



中华人民共和国工业和信息化部机械计量技术规范

JJFZ(机械)014-2022

拖拉机可靠性加载试验台
校准规范

(报批稿)

Calibration Specification for Tractor Reliability Loading Test Bench

2024—**—**发布

2024—**—**实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

拖拉机可靠性加载试验台 校准规范

Calibration Specification for Tractor Reliability Loading Test Bench

JJFZ (机械)014—2022

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司

参加起草单位：第一拖拉机股份有限公司

新疆维吾尔自治区农牧业机械产品质量

监督管理站

本规范条文由中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

刘惠（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

贾方（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

冯志明（第一拖拉机股份有限公司）

参加起草人：

李艳波（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

王伟伟（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

罗一鸣（洛阳西苑车辆与动力检验所有限公司）

胡龙（新疆维吾尔自治区农牧业机械产品质量监督管理站）

目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	1
5.1 外观及一般要求.....	1
5.2 计量性能要求.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 校准用标准器.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	4
7.2.1 外观及一般要求检查.....	4
7.2.2 温度的校准.....	4
7.2.3 压力的校准.....	5
7.2.4 车速的校准.....	5
7.2.5 转矩的校准.....	6
7.2.6 转速的校准.....	7
7.2.7 牵引力的校准.....	7
7.2.8 油耗的校准.....	8
7.2.9 流量的校准.....	9
7.2.10 直流电流的校准.....	10
7.2.11 直流电压的校准.....	10
8 校准结果表达.....	11
9 复校时间间隔.....	11
附录.....	11

引 言

本规范根据 JJF 1001-2011《通用计量术语与定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范进行制定。

本规范部分参考 GB/T 35218-2017《拖拉机可靠性 台架试验方法》、JJG 455-2000《工作测力仪检定规程》、JJG 653-2003《测功装置检定规程》、JJG 875-2019《数字压力计检定规程》、JJF 1670-2017《质量法油耗仪校准规范》。

本规范为首次发布。

拖拉机可靠性加载试验台校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中和维修后的拖拉机可靠性加载试验台的温度、压力、车速、转矩、转速、牵引力、油耗、流量、电流、电压校准。其它用途的机械可靠性加载试验台参照执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 455-2000《工作测力仪检定规程》

JJG 653-2003《测功装置检定规程》

JJG 875-2019《数字压力计检定规程》

JJF 1670-2017《质量法油耗仪校准规范》

GB/T 35218-2017《拖拉机可靠性 台架试验方法》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

本规范没有需要界定的术语。

4 概述

拖拉机可靠性加载试验台（下称加载试验台）是进行拖拉机可靠性台架试验的一种专用检测设备。加载试验台利用可加载的转鼓模拟拖拉机田间作业路面工况，另外使用一台测功机给拖拉机动力输出轴加载来模拟田间作业工况，可将台架试验分为动力输出轴和牵引同时运行的复合加载试验和仅发挥牵引作用的牵引加载试验，其广泛应用于农机装备行业拖拉机可靠性试验领域。加载试验台的主要测量参数包括温度、压力、车速、转矩、转速、牵引力、油耗、流量、电流和电压（适用于电动拖拉机）。

5 计量特性

5.1 外观及一般要求

5.1.1 加载试验台应有铭牌。铭牌上应标明试验台的名称、型号规格、量程、准确度级别、制造厂、出厂编号、出厂日期等。

5.1.2 加载试验台的有关技术特征如外观、电气、安全等应满足相应技术文件（如有关的国家标准，说明书等）的要求。

5.1.3 加载试验台应按使用说明书要求水平地安装在稳固的地基上。

5.1.4 加载试验台各部件的连接应牢固可靠，各密封面的结合处不允许有渗水、渗油现象。

5.1.5 加载试验台各操纵件操作应灵活可靠；显示仪表应显示清晰，没有影响计数的缺陷。

5.2 计量性能要求

在规定的测量范围内，加载试验台的技术指标见表 1。

表 1 加载试验台主要计量特性的技术指标

参数	测量范围	最大允许误差
温度	(0~100) °C (>100~1000) °C	±0.5 °C ±0.5 %
压力	(0~35) MPa	±0.5%FS
车速	(0~50) km/h	±0.5 %
转矩	(0~6000) Nm	示值误差：±1.0%FS 重复性：1.0%FS 进回程差：±1.0%FS
转速	(0~1500) r/min	示值误差：±0.5%FS
牵引力	(0~200) kN	示值误差：±0.5%FS 重复性：0.5%FS
油耗	(0~2000) g (0~150) kg/h	示值误差：±1.0 % 重复性：1.0 %
流量	(0~250) L/min	示值误差：±1.0 %
直流电流*	(0~1000) A	±1.0 %
直流电压*	(0~1000) V	±1.0 %

注：1、带*的参数适用于电动拖拉机；2、作为校准，不判断合格与否，上述计量特性的指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（5～40）℃，相对湿度不大于 80%，或符合校准用仪器设备所规定的使用环境条件。

6.1.2 加载试验台的周围留有一定的空间，工作环境应清洁，校准应在周围的污染、振动、电磁干扰等对测量结果无影响的环境下进行。

6.2 校准用标准器

校准用标准器及计量特性见表 2。

表 2 校准用标准器及计量特性

名称	测量范围	计量特性	备注
温度标准装置	（0～1000）℃	允差不大于被校装置允差的 1/3	用于温度校准
压力标准装置	不小于被校准装置的测量范围	MPE：±0.1%	用于压力校准
组合式转速计	不小于被校准装置的测量范围	允差不大于被校装置允差的 1/3	用于车速、转速校准
标准测力仪 ^①	不小于被校准装置的测量范围	MPE：±0.1%	用于扭矩校准
专用砝码 ^①		M 级	
力值标准装置	（0～200）kN	0.1 级	用于牵引力校准
砝码 ^②	（0～2000）g	F2 级	用于油耗校准
数字指示秤 ^②	（0～30）kg	分度值：1g；标准装置的扩展不确定度不大于被校装置允差绝对值的 1/3。	
标准流量计	（0～250）L/min	标准装置的扩展不确定度不大于被校流量计允差绝对值的 1/3	用于流量校准
电学标准装置	直流电流：（0～1000）A 直流电压：（0～1000）V	允差不大于被校装置允差的 1/3	用于电流、电压校准
^① 标准测力仪和专用砝码，用于扭矩校准时根据被校设备工作原理可任选其一； ^② 砝码和数字指示秤，用于油耗校准时根据被校设备工作原理可任选其一。			

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 3。

表3 校准项目一览表

序号	项目名称	校准方法条款
1	外观及一般要求检查	7.2.1
2	温度的校准	7.2.2
3	压力的校准	7.2.3
4	车速的校准	7.2.4
5	转矩的校准	7.2.5
6	转速的校准	7.2.6
7	牵引力的校准	7.2.7
8	油耗的校准	7.2.8
9	流量的校准	7.2.9
10	电流的校准*	7.2.10
11	电压的校准*	7.2.11

