

团 体 标 准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

谷物联合收割机 结构疲劳耐久台架试验 方法 田间作业模拟

Grain combine harvesters—Bench test method for structural fatigue
endurance—Field operation simulation

(报批稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会 发布
中国农业机械学会

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：国创农业装备质量检验检测技术（洛阳）有限公司、洛阳智能农业装备研究院有限公司、潍柴雷沃智慧农业科技股份有限公司、中联农业机械股份有限公司、中国一拖集团有限公司、农业农村部农业机械化总站、中国农业大学、华南农业大学、江苏大学、江苏省农业机械鉴定站、河北省农业机械鉴定总站、安徽省农业机械试验鉴定站、北京理工大学。

本文件主要起草人：黄胜操、林恒矗、魏相、郭岗、章凯、徐立章、相姝楠、杨子涵、胡炼、代占朝、马立新、朱江朋、郭志强、赵杰、史洪涛、王健、张彩霞、张重阳、白龙乾、蒋笑楠、李河欣、李得志、张忠芳、马建、刘军帅、张飞飞、李小帅、汪若尘、白学峰、张继勇、汪新勃、张彦奇、肖美华、冯羚青、王鹏翔。

谷物联合收割机 结构疲劳耐久台架试验方法 田间作业模拟

1 范围

本文件规定了谷物联合收割机进行结构疲劳耐久台架试验的术语和定义、一般要求、试验设备仪器、试验方法、试验结果统计、试验报告。

本文件适用于谷物联合收割机支承系统、覆盖件及连接件等在轮耦合试验台上模拟田间作业运行时产生的垂向振动、冲击条件下结构耐久可靠性的考核。

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，仅该日期的对应版本适用于本文件；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 8097 收获机械 联合收割机 试验方法

GB/T 24648.2 工程农机产品可靠性考核 评定指标体系及故障分类通则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

轮耦合试验台 wheel coupling test bench

通过对试验样机轮胎施加垂向振动激励，模拟试验样机颠簸振动载荷谱工况的试验台架。

注：一般通过布置在每个车轮下的伺服作动器对车轮进行垂向激励，作动器与轮胎间不存在刚性连接。

3.2

载荷谱 load spectrum

谷物联合收割机在田间作业工作过程中，谷物联合收割机上某一部位在田间作业路面、收割机作业部件或旋转部件激励下产生的载荷、加速度、应变、相对位移等各种实时响应的统称。

3.3

目标信号 target signal

通过对载荷谱数据进行处理获得的能够在轮耦合台架上使用的目标谱信号数据。

3.4

台架响应信号 bench response signal

在进行田间作业模拟试验时，安装在被试谷物联合收割机前后车桥、机身、机架等位置的传感器采集到的测量信号，包括应力、应变、加速度、位移等。

3.5

频响函数 frequency response function (FRF)

在台架作动器输入激励时，谷物联合收割机上布置的传感器输出响应信号，台架控制系统计算得出输入的激励与输出的响应信号的时域与频域函数关系公式。

3.6

迭代 iteration

在轮耦合试验台系统上，以目标谱为目标，通过对被试谷物联合收割机进行循环多次的激励输入和反馈调整，使得被试谷物联合收割机上测得的响应谱信号与目标谱信号误差在整体上逐步减小的过程。

3.7

驱动文件 driver file

用于控制轮耦合试验台架液压电控系统的数字驱动文件。

3.8

当量致命故障数 equivalent failure number

在规定使用或试验时间内发生的各类故障，按照一定规则换算成与致命故障、严重故障、一般故障、轻度故障之一的危害度相当的故障数。将各故障折算而成的致命故障数量，称为当量致命故障数。

4 一般要求

4.1 试验前应在谷物联合收割机田间作业典型地块采集载荷谱。

4.2 田间作业载荷谱主要采集振动载荷谱，前、后桥的加速度传感器，应分别安装在接近前、后轮轴心线铅垂面与谷物联合收割机纵向对称面交线的上部接近轮轴处，位移、倾角、应变传感器根据实际作业情况进行选装，所需传感器类型及功能如表 1 所示。

