

# 步行轮及步行轮拖拉机试验\*

杨文志<sup>①</sup> 罗 哲 宁素俭 陈德兴  
(吉林工程大学)

**提 要** 介绍步行轮的室内动力性能试验和水田现场牵引试验简要情况与试验结果,对理论计算值与实测值作了相应比较。试验结果表明:步行轮在具有一定硬底层的软湿地面上行驶时具有减小阻力、增大驱动力的优点,其单轮行走效率达50~52%,整机牵引效率达40%以上。

**关键词** 车辆 行走机构 步行轮 试验

## 1 引 言

为了通过实际试验考查步行轮的行驶性能,验证理论分析所建立的各种数学模型的正确性,设计制造了为小四轮拖拉机和BJ212吉普车相配的步行轮,先后进行过室内单轮试验,步行轮拖拉机的道路和水田现场牵引试验,以及步行轮吉普车的道路平顺性试验等。

下面着重介绍人们关心的软地面牵引性能试验情况及其结果。

## 2 单轮室内试验

试验在吉林工业大学拖拉机土壤力学研究室的小土槽(30m×0.8m×1m)上进行。

### 2.1 试验条件和方法

1) 被试对象为配装在小四轮拖拉机上的双偏轮八腿步行轮,偏心距 $R=30$  mm,连杆长 $l=150$  mm,腿长 $l=273$  mm。配有两种可换的轮脚:其一为初设计轮脚,宽 $B=200$  mm,高 $H=56$  mm,底面长 $L_d=160$  mm,后倾角 $\alpha_1=8^\circ$ ,前倾角 $\alpha_2=0$ ;其二为经电算优化的轮脚, $B=240$  mm, $H=80$  mm, $L_d=80$  mm, $\alpha_1=23^\circ$ , $\alpha_2=5^\circ$ 。

2) 试验台车与被试轮的安装关系如图1所示,台车采用滑转率控制负荷,被试轮与台车间用双平行四杆机构相连,电机的动力经变速器传给减速器,然后向前经三级链传动驱动被试轮,向后经两级链传动带动锥形绞盘,绞盘钢丝绳的后端固定不动。用重块改变试验轮的垂直载荷,用拉压传感器测取牵引力。