注：校准项目可根据被校设备的预期用途选择使用。

7.2 校准方法

7.2.1 外观及一般要求检查

按加载试验台使用说明书规定进行预热，按 5.1 的要求进行目测和手动检查，符合要求后再进行其他项目的校准。

7.2.2 温度的校准

7.2.2.1 准备工作及要求

a) 将温度源（如干体炉）的温度稳定在各被校温度点上，温度偏离校准点不得超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ （以温度标准器示值为准）。

b) 将被校温度传感器插入温度源，并尽可能靠近标准温度传感器。

c) 当温度源的温度足够稳定后方可进行测量（一般不少于 15min）。

7.2.2.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备量程均匀分布，一般应包括上限值和下限值在内不少于 5 个点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 校准时测量顺序可以先从测量范围的下限温度开始，然后自下而上依次测量。在每个校准点上，待温度源内的温度稳定后，应轮流对标准装置和被校装置温度示值按“标准→被校→被校→标准”的顺序进行 4 次读数。各校准点的温度示值误差 δ_{Ti} 按式 (1) 计算：

$$\delta_{Ti} = t_i - T_i \text{ 或 } \delta_{Ti} = \frac{t_i - T_i}{T_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中： t_i —被校设备温度第 i 校准点 2 次示值的平均值，℃；

T_i —温度标准装置第 i 校准点 2 次示值的平均值，℃。

7.2.3 压力的校准

7.2.3.1 准备工作及要求

- a) 压力标准装置和被校压力计为达到热平衡，需在校准条件下放置 1h。
- b) 将压力标准装置和被校压力计通过三通进行连接，尽可能使两者的受压点在同一水平面上。
- c) 优选被校压力计实际使用工作介质为校准用工作介质，当工作介质为液体时，尽量使导压管中充满工作介质。
- d) 校准前应做 1~2 次升压预压试验。

7.2.3.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备量程均匀分布，一般应包括零点和上限值在内不少于 5 个点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 校准中升压和降压应平稳，避免有冲击和过压现象。在各校准点上应待压力值稳定后方可读数，升压、降压校准循环次数为 1 次。各校准点的压力示值误差 δ_{Pi} 按式 (2) 计算（取相对误差较大者）：

$$\delta_{Pi} = \frac{P_i - P_{0i}}{P_F} \times 100\% FS \quad (2)$$

式中： P_i —被校设备压力第 i 校准点升压、降压示值，MPa；

P_{0i} —压力标准装置第 i 校准点示值，MPa；

P_F —被校设备压力测量范围的上限值，MPa。

7.2.4 车速的校准

7.2.4.1 准备工作及要求

a) 被校装置的转鼓表面应清洁，不得有油污。转鼓转动时，应无卡顿、无粘滞等异常现象。

b) 被校装置的转鼓，其转动可通过联接动力机械进行。

7.2.4.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备量程均匀分布，一般应包括测量范围的 20%、40%、60%、80%、100% 在内 5 个点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 校准中，待被校装置的转鼓转速稳定后，在同一校准点连续读取并记录转速标准装置的 6 个显示值。各校准点的车速示值误差 δ_{zi} 按式 (3) 计算：

$$\delta_{zi} = \frac{Z_i - Z_{0i}}{Z_{0i}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： Z_i —被校装置车速第 i 校准点示值，km/h；

Z_{0i} —转速标准装置第 i 校准点 6 次示值的平均值，km/h。

7.2.5 转矩的校准

7.2.5.1 准备工作及要求

a) 在校准前，安装好专用杠杆，使力臂杠杆处于水平状态。

b) 被校装置的转矩指示装置调零，施加转矩至上限值后卸除转矩，检查其指示装置的回零情况，并重新调零。

7.2.5.2 示值误差、重复性、进回程差的测量

a) 校准点的选择按被校设备量程均匀分布，一般应包括零点和上限值在内不少于 5 个点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 校准中，沿预扭方向（如顺时针），按校准点逐级施加转矩至上限值，再逐级卸除转矩，待装置稳定后分别读取进程和回程过程中的转矩示值。此过程重复进行 3 次。用相同的方法校准反方向的转矩示值。

注：加载或卸载时应平稳，加载过程中不能有卸载，卸载过程中不能有加载。

c) 各校准点转矩示值按式 (4) 计算：

$$M_i = m_i \times g \times L \quad (4)$$

式中： M_i —第 i 校准点实际转矩值或计算得到的转矩值，Nm；

m_i —第*i*校准点砝码的质量, kg;

g —当地的重力加速度, m/s^2 ;

L —专用杠杆的力臂长度, m。

注: 对专用杠杆的力臂长度应定期进行核查。由用户提供时, 应在记录时加以说明。

d) 各校准点的转矩示值误差 δ_{wi} 、重复性 R_{wi} 、进回程差 H_{wi} , 分别按式 (5)、(6)、(7) 计算:

$$\delta_{wi} = \frac{\bar{T}_{i1} - M_i}{T_F} \times 100\%FS \quad (5)$$

$$R_{wi} = \frac{T_{i\max} - T_{i\min}}{T_F} \times 100\%FS \quad (6)$$

$$H_{wi} = \frac{\bar{T}_{i2} - \bar{T}_{i1}}{T_F} \times 100\%FS \quad (7)$$

式中: $T_{i\max}$ 、 $T_{i\min}$ —进程中第*i*校准点 3 次转矩示值的最大值和最小值, Nm;

\bar{T}_{i1} 、 \bar{T}_{i2} —第*i*校准点的进程和回程的 3 次转矩示值算术平均值, Nm;

T_F —被校装置转矩测量范围的上限值, Nm。

7.2.6 转速的校准

7.2.6.1 准备工作及要求

a) 具有反拖功能的被校装置, 其转速应联机进行校准; 无反拖功能的被校装置, 其转速装置可联接动力机械进行校准。

b) 校准前应在转速上限值试转 1min, 当无异常现象时方可进行示值校准。

7.2.6.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备的测量范围均匀分布, 一般应不少于 3 个点, 也可根据用户的需要选择校准点。

b) 启动拖动装置或动力机械, 逐步递增转速至各校准点, 待装置稳定后同时读取标准转速表和被校装置的转速示值, 此过程重复进行 3 次。

c) 各校准点的转速示值误差 δ_{ni} , 按式 (8) 计算:

$$\delta_{ni} = \frac{\bar{n}_i - \bar{n}_{0i}}{n_F} \times 100\%FS \quad (8)$$

式中: \bar{n}_i 、 \bar{n}_{0i} —第*i*校准点被校装置和标准转速表的转速示值算术平均值, r/min;

n_F ——被校装置转速测量范围的上限值, r/min。

7.2.7 牵引力的校准

7.2.7.1 校准前的准备工作及要求

通过固定装置将加载试验台的测力系统与力值标准装置串接,使其受力轴线与力值标准装置的测力轴线相重合。

7.2.7.2 示值误差、重复性的测量

a) 以加载试验台的测力系统测量下限为校准起始点,在测量范围内,至少选择 5 个校准点,各点应大致均匀分布,一般取测量上限的 20%、40%、60%、80%、100% 共 5 个点。也可根据用户的需要选择校准点。

b) 加载试验台的测力系统调至零点,校准时加力方向应和加载试验台工作时加力方向一致。

c) 沿力值标准装置受力轴线逐点递增标准力值,在各校准点保持稳定后记录加载试验台相应进程示值。该校准过程连续进行 3 次,每次校准前均应将加载试验台的测力系统调至零点。

d) 各校准点的牵引力示值误差 δ_{Fi} 、重复性 R_{Fi} , 分别按式 (9)、(10) 计算:

$$\delta_{Fi} = \frac{\bar{F}_i - F_{0i}}{F_N} \times 100\% FS \quad (9)$$

$$R_{Fi} = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{F_N} \times 100\% FS \quad (10)$$

