

# 团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

---

拖拉机可靠性考核 田间作业载荷谱强化试验方法

Tractor reliability – The enhancement test procedures of  
load spectrum in field operations

（公示稿）

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》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位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：中国农业大学、中国农业机械化科学研究院、农村农业部南京农机化研究所、洛阳智能农业装备研究院有限公司。

本文件主要起草人：王书茂、王玲、王禹、陈度、苑严伟、陈小兵、袁栋、徐培、王丽丽。

本文件为首次发布。



# 拖拉机可靠性考核 田间作业载荷谱强化试验方法

## 1 范围

本文件规定了拖拉机田间作业载荷谱试验方法的术语和定义、技术要求、加载试验方法、试验结果及试验报告。

本文件适用于农业轮式拖拉机。其他用途拖拉机的可靠性试验亦可参照执行。

## 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 24648.1-2009 拖拉机可靠性考核

GB/T 35218-2017 拖拉机可靠性 台架试验方法

GB/T 3871.1-2006 农业拖拉机 试验规程 第1部分：通用要求

GB/T 3871.3-2006 农业拖拉机 试验规程 第3部分：动力输出轴功率试验

GB/T 3871.4-2006 农业拖拉机 试验规程 第4部分：后置三点悬挂装置提升能力

GB/T 3871.9-2006 农业拖拉机 试验规程 第9部分：牵引功率试验

GB/T 3871.20-2006 农业拖拉机 试验规程 第20部分：颠簸试验

GJB 3099 军用飞机起落架标准载荷谱

JB/T 7282 拖拉机用润滑油品种、规格的选用

T/CCMA 0074 挖掘机载荷谱试验方法

## 3 术语和定义

GB/T 24648.1-2009、GB/T 35218-2017、T/CCMA 0074-2019 和 GJB 3099 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**程序载荷谱** `programed load spectrum`

基于载荷谱的统计学特性对田间作业载荷谱的时间序列进行处理，在疲劳损伤一致的基础上，将原始载荷谱等效为分级载荷来替代原始载荷时间序列。

### 3.2

**载荷时间历程** `loader-time history`

在作业过程中，载荷随时间变化的波动特征。

### 3.3

**动力输出轴转矩载荷谱** `PTO torque load spectrum`

拖拉机在田间作业时，拖拉机动力输出轴所受到的转矩变化的时间历程。

### 3.4

**牵引力载荷谱** `traction load spectrum`

拖拉机在田间作业时，拖拉机下悬挂点所受到的牵引力变化的时间历程。

## 4 技术要求

### 4.1 载荷谱采集要求

#### 4.1.1 载荷谱类型分为以下三种：

- 牵引力载荷谱；
- 动力输出轴转矩载荷谱；
- 运输作业载荷谱。

4.1.2 载荷谱采集作业环节要求：载荷谱采集应包含拖拉机的全部工作环节，主要为“耕，耙，播，收及运输”五个环节。在载荷谱采集过程中，各作业环节应严格按照说明书规定进行，作业质量应符合农艺要求。

4.1.3 载荷谱采集外部条件要求：应考虑各作业环节的实际情况，选择多个典型的地区、作物、农机具、含水率、以及气候条件等，载荷谱采集应覆盖各作业环节并囊括全年典型作业工况。

4.1.4 载荷谱采集总时长要求：拖拉机全载荷谱不应少于 5 小时，各作业环节采集时间按照实际田间作业时长占比分配；每个作业环节（除运输），至少采集 5 次载荷谱，每次载荷谱采集时长平均分配。

4.1.5 载荷谱采集负荷系数要求：过程中，应同步监测拖拉机的燃油消耗量，以此作为拖拉机机组作业时的负荷系数。“耕”作业环节载荷谱采集过程中，拖拉机平均负荷系数应不低于 70%；耕整地和播种两个作业环节载荷谱采集过程中，拖拉机平均负荷系数应不低于 50%；“运输”过程中采用额定载荷，选择多种路况条件下采集载荷谱，可不考虑负荷系数。

4.1.6 载荷谱采样点和采样频率要求：牵引力采样点应在拖拉机挂钩处，采用拉压力或轴销传感器采集，采样频率不低于 30Hz；PTO 采样点应在拖拉机的 PTO 花键轴端，采用转矩传感器采集，采样频率不低于 1000Hz。

4.1.7 拖拉机牵引作业时载荷谱的采集：若拖拉机仅输出牵引功率时，只采集挂钩处的牵引力载荷谱；若同时输出牵引功率和 PTO 功率，则需同步采集牵引力载荷谱和 PTO 转矩载荷谱。