表 1 载荷谱采集所需传感器

序号	信号类型	传感器	布点位置	功能	备注
1	加速度	加速度传感器	车轮轴头位置	测量车轮轴头的垂向加速度	必须
2	位移	拉线位移传感器	机架垂向位置与前后车桥之间	测量机架与前后车桥之间的相对位移	选装
3	应变	应变片	易出现结构失效位置或关键结构点	测量结构件应变情况	选装
4	角度	倾角传感器	机架或其他机身关键部位	测量机身姿态	选装

4.3 谷物联合收割机运行应符合对应谷物联合收割机的作业相关要求。

4.4 谷物联合收割机的技术参数应符合制造厂的规定，并按制造厂的使用要求进行操作。试验样机技术状态应调试正常。记录样机的型号名称、样机编号、生产厂家、生产日期、主要技术规格、收获谷物类型（见附录表 B.1）等。

4.5 田间作业载荷谱采集过程中，需实测或调查统计并记录班次时间，包括：作业时间和非作业时间。其中作业时间包括：纯工作时间、地头转弯空行时间、工艺服务时间（停机加油和装卸物料等时间）。非作业时间包括：调整保养时间、机具故障时间、空行转移时间。检测状态分为作业状态和非作业状态两类，具体要求见表 2。

表 2 检测状态划分

检测状态	分类	要求
作业状态	纯工作状态	样机在规定的试验条件下进行收割作业。
	地头转弯空行状态	样机在地头转弯，切割、脱粒清选等作业机构空运。
	卸粮状态	样机在田间停止，切割、脱粒清选等作业机构断开进行卸粮工作。
非作业状态	田间行走状态	样机切割、脱粒清选等作业机构断开，在设计速度范围内进行田间走。
	作业机构结合但未收获状态	样机切割、脱粒清选等作业机构结合，但未进行收获作业时的状态。

4.6 谷物联合收割机田间作业载荷谱采集时长不应少于 10 小时，各状态采集时间按照实际田间作业时长占比分配；每个作业环节，至少采集 5 次载荷谱。

4.7 谷物联合收割机进行田间作业载荷谱采集过程中，作业过程需满足 GB/T 8097 的相关规定。

5 试验设备仪器

试验设备仪器见表 3，所有设备仪器应在标定的有效期内使用。

表 3 试验设备仪器

序号	设备仪器名称	功能	单位	精度
1	轮耦合试验台	进行疲劳耐久试验	/	/
2	数据采集系统	采集载荷谱数据	/	/
3	加速度传感器	采集被测对象的加速度信号	m/s ²	±0.5%
4	位移传感器	采集被测对象的位移信号	mm	±0.5%
5	应变片	采集被测对象的应变信号	/	/
6	倾角传感器	采集被测对象割台的倾斜角度	°	±0.5%
7	胎压表	测量轮胎气压	kPa	±2.5%

6 试验方法

6.1 试验样机准备

6.1.1 试验样机应为出厂验收合格的产品，数量一台，轮胎气压应符合谷物联合收割机技术条件要求且应和田间作业时保持一致。

6.1.2 谷物联合收割机应保持清洁，确保传感器安装位置无灰尘、油污等脏物。台架迭代过程中样机需要布置传感器，传感器布置位置和类型与采集时保持一致。

6.1.3 试验时需要样机支承系统、驾驶室总成、机架系统等重点部位进行监控。

6.1.4 在谷物联合收割机田间作业模拟试验中，驾驶座上附加重块质量为 65kg±1kg，前后配重按说明书规定的运输状态配置。

6.1.5 进行样机状态检查，内容如下：

a) 检查试验样机门、窗、锁、把手等开闭件功能是否正常；

b) 检查试验样机主要紧固螺母、螺栓预紧力是否符合要求，并画漆线标记，必要时按照设计要求规定调整。

6.1.6 进行田间作业模拟试验前需进行参数测量及调整，内容如下：

a) 按照试验及装配技术要求，测量并调整谷物联合收割机轮胎胎压；

b) 根据台架试验要求（空载，半载和满载等）对谷物联合收割机进行装载；

c) 测量样机的轴轮距尺寸，并记录；

d) 解除谷物联合收割机驻车制动并断电。

6.2 台架试验准备

6.2.1 信号调试

台架迭代过程中需要在台架上采集谷物联合收割机的目标谱信号，传感器测点位置必须保持与田间作业载荷谱采集时一致。

6.2.2 生成目标信号

对采集到的载荷谱信号，进行时域检查、频域检查、幅值域检查、数据合理性检查后，形成一段有效的载荷谱信号。经过雨流计数统计损伤循环、删除过渡路谱与小损伤载荷、增加过渡时间及载荷谱数据压缩等台架加速度处理方法来得到初步的目标信号。