式中: F_N ——加载试验台测力系统的上限值, kN;

\bar{F}_i ——被校测力系统第 i 校准点的力值示值算术平均值, kN;

F_{0i} ——力值标准装置第 i 校准点的力值示值, kN;

$F_{i\max}$ 、 $F_{i\min}$ ——第 i 校准点被校测力系统 3 次力值示值的最大值和最小值, kN。

7.2.8 油耗的校准

油耗是指拖拉机在做功时所消耗的燃油量。用于油耗测量的设备有质量法油耗仪和科里奥利流量计。

7.2.8.1 质量法油耗仪的校准

质量法油耗仪是测量并显示在一定时间所消耗燃油量的仪器,其结构一般由称重传感器、信号处理系统和显示系统组成。

a) 以加载试验台的油耗系统测量下限为校准起始点, 选择满量程的 20%、60%、100%为校准点。也可根据用户的需要选择校准点。

b) 将标准砝码居中放在被校油耗仪的称重传感器托盘上, 等稳定后记录标准砝码质量和油耗仪示值, 此过程重复进行 3 次。

c) 各校准点的油耗示值误差 δ_{Li} 、重复性 R_{Li} , 分别按式 (11)、(12) 计算:

$$\delta_{Li} = \frac{\bar{m}_i - X_i}{X_i} \times 100\% \quad (11)$$

$$R_{Li} = \frac{m_{i\max} - m_{i\min}}{\bar{m}_i} \times 100\% \quad (12)$$

式中: \bar{m}_i ——第 i 校准点被校油耗仪示值算术平均值, g;

X_i ——第 i 校准点标准砝码标称质量, g;

$m_{i\max}$ 、 $m_{i\min}$ ——第 i 校准点被校油耗仪 3 次示值的最大值和最小值, g。

7.2.8.2 科里奥利流量计的校准

科里奥利流量计是利用流体在振动管内流动时产生的科里奥利力, 以直接或间接的方法测量科里奥利力而得到液体质量流量。由流量传感器和变送器组成。

a) 以加载试验台的科里奥利流量计测量下限为校准起始点, 选择上限值的 20%、50%、100%为校准点。也可根据用户的需要选择校准点。建议校准流量点顺序依次为 q_{\max} 、 $0.5 q_{\max}$ 、 $0.2q_{\max}$ 、 q_{\min} 、 q_{\max} 。

b) 在校准过程中, 每个流量点的每次校准流量与设定流量的偏差应不超过设定流量的 $\pm 5\%$ 。

c) 将流量通过调节阀调到校准点, 运行至液体状态稳定。置标准装置和被校流量计为工作状态, 同时操作标准装置和流量计进行测量, 运行一段时间后, 同时停止装置和流量计的测量, 分别记录装置和流量计的测量值。此过程重复进行 3 次。

d) 各校准点的油耗示值误差 δ_{Qi} 、重复性 R_{Qi} , 分别按式 (13)、(14) 计算:

$$\delta_{Qi} = \frac{\bar{Q}_i - \bar{Q}_{0i}}{\bar{Q}_{0i}} \times 100\% \quad (13)$$

$$R_{Qi} = \frac{Q_{i\max} - Q_{i\min}}{\bar{Q}_i} \times 100\% \quad (14)$$

式中: \bar{Q}_i ——第 i 校准点被校流量计示值算术平均值, kg;

\bar{Q}_{0i} ——第*i*校准点标准装置示值算术平均值, kg;

$Q_{i\max}$ 、 $Q_{i\min}$ ——第*i*校准点被校流量计 3 次示值的最大值和最小值, kg。

7.2.9 流量的校准

流量是指拖拉机与农机具联接处外部液压输出装置上的流量。

7.2.9.1 准备工作及要求

a) 校准用液体介质应与被校装置工作时液体一致。液体介质应清洁, 无颗粒、纤维等物质。

b) 一次校准过程中, 校准介质的温度变化应不超过 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 。

c) 将标准流量装置串接到加载试验台的流量测量系统中, 由动力机械带动, 在流量测量范围的 60% 处工作 2min, 无异常现象时可进行示值误差校准。

7.2.9.2 示值误差的测量

a) 以加载试验台的流量系统测量下限为校准起始点, 选择测量范围的 20%、60%、100% 为校准点。也可根据用户的需要选择校准点。

b) 在校准过程中, 每个流量点的每次实际流量与设定流量的偏差应不超过设定值的 $\pm 5\%$ 。

c) 把流量调节到设定的流量点, 运行至稳定状态, 利用视频设备可同步记录标准流量计和被校设备流量的初始示值, 按操作要求运行一段时间后, 设备停止运行。通过视频设备可采集一段时间的标准流量计和被校设备流量的最终示值 (一般为 1min)。此过程重复进行 3 次。

d) 各校准点的流量示值误差 δ_{Ei} , 按式 (15) 计算:

$$\delta_{Ei} = \frac{\bar{E}_i - \bar{E}_{0i}}{\bar{E}_{0i}} \times 100\% \quad (15)$$

式中: \bar{E}_i ——第*i*校准点被校设备流量示值算术平均值, L;

\bar{E}_{0i} ——第*i*校准点标准流量计示值算术平均值, L。

7.2.10 直流电流的校准

7.2.10.1 准备工作及要求

a) 被校设备的测量电流的钳口端面清洁、干净, 并保证两端面接触完好。

b) 测量时除被测导线外, 其它所有载流导体与被校设备之间的距离应大于 0.5m (包括被测导线弯曲部分)。

7.2.10.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备的测量范围均匀分布，一般按正极性选取 5 个校准点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 直流电流的校准采用标准源法。将被测导线或标准线匝置于被校表钳口近似几何中心位置，根据校准点设定标准源的直流电流输出值，记录被校设备的电流示值。

c) 各校准点的直流电流示值误差 δ_{Ai} ，按式（16）计算：

$$\delta_{Ai} = \frac{A_i - A_{0i}}{A_{0i}} \times 100\% \quad (16)$$

式中： A_i —第 i 校准点被校装置的直流电流示值，A；

A_{0i} —第 i 校准点标准源的直流电流示值，A。

7.2.11 直流电压的校准

7.2.11.1 准备工作及要求

a) 被校设备外形结构完好，外露件等不应损坏或脱落，端钮等应无影响正常工作的机械碰伤，按键无卡死或接触不良的现象。

b) 被校设备的供电电压和频率标志应正确无误，应按使用说明书的要求和规定进行预热。

c) 被校设备具有置零功能时，校准前应调零。

7.2.11.2 示值误差的测量

a) 校准点的选择按被校设备的测量范围均匀分布，一般按正极性选取 5 个校准点，也可根据用户的需要选择校准点。

b) 直流电压的校准采用标准源法。将标准源与被校设备正确并联，根据校准点设定标准源的直流电压输出值，记录被校设备的电压示值。

c) 各校准点的直流电压示值误差 δ_{vi} ，按式（17）计算：

$$\delta_{vi} = \frac{V_i - V_{0i}}{V_{0i}} \times 100\% \quad (17)$$

式中： V_i —第 i 校准点被校装置的直流电压示值，V；

V_{0i} —第 i 校准点标准源的直流电压示值，V。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书或报告时，至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 被校对象的接收日期、进行校准的日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 如可获得，任何调整或修理前后的结果；
- p) 适当时，给出意见和解释；
- q) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议1年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 拖拉机可靠性加载试验台校准证书（内页）格式

