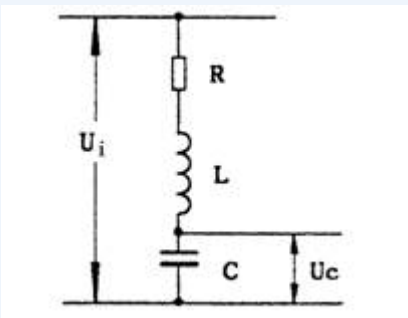


工作原理

1 . “Q”的定义

Q 表是根据串联谐振原理设计，以谐振电压的比值来定位 Q 值。  
“Q”表示元件或系统的“品质因数”，其物理含义是在一个振荡周期内贮存的能量与损耗的能量之比。对于电抗元件（电感或电容）来说，即在测试频率上呈现的电抗与电阻之比。

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi fL}{R}$$
$$或 \quad Q = \frac{U_C}{U} = \frac{1}{\omega C/R} = \frac{1}{2\pi fCR} \dots\dots\dots (1)$$



在图（一）所示的串联谐振电路中，所加的信号电压为  $U_i$ ，频率为  $f$ ，在发生谐振时：

$$|X_L| = |X_C| \quad 或 \quad 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots (2)$$

$$回路中电流 \quad i = \frac{U_i}{R} \dots\dots\dots (3)$$

$$故电容两端的电压 \quad U_C = i|X_C| = \frac{U_i}{R} \cdot \frac{1}{2\pi fC} = U Q$$

$$Q = \frac{U_C}{U_i} \dots\dots\dots (4)$$

即谐振时电容上的电压与输入电压之比为 Q 。

QBG-3D/AS2853 Q 表就是按上述原理设计的。

2 . Q 表整机工作原理（见图二）

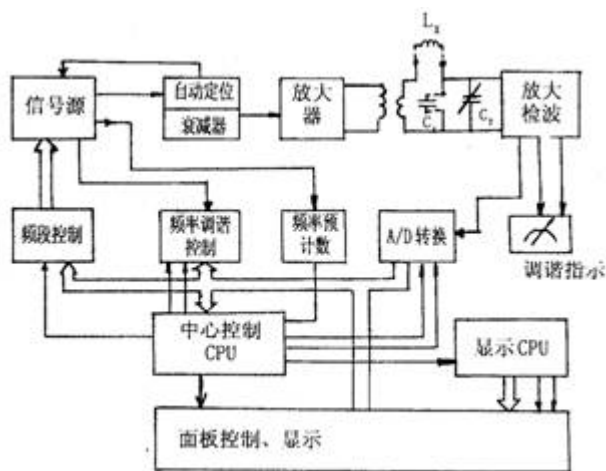


图 二

## AS2853/QBG-3D 高频 Q 表

### 工作原理

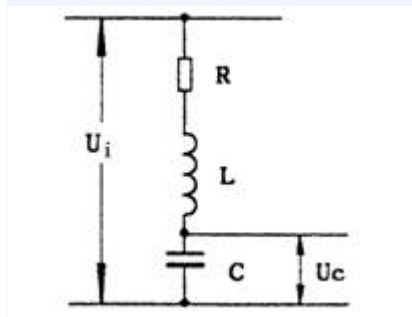
#### 1 . “Q”的定义

Q 表是根据串联谐振原理设计，以谐振电压的比值来定位 Q 值。

“Q”表示元件或系统的“品质因数”，其物理含义是在一个振荡周期内贮存的能量与损耗的能量之比。对于电抗元件（电感或电容）来说，即在测试频率上呈现的电抗与电阻之比。

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi f L}{R}$$

$$\text{或 } Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega C R} = \frac{1}{2\pi f C R} \quad (1)$$