4.1.8 拖拉机悬挂作业时载荷谱的采集：若拖拉机通过悬挂杆输出动力，则需采集三个悬挂杆的动态载荷，并将三杆空间力合成为水平载荷谱和垂向载荷谱；若拖拉机同时通过悬挂杆和 PTO 输出动力，则需同时采集悬挂载荷谱和 PTO 转矩载荷谱。

4.1.9 在悬挂作业载荷谱采集过程中，还需要采用角度传感器采集各个悬挂杆的角度变化历程。角度传感器检测数据用于计算水平载荷和垂向载荷。

4.1.10 拖拉机运输作业时载荷谱的采集：拖拉机牵引拖车，在额定载荷条件下，采集拖拉机挂钩处的牵引力载荷谱。

### 4.2 载荷谱编制要求

对各工况下采集到的牵引力载荷谱和动力输出轴转矩载荷谱按照下述流程进行处理和编制。

#### 4.2.1 试验数据应按照下列步骤进行预处理：

- 去除零点漂移；
- 去除奇异点；
- 滤波处理，对于牵引力：去除 8Hz 以上信号；对于动力输出轴转矩，去除 500Hz 以上信号。

#### 4.2.2 数据检验

对处理后的数据进行平稳性检验。

#### 4.2.3 数据合成

对同一工况检验合格后的载荷数据按照试验顺序进行合成。

#### 4.2.4 程序载荷谱编制方法

4.2.4.1 利用峰谷值抽取和小载荷剔除等方法，对各工况下的载荷时间历程进行压缩编辑。

4.2.4.2 利用雨流计数法对各工况压缩后的载荷时间历程进行统计计数，得到均值-幅值-频次谱。

#### 4.2.4.3 利用极大似然估计法确定各工况幅值的 Weibull 分布的三个参数。

幅值的概率密度函数见式 (1)：

$$f(y) = \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{y-c}{a}\right)^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{y-c}{a}\right)^b\right\} \quad (1)$$

式中：

$y$  ——幅值，当数据为牵引力时，单位为千牛(kN)；当数据为转矩时，单位为牛米(N·m)；

$a$  ——幅值 Weibull 分布的尺度参数；

$b$  ——幅值 Weibull 分布的形状参数；

$c$  ——幅值 Weibull 分布的位置参数。

幅值的概率分布函数见式 (2)：

$$F(y) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{y-c}{a}\right)^b\right\} \quad (2)$$

式中：

$y$  ——幅值，当数据为牵引力时，单位为千牛(kN)；当数据为转矩时，单位为牛米(N·m)；

$a$  ——幅值 Weibull 分布的尺度参数；

$b$  ——幅值 Weibull 分布的形状参数；

$c$  ——幅值 Weibull 分布的位置参数。

#### 4.2.4.4 利用极大似然法确定各工况均值的对数正态分布的两个参数。

均值的概率密度函数：

$$f(x) = (x\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left\{-\left[\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]\right\} \quad (3)$$

均值的概率分布函数：

$$F(x) = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \int_{-\infty}^x x^{-1} \exp\left\{-\left[\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]\right\} \quad (4)$$

式中：

$x$  ——均值，当数据为牵引力时，单位为千牛(kN)；当数据为转矩时，单位为牛米(N·m)；

$\mu$  ——均值的对数正态分布的均值；

$\sigma$  ——均值的对数正态分布的标准差。

#### 4.2.4.5 确定各工况均幅值联合概率密度函数和联合概率分布函数。

均幅值的联合概率密度函数：

$$f(x, y) = (x\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left\{-\left[\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]\right\} \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{y-c}{a}\right)^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{y-c}{a}\right)^b\right\} \quad (5)$$

均幅值的联合概率分布函数：

$$F(x, y) = \int_{-\infty}^y \int_{-\infty}^x f(x, y) dx dy \quad (6)$$

式中：

$x$  ——均值，当数据为牵引力时，单位为千牛(kN)；当数据为转矩时，单位为牛米(N·m)；

$y$  ——幅值，当数据为牵引力时，单位为千牛(kN)；当数据为转矩时，单位为牛米(N·m)；

$a$  ——幅值 Weibull 分布的尺度参数；

- $b$ ——幅值 Weibull 分布的形状参数；  
 $c$ ——幅值 Weibull 分布的位置参数；  
 $\mu$ ——均值的对数正态分布的均值；  
 $\sigma$ ——均值的对数正态分布的标准差。

