

团体标准

T/CAAMM XXXX—2024/T/NJ 1453—2024

拖拉机 无级变速传动系效率 试验方法

Test Method For Efficiency Of Tractor Continuously Variable
Transmission System

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会
中国农业机械学会 发布

前言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：第一拖拉机股份有限公司、河南科技大学、洛阳西苑车辆与动力检测所有限公司、潍柴雷沃智慧农业科技股份有限公司、洛阳拖拉机研究所有限公司。

本文件主要起草人：王东青、王义平、郭晓博、徐立友、闫祥海、吴依伟、贾方、张琳琳、张鹏、蔡彦彬、赵文科、史金钟、徐书雷、高旭、郭富强、张晓丹。

本文件系首次制定。

拖拉机无级变速传动系效率试验方法

1 范围

本文件规定了拖拉机无级变速传动系效率试验的试验项目、试验设备、试验前准备、传动效率试验方法、动力输出轴传动效率的测量方法和试验报告。

本文件适用于拖拉机无级变速传动系的效率测量。

注：本文件中的试验方法是基于多区段机械液压式无级变速传动系来进行的。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2979—2017 农业轮胎规格、尺寸、气压与负荷

GB/T 3871.1—2006 农业拖拉机 试验规程 第1部分：通用要求

GB/T 6960.2—2007 拖拉机术语 第2部分：传动系

GB/T 14039—2002 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号

JB/T 8299—1999 拖拉机传动系效率的测定

T/NJ 1162—2020/T/CAAMM 84—2020 拖拉机 动力换挡传动系 试验方法

T/NJ 1468—202X/T/CAAMM XXXX—202X 无级变速拖拉机 分类与术语

3 术语和定义

GB/T6960.2—2007及T/NJ 1468—202X/T/CAAMM XXXX—202X中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

传动系 transmission system

将发动机的转速、转矩经转换与控制传至驱动轮和动力输出轴(带轮)的全套装置。

(来源：GB/T 6960.2-2007, 3.1)

3.2

机械液压无级变速 mechanical hydraulic continuously variable transmission

由液压调速机构和机械变速机构及分、汇流机构组成，是一种液压功率流与机械功率流并联的传动技术。

3.3

调速泵马达 speed control pump motor

通过调节变量泵排量来控制马达输出转速的液压元件总称。

3.4

恒转矩 constant torque

传动系输出轴转矩基本不变，输入功率随转速变化而变化。

3.5

恒功率 constant power

传动系输入功率基本不变，输出轴转矩随转速变化而变化。

3.6

转矩比 torque ratio

输出轴转矩与输入轴转矩之比。

（来源：GB/T 6960.2-2007，3.1.5）

3.7

传动效率 transmission efficiency

输出轴功率与输入轴功率之比。

（来源：GB/T 6960.2-2007，3.1.6）

4 试验项目

试验项目为以下内容：

- 传动系传动效率；
- 动力输出轴传动效率。

5 试验设备

5.1 设备组成单元及功能要求

5.1.1 试验设备应包含驱动单元、加载单元、测量控制单元、自动换档装置（可选）、液压控制单元、油液滤清单元。试验设备应包含恒转矩模式（输出转矩控制功能）和恒功率模式（输入转矩控制功能）。

5.1.2 试验设备包含的各单元功能如下：

- 驱动单元转速能够从 0 r/min 至被试传动系匹配发动机最高转速范围内无级可调，驱动转矩能够满足被试传动系的最大转矩。驱动单元同时包括转矩转速传感器；
- 加载单元能够对被试传动系同时进行两驱工况和四驱工况测试。加载单元能够从 0 N·m 至被试传动系最大转矩范围内无级可调，同时能够提供被试传动系换档时的惯量。加载单元固有惯量要小于整车换算到各加载端的惯量。加载单元同时包括转矩转速传感器；加载单元的转矩传感器应直接测量被试传动系的各输出轴。
- 测量控制单元包括：脉宽调制信号输出模块、数字信号输出模块、转速信号采集模块、转矩信号采集模块、压力信号采集模块、温度信号采集模块、加速度信号采集模块、流量信号采集模块。数据采集系统信号最大采样频率的最低值为 100 Hz，信号采样频率可调，同时保证全部采样信号同步；
- 自动换档装置能够满足对被试传动系机械档进行换档操作，能够满足被试传动系换档位置和/或换档时间要求。被试传动系无机械换档手柄时，不需要该装置；
- 液压控制单元能够提供被试传动系所需的系统压力、润滑压力、流量，同时能够通过润滑系统控制润滑油温度；
- 油液滤清单元能够对被试传动系润滑油进行循环滤清，滤清结果达到被试样品的设计油液清