收稿日期:1993-12-01

\* 国家自然科学基金资助项目

① 杨文志,工程师,长春市斯大林大街 吉林工业大学农机工程学院,130025

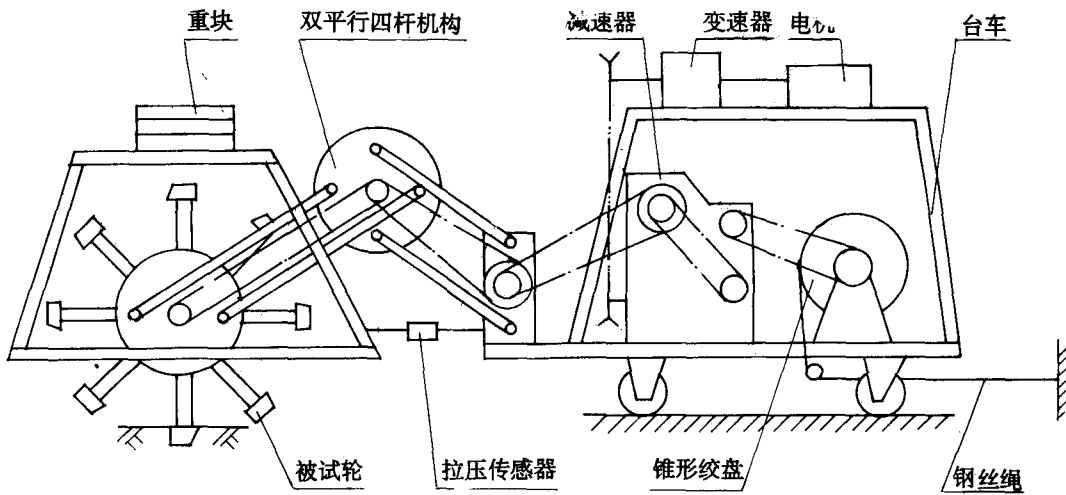


图1 试验台车

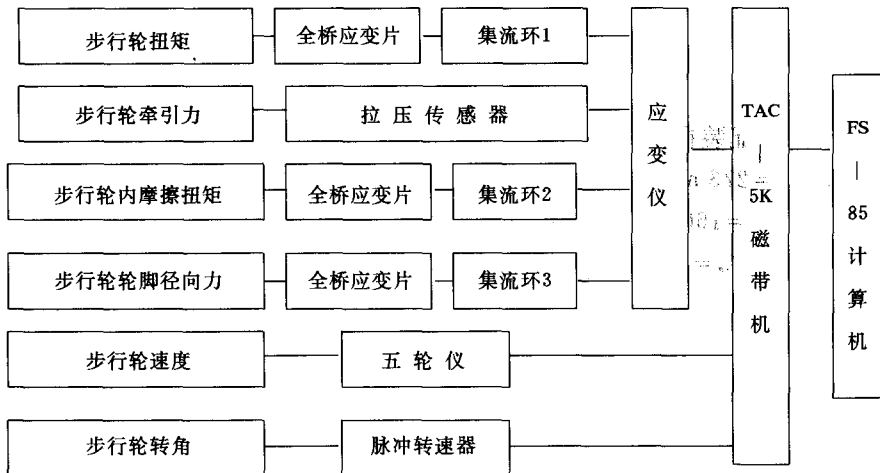
Fig. 1 The equipment

3) 土壤处理及土壤参数

将土槽距表面 40 cm 以下填入非耕作土壤,用镇实器镇压 10 遍作为硬底层,之后将取自近郊水田的黑色土壤按每层约 10 cm 分层铺填,分层压实,使其压实的黑土层约为 35 cm,然后将水灌入土槽中,浸泡 10 天,直至土壤完全饱和,且保证土表上面有一定深度的水。

在距土表面 12 cm 处,分别取 5 个区段的土样,测得土壤含水量的平均值为 33%。在 4 个区段分别取 5 个不同深度的土样,利用三轴仪并经数据处理,求得土壤当量  $C$  值为 13 kPa,  $\varphi$  值为  $11.5^\circ$ 。

4) 测试参数、所用所感元件和纪录仪器如下面的联机框图所示。



2.2 实测值与理论计算值的比较和分析

1) 图 2 为下陷深度  $z_0 = 12$  cm, 滑转率  $\delta = 17\%$  时轮脚从入土到出土所受径向力的变化曲线。可以看出:实测值与理论值变化趋势基本一致。入土开始后轮腿受径向力随转角和轮

脚接土面积的增加而迅速增大,当转角到 90°后,径向力突然变小直至为负值。这是由于轮脚开始向后上方运动,出土过程的土壤反力、粘附力和摩擦力均使轮脚径向受拉的缘故。

2) 图 3 为整个步行轮的牵引力随转角变化曲线。计算分析表明:在周期开始处,理论值明显高于实测值,约为 35%;在转角 55°以后,理论值高于实测值 5%,但总的趋势相同。