#### 4.2.4.6 工况合成及外推

- a) 工况  $i$  在全工况时间  $T$  内均幅值发生的总频次：

$$N_i = \frac{n_i k_{ti} T}{t_i} \quad (i=1, 2, 3, \dots, q) \quad (7)$$

式中：

$n_i$ ——工况  $i$  雨流计数得出的总循环次数，单位为次；

$k_{ti}$ ——工况  $i$  在全工况时间内载荷谱时间历程长度占比，该比例需根据实际使用情况下各工况的实际

调研数据进行确定；

$q$ ——总工况数，单位为个；

$t_i$ ——工况  $i$  实际作业时长，单位为小时(h)；

$T$ ——全工况作业时长，单位为小时(h)。

- b) 计算工况  $i$  的外推频次：

$$N'_i = k_{2i} \times 10^6 \quad (8)$$

式中：

$k_{2i}$ ——工况  $i$  的频次外推比例， $k_{2i} = \frac{N_i}{\sum N_i}$ , ( $i=1, 2, 3, \dots, q$ )；

$q$ ——总工况数，单位为个。

工况  $i$  的幅值极值载荷：

$$Y_{i\max} = c_i + a_i b_i \sqrt{-\ln P_i} \quad (9)$$

式中：

$a_i$ ——工况  $i$  的幅值 Weibull 分布的尺度参数；

$b_i$ ——工况  $i$  的幅值 Weibull 分布的形状参数；

$c_i$ ——工况  $i$  的幅值 Weibull 分布的位置参数；

$$P_i = \frac{1}{N'_i}。$$

工况  $i$  的均值极值载荷：

$$X_{i\max} = e^{-U_{P_i} \sigma_i + \mu_i} \quad (10)$$

式中：

$\mu_i$ ——工况  $i$  的均值的对数正态分布的均值；

$\sigma_i$ ——工况  $i$  的均值的对数正态分布的标准差；

$P_i$  已知时， $U_{P_i}$  由标准正态分布表查得。

c) 计算各工况合成后的均幅值极值载荷：

工况合成后的幅值极值载荷：

$$Y_{\max} = \max(Y_{i\max}) \quad (11)$$

合成后的均值极值载荷：

$$X_{\max} = \max(X_{i\max}) \quad (12)$$

#### 4.2.4.7 形成均幅值二维程序载荷谱

各工况幅值按以下比值系数：1, 0.95, 0.85, 0.725, 0.575, 0.425, 0.275, 0.125 分为 8 级，均值按等间距分为 8 级。

计算工况  $i$  的各级均幅值对应的频次

$$n_{iuv} = N_i \int_{R_u}^{R_{u+1}} \int_{M_v}^{M_{v+1}} (x\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left\{-\left[\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]\right\} \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{y-c}{a}\right)^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{y-c}{a}\right)^b\right\} dx dy \quad (13)$$

式中：

$M_v$ ——工况  $i$  的第  $v$  级均值的积分下限， $v=1, 2, 3, \dots, 8$ ；

$M_{v+1}$ ——工况  $i$  的第  $v$  级均值的积分上限， $v=1, 2, 3, \dots, 8$ ；

$R_u$ ——工况  $i$  的第  $u$  级幅值的积分下限， $u=1, 2, 3, \dots, 8$ ；

$R_{u+1}$ ——工况  $i$  的第  $u$  级幅值的积分上限， $u=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

工况  $i$  合成后的均幅值二维程序载荷谱的第  $v$  级均值，第  $u$  级幅值对应的频次为：

$$N_{iuv} = \sum_{i=1}^q n_{iuv} (v=1, 2, 3, \dots, 8; u=1, 2, 3, \dots, 8) \quad (14)$$

#### 4.2.4.8 利用变均值法将均幅值二维载荷谱转换为变均值一维谱

均幅值二维程序谱中，各级幅值不变，工况  $i$  第  $u$  级幅值对应的均值按下式计算：

$$M_{iu} = \frac{\sum_{v=1}^8 M_v N_{iuv}}{\sum_{v=1}^8 N_{iuv}} (u=1, 2, 3, \dots, 8) \quad (15)$$

工况  $i$  第  $u$  级幅值对应的频次按下式计算：

$$N_{iu} = \sum_{v=1}^8 N_{iuv} (u=1, 2, 3, \dots, 8) \quad (16)$$

### 4.3 载荷谱强化技术要求

4.3.1 允许应用等效损伤原则进行载荷强化。

4.3.2 强化后载荷谱的载荷循环的最大幅值不应超过被试拖拉机的额定载荷。

4.3.3 载荷谱强化按以下公式进行：

变均值一维程序谱强化到更高级别的载荷块下时，工况  $i$  第  $u$  级幅值对应的频次为：

$$N'_{iu} = \frac{N}{l_p C} N_{iu} \quad (17)$$

式中：

$N$  ——总寿命，单位为小时(h)；

$C$  ——试验载荷块总数，单位为块；

$N_{iu}$  ——工况  $i$  第  $u$  级幅值对应的频次；

$l_p$  ——扩展前变均值一维程序谱代表的寿命，单位为小时(h)。

4.3.4 强化系数计算按以下公式进行：

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^q N_{iu}}{\sum_{i=1}^q N'_{iu}} \quad (18)$$

