



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ×××—2021

标准电感箱校准规范

Calibration Specification for Standard Inductance Box

(征求意见稿)

2021—××—××发布

2021—××—××实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

标准电感箱校准规范

Calibration Specification for
Standard Inductance Box

JJF XXXX-2021

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 电感	1
3.2 品质因数	1
3.3 零位电感	1
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 标准电感箱示值误差	2
5.2 年稳定性	3
5.3 品质因数和直流电阻	3
5.4 零位电感值	3
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 测量标准及其他设备	4
6.3 校准频率	5
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	5
8 校准结果表达	9
8.1 校准证书	9
9 复校时间间隔	10
附录 A 标准电感箱测量不确定度评定示例	11
附录 B 校准原始记录格式	14
附录 C 校准证书内页格式	15

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

标准电感箱校准规范

1 范围

本规程适用于电感范围 $1\ \mu\text{H}\sim 10000\ \text{H}$ 、频率范围 $20\ \text{Hz}\sim 100\ \text{kHz}$ 的标准电感箱的校准。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF 1011-2011 通用计量术语及定义

JJG 726-2017 标准电感器检定规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 电感 inductance

描述由于线圈电流变化，在本线圈中或在另一个线圈中引起感应电动势效应的电路参数。在国际单位制 SI 中，电感的单位是亨利 H。

注：（1）常用电感单位还有微亨【利】（ μH ）和毫亨【利】（mH）。

3.2 品质因数 quality factor

在特定频率下，一个周期中在规定的绕组内所储存能量和损耗能量之比。品质因数常以电抗分量和耗能电阻分量之比表示（按串联或并联模型等效），也称为 Q 值或 Q 因数。

3.3 零位电感 zero inductance

标准电感箱各步进盘均置于零位时的电感值，零位电感单位一般用微亨【利】（ μH ）表示。

4 概述

标准电感箱是由若干个串联的标准电感器组成，以量程组合和量程内步进的方式输出多个电感值。通常采用金属屏蔽外壳作为箱体，用来检定或校准各等级电感计量器具的实物量具。

5 计量特性

5.1 标准电感箱示值误差

标准电感箱的示值误差等于电感箱标称值与实际值之差。示值误差表示为

$$\Delta = L_N - L_X, \quad (1)$$

式中： Δ — 标准电感箱被校准点的示值误差，单位：H；

L_N — 标准电感箱被校准点的标称值，单位：H；

L_X — 标准电感箱被校准点的实际值，单位：H。

示值相对误差表示为

$$\delta = \frac{L_N - L_X}{L_X} \times 100\%, \quad (2)$$

式中： δ — 标准电感箱的示值相对误差。

在指定的频率范围内，标准电感箱每个十进盘均具有各自的电感准确度等级，各盘的示值最大允许误差应符合表1的规定。

表 1 标准电感箱的最大允许误差

等级指数	最大允许误差
0.01 级	$\pm 0.01\%$
0.02 级	$\pm 0.02\%$
0.05 级	$\pm 0.05\%$
0.1 级	$\pm 0.1\%$
0.2 级	$\pm 0.2\%$
0.5 级	$\pm 0.5\%$
1 级	$\pm 1\%$
2 级	$\pm 2\%$
5 级	$\pm 5\%$
10 级	$\pm 10\%$

5.2 年稳定性

标准电感箱的实际值有随时间变化的特性。以一年为观测周期，考察标准电感箱的实际值年变化情况，然后通过下式计算得到其年稳定性。

$$\gamma = \frac{L_x - L_{x'}}{L_{x'}} \times 100\%, \quad (4)$$

式中： γ —标准电感箱被校准点的年稳定性；

L_x —本次检定得到的标准电感箱的实际值，单位：H；

$L_{x'}$ —上个周期送检得到的标准电感箱的实际值，单位：H。

标准电感箱被校准点的不稳定性指标不应超过其最大允许误差。

5.3 品质因数和直流电阻

表 2 标准电感箱品质因数的规定

标称值 L	频率 f	品质因数 Q
$L \leq 100 \mu\text{H}$	1 kHz	≥ 0.5
$100 \mu\text{H} < L \leq 1 \text{ mH}$	1 kHz	≥ 1.0
$1 \text{ mH} < L \leq 10 \text{ mH}$	1 kHz	≥ 3.0
$10 \text{ mH} < L \leq 100 \text{ mH}$	1 kHz	≥ 6.0
$100 \text{ mH} < L \leq 1 \text{ H}$	1 kHz	≥ 9.0
$L > 1 \text{ H}$	100 Hz	≥ 1.0

