



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF (电子) 0102—2023

自动扶梯综合检测仪校准规范

Calibration Specification for Escalator Integrated Testers

(报批稿)

2023-××-××发布

2023-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

自动扶梯综合检测仪校准规范

Calibration Specification for
Escalator Integrated Testers

JJF (电子)0102-2023

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：广电计量检测集团股份有限公司

参加起草单位：深圳市引力电子科技有限公司

珠海市安粤科技有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

黎 明（广电计量检测集团股份有限公司）

黄沃文（广电计量检测集团股份有限公司）

郭鑫鑫（广电计量检测集团股份有限公司）

龚俊庆（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

张尧良（深圳市引力电子科技有限公司）

叶凌华（广电计量检测集团股份有限公司）

刘晓琴（广电计量检测集团股份有限公司）

张俊豪（珠海市安粤科技有限公司）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其它设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准前准备	3
7.3 线速度	4
7.4 制停距离	4
7.5 速度/减速度	5
7.6 频率	5
8 校准结果表达	6
9 复校时间间隔	6
附录 A 原始记录格式	7
附录 B 校准证书内页格式	9
附录 C 测量结果的不确定度评定示例	11

引 言

本校准规范依据国家计量技术规范 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

自动扶梯综合检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量自动扶梯或自动人行道的自动扶梯综合检测仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1801-2020 线速度测量仪校准规范

GB 16899-2011 自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范

GB/T 24474.2-2020 乘运质量测量 第2部分：自动扶梯和自动人行道

TSG T7005-2012 电梯监督检验和定期检验规则——自动扶梯和自动人行道

CPASE MT002-2016 自动扶梯和自动人行道超速保护及非操纵逆转保护装置动作的外接变频驱动试验方法

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 术语和计量单位

3.1 制停距离 stopping distance

制停过程直至停机时所走过的距离，单位为 m；

3.2 加速度/减速度 acceleration/deceleration

速度的变化率，单位为 m/s^2 。

[GB/T 24474.2-2020, 定义3.3]

4 概述

自动扶梯综合检测仪（以下简称检测仪）是测量自动扶梯或自动人行道线速度、制停距离、加速度/减速度参数及超速保护和非操纵逆转保护功能的专用测试设备。一般由驱动器（或变频器）、控制面板和传感器三部分组成，工作时传感器与阶梯/踏板或扶手带接触，测量阶梯或扶手带的线速度、制停距离和加速度/减速度；驱动器（或变频器）产生变频信号用于控制电梯运行速度与方向。典型的检测仪结构如下图 1 所示。

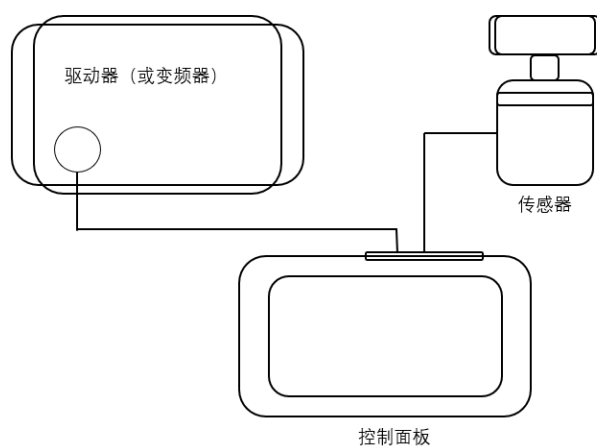


图 1 自动扶梯综合检测仪典型结构示意图

5 计量特性

5.1 线速度

测量范围：（-10~10）m/s；最大允许误差：±1%。

5.2 制停距离

测量范围：（0.2~10）m；最大允许误差：±1%。

5.3 加速度/减速度

测量范围：（-10~10）m/s²；最大允许误差：±3%。

5.4 频率

范围：（20~300）Hz；最大允许误差：±1%。

注：以上范围及指标不适用于合格性判定，仅供参考。校准范围上限根据被校检测仪的使用范围上限而定。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（23±5）℃。

