

中华人民共和国国家计量校准规范

JJF 1073--

高频 Q 表校准规范

Calibration Specification of HF Q -Meter

(征求意见稿)

202X-09-22 发布

202X-12-22 实施

国家市场监督管理总局 发布

高频 Q 表校准规范

Calibration Specification of

HF Q -Meter

JJF 1073—
替代 1073—2000

归口单位： 全国无线电计量技术委员会

主要起草单位： 中国电子技术标准化研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位： 上海爱义电子设备有限公司

本规范由全国无线电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.....	I
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 品质因数 quality factor.....	1
3.2 Q 值标准线圈的有效品质因数 effective quality factor of standard Q-coil.....	1
3.3 指示品质因数 indication quality factor.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 工作频率.....	2
5.2 调谐电容.....	2
5.3 Q 值测量.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准.....	2
6.2.1 电容测量仪.....	2
6.2.2 频率计.....	2
6.2.3 Q 值标准线圈.....	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.....	3
7.2.1 外观检查.....	3
7.2.2 通电检查.....	3
7.2.3 调谐电容.....	3
7.2.4 信号源频率.....	3
7.2.5 指示 Q 值.....	4
8 校准结果表达.....	5
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 校准原始记录格式.....	7
附录 B 校准证书内页格式.....	8
附录 C 测量不确定度评定.....	9

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范是对 JJF1073-2000《高频 Q 表校准规范》的修订，与 JJF1073-2000 相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化有：

- 修改了 Q 表的频率范围（见 1）；
- 修改了有关名词术语解释和定义（见 3）；
- 修改了概述（见 4）；
- 修改了计量特性（见 5）；
- 删除了校准条件中“大气压强”（见 6.1）；
- 修改了测量标准中频率计的测量范围（见 6.2）；
- 细化了原规程中的操作方法（见 7.2）；
- 修改了校准原始记录及证书参考格式（见附录 A、附录 B）；
- 补充了不确定度评定实例（见附录 C）。

本规范历次版本发布情况为：

- JJF1073-2000。

高频 Q 表校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 10kHz~160MHz 的高频 Q 表的校准,也适用于多功能 LCR 表中增设的 Q 附加器的校准。

2 引用文件

本规程引用了下列文件:

JJF 1735-2018 高频 Q 值标准线圈校准规范

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 品质因数 quality factor

在特定频率下,一周期内,在规定的绕组内储存的能量和消耗的能量之比。品质因数常按串联或并联模型等效以电抗分量和耗能电阻分量之比表示,符号为 Q ,简称 Q 值。

3.2 Q 值标准线圈的有效品质因数 effective quality factor of standard Q -coil

具有平均值回路残量的 Q 值标准线圈的品质因数,由计量部门进行定值,以符号 \overline{Q}_{en} 表示。

3.3 指示品质因数 indication quality factor

根据谐振回路的电压放大倍数显示的 Q 值,即 Q 表指示的 Q 值,以符号 Q_i 表示。在 Q 表校准中, Q_i 为标有 \overline{Q}_{en} 值的 Q 值标准线圈在 Q 表上的指示值。

4 概述

高频 Q 表是采用谐振法,通过 LC 谐振回路的谐振特性实现 Q 值测量的仪器。高频 Q 表主要用于测量电感线圈或谐振回路的 Q 值,还可用于电感器的电感量和分布电容量、电容器的电容量和损耗角正切值、电工材料的高频介电常数和介质损耗因数、高频回路有效并联及串联电阻、传输线的特性阻抗以及磁性材料的磁导率等参数的测量。

5 计量特性

5.1 工作频率

频率范围：10kHz~160MHz

注：不同型号的高频 Q 表频率范围可处于其中某一段或全部。

最大允许误差： $\pm 2\%$ 。

5.2 调谐电容

电容范围：（17~550）pF

注：不同型号的高频 Q 表电容范围处于其中某一段。

最大允许误差： $\pm 1\text{pF}$ （ $\leq 100\text{pF}$ ）

$\pm 1\%$ （ $> 100\text{pF}$ ）

5.3 Q 值

Q 值测量范围：10~500

最大允许误差： $\pm(5\sim 20)\% \pm$ 满度值的 3%。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：（20 \pm 5） $^{\circ}\text{C}$