附录 B 拖拉机可靠性加载试验台校准原始记录格式

附录 C 拖拉机可靠性加载试验台测量结果的不确定度评定示例

附录 A

拖拉机可靠性加载试验台校准证书内页（推荐）

证书编号：×××××××

中国合格评定国家认可委员会实验室认可证书号：No. CNAS L×××××				
本次校准依据的技术规范：JJFZ（机械）014-2022				
校准环境及校准地点				
温度（℃）：		校准地点：		
相对湿度（%RH）：		其它：		
校准使用的计量标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级	溯源机构/证书编号	证书有效期

拖拉机可靠性加载试验台校准结果

一、外观及一般要求检查：					
二、温度的测量结果					
校准点（℃）					
示值误差（℃）					
示值误差（%）					
扩展不确定度（ $k=2$ ）					
三、压力的测量结果					
校准点（MPa）					
示值误差（%FS）					
扩展不确定度（ $k=2$ ）					
四、车速的测量结果					
校准点（km/h）					
示值误差（%）					
扩展不确定度（ $k=2$ ）					
五、转矩的测量结果					
校准点（Nm）					
示值误差（%FS）					
重复性（%FS）					
进回程差（%FS）					
扩展不确定度（ $k=2$ ）					
六、转速的测量结果					
校准点（r/min）					
示值误差（%FS）					
扩展不确定度（ $k=2$ ）					

证书编号：×××××××

拖拉机可靠性加载试验台校准结果（续）

七、牵引力的测量结果					
校准点 (kN)					
示值误差 (%FS)					
重复性 (%FS)					
扩展不确定度 ($k=2$)					
八、油耗的测量结果					
校准点 (g 或 kg)					
示值误差 (%)					
重复性 (%)					
扩展不确定度 ($k=2$)					
九、流量的测量结果					
校准点 (L/min)					
累积流量 (L)					
示值误差 (%)					
重复性 (%)					
扩展不确定度 ($k=2$)					
十、直流电流的测量结果					
校准点 (A)					
示值误差 (%)					
扩展不确定度 ($k=2$)					
十一、直流电压的测量结果					
校准点 (V)					
示值误差 (%)					
扩展不确定度 ($k=2$)					

(以下空白)

附录 B

拖拉机可靠性加载试验台校准原始记录格式 (推荐)

被校仪器信息	被校仪器名称			型号规格		出厂编号	
	生产厂家			角度量程		分辨力	
标准器具信息	标准器具名称	型号规格	测量范围	编号	准确度等级	溯源机构/证书编号	证书有效期
校准信息	校准地点	校准依据		校准日期	环境温度	环境湿度	其它

校准项目及内容												
外观及一般要求检查：												
温度	校准点/℃											
	标准	示值/℃										
		平均值/℃										
	被校	示值/℃										
		平均值/℃										
	示值误差/℃											
	示值误差/ %											
扩展不确定度 ($k=2$)												
压力	校准点/MPa											
	标准示值/MPa											
	被校示值 (升)/MPa											
	被校示值 (降)/MPa											
	示值误差/ %FS											
	扩展不确定度 ($k=2$)											
车速	校准点/ km/h											
	标准	示值/ km/h										
	平均值/ km/h											
	被校示值/ km/h											
	示值误差/ %											
扩展不确定度 ($k=2$)												
转矩	校准点/ Nm											
	砝码/ N											
	标准示值/ Nm											
	被校	示值/ Nm										
		平均值/ Nm										
	示值误差/ %FS											
	扩展不确定度 ($k=2$)											
	重复性/ %FS											
进回程差/ %FS												

专用杠杆的力臂长度=_____ m 当地的重力加速度=_____ m/s^2

表 (续)

转速	校准点/ r/min										
	标准	示值/ r/min									
		平均值/ r/min									
	被校	示值/ r/min									
		平均值/ r/min									
	示值误差/ %FS										
		扩展不确定度 ($k=2$)									
牵引力	校准点/ kN										
	标准示值/ kN										
	被校	示值/ kN									
		平均值/kN									
	示值误差/ %FS										
	扩展不确定度 ($k=2$)										
油耗	校准点/ kg/h		q_{\max}			$0.5q_{\max}$			$0.2q_{\max}$		
	标准	示值/kg									
		平均值/kg									
	被校	示值/kg									
		平均值/kg									
	示值误差/ %										
流量	校准点/ L/min										
	时间/ min										
	标准	示值/ L									
		平均值/ L									
	被校	示值/ L									
		平均值/ L									
直流电流	校准点/ A										
	标准示值/ A										
	被校示值/ A										
	示值误差/ %										
	扩展不确定度 ($k=2$)										
直流电压	校准点/ V										
	标准示值/ V										
	被校示值/ V										
	示值误差/ %										
	扩展不确定度 ($k=2$)										

校准编号:

校准日期:

校准人员:

审核人员:

批准人:

附录 C

拖拉机可靠性加载试验台测量结果的不确定度评定示例

C.1 温度示值误差的不确定度评定

C.1.1 校准用标准器及测量方法

C.1.1.1 校准用标准器

校准用标准器为温度标准装置,包括标准铂电阻温度计和标准铂铑 10-铂热电偶,测量范围: (0~1000) °C。

C.1.1.2 测量方法

在满足校准条件下,使用标准器和被校装置对温度源设定的温度进行采集、比较,以测量两次的平均值作为测量结果。

C.1.2 测量模型

$$\delta = t_i - T_i \quad (\text{C.1.1})$$

C.1.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial t} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial T} = -1 \quad (\text{C.1.2})$$

C.1.4 标准不确定度评定

经分析,测量不确定度的主要来源有温度测量标准的示值误差,被校设备温度的测量重复性,被校设备温度的显示仪表分辨力,温度源的温场不均匀性等引入的标准不确定度。

C.1.4.1 温度测量标准示值误差引入的不确定度分量 $u_1(T)$

以 100°C 和 1000°C 为例,查标准铂电阻温度计和标准铂铑 10-铂热电偶的检定证书,其示值误差分别为 $\Delta = \pm 0.04^\circ\text{C}$, $\Delta = \pm 0.008\text{mV} = \pm 1.09^\circ\text{C}$ 。采用 B 类评定方法,服从均匀分布,则

$$100^\circ\text{C 时: } u_1(T) = \frac{0.04^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.023^\circ\text{C} \quad (\text{C.1.3})$$

$$1000^\circ\text{C 时: } u_1(T) = \frac{1.09^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.629^\circ\text{C} \quad (\text{C.1.4})$$

C.1.4.2 被校设备温度测量重复性引入的不确定度分量 $u_2(t)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值与测量标准示值之差值的不重