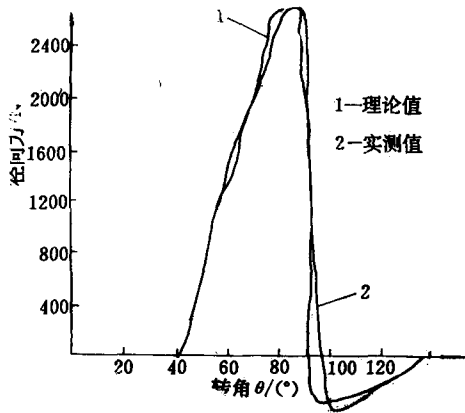


图 2 轮腿径向力随转角变化曲线

Fig. 2 Variation of radial force acting on the wheel leg with rotation angle

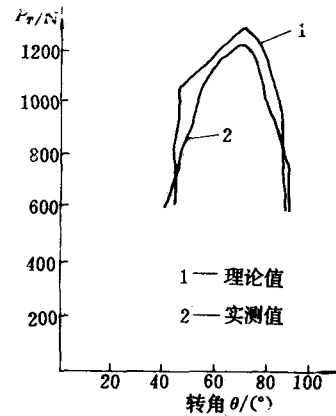


图 3 步行轮牵引力变化曲线

Fig. 3 Variation curve of tractive force of walking wheel

3) 表 1 给出了采用优化轮脚的步行轮动力性能理论计算值和实测值。可以看出,牵引力的理论值与实测值随滑转率增加而差异增大,这主要是由于滑转率较大后,刺孔与刺孔间距离减小而使土壤剪切强度的实际下降量大于理论预计值。理论计算的最大牵引效率为 55%,未计入步行轮内摩擦转矩的实测,最大牵引效率为 52%。

表 1 优化脚步行轮动力性能试验及理论计算数据

Tab. 1 The measured and calculated value of dynamic performance of the walking wheel with the foot parameters optimized

滑转率 $\delta$ (%)	理论值 $P_T$ /N	测试值 $P'_T$ /N	测试值 $M_s$ /N·m	内摩擦扭矩 $M_f$ /N·m	理论行走效率 $\eta_1$ (%)	不计算 $M_f$ 行走效率 $\eta_2$ (%)	计入 $M_f$ 时 行走效率 $\eta_3$ (%)	实际速度 $V$ /m·s <sup>-1</sup>
13	950	850	793.9	38.3	50.09	46.3	44.1	0.164
16	1100	1100	812.0	33.8	54.58	51.03	48.9	0.158
19	1250	1100	843.2	34.5	54.74	52.1	49.8	0.152
21	1300	1150	911.8	33.85	54.67	48.9	47.2	0.149
24	1370	1190	967.0	33.0	51.33	45.8	44.2	0.143
27	1450	1250	1122.9	55.7	45.92	40.4	38.3	0.137
30	1400	1150	1114.8	32.9	42.32	35.19	34.2	0.132
33	1400	1050	1082.4	33.1	40.10	31.7	30.7	0.126

4) 图 4 为优化轮脚和初设计轮脚牵引力和牵引效率随滑转率变化的实测曲线。可以看出优化轮脚所能发挥的最大牵引力  $P_T$  为 1250 N,最大牵引效率  $\eta$  为 50%(计入内摩擦力矩

损失),初设计轮脚的最大牵引力为 1030 N,最大牵引效率为 46%。

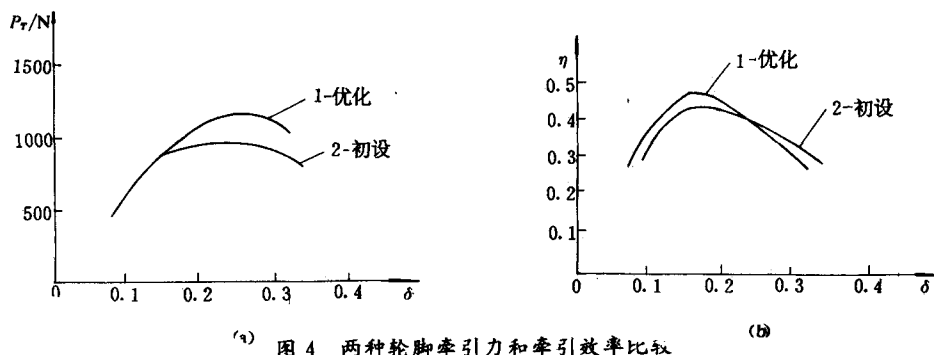


图 4 两种轮脚牵引力和牵引效率比较

Fig. 4 Comparison of tractive force and efficiency of two types of foot

由以上对单轮动力性能的实测和理论计算结果可以认为:①对步行轮所作的系统理论分析是基本正确的;②本步行轮在具有一定硬底层的软地面上行驶时行走效率高;③轮脚几何参数的合理选择对步行轮的动力性能有重要影响。

