

高频 Q 表校准规范

Calibration Specification of

HF Q - Meter

JJF 1073—2000
代替 JJG 382—1985

本规范经国家质量技术监督局 2000 年 09 月 22 日批准，并自 2000 年 12 月 22 日起施行。

归口单位： 全国无线电计量技术委员会

起草单位： 信息产业部电子计量中心

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量性能要求	(2)
5.1 工作频率	(2)
5.2 调谐电容器	(2)
5.3 Q 值测量	(2)
6 通用技术要求	(3)
7 校准	(3)
7.1 校准条件	(3)
7.2 校准项目	(3)
7.3 校准方法	(3)
8 校准结果的处理	(6)
9 校准有效期	(6)
附录 A Q 表校准证书格式	(7)
附录 B Q 表测试回路等效电路和基本计算公式	(11)

高频 Q 表校准规范

1 范围

适用于各型高频（50 kHz～100 MHz）Q 表的校准，本规范也包括多功能 LCR 表中增设的 Q 附加器校准。

2 引用文献

本规范引用以下文献：

JJG 69—1990《高频 Q 标准线圈》。

使用本规范时，应注意上述引用文献的现行有效版本。

3 术语

指示 Q 值——根据谐振回路的电压放大倍数刻度或显示的 Q 值，即本规范所适用的计量器具的直接读数值。

回路有效 Q 值——在一个谐振回路内，电感线圈或电容器的有效电抗值与整个回路的有效串联电阻之比；或有效并联电阻与有效电抗之比。它与谐振电压比方式给出的指示 Q 值等效。

元件的有效 Q 值——某一元件与一理想的无损耗元件组成的谐振回路的有效 Q 值。

注：当 Q 表谐振测试回路固有残量（残余电阻和残余电感）很小，可忽略不计时，读出的指示 Q 值（回路 Q 值）才可认为是元件的有效 Q 值。

4 概述

高频 Q 表是根据被测元件与测试回路固有调谐电容器组成串联谐振回路，并进行电压放大倍数测量的原理工作的。Q 表的指示 Q 值是包括被测件损耗及测量回路固有部件损耗或残量综合影响的整个谐振回路的有效 Q 值，严格说来，要得到被测件的有效 Q 值必须用 Q 表测试回路残量修正 Q 表的指示 Q 值。在一般情况下，Q 表作为低准确度的多用途电子仪器使用或利用 Q 表对电感线圈作相对比较测量时，可不必对残量的影响进行修正。

高频 Q 表主要用于测量电感线圈的 Q 值、电感量、电容器的电容量，还可用于测量分布电容、分布电感、损耗值、电阻器的有效电阻、绝缘材料的介电常数、损耗角正切、传输线的特性阻抗以及磁性材料的导磁率等与阻抗有关的量。

高频 Q 表主要由信号源、测试回路、谐振指示电压表组成，典型 Q 表框图如图 1。

Q 值是阻抗复合量，通过下式把有关阻抗量与 Q 值联系起来：

$$Q = \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega CR} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \quad (1)$$