复, 采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量, 得到单次实验标准差 $s=0.10^{\circ}\text{C}$ 。实际测量时, 取 2 次的平均值作为测量结果, 则

$$u_2(t) = \frac{0.10^{\circ}\text{C}}{\sqrt{2}} = 0.0707^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 1. 5})$$

C. 1. 4. 3 被校设备温度显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(t)$

被校设备温度显示仪表分辨力为 0.1°C , 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.05^{\circ}\text{C}$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_3(t) = \frac{0.05^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0289^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 1. 6})$$

可以看出, $u_3(t)$ 远小于 $u_2(t)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备温度显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C. 1. 4. 4 温度源温场不均匀性引入的不确定度分量 $u_4(T)$

温度源提供的温场, 根据设备的技术指标, 其最大不均匀性不超过 0.1°C , 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.05^{\circ}\text{C}$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_4(T) = \frac{0.05^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0289^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 1. 7})$$

C. 1. 5 合成标准不确定度

C. 1. 5. 1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C. 1. 1。

表 C. 1. 1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(T)$	温度测量标准的示值误差	100℃时: 0.023°C 1000℃时: 0.629°C
$u_2(t)$	被校设备温度的测量重复性	0.0707°C
$u_4(T)$	温度源温场的不均匀性	0.0289°C

C. 1. 5. 2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$100^{\circ}\text{C} \text{ 时: } u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(t) + c_2^2 u_1^2(T) + c_2^2 u_4^2(T)} = 0.080^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 1. 8})$$

$$1000^{\circ}\text{C} \text{ 时: } u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(t) + c_2^2 u_1^2(T) + c_2^2 u_4^2(T)} = 0.63^{\circ}\text{C} \quad (\text{C. 1. 9})$$

C.1.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$100^{\circ}\text{C时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.080\% = 0.16\%, U_{rel} = 0.16\% \quad (\text{C. 1. 10})$$

$$1000^{\circ}\text{C时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.63\% = 1.3\%, U_{rel} = 0.13\% \quad (\text{C. 1. 11})$$

C.2 压力示值误差的不确定度评定

C.2.1 校准用标准器及测量方法

C.2.1.1 校准用标准器

校准用标准器为压力标准装置, 测量范围: (0~35) MPa; 示值允许误差: $\pm 0.1\%$ 。

C.2.1.2 测量方法

在满足校准条件下, 将标准器、被校装置、压力源正确联接, 使用标准器和被校装置对设定的压力进行采集、比较, 以一次测量值作为测量结果。

C.2.2 测量模型

$$\delta = P_i - P_{0i} \quad (\text{C. 2. 1})$$

C.2.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial P} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial P_0} = -1 \quad (\text{C. 2. 2})$$

C.2.4 标准不确定度评定

经分析, 测量不确定度的主要来源有压力测量标准的示值误差, 被校设备压力的测量重复性, 被校设备压力的显示仪表分辨力, 受压点高度差等引入的标准不确定度。

C.2.4.1 压力测量标准示值误差引入的不确定度分量 $u_1(P_0)$

以 35MPa 为例, 标准数字压力计的示值允许误差 $\pm 0.1\%$ 。采用 B 类评定方法, 服从均匀分布, 则

$$u_1(P_0) = \frac{0.001 \times 35 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.0202 \text{ MPa} \quad (\text{C. 2. 3})$$

C.2.4.2 被校设备压力测量重复性引入的不确定度分量 $u_2(P)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复, 采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量, 得到单次实验标准差, $s=0.00120 \text{ MPa}$ 。实际测量时, 取 1 次测量值作为测量结果, 则

$$u_2(P) = \frac{0.00120 \text{ MPa}}{\sqrt{1}} = 0.0012 \text{ MPa} \quad (\text{C. 2. 4})$$

C. 2. 4. 3 被校设备压力的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(P)$

被校设备压力的显示仪表分辨力为 0.001MPa, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.0005 \text{ MPa}$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_3(P) = \frac{0.0005 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.000289 \text{ MPa} \quad (\text{C. 2. 5})$$

可以看出, $u_3(P)$ 远小于 $u_2(P)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备压力的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C. 2. 4. 4 受压点高度差引入的不确定度分量 $u_4(P)$

将标准器、被校装置、压力源正确联接, 此时标准器与被校装置基本在一个水平面, 因此由受压点高度差引入的不确定度对测量结果影响可忽略。

C. 2. 5 合成标准不确定度

C. 2. 5. 1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C. 2. 1。

表 C. 2. 1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(P_0)$	压力测量标准的示值误差	0.0202MPa
$u_2(P)$	被校设备压力的测量重复性	0.0012MPa

C. 2. 5. 2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_2^2 u_1^2(P_0) + c_1^2 u_2^2(P)} = 0.020 \text{ MPa} \quad (\text{C. 2. 6})$$

C. 2. 6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$35 \text{ MPa 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.020 \text{ MPa} = 0.040 \text{ MPa} \quad U_{rel} = 0.12\% \quad (\text{C. 2. 7})$$

C. 3 车速示值误差的不确定度评定

C. 3. 1 校准用标准器及测量方法

C. 3. 1. 1 校准用标准器

校准用标准器为组合式转速计，型号：FLUKE931；量程：（0.10~1999）m/min；允许误差：±0.02%读数+1 个字。

C.3.1.2 测量方法

在满足校准条件下，将组合式转速计正确与被校设备的转鼓连接，在同一校准点连续读取并记录组合式转速计的6个显示值，以平均值与被校设备的车速示值相比较，得到车速示值误差。

C.3.2 测量模型

$$\delta = Z_i - Z_{0i} \quad (\text{C.3.1})$$

C.3.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial Z} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial Z_0} = -1 \quad (\text{C.3.2})$$

C.3.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有组合式转速计的示值误差，被校设备车速的显示仪表分辨力等引入的标准不确定度。

C.3.4.1 组合式转速计示值误差引入的不确定度分量 $u_1(Z_0)$

以 30km/h 为例，组合式转速计的示值允许误差±0.110m/min。采用 B 类评定方法，服从均匀分布，则

$$u_1(Z_0) = \frac{0.110 \text{ m/min}}{\sqrt{3}} = 0.064 \text{ m/min} = 0.0038 \text{ km/h} \quad (\text{C.3.3})$$

C.3.4.2 被校设备车速的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_2(Z)$

被校设备车速分辨力为 0.1km/h，采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.05\text{km/h}$ ，该分布服从均匀分布，则

$$u_2(Z) = \frac{0.05 \text{ km/h}}{\sqrt{3}} = 0.0289 \text{ km/h} \quad (\text{C.3.4})$$

C.3.5 合成标准不确定度

C.3.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.3.1。

表 C.3.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
--------	--------	-----------

$u_1(Z_0)$	组合式转速计的示值误差	0.0038km/h
$u_2(Z)$	被校设备车速的显示仪表分辨力	0.0289km/h

C.3.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关，故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_2^2 u_1^2(Z_0) + c_1^2 u_2^2(Z)} = 0.029 \text{ km/h} \quad (\text{C.3.5})$$

C.3.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，则

$$30 \text{ km/h 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.029 \text{ km/h} = 0.06 \text{ km/h} \quad U_{\text{rel}} = 0.20\% \quad (\text{C.3.6})$$