式中：

$\beta$  ——强化系数；

$N_{iu}$  ——工况  $i$  强化前第  $u$  级幅值对应的频次；

$N'_{iu}$  ——工况  $i$  强化后第  $u$  级幅值对应的频次；

$q$  ——总工况数，单位为个。

### 4.4 全工况下载荷谱合成

4.4.1 经上述流程得到的变均值一维程序载荷谱或强化载荷谱代表了各作业环节下的载荷，即可还原采集时的作业工况；将各作业环节下的程序载荷谱按照作业顺序依次连接即可得到拖拉机全工况载荷谱或强化载荷谱。

4.4.2 对于牵引力程序载荷谱，将各个作业环节下得到的变均值一维程序载荷谱或强化载荷谱按照实际作业顺序进行合成。

4.4.3 对于动力输出轴转矩程序载荷谱，将各个作业环节下得到的变均值一维谱按照实际作业顺序进行合成。

4.4.4 合成后载荷谱的加载时间计算按以下公式进行：

$$T_{load} = \frac{\sum_{i=1}^q N_{iu}}{F_{load}} \quad (19)$$

式中：

$T_{load}$  ——运行一次载荷谱的试验时间；

$n_u$  ——各作业环节下第  $u$  级幅值对应的频次；

$F_{load}$  ——加载试验台的加载频率；

$q$  ——总工况数，单位为个。

## 5 加载试验方法

### 5.1 加载试验仪器设备

动力输出轴功率试验台、液压悬挂试验台、油耗测量设备、振动加速度测量设备等，各传感器和参数的允许测量误差应符合 GB/T 3871.3、GB/T 3871.4 和 GB/T 3871.9 的规定。

### 5.2 加载试验条件

5.2.1 试验样机数量为 1 台。

5.2.2 试验样机的技术状态及试验通用要求均应符合 GB/T 3871.1 的规定，并按表 A.1 进行验收。

5.2.3 加注的润滑油、冷却液、液压油及其他工作液体应符合并按照 JB/T 7282 有关规定，并在试验开始前，加注到规定液面高度。

5.2.4 试验期间，允许按使用说明书的规定进行正常调整、保养和按期更换随机备件，不作故障处理，但应在试验报告中予以说明。

5.2.5 被试拖拉机对应的全工况下的载荷谱。同一批次、型号、马力被试拖拉机，可采用同一载荷谱进行试验。

5.2.6 试验过程中，应随时测量完成各种作业的小时油耗，以此来判断每台试验样机的负荷程度。

5.2.7 试验过程中，应随时测量拖拉机水温、油温以及压力等数据，以此来判断每台样机是否工作正常。

### 5.3 试验步骤

#### 5.3.1 性能试验

5.3.1.1 试验前应按使用说明书的规定进行磨合，磨合情况记入表 A.1。磨合期间的故障记入表 A.6，拖拉机累计故障时间按零小时计。

5.3.1.2 在试验开始前和结束后未做任何调整的情况下（按说明书的规定进行的例行保养调整除外），在同一试验设备上，分别进行下列 2 项性能试验。

##### a) 动力输出轴功率试验

试验在动力输出轴功率试验台上进行。对无动力输出轴的拖拉机，进行发动机台架试验。试验按 GB/T 3871.3 或 GB/T 6229 的有关规定，进行标定转速最大功率试验和变负荷试验，并将试验结果记入表 A.2 中。

##### b) 液压悬挂试验

按 GB/T 3871.4 的规定，测定在专用框架上加上使用说明书所规定的最大提升载荷时的提升行程和静沉降值。提升时间为油门全开状态下，下悬挂点从最低点升至最高点所用时间，并将试验结果记入表 A.3 中。

#### 5.3.2 田间作业载荷谱加载试验

5.3.2.1 田间作业载荷谱加载试验，可根据实验条件和试验目标选用全工况载荷谱加载试验，或选用强化载荷谱加载试验。

全工况载荷谱加载试验，可用本标准 4.4 生成的全工况载荷谱。

强化载荷谱加载试验，可用本标准 4.4 生成的强化载荷谱。

##### 5.3.2.2 牵引和动力输出轴复合加载试验

在专用测试台架上对拖拉机进行牵引和动力输出轴复合加载试验。

牵引加载试验采用下悬挂点牵引力载荷谱，动力输出轴加载试验采用动力输出轴转矩载荷谱。

复合加载试验时，下悬挂点牵引力载荷谱和动力输出轴转矩载荷需采用同一工况下的载荷谱，加载时序保持同步。

牵引力加载点为下悬挂点，高度为下拉杆处于水平位置高度的 90%。悬挂杆件调整按 GB/T 3871.4—2006 中 6.1.1.2 的规定进行。

动力输出轴与测功机之间的传动轴轴线相对于动力输出轴水平轴线向下倾斜  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