标准电感箱直流电阻的大小将影响其品质因数。直流电阻的设置应使标准电感箱的品质因数在工作频率范围内符合表 3 的规定。

5.4 零位电感值

标准电感箱的零位电感值为各盘置于零位时所测得的电感值，其值应小于其各盘对应最大允许误差的 1/10。

6 校准条件

6.1 环境条件

标准电感箱的校准环境条件应满足如下要求：

校准环境应符合表 3 的规定。在校准前，被校电感器须在实验室条件下放置：0.02 及以上等级的被校电感箱放置时间不少于 24 小时；其余等级的被校电感箱放置时间一般应不少于 8 小时。

表 3 校准环境条件

准确度等级	温度(°C)	相对湿度 (%)	干扰
0.01 级	20±1	50±10	电磁场干扰及机械振动引起的电感实际值的变化不应超过被检电感箱对应等级准确度指标的 1/10
0.02 级	20±2	50±20	
0.05 级	20±2	50±30	
0.1 级及以下	20±5	50±30	

6.2 测量标准及其他设备

1) 采用直接测量法时，校准其它等或级的被校电感箱，所选用的校准装置所引入的测量不确定度应优于其对应等级最大允许误差或年稳定性指标绝对值的 1/3。

2) 采用替代测量法检定时，所用标准电感器的等级应比被校电感器高两个等或级。

所选用的替代测量装置的分辨率和短期稳定性所引入的测量不确定度应不大于被检电感箱最大允许误差或年稳定性指标的 1/5。

若采用不同 Q 值的标准电感箱做替代测量，应确保因工作电流不同，由替代测量装置引入的测量不确定度不大于被检电感箱对应等级准确度指标的 1/10。

3) 校准装置应满足直接或替代测量品质因数 Q 的扩展测量不确定度优于 $(1 \times 10^{-2}) \cdot r \pm 1 \text{m}\Omega$ 的要求。

6.3 校准频率

当电感示值小于 1 H 时，校准频率推荐为 1 kHz；电感示值大于 1 H 时，校准频率推荐为 100 Hz；也可根据客户要求选取校准频率。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目包含外观检查、电感箱示值误差、年稳定性、品质因数、频率特性及零位电感值等，可根据客户需要进行校准。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

a) 被校表外形结构完好，外露件等不应损坏或脱落，机壳、端钮等不应有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) 被校表产品名称、型号、编号、生产厂商及步进盘电感标称值和相应的准确度等级、频率均应有明确标记；

7.2.2 标准电感箱示值误差

根据被校电感箱的等级指数、标称值，可采用直接测量法、同标称值替代法进行校准，每个电感步进盘各电感档位均需进行校准。

7.2.2.1 直接测量法

直接测量法的测量步骤为：

a) 选择符合 6.2 要求的校准装置；

b) 选择电压和频率；

校准装置的电压应根据装置和被检电感箱所规定的额定电流来选择，在满足灵敏度要求的情况下，电压取小些为宜。校准频率应按 6.3 规定选取。

c) 选择量程及等效模型

选择校准装置的量程，以用上装置最高读数盘或对应量程的最大示值为原则。

采用 LCR 测量仪检定标准电感箱，选择串联等效和并联等效的原则是，以电感示值最小的作为实际值。一般固有电容大的电感并联等效值接近实际值，串联电阻大的电感器串联等效值接近实际值，总的来说两者最小的更接近实际值。

d) 选择灵敏度（可选）

对需要做指零仪调谐的校准装置，在指零仪低灵敏度下调谐指零仪。测量时，随着电桥趋于平衡，逐步增加指零仪的灵敏度，以保证获得足够的读数位数。

e) 测量接线

直接测量法校准线路建议采用图 1 表示的引线方式。连接电感箱的引线应该是绞合同轴屏蔽线，这样可尽量减小高低端引线之间的面积，并固定测量过程中引线面积。若被检电感箱有金属屏蔽，按三端接线方式要求屏蔽接线端（G）接地或是接虚地电位，按二端接线方式要求屏蔽接线端（G）与低电位端（L）相连；若无金属屏蔽，则采用二端接线方式。