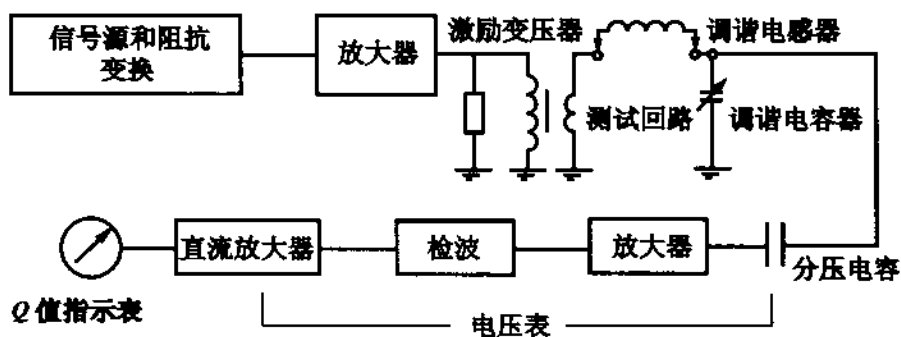


图1 典型Q表框图

式中： r ——测试回路总的等效串联电阻， Ω ；

L ——测试回路总的有效电感量，H；

R ——测试回路总的等效并联电阻， Ω ；

C ——测试回路总的有效电容量，F；

$\text{tg}\delta$ ——整个测试回路损耗角正切。

鉴于Q表是低准确度的多功能仪器，又是多个单元仪表组合而成，考虑到公式(1)的阻抗关系，校准方法针对Q值、频率和低频电容值。

5 计量性能要求

5.1 工作频率

5.1.1 频率范围：50 kHz~100 MHz

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。

5.1.2 频率示值误差： $\pm 2\%$ 。

5.2 调谐电容器

5.2.1 电容范围：(25~500) pF

注：有的高频Q表电容范围可处在(20~450) pF

5.2.2 电容示值误差： $\pm 1\% \cdot \text{电容指示值} \pm 1\text{pF}$

5.3 Q值测量

5.3.1 Q值测量范围：10~500

5.3.2 Q值测量误差

5.3.2.1 回路指示 Q_i 误差： $\pm (5\sim 20)\% \pm \text{满度值的} 3\%$ 。

5.3.2.2 被测元件有效Q值 Q_{ex} 误差：不同型号的Q表以不同方式给出，该项误差均为参考性质。

注：

1 质量较好的Q表，在低频段($\leq 10\text{ MHz}$)， Q_{ex} 误差通常可认为等同于 Q_i 误差。

2 有些Q表使用说明书中规定：指示 Q_i 经均值回路残量修正后给出被测元件有效 Q_{ex} ，此时 Q_{ex} 误差与 Q_i 误差的关系见引用文献或Q表说明书。

- 3 许多高频 Q 表未给出被测有效 Q_{ex} 测量误差, 此时, 利用本校准规范 7.3.3 校准方法给出的 $\delta_{Q_{\text{ex}}}$ 有典型参考意义。

6 通用技术要求

仪器送校时应附有使用说明书和上次的校准证书。

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, 表针弯曲, 度盘不清晰等)。

送校 Q 表应能正常电气操作 (如: 电表能机械调零, 所有电位器能平滑可调, 4 只测量接线柱应整洁并接插自如等)。

送校 Q 表应有明晰的型号、出厂编号、测试回路接线图等标记。

7 校准

7.1 校准条件

7.1.1 环境条件

环境温度: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$

相对湿度: 不大于 80 %

大气压强: $(86 \sim 106) \text{ kPa}$

电源: $(220 \pm 11) \text{ V}$, $(50 \pm 1) \text{ Hz}$

周围应保持整洁, 无影响正常工作的机械振动及电磁干扰。

7.1.2 校准用标准设备

7.1.2.1 电容测量仪

误差不超过 $\pm 0.3\%$ 的各类电容测量仪或 LCR 表。

7.1.2.2 频率计

测量范围: $100 \text{ Hz} \sim 100 \text{ MHz}$, 灵敏度优于 10 mV , 误差不超过 $\pm 0.1\%$ 的各类频率计。

7.1.2.3 Q 值标准量具

有效 Q 值 Q_0 误差: $\pm (2 \sim 5)\%$

有效调谐电容 C_0 误差: $\pm (1 \sim 2)\%$

注: Q_0 和 C_0 值处在 Q 表的典型测量范围内。

7.2 校准项目

高频 Q 表的受校部位和内容见表 1。

7.3 校准方法

7.3.1 调谐电容器低频示值的校准

7.3.1.1 校准调谐电容低频刻度时仪器连接框图如图 2 所示。Q 表调谐电容器低频示值的校准点和记录格式见附录 A 表 A1。

7.3.1.2 读出电容测量仪与 Q 表测试回路电容接线柱的连接电缆起始分布电容。

表 1 校准项目一览表

校 准 项 目
调谐电容器低频刻度 C_i
调谐电容器调谐电容值 C_e
信号源频率刻度值 f_i
被测有效 Q 测量误差 δ_{Qe}
测试回路指示 Q 误差 δ_{Qi}