拖拉机在全油门工况下，在每一个载荷谱内分别进行  $3 \text{ km/h} \sim 7 \text{ km/h}$ （含）速度范围内的复合加载试验，各档试验时间平均分配。

#### 5.3.2.3 牵引力载荷谱加载试验

在专用测试台架上对拖拉机进行牵引力载荷谱加载试验。

牵引加载试验采用下悬挂点牵引力载荷谱。

牵引试验的加载框架为专用试验框架，悬挂杆件调整按 GB/T 3871.4—2006 中 6.1.1.2 的规定进行。

加载点的位置为下悬挂点后  $610 \text{ mm}$  处，高度为下拉杆处于水平位置高度的 90%。

拖拉机在全油门工况下，在每一个载荷谱内分别进行  $7 \text{ km/h} \sim 11 \text{ km/h}$ （含）速度范围内的复合加载试验，各档试验时间平均分配。

注：专用试验框架的立柱高度和下悬挂点到拖拉机中心线的距离应符合 GB/T 1593 规定的拖拉机的悬挂类别。如果拖拉机的悬挂类别不止一个时，试验用类别由制造厂选定。

#### 5.3.2.4 试验循环

采用全工况田间作业载荷谱的加载试验总时长为 500 小时，分 5 个循环进行，每个循环 100 小时。每个循环先进行牵引和动力输出轴复合加载试验 50 小时，再进行牵引力载荷谱加载试验 50 小时。

采用强化载荷谱的加载试验总时长为  $500/\beta$  小时（ $\beta$  为强化系数，见 4.3.4），分 5 个循环进行，每个循环  $100/\beta$  小时。每个循环先进行牵引和动力输出轴复合加载试验  $50/\beta$  小时，再进行牵引力载荷谱加载试验  $50/\beta$  小时。无动力输出轴的轮式拖拉机只进行牵引力载荷谱加载试验，试验分 5 个循环进行，每个循环  $100/\beta$  小时。

#### 5.3.2.5 载荷谱加载方法及循环次数

在每个试验循环内采用对应的载荷谱进行加载，当一次载荷谱运行结束后未达到规定的加载时间，则应从同一载荷谱开始位置继续加载，循环往复直至达到规定的加载时间。

当次循环试验结束后，下次加载试验从载荷谱开始位置重新加载。

加载时所用载荷谱的循环次数按照以下公式计算：

$$C_{load} = \frac{50}{\beta T_{load}} \quad (20)$$

式中：

$C_{load}$  ——加载时载荷谱的循环次数；

$\beta$  ——强化系数，采用非强化田间作业载荷谱时  $\beta = 1$ ；

$T_{load}$  ——运行一次载荷谱的试验时间；

#### 5.3.3 框架提升试验

a) 在拖拉机下悬挂点后  $610 \text{ mm}$  处加载，加载负荷为使用说明书规定的最大提升载荷，且不低于国家标准和行业标准的规定值；

b) 全行程提升 20 000 次，提升频率不少于 6 次/min。

试验结果记入表 A.5。

#### 5.3.4 颠簸试验

颠簸试验按 GB/T 3871.20 的规定进行。

6 试验结果及试验报告

6.1 试验数据处理

6.1.1 记录试验过程（包括磨合和性能试验期间）发生的一切故障及各种异常情况，并及时进行技术分析，妥善保存损坏件。田间作业载荷谱加载试验应分别记录复合加载和牵引加载的试验时间和所用载荷谱情况，并记入表 A.4。对试验中发生的一切本质故障，要进行认真分析和分类，并记入表 A.7。

对批量生产的定型产品进行试验，在故障排除以后重复出现的同一故障，应分别统计其故障次数。对新产品型式试验中重复出现的故障，如是在未改进设计或制造质量情况下换用原样制造的零件后再次发生，则只统计一次故障（时间按最初出现時計），其余应如实记入报告中。