6.2.3 迭代

生成目标信号需要使用台架迭代软件进行载荷谱迭代，按下列步骤生成驱动文件：

- a) 将被试车辆按照试验规定安装于试验台上，根据目标谱频率构成生成白噪声驱动谱；
- b) 播放白噪声驱动谱获取响应信号，计算得出频响函数；
- c) 将目标谱与频响函数文件导入迭代部分，生成最终驱动谱；

d) 播放驱动谱，并在试验台上采集相应的台架响应信号，根据台架响应信号与目标信号的误差，计算生成新的驱动信号，并修正传递函数，继续迭代，直到台架响应信号与目标信号的误差值在 10%以内，形成最终的驱动文件来进行试验。

6.2.4 台架安装

进行被试谷物联合收割机安装，内容如下：

- a) 根据被试的谷物联合收割机轮距和轴距参数，调整试验台架的轮轴距系统，以适应被试谷物联合收割机要求；
- b) 将被试谷物联合收割机布置在试验台架；
- c) 将传感器连接至试验台架；
- d) 调节试验台架作动缸的控制参数；
- e) 布置减振器冷却系统，保证试验过程中减振器温度在正常工作温度范围内；
- f) 将谷物联合收割机使用拉紧带固定在反力支撑架上或安装车轮约束装置；
- g) 通过充放氮气调节试验台架作动缸的静平衡。

6.2.5 台架软件设置

- 6.2.5.1 移除测试中不需要的传感器和仪器。
- 6.2.5.2 在测试配置文件中，创建迭代通道配置文件。
- 6.2.5.3 设置试验台架保护，包括但不限于超温保护、断裂保护、目标通道监控保护等。
- 6.2.5.4 使用驱动信号文件，设置试验台架运行程序。

6.3 台架试验步骤

6.3.1 试验运行

- 6.3.1.1 启动轮耦合试验台架，按照实际驱动信号文件驱动液压伺服作动器进行谷物联合收割机田间作业模拟试验。
- 6.3.1.2 载荷谱压缩后进行的验证试验时长对应的田间作业时间不应少于 200 h，其中作业状态和非作业状态试验模拟时间根据实际载荷谱采集时间统计按照比例进行分配。
- 6.3.1.3 在试验的整个过程，监测试验台架运行状态及样机状态。
- 6.3.1.4 记录试验进度详细信息，以及被试谷物联合收割机出现的故障和重要节点信息，需要拍摄照片留存，进行失效原因分析，并将结果记录至附录表 A.1 中。
- 6.3.1.5 谷物联合收割机每模拟田间作业四小时，按附录表 A.2 进行试验样机班次检查。

6.3.1.6 谷物联合收割机田间作业模拟试验中，如谷物联合收割机发生 GB/T 24648.2 规定的严重故障或致命故障，应停止试验。

6.3.2 测试结束

- 6.3.2.1 对被试谷物联合收割机进行全面检查。
- 6.3.2.2 移除被试谷物联合收割机上的所有负载。
- 6.3.2.3 拆除所有传感器和设备。
- 6.3.2.4 将被试谷物联合收割机移下台架。
- 6.3.2.5 根据测试要求进行后处理。包括性能估算，紧固件力矩检查和拆卸工作。
- 6.3.2.6 对被试谷物联合收割机和被试部件进行合理处置。
- 6.3.2.7 清理和检查台架。

7 试验结果统计

- 7.1 试验结束后对试验中出现的各类故障进行判别、统计，包括故障名称、分类等级、数量、故障描述、时间等。
- 7.2 产品故障按GB/T 24648.2 分类。
- 7.3 谷物联合收割机采用轮耦合试验台进行结构疲劳耐久试验，试验结束后需进行被试样品的故障统计及评价。主要可靠性指标为当量致命故障数，将统计结果填入表 4 中。