### 3 整机水田现场牵引试验

设法提高软地面车辆牵引附着性能是车辆界科技工作者不断奋斗的目标。通过整机现场试验测取车辆在实际工作条件下以不同负荷工作时的牵引效率变化规律及其最佳值以及所能发挥的最大牵引力等,是评价软地面车辆使用性能的根本依据。

尽管进行水田现场牵引试验需要克服许多技术上的困难,但这是为了考查这种新型行走机构实际效果而必须完成的科研任务。

#### 3.1 试验方法和试验现场

由拖拉机原理知,拖拉机的牵引效率由三部分或四部分组成,即

$$\eta_T = \eta_s \cdot \eta_f \cdot \eta_i \cdot \eta_m$$

式中  $\eta_s$ —滑转效率,直接与牵引负荷有关;

$\eta_f$ —滚动效率,取决于被试车的滚动阻力和牵引负荷;

$\eta_i$ —行走机构机械效率,决定于机构的内部摩擦损失,可通过受力分析求得;

$\eta_m$ —传动系统效率,通常可按传动齿轮副的传动效率求得。

可见,拖拉机的牵引效率主要取决于被试车的滚动阻力、牵引负荷及相应的滑转率,而与拖拉机的排挡无关。牵引负荷由零逐渐增大,同一负荷的记录区段取为 20 m,与此同时测取步行轮走过该区段的圈数  $n_1$ ,以该拖拉机在平坦硬路面上空负荷行驶 20 m 所测得的圈数  $n_0$  为基准,则不同负荷下的滑转率  $\delta$  为:

$$\delta = 1 - \frac{n_0}{n_1}$$

不同负荷利用被牵引雪撬式拖板上的不同重块实现,牵引绳上的拉力传感器信号经放大器引入磁带记录仪,其标定常数  $C=3371$  (N/V)。

试验场地是长春东南郊一片因开发房地产而刚撂荒的水田地,田埂、地表状况和保水条

件依旧,雨季积水能长时间保持,土壤含水量处于饱和状态,并在表层具有一定深度的水量。只是正式试验时,水田中已长出与水稻秧苗相似的小草。对这种长时间饱和并具有表层水的水田土壤测取的承压特性曲线如图 5 所示。由曲线图可知,该水田地的承压特性与南方水田土壤相似,但承压力低的耕作层较深。

### 3.2 试验数据的处理和计算

图 6 为试验时的现场照片。表 2 是测取了 8 个负荷的有关数据。

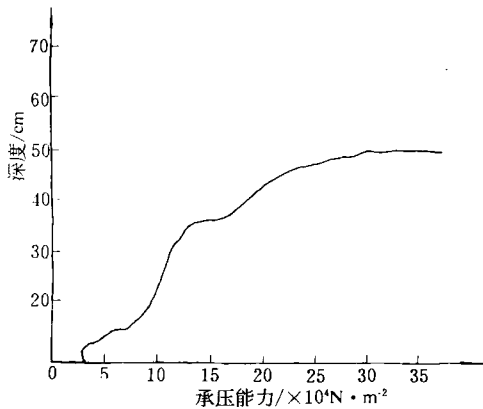


图 5 被试水田土壤承压特性

Fig. 5 Soil pressure-sinkage of paddy field tested



图 6 现场试验照片

Fig. 6 A photograph of field test

表 2 步行轮水田拖拉机牵引试验测试数据

Tab. 2 Measured data of the walking wheel tractor tested on paddy field

序号	记录磁带电压值/V	相应的挂钩牵引力/N	步行轮转过圈数 $n_1$	滑转率 $\delta$
1	0.0110	0	7.143	0.090
2	0.3937	1290	8.0000	0.188
3	0.4646	1529	8.4375	0.280
4	0.5814	1928	8.4375	0.230
5	0.6835	2267	9.1250	0.288
6	0.7858	2612	9.8125	0.338
7	0.8427	2804	11.625	0.440
8	0.8973	2988	13.5625	0.520