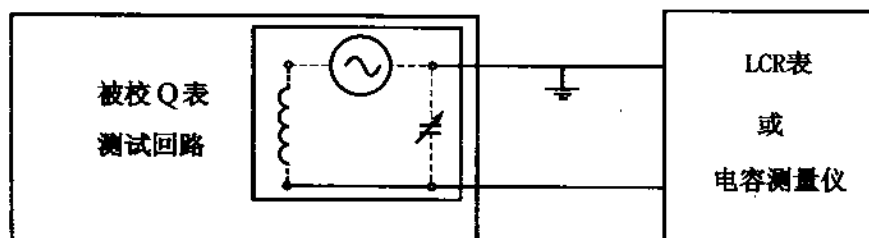


图 2 Q 表电容刻度校准连接框图

7.3.1.3 置电容测量仪的工作频率 ≤ 100 kHz 的频率值上。此时，Q 表电源在关闭状态。

7.3.1.4 分别记录调谐电容示值及电容测量仪校准值。

7.3.1.5 按以下公式计算误差：

$$\Delta C = C_i - C_e \quad (2)$$

$$\delta_c = \frac{C_i - C_e}{C_e} \times 100\% \quad (3)$$

式中： C_e ——电容测量仪校准值（已扣除起始电容），pF；

C_i ——Q 表调谐电容示值，pF。

7.3.2 信号源频率示值的校准

按图 3 所示连接被校 Q 表和频率计，分别接通电源，按附录 A 表 2 选取校准点，并记录 Q 表信号源的频率示值及频率计测得的频率值，按公式（4）、（5）计算误差：

$$\Delta f = f_i - f_t \quad (4)$$

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_t} \times 100\% \quad (5)$$

式中：\$f_i\$——Q 表频率度盘示值；

\$f_t\$——频率计测得频率值。

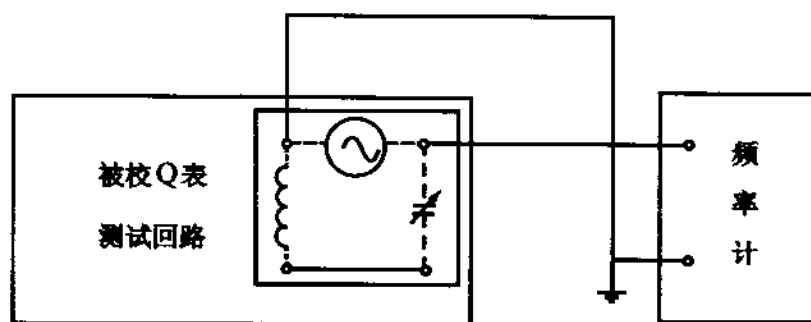


图 3 Q 表信号源频率刻度校准

7.3.3 Q 表的 Q 值测量误差校准

按图 4 所示连接 Q 值标准线圈，按附录 A 表 A3 选择校准点和记录校准数据。

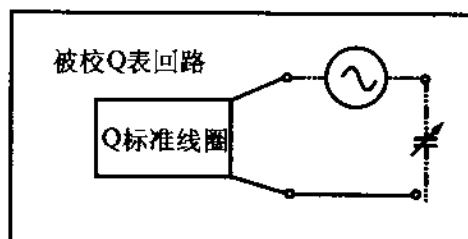


图 4 Q 表 Q 值校准连接示意图

7.3.3.1 被校 Q 表典型使用情况下被测有效 Q 值 \$Q_{ex}\$ 误差

由下式计算被测元件有效 Q 值 \$Q_{ex}\$ 的测量误差：

$$\delta_{Q_{ex}} = \frac{Q_i - Q_e}{Q_e} \times 100\% \quad (6)$$

式中：\$Q_i\$——被校 Q 表的谐振回路指示 Q 值；

\$Q_e\$——Q 标准量具的有效 Q 值，由 Q 标准计量部门给出。

7.3.3.2 被校 Q 表测试回路指示 Q 值 \$Q_i\$ 测量误差

由下式计算被校 Q 表测试回路指示回路 Q 值 \$Q_i\$ 的误差：

$$\delta_{Q_i} = \frac{Q_i - \bar{Q}_{en}}{\bar{Q}_{en}} \times 100\% \quad (7)$$

式中： $\bar{Q}_{en}$ ——被测 Q 表的均值回路标准指示 Q 值。

$\bar{Q}_{en}$ 是理想化的具有平均值回路残量的谐振测量电路标准指示 Q 值，它寄附在 Q 标准量具上。Q 标准计量部门进行有效 Q 值 Q_e 和有效配谐电容值 C_e 定值时同时也给出了由 Q_e 换算成 $\bar{Q}_{en}$ 的倍乘系数 k 。因此，用以校准指示 Q_i 误差的 $\bar{Q}_{en}$ 可由式 (8) 得到：

$$\bar{Q}_{en} = kQ_e \quad (8)$$

Q 标准线圈检定证书中所给出的典型 Q 表的倍乘系数 k 是从 Q 表设计定型时给出的平均值回路残量曲线 (Q 表使用说明书中附有) 查得残量值，按附录 B 所给出的计算公式求得的。