C.4 转矩示值误差的不确定度评定

C.4.1 校准用标准器及测量方法

C.4.1.1 校准用标准器

校准用标准器具为专用砝码，M3 级；允许误差： $\pm 0.05\%$ ；校准专用杠杆为 1.00m；当地重力加速度为 9.796 m/s^2 。

C.4.1.2 测量方法

在满足校准条件下，通过专用杠杆与标准砝码施加标准转矩值，读取被校装置的转矩显示值，此过程进行 3 次，由加载的标准转矩值与被校装置 3 次的转矩平均值计算得到示值误差。

C.4.2 测量模型

$$\delta = \bar{T}_{11} - M_i \quad (\text{C.4.1})$$

C.4.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial T} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial M} = -1 \quad (\text{C.4.2})$$

C.4.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有转矩测量标准装置的示值误差，被校设备的转矩测量重复性，被校设备的转矩分辨力等引入的标准不确定度。

C.4.4.1 由标准装置引入的标准不确定度分量 $u_1(M)$

$$M_i = m_i \times g \times L \quad (\text{C.4.3})$$

由校准专用杠杆引入的不确定度，查校准专用杠杆的校准证书，其允许误差为士

0.1%；当地的重力加速度依当地实际重力加速度取小数点后三位，其舍入误差为±0.005m/s²；以140kg的专用砝码为例，其允许误差为±0.05%，可知其允许误差为±70g；施加力由标准砝码经校准专用杠杆转换为转矩。

m的允许误差服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u_1(m) = \frac{70g}{\sqrt{3}} = 0.0404kg \quad (C.4.4)$$

g的舍入误差服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u_1(g) = \frac{0.0005m/s^2}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-4} m/s^2 \quad (C.4.5)$$

校准专用杠杆长度L为1.00m，服从均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u_1(L) = \frac{0.1\% \times 1.00m}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-4} m \quad (C.4.6)$$

各分量互不相关，由标准装置的各不确定度分量见表C.4.1。

表 C.4.1 标准装置的不确定度分量表

砝码 kg	各分量 kg	系数 C_i	各分量 m/s ²	系数 C_i	各分量 m	系数 C_i	$u_1(M)$ Nm
140	0.0404	9.796	2.89×10^{-4}	140	5.77×10^{-4}	1371.44	0.886

合成标准装置的标准不确定度：

$$u_1(M) = \sqrt{\left[\frac{\partial M}{\partial m} \cdot u_1(m) \right]^2 + \left[\frac{\partial M}{\partial g} \cdot u_1(g) \right]^2 + \left[\frac{\partial M}{\partial L} \cdot u_1(L) \right]^2} \quad (C.4.7)$$

C.4.4.2 被校设备转矩测量重复性引入的不确定度分量 $u_2(T)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复，采用A类评定方法。对被校设备在重复性条件下做10次测量，得到单次实验标准差，1371Nm（140kg）时，s=0.592Nm。实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则

$$u_2(T) = \frac{0.592Nm}{\sqrt{3}} = 0.342Nm \quad (C.4.8)$$

C.4.4.3 被校设备转矩的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(T)$

被校设备转矩的显示仪表分辨力为1Nm，采用B类评定方法。区间半宽a=0.5Nm，该分布服从均匀分布，则

$$u_3(T) = \frac{0.5Nm}{\sqrt{3}} = 0.289Nm \quad (C.4.9)$$

可以看出, $u_3(T)$ 小于 $u_2(T)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备转矩分辨力引入的不确定度分量。

C.4.5 合成标准不确定度

C.4.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.4.2。

表 C.4.2 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(M)$	转矩测量标准的示值误差	0.886Nm
$u_2(T)$	被校设备转矩的测量重复性	0.342Nm

C.4.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_2^2 u_1^2(M) + c_1^2 u_2^2(T)} = 0.95Nm \quad (C.4.10)$$

C.4.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$1371Nm \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.95Nm = 1.9Nm \square U_{rel} = 0.14\% \quad (C.4.11)$$

C.5 转速示值误差的不确定度评定

C.5.1 校准用标准器及测量方法

C.5.1.1 校准用标准器

校准用标准器具为组合式转速计, 量程: (0~20000) r/min, 允许误差: $\pm 0.02\%$ 读数+1 个字。

C.5.1.2 测量方法

在满足校准条件下, 通过组合式转速计测量出标准转速值, 同时读取被校装置转速显示值, 直接进行比较, 此过程进行 3 次, 由标准转速值与被校装置的 3 次的转速平均值计算得到示值误差。

C.5.2 测量模型

$$\delta = \bar{n}_i - \bar{n}_{0i} \quad (C.5.1)$$

C.5.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial n} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial n_0} = -1 \quad (\text{C.5.2})$$

C.5.4 标准不确定度评定

经分析,测量不确定度的主要来源有组合式转速计的示值误差,被校设备的转速测量重复性,被校设备的转速分辨力等引入的标准不确定度。

C.5.4.1 由组合式转速计引入的标准不确定度分量 $u_1(n_0)$

组合式转速计误差为 $\pm 0.02\%$ 读数 + 1 个字,以 1500r/min 为例,组合式转速计的绝对允许误差为 $\pm 1.3\text{r/min}$,其标准不确定度分量为:

$$u_1(n_0) = \frac{1.3\text{r/min}}{\sqrt{3}} = 0.75\text{r/min} \quad (\text{C.5.3})$$

C.5.4.2 被校设备转速测量重复性引入的不确定度分量 $u_2(n)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复,采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量,得到单次实验标准差,1500r/min 时, $s=0.64\text{r/min}$ 。实际测量时,取 3 次测量值的平均值作为测量结果,则

$$u_2(n) = \frac{0.64\text{r/min}}{\sqrt{3}} = 0.37\text{r/min} \quad (\text{C.5.4})$$

C.5.4.3 被校设备转速的显示仪表分辨力引入的不确定度分量

被校设备转速的显示仪表分辨力为 1r/min,采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.5\text{r/min}$,该分布服从均匀分布,则 $u_3(n)$

$$u_3(n) = \frac{0.5\text{r/min}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{r/min} \quad (\text{C.5.5})$$

可以看出, $u_3(n)$ 小于 $u_2(n)$,为避免重复计算,舍去被校设备转速的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C.5.5 合成标准不确定度

C.5.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.5.1。

表 C.5.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(n_0)$	转速测量标准的示值误差	0.75r/min

$u_2(n)$	被校设备转速的测量重复性	0.37r/min
----------	--------------	-----------

C.5.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关，故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_2^2(n) + c_2^2 u_1^2(n_0)} = 0.84r/\min \quad (C.5.6)$$

C.5.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，则

$$1500r/\min \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.84r/\min = 1.7r/\min \square U_{rel} = 0.11\% \quad (C.5.7)$$

C.6 牵引力示值误差的不确定度评定

C.6.1 校准用标准器及测量方法

C.6.1.1 校准用标准器

校准用标准器具为力值标准装置，量程：（0~200）kN，允许误差：±0.1%FS。

C.6.1.2 测量方法

在满足校准条件下，将标准测力仪与被校装置的力传感器正确连接，通过力值标准装置施加一标准力值，读取被校装置牵引力显示值，以3次平均值为测量结果，直接进行比较，由标准力值与被校装置的牵引力平均值计算得到示值误差。