当量故障时间的计算方法：

- 田间作业载荷谱加载试验当量故障时间见公式（21）。

$$T_{ii} = T'_{ii} \times \frac{1500}{5000} \tag{21}$$

式中：

$T_{ii}$  ——相当于 1500 h 可靠性试验出现第  $i$  个故障时的当量故障时间，单位为小时（h）；

$T'_{ii}$  ——出现第  $i$  个故障时田间作业载荷谱加载试验时间，单位为小时（h）。

- 框架提升试验当量故障时间见公式（22）。

$$T_{ki} = N_{ki} \times \frac{1500}{20000} \tag{22}$$

式中：

$T_{ki}$  ——相当于 1500 h 可靠性试验出现第  $i$  个故障时的当量故障时间，单位为小时（h）；

$N_{ki}$  ——出现第  $i$  个故障时提升试验累计次数。

- 颠簸试验当量故障时间见公式（23）。

$$T_{di} = N_{di} \times \frac{1500}{N} \tag{23}$$

式中：

$T_{di}$  ——相当于 1500 h 可靠性试验出现第  $i$  个故障时的当量故障时间，单位为小时（h）；

$N_{di}$  ——出现第  $i$  个故障时颠簸试验累计次数；

$N$  ——颠簸次数，具体数值见 GB/T 3871.20。

6.1.2 拖拉机的故障分类及判断规则按 GB/T 24648.1—2009 第 4 章的规定进行。评定指标体系见表 1。

表 1

序 号	可靠性指标		代 号
1	无故障性	首次故障前平均工作时间	MTTFF
2		平均无故障工作时间	MTBF
3		平均停机故障间隔时间	DTMTBF

4		无故障性综合评分值	$Q$
5	经济性	工厂年平均保修费用率	PWC

## 6.2 试验结果的计算

6.2.1 拖拉机田间作业载荷谱加载试验、框架提升试验和颠簸试验全部完成后，相当于田间试验 1500 h。

6.2.2 按下列规定计算可靠性评定指标，并将各项计算结果记入表 A.10。

### a) 首次故障前工作时间 MTTF

比较田间作业载荷谱加载试验首次当量故障时间  $T_{t1}$ 、框架提升试验首次当量故障时间  $T_{k1}$ 、颠簸试验首次当量故障时间  $T_{d1}$ 。取三者中的最小值为首次故障前工作时间 MTTF。

### b) 平均无故障工作时间见公式 (24)。

$$MTBF = \frac{1500}{r_a} \quad (24)$$

式中：

MTBF——拖拉机的平均无故障工作时间，单位为小时（h）；

$r_a$ ——试验期间（包括磨合和性能试验期间）出现的故障（轻度故障除外）总数。

### c) 平均停机故障间隔时间见公式 (25)。

$$DTMTBF = \frac{1500}{r_d} \quad (25)$$

式中：

DTMTBF——拖拉机的平均停机故障间隔时间，单位为小时（h）；

$r_d$ ——试验期间（包括磨合和性能试验期间）出现的停机故障（严重故障和致命故障）总数。

### d) 无故障性综合评分值见公式 (26)。

$$Q = 100 - \frac{T_g}{1500} \sum_{i=1}^{r_c} (K_i E_i) \quad (26)$$

式中：

$Q$ ——被试拖拉机的无故障性综合评分值，单位为分；

$T_g$ ——国外或国内先进拖拉机产品的 MTBF 目标值（国内取 300 h），单位为小时（h）；

$r_c$ ——在规定的定时截尾试验时间内，被试拖拉机出现的故障总数；

$K_i$ ——第  $i$  个故障的危害度系数

各类故障的危害度系数规定为：

Ⅱ类 严重故障（YZ）： $K=30.0$

Ⅲ类 一般故障（YB）： $K=8.0$

Ⅳ类 轻度故障（QD）： $K=1.0$

$E_i$ ——第  $i$  个故障的故障发生时间系数 [见公式 (27)]；

$$E_i = \sqrt{\frac{3000}{(1500 + T_i)}} \quad (27)$$

$T_i$ ——被试拖拉机出现第  $i$  个故障时，该拖拉机的累计故障时间，单位为小时(h)；当计算结果  $Q < 0$  时，

规定以 0 分计。 $T_i$  按  $T_{ii}$ 、 $T_{ki}$ 、 $T_{di}$  的大小依次排序。

e) 工厂年平均保修费用率见公式 (28)。

$$PWC = \frac{C_w}{C_t} \times 100\% \quad (28)$$

式中：

PWC——某型拖拉机的工厂年平均保修费用率；

$C_w$ ——在该型拖拉机的第一年保修期内，制造厂用于该型拖拉机为用户“三包”服务的每台平均费用，

或在整个试验期间该型拖拉机排除故障的总费用（包括换件费和修理费），单位为元；

$C_t$ ——该型拖拉机的每台售价，单位为元。

### 6.3 试验报告

#### 6.3.2 试验报告应按附录 A 的要求编写。

#### 6.3.2 报告正文应包括下列内容：

##### a) 前言

简单叙述试验任务的由来、目的和要求、试验起止日期及试验地点、试验负责单位等。

##### b) 试验拖拉机外形照片及主要技术规格

拖拉机型号、外形尺寸（长×宽×高）、轴距、轮距（前轮、后轮）、轮胎规格（前轮、后轮）、最小离地间隙、各档理论速度、拖拉机最小使用质量、配重质量、发动机型号、制造厂、发动机标定功率（12 h）、冷却方式、起动方式、发动机与离合器连接型式、离合器型式、变速箱型式、动力输出轴型式/最大输出功率、液压悬挂类别、最大提升力。