在图（一）所示的串联谐振电路中，所加的信号电压为  $U_i$ ，频率为  $f$ ，在发生谐振时：

$$|X_L| = |X_C| \text{ 或 } 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

$$\text{回路中电流 } i = \frac{U_i}{R} \quad (3)$$

$$\text{故电容两端的电压 } U_C = i|X_C| = \frac{U_i}{R} \cdot \frac{1}{2\pi f C} = U Q$$

$$Q = \frac{U_c}{U_i} \dots\dots\dots (4)$$

即谐振时电容上的电压与输入电压之比为  $Q$  。

QBG-3D/AS2853  $Q$  表就是按上述原理设计的。

## 2 . $Q$ 表整机工作原理（见图二）

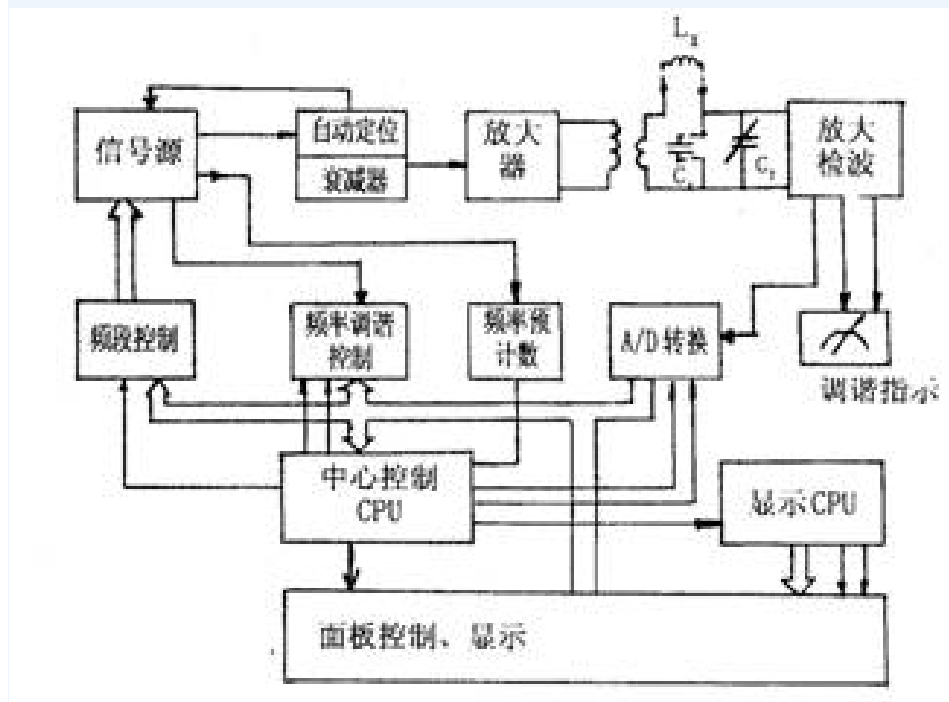


图 二

QBG-3D 和 AS2853 型  $Q$  表的工作原理框图如图二所示。它以 89C51 单片计算机作为控制核心，实现对各种功能的控制。压控信号源为  $Q$  值测量提供了一个优质的高频信号。信号源的频率受频率调谐和数字锁定单元的控制。信号源输出一路送到程控衰减器和自动稳幅控制单元，该单元根据 CPU 的指令对信号衰减后送往信号激励放大器，同时对信号检波后送出一直流控制信号到压控信号源实现自动稳幅。信号源的另一路输出送到频率计数电路，在这里完成对信号的整形，预计数，然后再送到 CPU 实现计数。信号激励部分输出送到一个宽带分压器，由分压器馈给测试调谐回路一个恒定幅度的信号。当测试回路处于谐振状态时，在调谐电容  $CT$  两端的信号幅度将是分压器提供的信号幅度  $Q$  倍。在  $CT$  两端取得的调谐信号被信号放大单元适当放大后送到检波和数字取样单元，检波后经数码取样转换，送到控制中心 CPU 去进行数据处理，同时再送给面板  $Q$  调谐指示表。由控制中心 CPU 处理过的频率值， $Q$  值等其它需显示数据送到显示控制 CPU，由显示控制 CPU 完成面板显示的控制。