表 2 中的  $n_1$  值为左右步行轮圈数平均值,在平坦硬路面上空负荷行驶 20 m 测得的  $n_0 = 6.5$  圈。此外,零负荷时磁带机的初始电压为 0.011 V,因此表中的挂钩牵引力值是表中电压减去 0.011 V 后再乘以标定常数而得。

如上所述,牵引效率由四部分组成。其中滑转效率根据滑转率求得,传动效率按传动系统四对啮合圆柱齿轮传动效率计算求得,设每对齿轮效率为 0.98,即

$$\eta_m = (0.98)^4 = 0.9223$$

步行轮经单轮试验和受力分析求得的传动效率为 0.93~0.95,为可靠起见,这里取  $\eta_t$  为

0.91。两项传动效率的乘积  $\eta_{mi} = \eta_m \cdot \eta_i \approx 0.84$ 。为了求取滚动效率,必须测得零负荷时的滚动阻力  $P_f$ 。通常道路试验用拖带法测取,但水田现场试验却无法实现。因此该数据只能根据被试拖拉机零负荷时的滑转率进行计算,由此求得  $P_f = 1150 \text{ N}$ ,从而可求得滚动效率和总的牵引效率,如表3所列。

表3 牵引效率计算结果

Tab. 3 Tractive efficiency of the tractor at different drawbar pull

序号	$\delta$	$P_T/\text{N}$	$P_f/\text{N}$	$P_q/\text{N}$	$\eta_f$	$\eta_{mi}$	$\eta_\delta$	$\eta_T$
1	0.090	0	1150	1150	0	0.84	0.910	0
2	0.188	1290	1150	2440	0.5287	0.84	0.812	0.360
3	0.230	1530	1150	2680	0.5709	0.84	0.770	0.369
4	0.230	1925	1150	3075	0.6260	0.84	0.770	0.405
5	0.288	2265	1150	3415	0.6630	0.84	0.712	0.397
6	0.388	2612	1150	3762	0.6943	0.84	0.612	0.357
7	0.440	2304	1150	3954	0.7090	0.84	0.560	0.333
8	0.520	2990	1150	4140	0.7220	0.84	0.460	0.291

### 3.3 试验结果分析

1) 试验结果符合理论规律,即负荷为零时,  $\eta_T = 0$ ,随着负荷增大,  $\eta_T$  提高,负荷增大到某中间值时,  $\eta_T$  出现最佳值;此后则因滑转率的增大而使  $\eta_T$  降低,直至完全打滑时  $\eta_T = 0$ 。

2) 根据国内许多学者多年试验研究,水田拖拉机的最佳牵引效率通常都出现在  $\delta = 20\% \sim 25\%$  之间,本次试验也证明了这一点。

3) 我国现有用于水田拖拉机的各种水田叶轮、高花纹轮胎以及机耕船等的最佳牵引效率不超过 34%。本步行轮式小四轮拖拉机,虽然整车参数并不适应水田拖拉机要求,但试验所得的最佳牵引效率达 40%,这就表明采用这种步行轮确实具有减小阻力、增大驱动力的优点。与现有各种水田拖拉机的牵引效率相比,其绝对值提高了 6% 以上,其相对值提高了 17.6% 以上。充分证明这种新型行走机构在具有一定硬底层的软地面上行驶时的良好适应性。

## Tests of Walking Wheel and Walking Wheel Tractor

Yang Wenzhi Luo Zhe Ning Sujian Chen Dexing

(Jilin University of Technology)

### Abstract

This paper mainly introduced the indoor test of single walking wheel and the on-site tractive test of the walking wheel tractor in paddy field. The test results reveal that this kind of walking wheel has significant merits on reducing the rolling resistance and enlarging the driving force when it runs on soft ground. As a consequence, the motion efficiency of the single walking wheel is up to 50%~52%, and the tractive efficiency of the walking wheel tractor is higher than 40%.

**Key words** Vehicle Moving system Walking wheel Test