相对湿度： $< 80\%$

电源：（220 \pm 11）V，（50 \pm 1）Hz

周围应保持整洁，无影响正常工作的机械振动及电磁干扰。

6.2 测量标准

6.2.1 电容测量仪

频率范围：10kHz~160MHz；

电容测量范围：1pF~1000pF；

最大允许误差： $\pm 0.3\%$ 。

6.2.2 频率计

测量范围：10kHz~160MHz；

灵敏度优于 10mV；

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.3 Q 值标准线圈

$\overline{Q_{en}}$ 最大允许误差： $\pm (2\sim 5)\%$ ；

谐振电容 C 最大允许误差： $\pm (1\sim 2)\%$ 。

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、通电检查、调谐电容、信号源频率、指示 Q 值 (Q_i)。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

a) 被校 Q 表应结构完整，无影响正常工作的机械损伤（如：旋钮松动，度盘不清晰等）。

b) 被校 Q 表应能进行正常电气操作（如：电表能机械调零，所有电位器能平滑调节，四只测量接线柱应清洁并接插自如等）。

c) 被校 Q 表应有明晰的型号、出厂编号、测试回路接线图等标记。

7.2.2 通电检查

Q 表接通电源后，屏幕应正常显示，有自检功能的仪器，应首先通过自检。仪器校准前应按随机技术文件要求进行预热，无明确规定的一般为 30 分钟。

7.2.3 工作频率

7.2.3.1 按图 1 所示连接被校高频 Q 表和频率计，

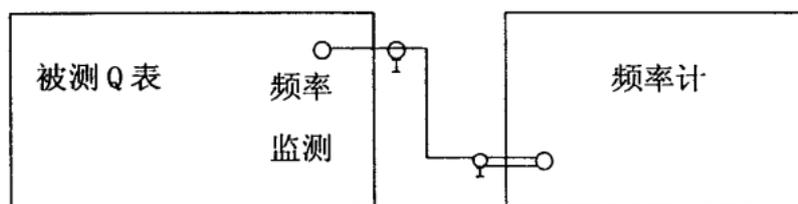


图 1 信号源频率校准连接示意图

7.2.3.2 设置高频 Q 表信号源频率，读取频率计测量值，将设置值和测量值记录在附录 A 表 A.2 中。

7.2.3.3 按公式 (3)、公式 (4) 计算误差，记录在附录 A 表 A.2 的 δ_f 中。

$$\Delta f = f_i - f_s \quad (3)$$

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中： f_i — Q 表频率设置值；

f_s —频率计测量值。

7.2.4 调谐电容

7.2.4.1 按图 2 所示连接被测高频 Q 表和电容测试仪， Q 表处于关机状态。

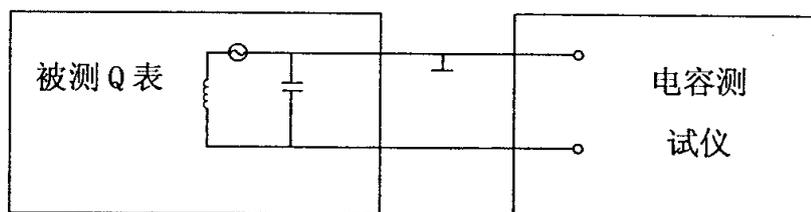


图 2 调谐电容校准连接图

7.2.4.2 设置电容测量仪的测量频率为 100kHz。

7.2.4.3 设置高频 Q 表调谐电容，读取电容测量仪测量值，将设置值和测量值记录在附录 A 表 A.1 中。

7.2.4.4 按公式 (1) 计算调谐电容绝对误差 ΔC ，按公式 (2) 计算调谐电容相对误差 δ_C ，记录至附录 A 表 A.1 中。

$$\Delta C = C_i - C_s \quad (1)$$

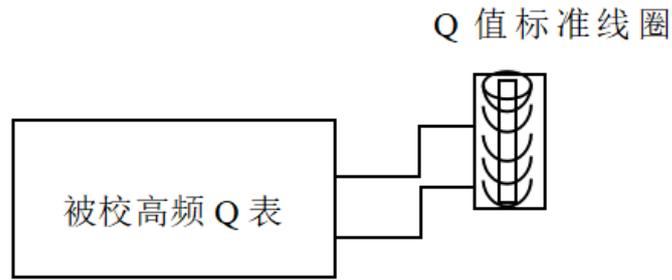
$$\delta_C = \frac{\Delta C}{C_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中： C_s —电容测量仪测量值，pF；