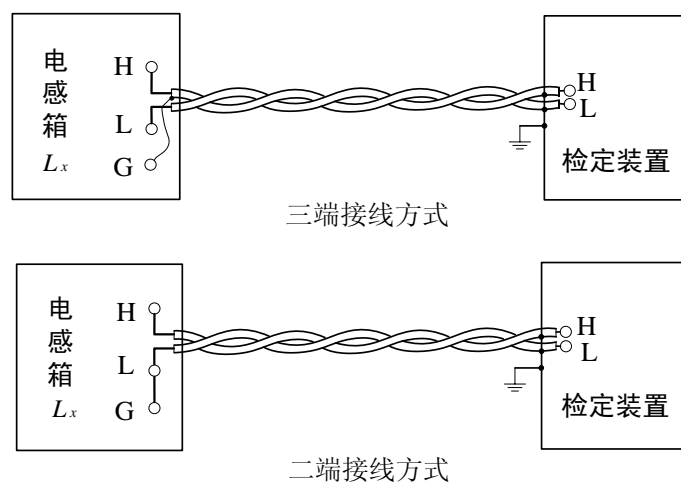


图 1 端钮式电感箱接线图

f) 短路测量和开路测量

校准装置需进行开路 and 短路校准（包括测量引线部分），消除分布参数对测量结果的影响。有些校准装置有专用测试线，其开路 and 短路参数已内置于装置内部，可省略此步骤。

若校准装置为自动 LCR 测量仪，过长的电压测量线易受电流线互感的影响，除了需要做一次“短路测量”之外，还需要做一次“开路测量”，以消除两导线间分布电容的影响。

注：（1）如果被校电感箱有专用短路片或零读数盘，则必须把连接电感箱和电感校准装置的引线电感经一次“短路测量”，将测得值从带有引线的另一次测量读数中扣除。

（2）如果校准装置有专用的零平衡盘，则做“短路测量”时，被检电感用短路片短接或读数盘置零，只调节检定装置的零平衡盘；而做实际值测量时，零平衡盘不动，只调节检定装置的电感读数盘。