C.6.2 测量模型

$$\delta = \bar{F}_i - F_{0i} \quad (C.6.1)$$

C.6.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial F} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial F_0} = -1 \quad (C.6.2)$$

C.6.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有力值标准装置的示值误差，标准器与被校力传感器安装时的不同轴度，被校设备牵引力的测量重复性，被校设备牵引力的显示仪表分辨力等引入的标准不确定度。

C.6.4.1 由力值标准装置引入的标准不确定度分量 $u_1(F_0)$

力值标准装置的量程：（0~200）kN，允许误差：±0.1%FS，以100kN为例，力值标准装置的绝对允许误差为±0.2kN，其标准不确定度分量为：

$$u_1(F_o) = \frac{0.2kN}{\sqrt{3}} = 0.115kN \quad (C.6.3)$$

C.6.4.2 由标准器与被校力传感器安装时的不同轴度引入的标准不确定度分量 $u_2(F_o)$

将被校设备的力传感器同轴地安装在力值标准装置中, 由于不能完全保证同轴引入的误差不超过 $\pm 0.05\%$, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.05\%$, 该分布服从均匀分布, 则:

$$u_2(F_o) = \frac{0.05\% \times 100kN}{\sqrt{3}} = 0.029kN \quad (C.6.4)$$

C.6.4.3 各分量互不相关, 合成标准不确定度:

$$u(F_o) = \sqrt{0.115^2 + 0.029^2} = 0.119kN \quad (C.6.5)$$

C.6.4.4 被校设备牵引力的测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(F)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复, 采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量, 得到单次实验标准差, 100kN 时, $s=0.024kN$ 。实际测量时, 取 3 次测量值的平均值作为测量结果, 则

$$u_1(F) = \frac{0.024kN}{\sqrt{3}} = 0.014kN \quad (C.6.6)$$

C.6.4.5 被校设备牵引力的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_2(F)$

被校设备牵引力的显示仪表分辨力为 0.01kN, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.005kN$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_2(F) = \frac{0.005kN}{\sqrt{3}} = 0.003kN \quad (C.6.7)$$

可以看出, $u_2(F)$ 远小于 $u_1(F)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备牵引力的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C.6.5 合成标准不确定度

C.6.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.6.1。

表 C.6.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
--------	--------	-----------

$u(F_0)$	力值标准装置的示值误差及安装时不同轴度	0.119kN
$u_1(F)$	被校设备牵引力的测量重复性	0.014kN

C.6.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关，故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(F) + c_2^2 u^2(F_0)} = 0.12kN \quad (C.6.8)$$

C.6.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，则

$$100kN \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.12kN = 0.24kN \square U_{rel} = 0.24\% \quad (C.6.9)$$

C.7 油耗示值误差的不确定度评定

以质量法油耗仪的校准为例。

C.7.1 校准用标准器及测量方法

C.7.1.1 校准用标准器

校准用标准器具为砝码，型号规格：1kg~5kg，准确度等级：F₂级。

C.7.1.2 测量方法

在满足校准条件下，使用标准砝码平稳的放置在称重传感器托盘正中，用目测观察油耗仪显示仪表示值，待示值稳定后记录示值误差。

C.7.2 测量模型

$$\delta = \bar{m}_i - X_i \quad (C.7.1)$$

C.7.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial m} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial X} = -1 \quad (C.7.2)$$

C.7.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有砝码标称质量，被校设备油耗仪的测量重复性以及显示仪表分辨力等引入的标准不确定度。

C.7.4.1 由砝码标称质量引入的标准不确定度分量 $u_1(X)$

砝码的型号规格：1kg~5kg，准确度等级：F₂级。以 2kg 校准点为例，其允许误差： $\pm 0.03g$ ，其标准不确定度分量为：

$$u_1(X) = \frac{0.03g}{\sqrt{3}} = 0.017g \quad (C.7.3)$$

C.7.4.2 被校设备油耗仪的测量重复性引起的标准不确定度分量 $u_2(m)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复, 采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量, 得到单次实验标准差, 2kg 时, $s=0.205g$ 。实际测量时, 取 3 次测量值的平均值作为测量结果, 则

$$u_2(m) = \frac{0.205g}{\sqrt{3}} = 0.118g \quad (C.7.4)$$

C.7.4.3 被校设备油耗仪的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(m)$

被校设备耗仪显示仪表读数分辨力为 0.1g, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.05g$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_3(m) = \frac{0.05g}{\sqrt{3}} = 0.029g \quad (C.7.5)$$

可以看出, $u_3(m)$ 远小于 $u_2(m)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备油耗仪显示仪表读数分辨力引入的不确定度分量。

C.7.5 合成标准不确定度

C.7.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.7.1。

表 C.7.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(X)$	砝码标称质量	0.017g
$u_2(m)$	被校设备油耗仪的测量重复性	0.118g

C.7.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(X) + c_2^2 u_2^2(m)} = 0.12g \quad (C.7.6)$$

C.7.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$2kg \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.12g = 0.24g \quad U_{rel} = 0.01\% \quad (C.7.7)$$

C.8 流量示值误差的不确定度评定

C.8.1 校准用标准器及测量方法

C.8.1.1 校准用标准器

校准用标准器具为标准流量计，量程（0~250）L/min，允许误差：±0.1%。

C.8.1.2 测量方法

在满足校准条件下，将标准流量装置串接到被校设备的流量测量系统中，运行至稳定状态，通过视频设备采集一段时间的标准流量计和被校设备流量的示值，此过程重复3次，以平均值来计算流量示值误差。

C.8.2 测量模型

$$\delta = \bar{E}_i - \bar{E}_0 \quad (\text{C.8.1})$$

C.8.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial E} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial E_0} = -1 \quad (\text{C.8.2})$$

C.8.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有标准流量计示值误差，采集数据的不同步，被校设备流量的测量重复性以及显示仪表分辨力等引入的标准不确定度。

C.8.4.1 由标准流量计示值误差引入的标准不确定度分量 $u_1(E_0)$

标准流量计，允许误差：±0.1%。以100L/min校准点为例，1min累计流量为100L，允许误差：±0.1L，其标准不确定度分量为：

$$u_1(E_0) = \frac{0.1L}{\sqrt{3}} = 0.058L \quad (\text{C.8.3})$$

C.8.4.2 采集数据的不同步引入的标准不确定度分量 $u_2(E_0)$

由于标准流量计和被校设备是串接在一起，根据经验，由于标准与被校流量的采集数据不同步，在100L/min校准点时带来的流量误差不超过：0.167L。采用B类评定方法。区间半宽 $a=0.084L$ ，该分布服从均匀分布，则

$$u_2(E_0) = \frac{0.084L}{\sqrt{3}} = 0.048L \quad (\text{C.8.4})$$

C.8.4.3 各分量互不相关，合成标准不确定度：

$$u(E_0) = \sqrt{u_1(E_0)^2 + u_2(E_0)^2} = 0.075L \quad (\text{C.8.5})$$

C.8.4.4 被校设备流量的测量重复性引起的标准不确定度分量 $u_1(E)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复, 采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量, 得到单次实验标准差, 100L/min 时, $s=0.085L$ 。实际测量时, 取 3 次测量值的平均值作为测量结果, 则

$$u_1(E) = \frac{0.085L}{\sqrt{3}} = 0.049L \quad (C.8.6)$$

C.8.4.5 被校设备流量的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_2(E)$

被校设备流量的显示仪表分辨力为 0.01L, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.005L$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_2(E) = \frac{0.005L}{\sqrt{3}} = 0.0029L \quad (C.8.7)$$