C_i — Q 表调谐电容设置值，pF。

7.2.5 Q 值 (Q_i)

7.2.5.1 按照附录 A 表 A.3 中频率选择 Q 值标准线圈，按图 3 所示连接至高频 Q 表接线柱，将 Q 值标准线圈的 Q 值和 C 值记录在附录 A 表 A.3 的 $\overline{Q_{en}}$ 和调谐电容中。

图 3 指示 Q 值校准连接示意图

7.2.5.2 设置高频 Q 表频率为 Q 值标准线圈标定的谐振频率值，调节高频 Q 表调谐电容，使高频 Q 表的示值达到最大值，此时 Q 值标准线圈达到谐振，读取高频 Q 表指示的 Q 值和电容指示值，记录在附录 A 表 A.3 的 Q_i 和调谐电容中。

7.2.5.3 按公式 (5) 计算被校 Q 表指示 Q 值 Q_i 的误差 δ_Q ，记录在附录 A 表 A.3 中。

$$\delta_Q = \frac{Q_i - \overline{Q_{en}}}{\overline{Q_{en}}} \times 100\% \quad (5)$$

式中： $\overline{Q_{en}}$ — Q 值标准线圈的有效品质因数；

Q_i — Q 表的指示值。

7.2.5.4 重复步骤 7.2.5.1~7.2.5.3，完成其余 Q 值标准线圈的测量，将结果记录在附录 A 表 A.3 中。

8 校准结果表达

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) 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 A, 校准证书(报告)内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

高频 Q 表的校准有效期由用户根据实际使用情况确定, 建议一般不超过 1 年。修理和调整后, 再次使用前应校准。

附录 A 校准原始记录格式

外观及通电检查： 合格 有缺陷_____ 不合格

表 A.1 调谐电容 ($f=100\text{kHz}$)

设置值 (pF)	测量值 (pF)	δ_c (%)	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

表 A.2 信号源频率

设置值 (MHz)	测量值 (MHz)	δ_f (%)	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

表 A.3 指示 Q 值

线圈编号	频率	标准值		测量值		δ_Q	测量不 确定度 $U(k=2)$
		$\overline{Q_{en}}$	调谐电容 (pF)	Q_i	调谐电容 (pF)		
1	100kHz						
2	400kHz						
3	1MHz						
4-1	2MHz						
4-2	4.5MHz						
5-1	4.5MHz						
5-2	12MHz						
6	12MHz						
7-1	25MHz						
7-2	50MHz						

附录 B 校准证书内页格式

表 B.1 调谐电容 ($f=100\text{kHz}$)

设置值 (pF)	测量值 (pF)	δ_C (%)	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

表 B.2 信号源频率

设置值 (MHz)	测量值 (MHz)	δ_f (%)	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

表 B.3 指示 Q 值

线圈编号	频率	标准值		测量值		δ_Q	测量不 确定度 $U(k=2)$
		$\overline{Q_{en}}$	调谐电容 (pF)	Q_i	调谐电容 (pF)		
1	100kHz						
2	400kHz						
3	1MHz						
4-1	2MHz						
4-2	4.5MHz						
5-1	4.5MHz						
5-2	12MHz						
6	12MHz						
7-1	25MHz						
7-2	50MHz						

附录 C 测量不确定度评定方法

C1 调谐电容测量不确定度评定

C1.1 测量方法

将电容测试仪连接到被测 Q 表电容接线柱，设置 Q 表的调谐电容 100pF，使用电容测试仪的电容测量功能进行测量。

C1.2 测量模型

$$\Delta C = C_i - C_s \quad (C1)$$

式中：

ΔC ——被校 Q 表调谐电容误差

C_i —— Q 表调谐电容设置值；

C_s ——电容测试仪测量值。

C1.3 灵敏系数

灵敏系数为： $u_c^2(C) = c_1^2(C_i)u^2(C_i) + c_2^2(C_s)u^2(C_s)$

$$\text{式中： } c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial C_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial C_s} = -1$$

C1.4 标准不确定度评定

(1) 电容测试仪引入的不确定度

按 B 类不确定度评定方法，根据 E4980A 精密型 LCR 表的技术指标，在 100kHz 下对 100pF 电容测量误差为 $\pm 0.1\%$ ，设为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度 u_1 为：

$$u_1 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.058\%$$

(2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

按 A 类不确定度评定方法，连续测量 10 次测量

次数	测量值 (pF)	次数	测量值 (pF)
1	100.2	6	100.4

2	100.3	7	100.5
3	100.7	8	100.3
4	100.4	9	100.6
5	100.6	10	100.5

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} X_i = 100.45\text{pF}$$

$$\text{试验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.158\text{pF}$$

则标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = 0.158\%$$

C1.5 合成标准不确定度

(1) 不确定度分量汇总

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	电容测试仪	0.058%
u_2	测量重复性	0.158%