（3）在测量 1 H 以上的较大电感时，必须做“开路测量”。“开路测量”前后两引线的几何形状应尽量保持固定。

g) 测量读数

在校准装置上读数，可得被校电感箱的电感、品质因数实际值和零位电感值。再通过计算可得被检电感箱的示值误差、年稳定性及偏差。

$$L_x = L - L_0, \quad (5)$$

式中： L_x — 被校电感箱的电感实际值，H；

L — 校准装置的电感示值，H。

L_0 — 校准装置的零位电感示值，H。

$$Q_x = Q, \quad (6)$$

式中： Q_x — 被校电感箱的品质因数实际值；

Q — 校准装置的品质因数示值；

根据式（2）、（4）通过计算可得被校电感箱的示值误差、年稳定性。

7.2.2.2 替代测量法

用替代测量法进行校准时，要求采用相同名义值的标准电感箱，最好是相同型号的电感箱。其接线图如图 2 所示（以三端接线方式为例）。

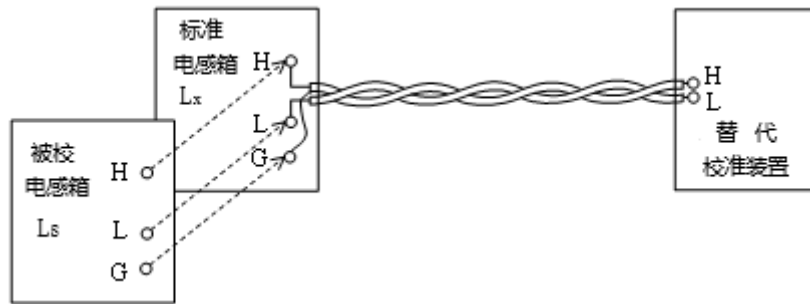


图 2 替代测量法连接图

替代测量法的步骤为：

- a) 选择符合 6.2 规定的标准器和替代校准装置
- b) 选择电压和频率

按 6.3 相应要求进行。替代测量所选测试电压和频率需相同。

- c) 选择量程及等效模型

按 7.2.2.1 相应要求进行。在采用自动选择量程式校准装置做替代法测量时，必须确保替代测量过程中校准装置量程的一致性。若测量过程中量程发生变化，可通过手动设定量程的方式来固定量程，再做替代法测量。

- d) 选择灵敏度（可选）

按 7.2.2.1 相应要求进行。

- e) 测量接线

可参考 7.2.2.1 相应要求进行。在替代测量过程中，也需尽量保证测量引线位置不变。

- f) 测量读数

把标准电感箱接入替代校准装置，调节装置读取校准装置示值 L_s' 和 Q_s' 后，取下标准器。在尽量不改变引线形状的情况下接入被校电感箱，再次读取校准装置示值 L_x' 和 Q_x' 。两次读取示值的变化量乘以装置倍率即是被校电感箱与标准电感箱电感和品质因数实际值之间的差值。

被校电感箱电感实际值 L_x 按式 (7) 计算，再通过计算可得被校电感箱的示值误差、年稳定性及偏差。

$$L_x = L_s + k(L_x' - L_s'), \quad (7)$$

式中： L_S — 标准电感箱电感实际值；

k — 装置倍率；

L_X' — 检定装置测量被校电感箱电感的示值；

L_S' — 检定装置测量标准电感箱电感的示值。

被校电感箱的品质因数实际值 Q_X 按下式计算，

$$Q_X = Q_S + k(Q_X' - Q_S'), \quad (8)$$

式中： Q_X — 标准电感箱品质因数实际值；

k — 装置倍率；

Q_X' — 检定装置测量被校电感箱品质因数的示值；

Q_S' — 检定装置测量标准电感箱品质因数的示值。

根据式（2）、（4）通过计算可得被校电感箱的示值误差、年稳定性。

注：（1）替代测量过程中可以只做一次开路测量，但需要分别做短路测量，并将测得值从各自测量读数中扣除。可参考 7.2.2.1 短路测量和开路测量的相应要求。

（2）在做替代测量时，对手动平衡的校准装置特别需要注意进位或退位情况的处理，必须避免校准装置高位读数盘变动或量程变化，否则测量结果中将引入装置误差。

g) 消除互感影响（可选）

当测量位置受外界恒定磁场干扰时，如果标准电感箱和被校电感箱是同种产品且接线、摆放位置相同，可不予考虑互感的影响。但如果两台电感箱结构或尺寸不同，可参照 7.2.2.1 相应要求操作。

7.2.3 零位电感值

将被校电感箱的各步进盘均置于零位，根据被校电感箱的等级指数、标称值，可采用直接测量法、同标称值替代法进行校准。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
 - b) 实验室名称和地址；
 - c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
 - 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) 客户的名称和地址；
 - f) 被校对象的描述和明确标识；
 - g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和有关时，应说明被校对象的接收日期；
 - h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
 - 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) 校准结果及其测量不确定度的说明；
 - m) 对校准规范的偏离的说明；
 - n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
 - o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
 - p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。
- 校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议不超过 1 年，更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应随时校准。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 标准电感箱测量不确定度评定示例

A.1 测量方法

根据校准规范，电感箱可以采用直接测量法或替代测量法进行校准。用电感测量装置（1689 型 LCR 数字电桥）直接测量电感的方法叫直接测量法，电感值即测量装置的示值。