6.1.2 环境相对湿度：≤85%。

6.1.3 其他：周围无影响正常校准工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 自动扶梯综合检测仪校准装置

速度范围：（-10~10）m/s，最大允许误差： $\pm 0.3\%$ ；

距离范围：（-0.2~10）m，最大允许误差： $\pm 0.3\%$ ；

加/减速度范围：（-10~10）m/s²，最大允许误差： $\pm 1.0\%$ 。

6.2.2 钳形电流表

频率范围：（20~300）Hz，最大允许误差： $\pm 0.3\%$ 。

6.2.3 卡尺

测量范围：（0~150）mm，最大允许误差： $\pm 0.03\text{mm}$ 。

注：可使用满足上述要求的同参量设备。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

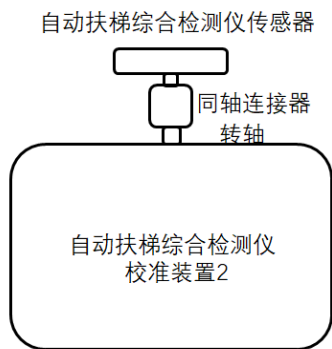
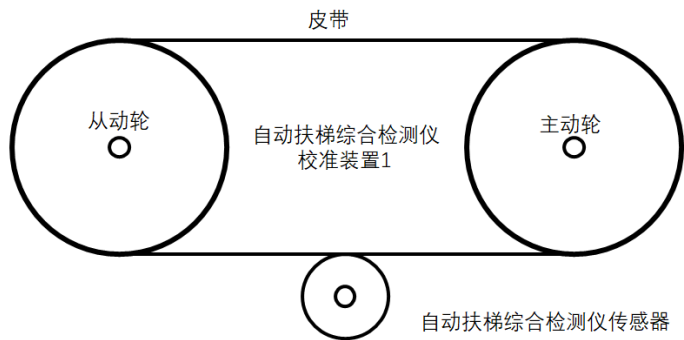
校准项目见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	线速度	7.3
2	制停距离	7.4
3	加速度/减速度	7.5
4	频率	7.6
注：配备有多个传感器的自动扶梯综合检测仪，应对传感器进行逐个校准。		

7.2 校准前准备

将被校检测仪的传感器（以下简称传感器）正确安装到自动扶梯综合检测仪校准装置（以下简称校准装置）上，如采用摩擦传动方式，确认传感器与校准装置接触良好，并且使二者的旋转轴线互相平行，启动校准装置，被校传感器应能正常运行，无打滑跳动现象。如采用同轴联接传动方式，应确保二者轮轴同心。



7.3 线速度

一般选择0.50 m/s、0.65 m/s、0.75 m/s 、0.90 m/s、1.35 m/s 校准点，测量上限、下限根据使用范围要求进行校准。校准装置带动传感器转动。待稳定后开始测量，同一校准点连续读取自动扶梯综合检测仪5次线速度示值，取平均值作为测量结果。各校准点线速度示值相对误差按式（1）计算。可根据需要，对传感器进行反方向校准。

$$\delta \text{ 错误！未找到引用源。} = \text{错误！未找到引用源。} \times 100\%$$

(1)

式中：

δ 错误！未找到引用源。——线速度示值相对误差，%；

错误！未找到引用源。——第*i*校准点自动扶梯综合检测仪5次线速度测量平均值，m/s；

错误！未找到引用源。——第*i*校准点自动扶梯综合检测仪校准装置设定线速度，m/s。

7.4 制停距离

一般选取0.2 m、0.5 m、1.0 m、1.7 m、2.0 m在内不少于5个校准点。测量上限根据使用范围进行校准。设定校准装置运行距离，带动传感器转动。同一校准点连续读取检测仪3次制停距离示值，取平均值作为测量结果。各校准点制停距离示值相对误差按式（2）计算。可根据需要，对传感器进行反方向校准。

$$\delta_{\text{错误!未找到引用源。}} = \text{错误!未找到引用源。} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\delta_{\text{错误!未找到引用源。}}$ ——制停距离示值相对误差，%；