(2) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(C) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.003364 + 0.024964} \approx 0.168\%$$

(3) 扩展不确定度

取包含因子 k 等于 2，则扩展不确定度：

$$U_{rel} = k u_c(C) = 2 \times 0.168\% = 0.34\%$$

C2 信号源频率测量不确定度评定

C2.1 测量方法

将频率计连接到被测 Q 表电感接线柱，设置 Q 表的频率为 100kHz，使用频率计的频率测量功能进行测量。

C2.2 测量模型

$$\Delta f = f_i - f_s \quad (\text{C2})$$

式中:

Δf ——被校 Q 表频率误差

f_i ——Q 表频率设置值;

f_s ——频率计测量值。

C2.3 灵敏系数

灵敏系数为: $u_c^2(f) = c_1^2(f_i)u^2(f_i) + c_2^2(f_s)u^2(f_s)$

$$\text{式中: } c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial f_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial f_s} = -1$$

C2.4 标准不确定度评定

(1) 频率计引入的不确定度 u_1

按 B 类不确定度评定方法, 根据 53131A 频率计的技术指标, 频率测量误差为 $\pm 5 \times 10^{-5}$, 设为均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则标准不确定度 u_1 为:

$$u_1 = \frac{5 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} \approx 2.887 \times 10^{-5}$$

(2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

按 A 类不确定度评定方法, 连续测量 10 次测量

次数	测量值 (kHz)	次数	测量值 (kHz)
1	99.99983	6	99.99985
2	99.99988	7	99.99987
3	99.99989	8	99.99985
4	99.99989	9	99.99986
5	99.99985	10	99.99984

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} X_i = 99.99986 \text{ kHz}$$

$$\text{试验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 2.074 \times 10^{-5} \text{ kHz}$$

则标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = 2.074 \times 10^{-5}$$

C2.5 合成标准不确定度

(1) 不确定度分量汇总

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	频率计	2.887×10^{-5}
u_2	测量重复性	2.074×10^{-5}

(2) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(f) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 3.56 \times 10^{-5}$$

(3) 扩展不确定度

取包含因子 k 等于 2，则： $U_{rel} = k u_c(f) = 2 \times 3.56 \times 10^{-5} = 7.1 \times 10^{-5}$

C3 指示 Q 值测量不确定度评定

C3.1 测量方法

将 BQG-1 型 Q 值标准线圈组的 1# 线圈连接到被测 Q 表电感接线柱，线圈标准 Q 值 113，使用直接测量法进行测量。

C3.2 测量模型

$$\Delta Q = Q_i - Q_s \quad (\text{C3})$$

式中：

ΔQ ——被校 Q 表 Q 值测量误差

Q_i —— Q 表指示 Q 值；

Q_s ——线圈标准值。

C3.3 灵敏系数

灵敏系数为： $u_c^2(Q) = c_1^2(Q_i)u^2(Q_i) + c_2^2(Q_s)u^2(Q_s)$

$$\text{式中: } c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial Q_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial Q_s} = -1$$

C3.4 标准不确定度评定

(1) Q 值标准线圈引入的不确定度 u_1

按 B 类不确定度评定方法, 根据上级校准机构给出的校准证书, 1#线圈在 100kHz Q 值测量结果不确定度给出为 2% ($k=2$), 故:

$$u_{B1} = \frac{2\%}{2} = 1\%$$

(2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

按 A 类不确定度评定方法, 连续测量 10 次测量

次数	测量值	次数	测量值
1	107.5	6	104.9
2	103.7	7	106.3
3	105.8	8	102.8
4	104.2	9	106.1
5	106.8	10	105.5

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} X_i = 105.36$$

$$\text{试验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 1.459$$

则标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = 1.29\%$$

C3.5 合成标准不确定度

(1) 不确定度分量汇总

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	Q 值标准线圈	1%

u_2	测量重复性	1.29%
-------	-------	-------

(2) 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量互不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(Q) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 1.63\%$$

(3) 扩展不确定度

取包含因子 k 等于 2，则： $U_{rel} = k u_c(Q) = 2 \times 1.63\% = 3.3\%$