表 4 试验结果统计

项目		单位	试验结果	合计
试验时间		h		
致命故障数		个		
严重故障数		个		
一般故障数		个		
轻微故障数		个		
故障排除、修复时间		h		
可靠性指标	当量致命故障数 r_{10}	/		

当量致命故障数 $r_{10} < 1$ 时，谷物联合收割机田间作业模拟试验考核判定为合格；否则为不合格。详细计算方法见附录 C。

8 试验报告

试验报告至少应包括：

- a) 说明试验任务的来源；
- b) 试验依据；
- c) 试验对象：注明被测样机的主要参数，并附加图形、照片及必要的说明；
- d) 试验设备及仪表：应写明主要设备及仪表的名称、厂家、型号、精度及其他基本参数，以及标定日期及测量部位；
- e) 试验条件；
- f) 试验结果：
 - 1) 对原始试验数据加以整理，尽可能用曲线表示，重要的数据可以列表；

- 2) 可靠性评价指标计算结果;
 - 3) 故障、维修统计、详细情况记录, 如: 产生时间、产生位置、故障内容、排除方法等;
 - 4) 试验过程的调整更换记录;
 - 5) 试验测试结果。
- g) 结论与建议:
- 1) 描述故障的模式、类型、数量;
 - 2) 描述试验评价结果;
 - 3) 必要时, 根据试验结果, 提出改进和补充试验的建议;
- h) 试验日期与签批。

附 录 A

(规范性)

试验过程定期检查及结果记录

谷物联合收割机试验结构失效及原因分析统计表和定期检查表如表 A. 1 和表 A. 2 所示。

表 A. 1 谷物联合收割机结构失效及原因统计表

试验机器编号	试验日期	试验运行时间 (h)	故障类型及图示	故障原因	备注

表 A. 2 谷物联合收割机定期检查表

序号	检测项目	检查结果
1	冷却液有无泄漏	
2	机油有无泄漏	
3	燃油有无泄漏	
4	制动液有无泄漏	
5	样机外部有无磕碰损伤	
6	电气仪表系统是否完好	
7	各联接部位是否紧固	
8	发动机运转是否正常	
9	传动系统运转是否正常	
10	转向系统是否正常	
11	液压悬挂升降是否正常	
12	各联接螺栓是否松动	
机型:	编号:	地点:
		检查人:
		日期:

附 录 B
(资料性)
谷物联合收割机产品规格记录

被测样机各项性能参数及规格应按表 B. 1 详细记录。

表 B. 1 谷物联合收割机产品规格表

序号	项目	单位	设计值
1	型号名称	/	
2	结构型式	/	
3	配套发动机生产企业	/	
4	配套发动机型号	/	
5	配套发动机结构型式	/	
6	配套发动机标定功率	kW	
7	配套发动机标定转速	r/min	
8	整机外形尺寸(长×宽×高)	mm	
9	整机质量	kg	
10	额定喂入量	kg/s	
11	作业速度	km/h	
12	作业小时生产率	hm ² /h	
13	单位作业量燃油消耗量	kg/hm ²	
14	割台工作幅宽	mm	
15	割台型式	/	
16	脱粒机构型式	/	
17	清选机构型式	/	
18	轮距	mm	
19	轴距	mm	
20	茎秆切碎器型式	/	
21	卸粮机构型式	/	

附 录 C
(资料性)
可靠性考核评价

C.1 可靠性考核采用当量致命故障数指标进行评价。

总当量故障单位按式(1)计算。

$$r_D = K_1 \times r_1 + K_2 \times r_2 + K_3 \times r_3 + K_4 \times r_4 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

r_D ——总当量故障单位;

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 ——分别为 ZM、YZ、YB、QD 类故障危害度系数,故障分为四类,即致命故障(ZM)、严重故障(YZ)、一般故障(YB)和轻度故障(QD),本标准设 $K_1 = 150$ 、 $K_2 = 30$ 、 $K_3 = 8$ 、 $K_4 = 1$;

r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 ——分别为 ZM、YZ、YB、QD 四类故障的数量。

当量致命故障数按式(2)计算。

$$r_{1D} = r_D / K_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

r_{1D} ——当量致命故障数。

C.2 评价指标值: 当量致命故障数 $r_{1D} < 1$ 。