##### c) 试验条件及试验情况

根据 4.2 的内容和试验进行概况。

##### d) 试验结果

应包含表 A.1～表 A.3、表 A.7、表 A.9 和表 A.10 的内容。

必要时对故障模式及其影响加以说明或分析。

附 录 A  
(资料性附录)

拖拉机试验汇总表

表 A.1 试验拖拉机验收与磨合结果汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_拖拉机商标\_\_\_\_\_

验收地点\_\_\_\_\_验收人员\_\_\_\_\_验收日期\_\_\_\_\_

序号	项目	验收与磨合情况
1	拖拉机编号/出厂日期	
2	发动机制造厂	
3	发动机型号	
4	发动机编号/出厂日期	
5	随车技术文件是否齐全	
6	各处铅封是否完整	
7	发动机标定功率/转速	
8	随机工具、附件是否齐全	
9	整机装备是否完整	
10	外部有无磕碰损伤	
11	电器仪表系统是否完好	
12	各联接部位是否紧固	
13	发动机运转是否正常	
14	传动系统运转是否正常	
15	操纵行驶是否正常	
16	液压悬挂升降是否正常	
17	磨合日期与总磨合时间	
18	磨合情况	

磨合记录人员：\_\_\_\_\_磨合校核人员：\_\_\_\_\_磨合参加人员：\_\_\_\_\_

表 A.2 动力输出轴（发动机台架）试验结果汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_发动机型号\_\_\_\_\_试验地点\_\_\_\_\_

检验依据\_\_\_\_\_试验日期：试验前\_\_\_\_\_试验后\_\_\_\_\_

试验时平均大气状况:

使用试验前：气温\_\_\_\_\_℃      气压\_\_\_\_\_ kPa      相对湿度\_\_\_\_\_ %

使用试验后: 气温\_\_\_\_\_℃      气压\_\_\_\_\_ kPa      相对湿度\_\_\_\_\_ %

试验时最高温度:

使用试验前：冷却水\_\_\_\_\_℃      润滑油\_\_\_\_\_℃      燃油\_\_\_\_\_℃      进气\_\_\_\_\_℃

使用试验后：冷却水\_\_\_\_\_℃      润滑油\_\_\_\_\_℃      燃油\_\_\_\_\_℃      进气\_\_\_\_\_℃

试验样机编号		1				2				3			
性能参数		$P_d$ / kW	$n_e$ / (r/min)	$G_t$ / (kg/h)	$g_d$ / [g/(kW·h)]	$P_d$ / kW	$n_e$ / (r/min)	$G_t$ / (kg/h)	$g_d$ / [g/(kW·h)]	$P_d$ / kW	$n_e$ / (r/min)	$G_t$ / (kg/h)	$g_d$ / [g/(kW·h)]
试验前	1) 标定转速最大功率												
	2) 1) 项转矩的 85%												
	3) 2) 项转矩的 75%												
	4) 2) 项转矩的 50%												
	5) 2) 项转矩的 25%												
	6) 空载				—				—				—
	平均		—				—				—		
试验后	1) 标定转速最大功率												
	2) 1) 项转矩的 85%												
	3) 2) 项转矩的 75%												
	4) 2) 项转矩的 50%												
	5) 2) 项转矩的 25%												
	6) 空载				—				—				—
	平均		—				—				—		

注： $P_d$ ——动力输出轴功率；  
 $n_e$ ——发动机转速；  
 $G_t$ ——发动机燃油耗；  
 $g_d$ ——动力输出轴燃油消耗率。其平均值是由  $G_t$  和  $P_d$  的平均值计算获得。

记录人员:

校核人员：

参加人员:

表 A.3 液压悬挂试验结果汇总表

拖拉机型号 \_\_\_\_\_ 制造厂 \_\_\_\_\_ 检验依据 \_\_\_\_\_  
试验日期：试验前 \_\_\_\_\_ 试验后 \_\_\_\_\_ 试验地点 \_\_\_\_\_

试验样机编号		载 荷/ kN	提升行程/ mm	提升时间/ s	30 min 静沉降值/ mm
1	试验前				
	试验后				
2	试验前				
	试验后				
3	试验前				
	试验后				

记录人员： \_\_\_\_\_ 校核人员： \_\_\_\_\_ 参加人员： \_\_\_\_\_

表 A.4 拖拉机可靠性田间作业载荷谱加载试验班次记录表

拖拉机型号 \_\_\_\_\_ 样机编号 \_\_\_\_\_  
载荷谱情况 \_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_

试验内容	开始时间	结束时间	延续时间/ h min	作业挡次	停机时间/ min	空转时间/ min
合 计						

本班维修保养工作时间 \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min 故障修复工作时间 \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min 拖拉机试验时间 \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min