8 校准结果的处理

将校准结果按附录 A 所列表 A1、A2、A3 填写并出具校准证书。由于本校准规范所规定的技术操作仅表明 Q 表给出的量值 (回路指示 Q_i 和被测元件有效 Q 值 Q_{ex}) 与标准量具所复现的量值之间的参考关系 (这是高频 Q 表设计、使用特点所决定的)，故校准结果仅作出“在校准点上仪器示值 (Q_i 、 C_i) 与 Q 标准本身有效 Q 值 (Q_e 、 C_e) 对比关系。用户还可据此判断与 Q 表技术条件规定要求符合程度。

9 校准有效期

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 after，应随时校准。

附录 A

Q 表校准证书格式

Q 表校准证书由封面及 A1、A2、A3 等校准记录组成，它们的基本形式如下：
校准证书封面格式

计量技术机构名称

校准证书

证书编号_____

仪器名称：高频 Q 表_____

型号规格：_____

出厂编号：_____

制造厂：_____

送校日期：_____

校准日期：_____

实验室主任_____

核 验 员_____

校 准 员_____

表 A1 Q 表调谐电容低频刻度值校准记录

调谐电容刻度值 (pF)	校准值 (pF)	误 差	
		ΔC (pF)	δ_c (%)
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
150			
200			
250			
300			
350			
400			
450			
500			

表 A2 Q 表信号源频率刻度值的校准记录

波段	频率度盘刻度值 (MHz)	校准值 (MHz)	误 差	
			Δf	δ_f (%)
1	0.05			
	0.1			
	0.15			
2	0.15			
	0.30			
	0.45			
3	0.45			
	1.00			
	1.50			
4	1.5			
	3.0			
	4.5			
5	4.5			
	9.0			
	12			
6	12			
	20			
	25			
7	25			
	50			
	70			

表 A3 Q 表 Q 值误差校准记录

量具 序号	频率 (MHz)	标准量具有效值		均值回路标 准指示 Q	仪器指示值		误差	
		Q_e	C_e (pF)	$\bar{Q}_{en}$	Q_i	C_i (pF)	δ_{Qex}	δ_{Qei}
1	0.1							
2	0.4							
3	1.0							
4-1	2.0							
4-2	4.5							
5-1	4.5							
5-2	12							
6-1	12							
6-2	25							
7-1	25							
7-2	50							

注：

- 1 表中 Q_e 和 C_e 是 Q 标准量具本身的有效值，由计量部门的比对传递方法给值（详见 JJG 69—1990）。
- 2 表中 $\bar{Q}_{en}$ 由标准量具有效 Q 值 Q_e 乘以被校 Q 表的具有平均值测试回路残量所对应的校准点上的 Q 值倍乘系数 k 得到，即 $\bar{Q}_{en} = kQ_e$ 。
典型 Q 表的 k 值在 Q 标准计量部门给出的检测证书中给出（也见本校准规范附录 B）。