错误!未找到引用源。 ——第*i*校准点被校检测仪3次测量距离平均值，m；

错误!未找到引用源。 ——第*i*校准点校准装置设定距离，m。

7.5 加速度/减速度

一般选取0.5 m/s²、1.0 m/s²在内不少于3个校准点，测量上限根据使用范围要求进行校准。设定校准装置的运行加速度/减速度，同一校准点连续读取检测仪5次加/减速度示值，取平均值作为测量结果。各校准点示值相对误差按式（3）计算。可根据需要，对传感器进行反方向校准。

$$\delta_{\text{错误!未找到引用源。}} = \text{错误!未找到引用源。} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\delta_{\text{错误!未找到引用源。}}$ ——加速度/减速度示值相对误差，%；

错误!未找到引用源。 ——第*i*校准点被校检测仪5次测量加速度/减速度平均值，m/s²；

错误!未找到引用源。 ——第*i*校准点校准装置设定加速度/减速度，m/s²。

7.6 频率

在频率设定范围内选取不少于3个校准点，用钳形电流表对检测仪的设定频率进行测量，同一校准点连续读取检测仪3次频率示值，取平均值作为测量结果。各校准点相对示值误差按式（4）计算：

$$\Delta_{\text{错误!未找到引用源。}} = \text{错误!未找到引用源。} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\Delta_{\text{错误!未找到引用源。}}$ ——频率示值相对误差，%；

错误！未找到引用源。——第 i 校准点被校检测仪频率设定示值，Hz；

错误！未找到引用源。——钳形电流表 3 次平均值，Hz。

8 校准结果表达

自动扶梯综合检测仪校准后，出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- 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），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校准对象的描述和明确标识；
- g) 校准的日期，如果与校准结果的有效性有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 校准证书（报告）签发人的签名或等效标识；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 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

原始记录格式

A.1 线速度

表 A.1 线速度

标准值	示值(m/s)					平均值	示值 误差	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$
m/s	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	m/s	%	%

A.2 制停距离

A.2 制停距离

标准值	示值(m)			平均值	示值 误差	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$
m	第一次	第二次	第三次	m	%	%

A.3 加（减）速度

A.3 加（减）速度校准

标准值	示值(m/s ²)					平均值	示值 误差	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$
m/s ²	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	m/s ²	%	%

A.4 频率

A. 4 频率

设置值	实测值(Hz)			平均值	示值 误差	扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$
Hz	第一次	第二次	第三次	Hz	%	%

附录 B

校准证书内页格式

B.1 线速度

B.1 线速度

标准值	示值平均值	示值误差	扩展不确定度
m/s	m/s	%	%

B.2 制停距离

B.2 制停距离

标准值	示值平均值	示值误差	扩展不确定度
m	m	%	%

B.3 加（减）速度

B.3 加（减）速度

标准值	示值平均值	示值误差	扩展不确定度
m/s ²	m/s ²	%	%

B.4 频率

B. 4 频率

设置值	平均值	示值误差	扩展不确定度
Hz	Hz	%	%

附录 C 测量不确定度评定示例

C.1 线速度测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

线速度的测量模型为：

$$\delta v_i = \bar{v}_i - v_{si}$$

式中：

δ 错误！未找到引用源。——第*i*校准点线速度示值误差，m/s；

错误！未找到引用源。——第*i*校准点被校检测仪5次线速度测量平均值，m/s；

错误！未找到引用源。——第*i*校准点校准装置设定线速度，m/s。

C.1.2 标准不确定度评定

C.1.2.1 输入量 \bar{v}_i 的标准不确定度的评定

输入量 \bar{v}_i 的不确定度主要来源于被校测仪器的测量重复性及示值分辨力。

在校准装置输出速度为 0.5m/s 时，对被校检测仪重复测量 10 次，得到如下数据 (m/s) : 0.495, 0.495, 0.495, 0.496, 0.495, 0.496, 0.496, 0.495, 0.495, 0.495。

$$\text{单次标准偏差 } s(v_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (v_i - \bar{v})^2}{10-1}} = 0.00046 \text{ m/s}。$$