洁度等级。

5.2 设备测量控制要求

5.2.1 设备控制准确度应满足表 1 的要求。

表 1 设备控制准确度要求

输入转速	输出转矩	输出电压	输出电流	温度
±0.1 %	±0.5 %	±5 %	±5 %	±5℃

5.2.2 测量仪器准确度应满足表 2 的要求。

表 2 被测量相应的测量仪器准确度要求

被测量	转矩	转速	压力	温度	位移
测量仪器	转矩传感器	转速传感器	压力传感器	温度传感器	位移传感器
测量仪器准确度	±2 % FS	± 2% FS	± 2% FS	±3 ℃	±2 % FS

6 试验前准备

6.1 传动系要求

被测传动系应符合装配技术要求，按拖拉机使用说明书或有关技术文件灌注规定牌号的润滑油，油面高度为正常油面高度的中值。试验时，油温按有关技术文件中规定的正常油温；如无文件规定，则油温规定为 $85^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

6.2 传动系静态清洗

无级变速传动系污染等级应达到GB/T 14039—2002标准规定的-/17/14要求。

6.3 传动系压力测试

无级变速传动系上所有测试压力满足设计要求。

6.4 传动系无级调速测试

无级变速传动系满足无级调速升降功能要求。

6.5 传动系磨合

无级变速传动系应按GB/T 3871.1-2006的规定磨合。

7 传动效率试验方法

7.1 试验载荷

7.1.1 按拖拉机前、后轮胎附着转矩和承载比例计算的驱动轮转矩 $T_{\phi F}$ 、 $T_{\phi R}$ ，见公式（1）和公式（2）。

$$T_{\phi F} = (1 - \lambda)mg r_F \phi \dots\dots\dots (1)$$

$$T_{\phi R} = \lambda mg r_R \phi \dots\dots\dots (2)$$

$T_{\phi F}$ —按拖拉机最大使用质量计算的双前驱动轮附着转矩，单位为牛顿米（N·m）；

$T_{\phi R}$ —按拖拉机最大使用质量计算的双后驱动轮附着转矩，单位为牛顿米（N·m）；

λ —拖拉机后轮承重占拖拉机最大使用质量的分配系数；

m —拖拉机整机最大使用质量，单位为千克（kg）；

g —重力加速度，一般取 9.8；

r_F —前驱动轮动力半径，轮胎按名义尺寸乘以 0.935，单位为米（m）；

r_R —后驱动轮动力半径，轮胎按名义尺寸乘以 0.935，单位为米（m）；

ϕ —附着系数，轮式拖拉机一般前轮取 0.6、后轮取 0.65，履带拖拉机取 0.83。

轮胎半径按照 GB/T 2979—2017 标准规定选取。

7.1.2 按发动机标定转矩 T_b 和拖拉机前、后轮胎承载比例计算的驱动轮转矩 T_{bF} 、 T_{bR} ，见公式（3）和公式（4）。

$$T_{bF} = (1 - \lambda)T_b i_F \eta_F \dots\dots\dots (3)$$

$$T_{bR} = \lambda T_b i_R \eta_R \dots\dots\dots (4)$$

T_{bF} —按发动机标定转矩计算的双前驱动轮转矩，单位为牛顿米（N·m）；

T_{bR} —按发动机标定转矩计算的双后驱动轮转矩，单位为牛顿米（N·m）；

λ —拖拉机后轮承重占拖拉机最大使用质量的分配系数；

T_b —发动机标定转矩，单位为牛顿米（N·m）；

i_F —从发动机传至前驱动轮的传动比；

i_R —从发动机传至后驱动轮的传动比；

η_F —从发动机传至前驱动轮的传动效率；

η_R —从发动机传至后驱动轮的传动效率。

7.1.3 四轮驱动拖拉机传动系试验载荷

对于四驱工况档位，从按发动机标定转矩计算的驱动轮转矩（7.1.2）和按拖拉机轮胎的附着转矩计算的驱动轮转矩（7.1.1）中，取较小值作为试验载荷，其中 λ 取 0.7。

对于两驱工况档位，按发动机标定转矩计算的后驱动轮转矩（7.1.2 公式（4））作为试验载荷，其中 λ 取 1。

7.1.4 两轮（后轮）驱动拖拉机传动系试验载荷

对于受轮胎附着力限制的档位，按拖拉机轮胎的附着转矩计算的后驱动轮附着转矩（7.1.1 公式（2））作为试验载荷，其中 λ 取 0.8。

对于不受轮胎附着力限制的档位，按发动机标定转矩计算的后驱动轮转矩（7.1.2 公式（4））作为试验载荷，其中 λ 取 1，但试验载荷不能超过按拖拉机轮胎的附着转矩计算的后驱动轮附着转矩

7.2 试验工况

7.2.1 根据传动系设计速度区段，对四轮驱动拖拉机传动系，分恒转矩循环工况 A，恒功率工况循环工况 B，恒功率工况循环工况 C 共三个循环工况进行测试试验，工况定义见表 3；恒功率工况循环工况 B 为 15km/h 以下四驱工况，恒功率工况循环工况 C 为 15km/h 以上两驱工况。

表3：传动系效率试验工况

序号	工况名称	工况定义
1	恒转矩工况 A	四驱、受附着力限制
2	恒功率工况 B	四驱、受发动机转矩限制
3	恒功率工况 C	两驱、受发动机转矩限制

恒转矩循环工况A，传动系输出轴加载转矩为100%；

恒功率工况循环工况B，恒功率工况循环工况C，传动系输入功率（输入转矩）为100%；

试验载荷按照7.1规定的载荷；

倒档不做传动系传动效率测量。

7.3 空转功率损失测定的试验方法

试验按照如下方法进行：

- 被测传动系不接入，在发动机标定转速和相应动力输出轴轴端为标准转速下，测量联接装置的附加转矩；
- 接入被测传动系，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，调节CVT泵控制电流，使传动系输出转速达到7.2.1设置的恒转矩工况A的效率测量的速度起始点，锁上差速锁，动力输出轴在空挡和结合位置；然后调节CVT泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒转矩工况A的速度起始点匀速升至恒功率工况C的速度最高点，升速过程中实时记录空转转矩。

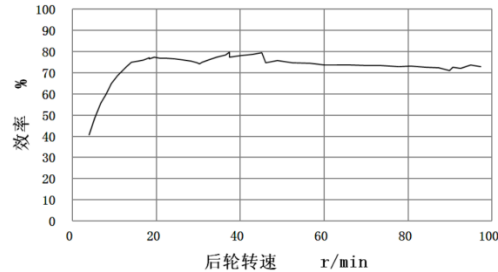
7.4 主传动系传动效率测定的试验方法

试验按照如下方法进行：

- 使用恒转矩工况模式，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，调节CVT泵控制电流，使传动系输出转速达到7.2.1设置的恒转矩工况A的效率测量的速度起始点，锁上差速锁，动力输出轴在空挡和结合位置；然后传动系输出轴载荷加载至7.2.1中的设计载荷值的100%；然后调节CVT泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒转矩工况A的速度起始点匀速升至恒转矩工况A的速度最高点，升速过程中实时记录输入、输出转速和转矩。然后传动系输出轴载荷卸载至0，调节CVT泵控制电流使传动系输出轴转速降至恒转矩工况A的速度起始点，然后使输入轴转速降速至0r/min；
- 使用恒功率工况模式，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，调节CVT泵控制电流，使传动系输出转速达到7.2.1设置的恒功率工况B的速度起始点，锁上差速锁，动力输出轴在空挡和结合位置；然后传动系输入轴载荷加载至7.2.1中的设计载荷值的100%；然后调节CVT泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒功率工况B的速度起始点匀速升至恒功率工况B的速度最高点，升速过程中实时记录输入、输出转速和转矩。然后传动系输出轴载荷卸载至0，调节CVT泵控制电流使传动系输出轴转速降至恒转矩工况A的速度起始点，然后使输入轴转速降速至0r/min；
- 传动系四驱不接入，使用恒功率工况模式，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，调节CVT泵控制电流，使传动系输出转速达到7.2.1设置的恒功率工况C的速度起始点，锁上差速锁，动力输出轴在空挡和结合位置；然后传动系输入轴载荷加载至7.2.1中的设计载荷值的100%；然后调节CVT泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒功率工况C的速度起始点匀速升至恒功率工况C的速度最高点，升速过程中实时记录输入、输出转速和转矩。然后传动系输出轴载荷卸载至0，调节CVT泵控制电流使传动系输出轴转速降至恒转矩工况A的速度起始点，然后使输入轴转速降速至0r/min。

7.5 传动效率的计算

无级变速传动系是速比连续可变的一种传动系，输出的传动效率是连续曲线；对四轮驱动拖拉机传动系，传动效率曲线由恒转矩工况A效率曲线、恒功率工况B效率曲线、恒功率工况C效率曲线组合而成。按照JB/T 8299—1999中6.2传动效率的计算的规定进行，并绘制成效率曲线。



7.6 传动效率的评定

从效率曲线中对应的车速按等差序列进行等分的方式选出N个点，按照JB/T 8299—1999中6.3传动效率的评定的规定。

8 动力输出轴传动效率的测量方法

无级变速传动系动力输出轴传动效率的测量按照JB/T 8299—1999中第7章动力输出轴传动效率的计算的规定进行。

9 试验报告

9.1 试验报告应包括试验概况、试验对象技术参数、试验仪器及设备、试验条件及试验结果等，每项具体内容如下：

- a) 试验概况：试验概况应包含试验起止日期、试验地点、试验单位及所进行的试验项目等。
- b) 传动系技术参数
- c) 试验仪器及设备：应包含主要的试验仪器及设备名称、型号、编号及测量范围等必要信息。
- e) 试验结果：试验结果应根据进行的试验项目每项单独进行汇总。

9.2 试验报告应包含必要的试验过程、数据、曲线、试验故障情况等信息，其中试验故障应有故障名称、故障时累计试验时间、试验照片、损坏零部件名称、故障分析等信息。