### 结构特性

QBG-3D 型  $Q$  表采用了较低的台式机箱，面板采用 PC 丝印面板，美观大方。

各主要功能单元，除了显示部分为了显示方便和调谐测试回路、放大单元为了减小分布参数，安装在面板上外，其余都安装在机内底板上。见图三面板示意图。面板左半部是频率和  $Q$  值显示，操作按键和频率调谐旋钮所在部位。面板右半部是调谐回路的主，付调电容所在部位。

仪器的频段控制，标频设定，谐振点搜索， $Q$  值合格点设置都以轻触按键实现控制，频率调谐由数码开关完成，面板上无一可变电位器，极大地简化了操作，又提高了可靠性。

### A . 前面板各功能键说明：

A . 前面板各功能键说明：



图 三 Q 表前面板和外形示意图

- 1 . 频率显示数码管，共 5 位。
- 2 . 频率单位指示灯， MHz 或 kHz 。
- 3 . 器件 Q 值合格指示灯，超过已设置的值时灯亮。
- 4 . Q 值指示数码管，共 3 位。
- 5 . 工作频段选择按键，每按一次，切换至低一个频段工作。
- 6 . 工作频段指示灯，表格内为对应的频段工作频率范围。
- 7 . 工作频段选择按键，每按一次，切换至高一个频段工作。
- 8 . 工作频段内，标准测试频率设置按键，各段内标准测试频率见面板功能部分。
- 9 . 器件谐振点搜索按键，右上角指示灯亮时表示仪器正工作在自动搜索。如需退出搜索，再按此键。
- 10 . 频率调谐数码开关。
- 11 . Q 值合格比较值设定按键。
- 12 . Q 值调谐指示表。
- 13 . 对应各工作频段的电感测量范围和标准测试频率表。
- 14 . 调谐回路的付调谐电容器调谐旋钮，它与主调谐电容并联，旋钮上方对应的窗口内是该电容的变化范围指示刻度盘  
( - 3 ~ +3P ) ( AS2853 无此电容)。
- 15 . 调谐回路的主调电容调谐旋钮，上方对应的窗口内为主调电容的电容值和谐振时对应的测试电感值刻度盘。
- 16 . 电源开关
- 17 . 测试回路接线柱，左边两个为电感接入端，右边两个为外接电容接入端。
18. Q 值量程手动控制指示灯，灯亮时为手动控制方式。
19. Q 值量程自动 / 手动控制方式选择按键。
20. Q 值量程手动方式时，低一档量程选择按键。
21. Q 值量程手动方式时，高一档量程选择按键。
22. Q 值量程满度值指示灯。依次为 30 ; 100 ; 300 ; 1000 量程。

B . 后面板各功能键说明：



图 四 Q 表后面板示意图

1 .  $\sim 220\text{V}$  电源输入三芯插座，内含保险丝  $0.5\text{A} / 220\text{V}$  。

2 . 信号源工作频率监测输出端（ TTL 电平，阻抗  $1\text{k}\Omega$ ）。

#### 使用方法

高频 Q 表是多用途的阻抗测量仪器，为了提高测量精度，除了使 Q 表测试回路本身残余参量尽可能地小，使耦合回路的频响尽可能地好之外，还要掌握正确的测试方法和残余参数修正方法。

#### 1 . 测试注意事项

- 本仪器应水平安放，校准 Q 值指示的电表机械零点。
- 如果你需要较精确地测量，请接通电源后，预热 30 分钟，再进行测试。
- 调节主调电容的容量时，特别注意当刻度调到最大或最小值时，不要用力继续再调。
- 被测件和测试电路接线柱间的接线应尽量短，足够粗，并应接触良好、可靠，以减少因接线的电阻和分布参数所带来的测量误差。
- 被测件不要直接搁在面板顶部，离顶部一公分以上，必要时可用低损耗的绝缘材料如聚苯乙烯等做成的衬垫物衬垫。
- 手不得靠近试件，以免人体感应影响造成测量误差，有屏蔽的试件，屏蔽罩应连接在低电位端的接线柱。