实际测量时连续测量 5 次，取 5 次测量的算术平均值作为测量结果，可得标准不确定度为：

$$u_1(\bar{v}_i) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{5}} = 0.00021 \text{ m/s}$$

被校检测仪分辨力 0.001m/s，其半宽为 0.0005m/s，属于均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度分量为：

$$u_2(v_i) = \frac{0.0005 \text{ m/s}}{\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ m/s}$$

由于重复性分量引入的不确定度小于分辨力引入的不确定度分量，为避免重复计算，只计最大影响量。故 $u(\bar{v}_i) = u_2(v_i) = 0.00029 \text{ m/s}$ 。

C.1.2.2 输入量 v_{si} 引入的标准不确定度 错误！未找到引用源。

校准装置的最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ ，标准速度为 0.5m/s 时，最大允许误差为 $\pm 0.0015\text{m/s}$ ，属于均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，其引入的标准不确定度分量为：

$$u(v_{si}) = \frac{0.0015\text{m/s}}{\sqrt{3}} = 0.00087\text{m/s}$$

C.1.3 合成标准不确定度的计算

C.1.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源		不确定度分量 值	灵敏系数 c_i	标准不确定度 $ c_i u(x_i)$
$u(\overline{v_i})$	测量重复性	两者取大者	0.00029m/s	1	0.00029m/s
	分辨力				
$u(v_{si})$	自动扶梯综合检测仪校准装置 示值误差		0.00087m/s	-1	0.00087m/s

C.1.3.2 合成不确定度

以上各项不确定度分量之间不存在相关性，所以合成标准不确定度如下：

$$u_c(\delta v_i) = \sqrt{u^2(\bar{v}_i) + u^2(v_{si})} = \sqrt{0.00029^2 + 0.00087^2} \approx 0.0009\text{m/s}$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\delta v_i) = 2 \times 0.0009\text{m/s} = 0.0018\text{m/s}, \quad k=2。$$

在 0.5m/s 的标准速度时，相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.36\%$ ， $k=2$ 。

C.2 制停距离测量结果不确定度评定

C.2.1 测量模型

制停距离的测量模型为

$$\delta L_i = \bar{L}_i - L_{si}$$

式中：

δ 错误！未找到引用源。——第 i 校准点制停距离示值误差，m；

错误！未找到引用源。——第 i 校准点被校检测仪3次测量距离平均值，m；

错误！未找到引用源。——第 i 校准点校准装置设定距离，m。

C.2.2 标准不确定度评定

C.2.2.1 输入量 \bar{L}_i 的标准不确定度的评定

输入量 \bar{L}_i 的不确定度主要来源于被测仪器的测量重复性及被测仪器的分辨力。

自动扶梯综合检测仪校准装置距离为 1m 时, 被校检测仪重复测量 10 次, 得到如下数据 (m): 1.004, 1.004, 1.005, 1.004, 1.005, 1.004, 1.004, 1.004, 1.005, 1.004。

$$\text{单次标准偏差 } s(L_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_i - \bar{L})^2}{10-1}} = 0.00048\text{m}$$

实际测量时连续测量 3 次, 以 3 次测量的算术平均值作为测量结果, 可得标准不确定度为:

$$u_1(\bar{L}_i) = \frac{s(L_i)}{\sqrt{3}} = 0.00028\text{m}$$

被校检测仪分辨力 0.001m, 其半宽为 0.0005m, 属于均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(L_i) = \frac{0.0005\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.00029\text{m}$$

由重复性分量引入的不确定度小于分辨力引入的不确定度分量, 为避免重复计算, 只计最大影响量。故 $u(\bar{L}_i) = u_2(L_i) = 0.00029\text{m}$ 。