记事：

记录人员： \_\_\_\_\_ 校核人员： \_\_\_\_\_ 参加人员： \_\_\_\_\_

表 A.5 框架提升试验结果记录表

制造厂 \_\_\_\_\_ 样品型号 \_\_\_\_\_  
样品编号 \_\_\_\_\_ 样品状态 \_\_\_\_\_  
试验地点 \_\_\_\_\_

试验依据 \_\_\_\_\_  
试验用油： \_\_\_\_\_ 悬挂类别： \_\_\_\_\_ 工厂规定的安全阀调定压力  $P_{\min}$  (MPa)： \_\_\_\_\_

仪器设备名称（型号） \_\_\_\_\_ 编号 \_\_\_\_\_ 仪器状态 \_\_\_\_\_ 使用时间 \_\_\_\_\_ h  
仪器设备名称（型号） \_\_\_\_\_ 编号 \_\_\_\_\_ 仪器状态 \_\_\_\_\_ 使用时间 \_\_\_\_\_ h  
仪器设备名称（型号） \_\_\_\_\_ 编号 \_\_\_\_\_ 仪器状态 \_\_\_\_\_ 使用时间 \_\_\_\_\_ h  
仪器设备名称（型号） \_\_\_\_\_ 编号 \_\_\_\_\_ 仪器状态 \_\_\_\_\_ 使用时间 \_\_\_\_\_ h

试验日期	试验记录时间	油温 ℃	压力 MPa	累计提升次数	试验人员签名	

备注：

校核：

表 A.6 拖拉机可靠性田间作业载荷谱加载试验故障登记表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_样机编号\_\_\_\_\_试验日期\_\_\_\_\_

出现故障日期\_\_\_\_\_模拟作业名称\_\_\_\_\_

拖拉机累计试验时间\_\_\_\_\_h

本次故障中损坏的零部件清单：

名 称	件号	件数	各零部件累积试验时间/h	该零部件出厂零售价/元

故障现象及其影响程度描述（附照片）

故障原因及其理化检验结果：

排除故障方法：

故障类别\_\_\_\_\_故障修复时间\_\_\_\_\_h 修复费用\_\_\_\_\_元

驾驶员\_\_\_\_\_记录员\_\_\_\_\_修理工\_\_\_\_\_

鉴定人\_\_\_\_\_负责人\_\_\_\_\_

记录人员：\_\_\_\_\_校核人员：\_\_\_\_\_参加人员：\_\_\_\_\_

表 A.7 拖拉机可靠性田间作业载荷谱加载试验故障汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_样机编号\_\_\_\_\_试验日期\_\_\_\_\_

试验起止日期\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_

试验地点\_\_\_\_\_样机台数\_\_\_\_\_台 规定试验结尾时间\_\_\_\_\_h

序号	试验样机编号	故障名称	拖拉机累计试验时间	故障原因	故障类别	修复工作时间	修复费用/元	危害度系数 $K$	时间系数 $E$

记录人员：\_\_\_\_\_校核人员：\_\_\_\_\_参加人员：\_\_\_\_\_

表 A.8 拖拉机可靠性田间作业载荷谱加载试验班次记录汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_样机编号\_\_\_\_\_试验地点\_\_\_\_\_试验起止日期\_\_\_\_\_

序号	日期	本班试验时间/h	累计试验时间/h	空转时间/h	主要工作档试验时间/h					保养工作时间/min	试验类型	负荷情况
					档	档	档	档	档			

记录人员：\_\_\_\_\_校核人员：\_\_\_\_\_参加人员：\_\_\_\_\_

表 A. 9 拖拉机可靠性田间作业载荷谱加载试验综合汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_试验起止日期\_\_\_\_\_

试验样机编号		1	2	3
累计试验时间/h				
累计空转时间/h				
累计保养工作时间/h				
累计修复工作时间/h				
各挡试验时间比例/ %	档			
	档			
	档			
	档			
	档			
试验平均负荷系数/%				

记录人员：\_\_\_\_\_校核人员：\_\_\_\_\_参加人员：\_\_\_\_\_

表 A. 10 拖拉机可靠性评定结果汇总表

拖拉机型号\_\_\_\_\_制造厂\_\_\_\_\_试验起止日期\_\_\_\_\_

累计故障数（次）：

故障类型	试验样机编号			
	1	2	3	合 计
致命故障				
严重故障				
一般故障				
轻度故障				
合 计				
可靠性指标	MTTFF= h（ h 使用试验） MTBF= h（ h 使用试验） DTMTBF= h（ h 使用试验） Q= 分（ h 使用试验） PWC= %（ h 使用试验）			

记录人员：\_\_\_\_\_校核人员：\_\_\_\_\_参加人员：\_\_\_\_\_