附录 B

Q 表测试回路等效电路和基本计算公式

各类高频 Q 表测试回路等效电路可表示为如图 B1。

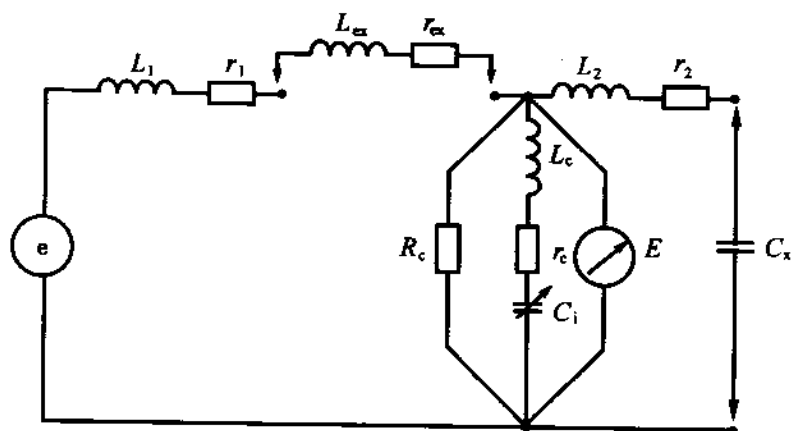


图 B1 Q 表测试回路等效电路

- L_{ex} 、 r_{ex} ——分别为被测电感线圈的高频有效电感和有效电阻；
 C_x (C_{ex})——被测电容器的高频有效电容；
 L_1 、 r_1 ——分别为电感接线柱，测试回路引线及信号耦合元件的残感和残阻；
 L_c 、 r_c ——分别为调谐电容器的残感和串联残阻；
 C_i ——调谐电容器低频刻度值；
 R_c ——调谐电容器的介质损耗和 Q 指示电压表的输入阻抗；
 L_2 、 r_2 ——分别为调谐电容器接线柱的残感和残阻。

用 Q 表来测量电感线圈的 Q 值时，图 B1 可简化为图 B2。

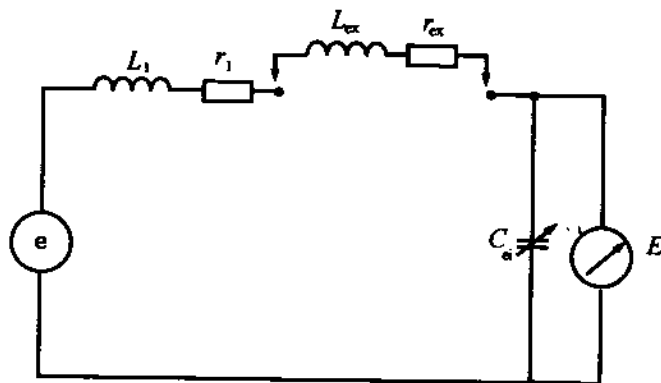


图 B2 简化的 Q 表测试回路等效电路

高频 Q 表固有残量表达式:

$$r_n = r_1 + r_c + \frac{1}{\omega^2 C_{ei} R_c} \quad (B1)$$

$$C_{ei} = \frac{C_i}{1 - \omega^2 L_c C_i} \quad (B2)$$

$$Q_n = \frac{1}{\omega C_{ei} r_n} \quad (B3)$$

式中: Q_n 为 Q 表测试回路固有 Q 值。

高频 Q 表被测元件有效 Q 值表达式:

$$Q_{ex} = \frac{Q_i Q_n}{Q_n - Q_i} (1 - \omega^2 L_1 C_{ei}) \quad (B4)$$

根据公式 (B1) ~ (B4), 查阅 Q 表使用说明书附有的几种残量曲线 $\bar{Q}_n \sim f$ 、 C_i 和 $R_c \sim f$ 及 $(r_1 + r_0) \sim f$ 可计算出 Q 标准校准点上 Q_e 和 $\bar{Q}_{en}$ 的对应数据, 并按下式计算及列出 Q 倍乘系数 k :

$$k = \bar{Q}_{en} / Q_e$$

在这些校准点上, Q_{ex} 代表 Q_e , Q_i 代表 Q_{en} , 多台仪器 Q_{en} 可算得 $\bar{Q}_{en}$ 。

国产典型 Q 表的倍乘系数及进口 Q 表 HP4342A 和 HP 42851A 的倍乘系数参考值如表 B1 所示。其中进口 Q 表的 $\bar{Q}_{en}$ 值是用变频率通带法在几年的送校仪器上实测的 (其方法参见引用文献)。

表 B1 由标准量具 Q_e 值换算回路标准指示 Q 的倍乘系数 k 值

量具序号	频率 (MHz)	国产 Q 表		进口 Q 表 HP4342A 及 HP42851A
		QBG-1A	QBG-1B	
1	0.1	0.93	0.93	1.0
2	0.4	0.94	0.95	1.0
3	1.0	0.96	0.97	1.0
4-1	2.0	0.97	0.99	0.99
4-2	4.5	0.96	0.97	0.99

表 B1 (续)

量具序号	频率 (MHz)	国产 Q 表		进口 Q 表 HP4342A 及 HP42851A
		QBG-1A	QBG-1B	
5-1	4.5	0.91	0.99	0.98
5-2	12	0.90	0.95	0.97
6-1	12	0.72	0.92	0.90
6-2	25	0.75	0.85	0.86
7-1	25	0.64	0.83	0.85
7-2	50	0.7	0.8	—