作业设备250~400 m/h作业速度有所提高。

表2 田间作业性能检测结果

Tab.2 Inspection and measurement results of ditcher working performance in field

检验项目	技术要求	检测结果
作业速度/(m·s <sup>-1</sup> )	≥0.1	0.12
开沟深度/mm	≥300	407
开沟最大直线偏差/mm	≤300	90
开沟深度稳定性/%	≥85	97.1
沟面宽度/mm	≥810	984
沟底宽度/mm	≥300	305
沟底浮土厚度/mm	≤20	15

样机分别于2013年10月和2013年11月在黑龙江红星农场和江苏省金坛市开展了黑钙土和黄棕壤土不同土质条件下的机具主要作业性能试验,试验结果见表3。机具在2种土壤条件下都能够实现一次性开挖出梯形截面水渠,开沟深度和开沟稳定性能够达到设计要求,作业速度在土壤坚实度和土壤含水率较大的情况下有一定影响,需要降低前进速度才能保证作业质量。

表3 样机不同条件下作业性能测量数据

Tab.3 Measurement data of ditcher working performance under different conditions

试验地点	土壤类型	土壤含水率/%	土壤坚实度/ MPa	作业速度/ (m·s <sup>-1</sup> )	开沟深度 平均值/mm	开沟深度 稳定性/%
黑龙江省红星农场	黑钙土	18.2	0.28	0.12	408	97.5
江苏省金坛市	黄棕壤土	24.3	0.40	0.09	405	97

## 4 结论

(1)1KY-40型液压驱动农田水渠开沟机采用牵引式结构,利用独立液压动力系统驱动双刀盘进行铣削开沟作业,降低拖拉机动力消耗,能够一次性成型开挖梯形截面水渠;机具采用的开沟铣削刀盘利用“切抛分离”的原理设计,能够一次性实现切土和抛土的功能,能够在一定程度上降低铣削开沟的作业功率;整套设备集成拖拉机GPS自动导航控制技术,提高了开沟作业的直线度。

(2)通过机具性能试验研究表明,在土壤含水率15.8%,土壤坚实度0.31 MPa情况下,样机作业速度能够达到0.12 m/s,能够稳定的一次性成型开挖梯形断面水渠,开沟深度407 mm,梯形断面的沟面宽度984 mm,沟底宽度305 mm,开沟深度能达到407 mm,开沟深度稳定性可以达到97.1%,在使用拖拉机GPS自动导航的情况下,开沟最大直线偏差能控制在90 mm以内,各项指标均能达到设计要求。土壤坚实度和土壤含水率较大时对样机作业速度有一定影响,需要降低前进速度保证作业质量。

### 参 考 文 献

- 1 冯广志. 洪涝灾区灌排工程修复与重建技术指南[M]. 北京:水利水电出版社,1998.
- 2 黄登红. 浅议提高灌溉水利用率的重要环节[J]. 农村经济与科技,2010,24(4):122.
- 3 李金琦. 旋转开沟机[M]. 北京:中国农业机械出版社,1984.
- 4 一机部机械院农机所耕作组. 国外开沟机的发展情况[J]. 粮油加工与食品机械,1973(4):4-12.

- 5 潘矩. 我国旋转开沟机具的研制情况[J],粮油加工,1976(4):4-10.
- 6 董建军,武广伟,付卫强. 我国农田开沟机研究进展及展望[J]. 农机化研究,2014,36(2):237-240.  
Dong Jianjun, Wu Guangwei, Fu Weiqiang. The development and outlook of agricultural ditching machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(2): 237-240. (in Chinese)
- 7 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:中国农业科学技术出版社,2007.
- 8 吴建东. 1KS-100型双圆盘开沟机的设计研究和试验[J]. 渔业机械仪器,1993(3):9-12.
- 9 张传忠,艾光富. KX-40双圆盘旋式开沟机的设计[J]. 拖拉机与农用运输车,2002(5):36-38.
- 10 张汝坤,吴福明,冉国伟,等. 1KS-22型双轴开沟机设计研究[J]. 云南农业大学学报,2005,20(6):850-853.  
Zhang Rukun, Wu Fuming, Ran Guowei, et al. Design and research of the 1KS-22 type double axle ditching machine [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(6): 850-853. (in Chinese)
- 11 成大先. 机械设计手册[M]. 5版. 北京:化学工业出版社,2012.
- 12 Hofstee J W, Goense D. Simulation of a controller area network-based tractor-implement data bus according to ISO 11783 [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 73(4): 383-394.
- 13 Virvalo Tapio, Lammila Mika, Lehto Errki. CAN bus applied on hydraulic computed force control [J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2004, 26(5): 373-391.
- 14 孟志军,刘卉,付卫强,等. 农田作业机械测速方法试验[J]. 农业工程学报,2010,26(6):141-145.  
Meng Zhijun, Liu Hui, Fu Weiqiang, et al. Evaluation of ground speed measurements for agricultural machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 141-145. (in Chinese)
- 15 孟志军,刘卉,王华,等. 农田作业机械路径优化方法[J]. 农业机械学报,2012,43(6):147-152  
Meng Zhijun, Liu Hui, Wang Hua, et al. Optimal path planning for agricultural machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 147-152. (in Chinese)
- 16 GB 25684.10—2010 土方机械 安全 第10部分:挖沟机的要求[S]. 2010.
- 17 GB/T 5667—2008 农业机械 生产试验方法[S]. 2008.
- 18 NY/T 740—2003 田间开沟机械作业质量[S]. 2003.

## Design and Experiment of 1KY-40 Hydraulic Drive Ditcher for Farmland Conduit

Wu Guangwei Fu Weiqiang Dong Jianjun Cong Yue Meng Zhijun  
(Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The construction of farmland conduit is a major part of irrigation facilities. Most farmland conduit is built by human and general excavator in China, the shape of conduit is not standard and the surface is very coarse. It is a main reason that a lot of water was wasted in the transportation process, so improving the quality of conduit construction has a significant role in achieving the target of agricultural water conservation. According to the status of special equipment for farmland conduit construction is exile, 1KY-40 hydraulic drive ditcher for farmland conduit was researched and designed in order to meet the needs of high-quality farmland conduit construction. The ditcher is a tractive structure and its operating principle is that the symmetrical cutter is driven by an independent hydraulic power system so as to cut soil, the cutter can cut and throwing soil, the ditcher is dragged by tractor and the conduit with trapezoidal section can be excavated. The GPS automatic navigation system was integrated in the tractor, which can improve the trenching operations to improve linear precision of ditching. The test showed that the ditching depth of the ditcher was 407 mm, the operating speed can be up to 0.12 m/s, the stability of the ditching depth was 97.1%, the top width of conduit was 984 mm and bottom width was 305 mm, the linear deviation of ditching was less than 90 mm when soil water content was 15.8% and soil compactibility was 0.31 MPa under the condition of using the GPS automatic navigation system. The application experiments of 1KY-40 hydraulic drive ditcher for farmland were completed in Beijing, Jiangsu and Heilongjiang of China. The experimental results indicate that it can meet the construction of trapezoidal section conduit under the local soil conditions.

**Key words:** Ditcher Hydraulic drive Farmland conduit Design