A.2 测量模型

在标准条件下，温度、湿度、电磁干扰等带来的影响可忽略，测量模型可用式 (A.1) 表示：

$$L = L_x \quad (\text{A.1})$$

式中： L — 被校电感箱的电感值；

L_x — 电感测量装置的示值。

不确定度传播可用公式 (A.2) 表示。

$$\mu_c(L) = \mu(L_x) \quad (\text{A.2})$$

式中： $\mu_c(L)$ — 被校电感箱的电感值和合成标准不确定度，mH；

$\mu(L_x)$ — 电感测量装置引入的不确定度，mH。

A.3 不确定度来源

由测量模型可知，测量不确定度由电感测量装置的示值 L_x 的不确定度所决定。 L_x 的不确定度来源主要有：电感测量装置示值误差引入的不确定度 $\mu_1(L_x)$ 、电感测量装置测量重复性引入的不确定度 $\mu_2(L_x)$ 。

校准过程中，环境条件满足校准规范要求时，环境调节引入的不确定度可以忽略不计。

A.4 标准不确定度的评定

A.4.1 电感测量装置示值误差引入的标准不确定度 $\mu_1(L_x)$

电感测量装置为 1689 型 RLC 数字电桥，根据说明书可知，该数字电桥测量准确度为 0.02 级。按 B 类方法进行评定，在测量交流电感箱 100 mH 步进盘第 1 点时，其最大允许误差为 ± 0.02 mH，则分散区间的半宽度为 $a = 0.02$ mH，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则电感测量装置示值误差引入的标准不确定度为：

$$\mu_1(L_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.02mH}{\sqrt{3}} = 0.012mH \quad (A.3)$$

A.4.2 电感测量装置测量重复性引入的标准不确定度 $\mu_2(L_x)$

测量装置的重复性引入的标准不确定度通过 A 类方法进行评定，采用贝塞尔公式计算单次实验标准偏差得到。

$$\mu_2(L_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_{xi} - \bar{L}_x)^2}{n-1}} \quad (A.4)$$

式中：

\bar{L}_x – 被校电感箱电感多次测量值的平均值，mH；

L_{xi} – 被校电感箱电感第 i 次测量值，mH；

n – 重复测量的次数，此处 $n=10$ 。

用 1689 型 RLC 数字电桥测量交流电感箱 100 mH 步进盘第 1 点电感时，重复测量结果如表 A.1

表 A.1 交流电感箱 100 mH 电感重复性测量数据

测量次数	测量装置示值/mH
1	100.05
2	100.05
3	100.04
4	100.04
5	100.05
6	100.05
7	100.04
8	100.04
9	100.04
10	100.05

根据表 A.1 中的数据，可由公式 (A.4) 计算出重复测量的单次实验标准偏差为

$$s(L_x) = 0.0053mH$$

则测量重复性引入的不确定度为：

$$\mu_2(L_x) = s(L_x) = 0.0053mH$$

A.5 合成标准不确定度 $\mu_c(L)$

合成标准不确定度按公式 (A.2) 计算：

$$\mu_c(L) = \mu(L_x) = \sqrt{\mu_1^2(L_x) - \mu_2^2(L_x)} = 0.013mH$$

A.6 扩展标准不确定度 $U(L)$

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U(L) = k\mu_c(L) = 0.026mH(k=2)$$

附录 B 校准原始记录格式

标准电感箱校准原始记录格式

委托单号：

证书编号：

客户名称：	校准日期： 年 月 日
联络信息：	接收日期： 年 月 日
器具名称：	生产厂商：
型号/规格： 出厂编号：	基(标)准装置的测量范围及不确定度：
基(标)准装置名称：	证书有效期至：
基(标)准装置号：	
校准依据：	
校准环境条件：t = °C；RH = %	校准地点：

转盘 位置	实际值	测量 不确定度 (k=2)
校准频率		
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

说明：

校准员：

核验员：

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

<校准机构授权说明>				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

表 1 电感箱校准

转盘位置	实际值	测量不确定度 ($k=2$)
校准频率		
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

说明:

根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下____个月校准一次。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员:

核验员: