

ICS 65.060.10

CCS T61

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ 1454—202X

拖拉机 无级变速传动系 耐久性台架试验方法

Durability Bench Test Method For 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：王义平、史金钟、郭晓博、徐立友、闫祥海、吴依伟、贾方、马美莲、孙盼盼、蔡彦彬、袁东阁、郭富强、高旭、张晓丹。

本文件系首次制订。

拖拉机无级变速传动系 耐久性台架试验方法

1 范围

本文件规定了拖拉机无级变速传动系耐久性台架试验的术语和定义、试验项目、试验设备、试验前准备、传动系定速定载耐久性试验、传动系连续变速变载换段循环耐久性试验、试验通过条件和试验报告。

本文件适用于拖拉机无级变速传动系，不包含电动拖拉机传动系；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 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 9838-1999 拖拉机传动系快速耐久试验方法

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和T/NJ 1468—202X/T/CAAMM XXXX—202X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

最大扭矩点 maximum torque point

发动机在安装拖拉机工作所需的附件后，在其工作转速范围内输出最大的扭矩对应的转速。

4 试验项目

试验项目为表 1 内容：

表 1：试验项目

功率（马力）	定速定载耐久性试验	连续变速变载换挡循环耐久性试验	最大扭矩点耐久性试验
<150	√	√	×
≥ 150	√	√	√

5 试验设备

5.1 设备功能

5.1.1 试验设备应包含驱动单元、加载单元、测量控制单元、自动换挡装置（可选）、液压控制单元、油液滤清单元，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挡时的惯量。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；
- 自动换挡装置能够满足对被试传动系机械档进行换挡操作，能够满足被试传动系换挡位置和/或换挡时间要求。被试传动系无机械换挡手柄时，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 2 的要求。

表 2 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 3 的要求。

表 3 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 传动系静态清洗

无级变速传动系污染等级应按照GB/T 14039—2002标准达到企业说明书要求，试验期间根据试验说明书允许更换油品及滤清附件。

6.2 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。

6.3 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。

6.4 传动系磨合

传动系输入转速按发动机标定转速，输出轴加载按 7.3 中试验载荷的 30 %、60 %两种试验负荷分别加载进行磨合试验。按照 7.3 设置的速度点和相应载荷，每个速度点各运转 1 h。磨合完毕参考动力换挡传动系清洁度要求并满足要求。

7 传动系耐久性台架试验

7.1 稳态工况试验载荷

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。

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 传动系定速定载耐久性台架试验

7.2.1 试验时间

传动系定速定载耐久性台架试验时间见表4

表4：传动系定速定载耐久性台架试验时间

功率（马力）	前进工况试验时间	倒退工况试验时间
<150	1000	200
≥ 150	1300	200

7.2.2 试验载荷

根据传动系设计速度区段，输出恒转矩段内每段选最高速度点一个进行测试，输出轴加载转矩为100 %；

对四轮驱动拖拉机传动系，输入恒功率段15 km/h以下为四驱，15km/h以上为两驱；

输入恒功率段内每段选最低速度点和最高速度点，传动系输入功率（输入转矩）为100 %；

对选好的各个速度点参照机械档传动系耐久试验时间分配进行试验时间分配。试验载荷按照7.1规定的载荷。

7.2.3 试验方法

试验按照如下方法进行：

- a) 定速定载试验采用模拟排档定载试验方法，设置前进工况N1个周期，每个周期N2小时；
- b) 开启第一个试验周期耐久试验，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，依次调节CVT泵控制电流，依次使传动系输出转速达到7.2.2设置的恒转矩工况模式各个速度点，输出轴加载转矩为7.2.2中试验载荷，按照7.2.2设置的试验时间依次对各个速度点进行耐久试验；
- c) 第一个试验周期内的恒转矩工况模式耐久试验完成后，开启恒功率工况四驱模式，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，依次调节 CVT 泵控制电流，依次使传动系输出转速达到 7.2.2 设置的恒功率工况模式各个速度点，输入功率（输入转矩）为 7.2.2 中试验载荷，按照 7.2.2 设置的试验时间依次对恒功率工况四驱模式下各个速度点进行耐久试验。
- d) 将传动系四驱断开，开启恒功率工况两驱模式，参照恒功率工况四驱模式按照 7.2.2 设置的试验分配时间依次对恒功率工况两驱模式下各个速度点进行耐久试验；
- e) 按照上述 b) ～d) 步骤操作，依次完成所有设置的定速定载试验周期。

7.3 传动系最大扭矩点耐久性台架试验

7.3.1 试验时间

传动系最大扭矩点耐久性台架试验时间见表5

表5：传动系最大扭矩点耐久性台架试验时间

功率（马力）	前进工况试验时间	倒退工况试验时间
<150	200	×
≥ 150	300	×

7.3.2 试验载荷

根据拖拉机主要工作区间选取三至五个速度点进行测试，选取的速度点不高于15 km/h；

选好的速度点参照7.1规定的计算载荷方法，依据恒功率工况下发动机最大扭矩点对应的转速和转矩载荷赋予各选取的速度点相应的载荷，并对选好的各个速度点进行试验时间分配。

后退工况不进行最大扭矩点定速定载耐久性试验。

7.3.3 试验方法

试验按照如下方法进行：

- a) 最大扭矩点定速定载耐久性试验采用模拟排档定载试验方法，设置前进工况N3个周期，每个周期N4小时；

- b) 开启第一个试验周期耐久试验，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最大扭矩点转速，依次调节CVT泵控制电流，依次使传动系输出转速达到7.3.2设置的恒功率工况模式各个速度点，输入功率（输入转矩）为7.3.2中发动机最大扭矩点对应的试验载荷，按照7.3.2设置的试验分配时间依次对恒功率工况模式下各个速度点进行耐久试验；
- c) 按照上述 b) 步骤操作，依次完成所有设置的最大扭矩点定速定载试验周期。

7.4 传动系连续变速变载换段循环耐久性台架试验

7.4.1 试验工况

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6；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；

恒转矩循环工况 A 的传动系输出轴转矩为末端转矩，恒功率工况循环工况 B（四驱）和恒功率工况循环工况 C（两驱）的传动系输入转矩为发动机标定转速下的额定转矩。

表6：传动系连续变速变载换段循环耐久性台架试验工况

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

7.4.2 试验时间

传动系连续变速变载换段循环耐久性台架试验时间见表7

表7：传动系连续变速变载换段循环耐久性台架试验时间

	恒转矩循环工况 A	恒功率工况 B	恒功率工况 C
前进工况	5000	5000	2500
后退工况	×	×	×

7.4.3 试验载荷

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

7.4.4 试验方法

试验按照如下方法进行：

- a) 连续变速变载循环试验采用模拟排档循环试验方法，设置试验循环工况N5个周期，每个周期N6次循环；
- b) 开启第一个试验周期耐久试验，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，输出轴加载转矩为7.4.3中试验载荷；调节CVT泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒转矩循环工况A的速度最低点匀速升至恒转矩循环工况A的速度最高点，然后再从恒转矩循环工况A的速度最高点匀速降至恒转矩循环工况A的速度最低点；升降循环时间设置

为N7 min；一个升降循环完成后，再进行下一个升降循环，直至完成7.4.4中a)设置的周期循环次数；

- c) 第一个试验周期内的恒转矩工况模式耐久试验完成后，开启恒功率工况循环工况 B，传动系输入轴转速为被试传动系匹配发动机标定转速，输入功率（输入转矩）为 7.4.3 中试验载荷；调节 CVT 泵控制电流，使传动系输出轴转速从恒功率工况循环工况 B 的速度最低点匀速升至恒功率工况循环工况 B 的速度最高点，然后再从恒功率工况循环工况 B 的速度最高点匀速降至恒功率工况循环工况 B 的速度最低点；升降循环时间设置为 N8 min；一个升降循环完成后，再进行下一个升降循环，直至完成 7.4.4 中 a) 设置的周期循环次数；
- d) 将传动系四驱断开，开启恒功率工况循环工况 C，参照恒功率工况循环工况 B，完成 7.4.4 中 a) 设置的周期循环次数；
- e) 按照上述 b) ~d) 步骤操作，依次完成所有设置的定速定载试验周期。

7.5 其它要求

7.5.1 试验时传动系油温不应高于企业规定的温度，降温措施允许采用风冷，或者将传动系内润滑油循环至液压控制单元进行降温等。

7.5.2 试验中可根据需要定期检查润滑油油样清洁度，定期更换润滑油、滤芯。

7.5.3 试验中如出现表 8 中的严重故障或在检查中发现齿轮齿面严重磨损，应停止试验。解决问题后允许更换后继续试验。

表8：传动系试验严重故障

序号	故障形态	处理方式
1	传动系异常声音	拆解传动系查找故障
2	传动系油温异常升高	拆解传动系查找故障
3	传动系无法实现无级调速升降换挡	检查 CVT 泵马达，检测传动系润滑油清洁度
4	传动系无法传递动力	检查齿轮、离合器
5	齿轮产生轮齿断裂、齿面严重点蚀（任一蚀点面积达 4mm ² 、深达 0.5mm）	更换齿轮
6	轴承烧伤或点蚀	更换轴承

8 试验报告

8.1 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。
- d) 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。

8.2 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。