可以看出, $u_2(E)$ 远小于 $u_1(E)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备流量的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C.8.4.6 由于加载试验台的流量参数准确度等级要求不高, 且现场校准条件受限, 故校准介质膨胀系数, 被校流量计和标准流量计的液体温度等引入的标准不确定度分量, 对测量结果影响可忽略。

C.8.5 合成标准不确定度

C.8.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.8.1。

表 C.8.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u(E_0)$	标准流量计示值误差及数据采集的不同步	0.075L
$u_1(E)$	被校设备流量的测量重复性	0.049L

C.8.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(E) + c_2^2 u^2(E_0)} = 0.09L \quad (C.8.8)$$

C.8.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

100L/min (累计流量 100L) 时:

$$U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.09L = 0.18L \square U_{rel} = 0.18\% \quad (C.8.9)$$

C.9 直流电流示值误差的不确定度评定

C.9.1 校准用标准器及测量方法

C.9.1.1 校准用标准器

校准用标准器具及配套设备为多功能标准源、跨导放大器、线匝，量程(0.1~2000)

A，允许误差： $\pm(0.01\% \times \text{输出值} + 0.005\% \times \text{满量程})$ 。

C.9.1.2 测量方法

在满足校准条件下，将被测导线或标准线匝置于被校表钳口近似几何中心位置，根据校准点设定标准源的直流电流输出值，记录被校设备的电流示值，通过计算得到直流电流的示值误差。

C.9.2 测量模型

$$\delta = A_i - A_0 \quad (C.9.1)$$

C.9.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial A} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial A_0} = -1 \quad (C.9.2)$$

C.9.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有标准器示值误差，被校设备直流电流的测量重复性以及显示仪表读数分辨力等引入的标准不确定度。

C.9.4.1 由标准器示值误差引入的标准不确定度分量 $u_1(A_0)$

由多功能标准源、跨导放大器、线匝组合的标准器，量程(0.1~2000)A，允许误差： $\pm(0.01\% \times \text{输出值} + 0.005\% \times \text{满量程})$ ，以1000A校准点为例，允许误差： $\pm 0.2A$ ，其标准不确定度分量为：

$$u_1(A_0) = \frac{0.2A}{\sqrt{3}} = 0.115A \quad (C.9.3)$$

C.9.4.2 被校设备直流电流的测量重复性引起的标准不确定度分量 $u_2(A)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复，采用A类评定方法。对被校设备在重复性条件下做10次测量，得到单次实验标准差，1000A时， $s=0.135A$ 。实际测量时，取1次测量值作为测量结果，则

$$u_2(A) = \frac{0.135A}{\sqrt{1}} = 0.135A \quad (\text{C.9.4})$$

C.9.4.3 被校设备直流电流的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(A)$

被校设备直流电流的显示仪表分辨力为 0.01A, 采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.005A$, 该分布服从均匀分布, 则

$$u_3(A) = \frac{0.005A}{\sqrt{3}} = 0.0029A \quad (\text{C.9.5})$$

可以看出, $u_3(A)$ 远小于 $u_2(A)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备直流电流的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C.9.4.4 由于导线近似置于钳口几何中心位置, 近似与电流互感器窗口垂直, 其引入的不确定度可归为重复性引入的不确定度, 导线长度基本符合校准规范的规定, 对测量结果影响可忽略。

C.9.5 合成标准不确定度

C.9.5.1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C.9.1。

表 C.9.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(A_0)$	标准器示值误差	0.115A
$u_2(A)$	被校设备直流电流的测量重复性	0.135A

C.9.5.2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_2^2(A) + c_2^2 u_1^2(A_0)} = 0.18A \quad (\text{C.9.6})$$

C.9.6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$1000A \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.18A = 0.36A \quad U_{rel} = 0.04\% \quad (\text{C.9.7})$$

C.10 直流电压示值误差的不确定度评定

C.10.1 校准用标准器及测量方法

C.10.1.1 校准用标准器

校准用标准器具多功能标准源，量程：0~±1020V，查校准证书，直流电压 1000V 的扩展不确定度： $U=0.002V$ （ $k=2$ ）。

C. 10.1.2 测量方法

在满足校准条件下，将标准源与被校设备正确并联，根据校准点设定标准源的直流电压输出值，记录被校设备直流电压示值，通过计算得到直流电压的示值误差。

C. 10.2 测量模型

$$\delta = V_i - V_0 \quad (C. 10. 1)$$

C. 10.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial V} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial V_0} = -1 \quad (C. 10. 2)$$

C. 10.4 标准不确定度评定

经分析，测量不确定度的主要来源有多功能标准源的直流电压示值，被校设备直流电压的测量重复性以及显示仪表分辨力等引入的标准不确定度。

C. 10.4.1 由多功能标准源直流电压的示值引入的标准不确定度分量 $u_1(V_0)$

由多功能标准源的校准证书，可知直流电压 1000V，扩展不确定度为： $U=0.002V$ （ $k=2$ ），其标准不确定度分量为：

$$u_1(V_0) = \frac{0.002V}{2} = 0.001V \quad (C. 10. 3)$$

C. 10.4.2 被校设备直流电压的测量重复性引起的标准不确定度分量 $u_2(V)$

被校设备的短期不确定性均会导致被校设备示值的不重复，采用 A 类评定方法。对被校设备在重复性条件下做 10 次测量，得到单次实验标准差，1000V 时， $s=0.067V$ 。实际测量时，取 1 次测量值作为测量结果，则

$$u_2(V) = \frac{0.067V}{\sqrt{1}} = 0.067V \quad (C. 10. 4)$$

C. 10.4.3 被校设备直流电压的显示仪表分辨力引入的不确定度分量 $u_3(V)$

被校设备直流电压的显示仪表分辨力为 0.01V，采用 B 类评定方法。区间半宽 $a=0.005V$ ，该分布服从均匀分布，则

$$u_3(V) = \frac{0.005V}{\sqrt{3}} = 0.0029V \quad (C. 10. 5)$$

可以看出, $u_3(V)$ 远小于 $u_2(V)$, 为避免重复计算, 舍去被校设备直流电压的显示仪表分辨力引入的不确定度分量。

C. 10. 5 合成标准不确定度

C. 10. 5. 1 不确定度分量汇总表

各不确定度分量汇总见表 C. 10. 1。

表 C. 10. 1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_1(V_0)$	多功能标准源的直流电压示值	0.001V
$u_2(V)$	被校设备直流电压的测量重复性	0.067V

C. 10. 5. 2 合成标准不确定度计算

由于各不确定度分量互不相关, 故

$$u_c(\delta) = \sqrt{c_1^2 u_2^2(V) + c_2^2 u_1^2(V_0)} = 0.07V \quad (\text{C. 10. 6})$$

C. 10. 6 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$, 则

$$1000V \text{ 时: } U = 2 \times u_c(\delta) = 2 \times 0.07V = 0.14V \square U_{rel} = 0.01\% \quad (\text{C. 10. 7})$$