C.2.2.2 输入量 L_{si} 引入的标准不确定度 **错误! 未找到引用源。**

自动扶梯综合检测仪校准装置的最大允许误差为 $\pm 0.3\%$, 标准距离为 1m 时, 最大允许误差为 $\pm 0.003\text{m}$, 属于均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u(L_{si}) = \frac{0.003\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.0017\text{m}$$

C.2.3 合成标准不确定度的计算

C.2.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源		不确定度分量 值	灵敏系数 c_i	标准不确定度 $ c_i u(x_i)$
$u(\overline{L}_i)$	测量重复性	两者取大者	0.00029m	1	0.00029m
	分辨力				
$u(L_{si})$	自动扶梯综合检测仪校准装置示值 误差		0.0017m	-1	0.0017m

C.2.3.2 合成不确定度

以上各项不确定度分量之间不存在相关性，所以合成标准不确定度如下：

$$u_c(\delta L_i) = \sqrt{u^2(\bar{L}_i) + u^2(L_{si})} = \sqrt{0.00029^2 + 0.0017^2} = 0.0017\text{m}$$

C.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\delta L_i) = 2 \times 0.0017\text{m} = 0.0034\text{m}, \quad k=2。$$

在 1m 的标准距离时，相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.34\%$ ， $k=2$ 。

C.3 加速度/减速度测量结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

加速度/减速度的测量模型为

$$\delta a_i = \bar{a}_i - a_{si}$$

式中：

δa_i ——第*i*校准点加速度/减速度示值误差， m/s^2 ；

\bar{a}_i ——第*i*校准点自动扶梯综合检测仪5次测量加/减速度平均值， m/s^2 ；

a_{si} ——第*i*校准点自动扶梯综合检测仪校准装置加/减速度设定值， m/s^2 。

C.3.2 标准不确定度评定

C.3.2.1 输入量 \bar{a}_i 的标准不确定度的评定

输入量 \bar{a}_i 的不确定度主要来源于被测仪器的测量重复性及被测仪器的分辨力。

标准装置减速度为 1.001m/s^2 时，被校检测仪重复测量 10 次，得到如下数据 (m/s^2) : 0.999, 0.999, 0.999, 0.999, 0.999, 0.999, 0.999, 1.000, 1.000, 0.999。

$$\text{单次标准偏差 } s(a_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (a_i - \bar{a})^2}{10-1}} = 0.00042\text{m/s}^2$$

实际测量时连续测量 5 次，以 5 次测量的算术平均值作为测量结果，可得标准不确定度为：

$$u_1(\bar{a}_i) = \frac{s(a_i)}{\sqrt{5}} = 0.00019\text{m/s}^2$$

被校检测仪分辨力为 0.001m/s^2 ，其半宽为 0.0005m/s^2 ，属于均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，

其引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(a_i) = \frac{0.0005 \text{ m/s}^2}{\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ m/s}^2$$

由重复性分量引入的不确定度小于分辨力引入的不确定度分量, 为避免重复计算, 只计最大影响量, 故 $u(\overline{a_i}) = u_2(a_i) = 0.00029 \text{ m/s}^2$ 。

C.3.2.2 输入量 a_{si} 引入的标准不确定度 **错误! 未找到引用源。**

校准装置的最大允许误差为 $\pm 1\%$, 标准减速度为 1.001 m/s^2 时, 最大允许误差为 $\pm 0.01 \text{ m/s}^2$, 属于均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u(a_{si}) = \frac{0.01 \text{ m/s}^2}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ m/s}^2$$

C.3.3 合成标准不确定度的计算

C.3.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源		不确定度分量 值	灵敏系数 c_i	标准不确定度 $ c_i u(x_i)$
$u(\overline{a_i})$	测量重复性	两者取大者	0.00029 m/s ²	1	0.00029 m/s ²
	分辨力				
$u(a_{si})$	自动扶梯综合检测仪校准装置示值 误差		0.0058 m/s ²	-1	0.0058 m/s ²

C.3.3.2 合成不确定度

以上各项不确定度分量之间不存在相关性, 所以合成标准不确定度如下:

$$u_c(\delta a_i) = \sqrt{u^2(\overline{a_i}) + u^2(a_{si})} = \sqrt{0.00029^2 + 0.0058^2} = 0.0058 \text{ m/s}^2$$

C.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度如下:

$$U = k \times u_c(\delta a_i) = 2 \times 0.0058 \text{ m/s}^2 = 0.012 \text{ m/s}^2, \quad k=2。$$

在 1.001 m/s^2 的标准减速度时, 相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 1.2\%$, $k=2$ 。

C.4 频率测量结果不确定度评定

C.4.1 测量模型

频率的测量模型为

$$\Delta f_i = f_i - \overline{f_0}$$

式中:

Δf_i ——第*i*校准点频率示值误差, Hz;

f_i ——第*i*校准点被校检测仪频率设定值, Hz;

$\overline{f_0}$ ——钳形电流表3次测量平均值, Hz。

C.4.2 标准不确定度评定

C.4.2.1 输入量 f_i 的标准不确定度的评定

输入量 f_i 的不确定度主要来源于自动扶梯综合检测仪频率的分辨力。

被校检测仪分辨力 0.01Hz, 其半宽为 0.005Hz, 属于均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u(f_i) = \frac{0.005\text{Hz}}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{Hz}$$

C.4.2.2 输入量 $\overline{f_0}$ 引入的标准不确定度

输入量 $\overline{f_0}$ 引入的标准不确定度主要由测量重复性 $u_1(\overline{f_0})$ 及钳形电流表最大允许误差 $u_2(f_0)$ 引入。

对被校检测仪频率 50Hz 重复测量 10 次, 得到如下数据 (Hz): 50.00, 50.00, 50.00, 50.01, 50.01, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00。

$$\text{单次标准偏差 } s(f_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (f_i - \overline{f})^2}{10-1}} = 0.0042\text{Hz}$$

实际测量时连续测量 3 次, 以 3 次测量的算术平均值作为测量结果, 可得标准不确定度为

$$u_1(\overline{f_0}) = \frac{s(f_0)}{\sqrt{3}} = 0.0025\text{Hz}$$

钳形电流表最大允许误差为 $\pm 0.3\%$, 50Hz 时最大允许误差为 $\pm 0.15\text{Hz}$, 属于均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u_2(f_0) = \frac{0.15\text{Hz}}{\sqrt{3}} = 0.087\text{Hz}$$

则输入量 $\overline{f_0}$ 引入的标准不确定度

$$u(\overline{f_0}) = \sqrt{u_1^2(\overline{f_0}) + u_2^2(f_0)} = \sqrt{0.0025^2 + 0.087^2} = 0.087\text{Hz}$$

C.4.3 合成标准不确定度的计算

C.4.3.1 主要不确定度汇总表

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度分量来源	不确定度分量值	灵敏系数 c_i	标准不确定度 $ c_i u(x_i)$
$u(f_i)$	分辨力 $u(f_i)$	0.0029Hz	1	0.0029Hz
$u(\overline{f_0})$	测量重复性 $u_1(\overline{f_0})$	0.0025Hz	-1	0.087Hz
	钳形电流表示值误差 $u_2(f_0)$	0.087Hz	-1	

C.4.3.2 合成不确定度

以上各项不确定度分量之间不存在相关性，所以合成标准不确定度如下：

$$u_c(\Delta f_i) = \sqrt{u^2(f_i) + u^2(\overline{f_0})} = \sqrt{0.0029^2 + 0.087^2} = 0.087\text{Hz}$$

C.4.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta f_i) = 2 \times 0.087\text{Hz} = 0.174\text{Hz}, \quad k=2。$$

频率 50Hz 时，相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.35\%$ ， $k=2$ 。