#### 2 . 高频线圈的 Q 值测量（基本测量法）

##### A . 直接法

- 将按测线圈接在“ $L_x$ ”接线柱上；
- 选择适当的工作频段和工作频率；
- 将付调电容调至 0（AS2853 无此付调电容）；
- 先调主调电容器到谐振，再调微调电容器到精确的谐振点；即 Q 表读数达最大，此读数即为被测电感的有效 Q 值 ( $Q_e$ )，若需得到被测电感的真实 Q 值 ( $Q_t$ )，则应先测出线圈分布电容  $C_0$ ，然后照下式修正：

$$Q_t = Q_e \frac{C_1 + C_0}{C_1}$$

$C_1$  是主调电容器谐振时读数（微调电容读数合计在内），如谐振时  $C_1$  的读数很大， $C_0$  只占很小比例，则有效 Q 值 ( $Q_e$ ) 和真实 Q 值 ( $Q_t$ ) 差别可以忽略。

当 Q 值量程选择自动切换时，在调谐时，如遇量程自动转换，应停顿一下，待 Q 值稳定后，根据读数值变大或变小，确定继续调电容的方向。

##### B . 变容法

- 照直读法“a-d”进行，记下谐振时电容读数  $C_1$  和  $Q_1$ ；
- 转动主调电容，使 Q 值二次指示均为  $Q_1$  的 0.707 时，记下此时两次电容读数的差数  $\Delta C$ 。

$$Q = \frac{2C_1}{\Delta C}$$

倘要得到精确结果，则线圈的分布电容应加在  $C_1$  之内，并使主调电容作多次偏调，然后取其平均读数。

测  $Q$  值较高的线圈时， $Q$  值下降到  $0.707 Q_1$  时，电容偏调很小，读数误差较大，这时可将主电容作较大偏调 (10 % 以内)，记下偏调数  $\Delta C$  和偏调后的  $Q$  值读数  $Q_2$ ，这时  $Q$  值表达式为：

$$Q = \frac{2C_1}{\Delta C} \sqrt{\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 - 1}$$

### C. 变频法

a. 按亨读法“a-d”进行，记下谐振时读数  $C_1$  和  $Q_1$  以及频率读数  $f_0$ 。

b. 改变信号源的频率使  $Q$  值二次指示为  $Q_1$  的  $0.707$  (一次容性失谐，一次感性失谐)，记下此时二次频率读数差值  $\Delta f$ 。这时回路的真实  $Q_T$  为：

$$Q_T = \frac{f_0}{\Delta f}$$

考虑到线圈的分布电容时，线圈的有效  $Q$  值为：

$$Q_T = \left(\frac{f_0}{\Delta f}\right) \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) = \frac{f_0}{\Delta f} \left(1 - \frac{C_2}{C}\right)_{\frac{1}{4}}$$

变频法测量  $Q$  值一般表达式 (未考虑分布电容)：

$$Q_T = \frac{f_0}{\Delta f} \sqrt{\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 - 1}$$

注： $\Delta f$  是频率偏调数， $Q_1$  为谐振时  $Q$  表读数， $Q_2$  是偏调后  $Q$  表读数。

### 3. 高频线圈电感值的测量

a. 将被测线圈接在“ $L_x$ ”接线柱上，接触要良好；

b. 根据线圈大约电感值，在面板对照表上选择一标准频率，然后将讯号发生器调节到这一点标准频率上；

c. 微调电容刻度放在“0”上，调节主调电容到谐振，这时刻度盘所指的电容数为  $C_1$ ，度盘上所指电感值，乘以对照表上所指的倍数，就是线圈有效电感值 ( $L$ )；

d. 如要得到真实电感数 ( $L_T$ )，必须先测得电感分布电容量  $C_0$ ，如分布电容较小的话，在调到谐振点后，记下主调电容  $C_1$ ，然后再将主调电容量调在“ $C_1 + C_0$ ”值上，这时度盘的电感读数乘以对应的倍数，就是所求真实电感读数，也可按以下公式计算求得：

$$L_T = L \frac{C_1}{C_1 + C_0}$$

f 被测电感小于  $1 \mu H$  时，按上法测得电感值还应减去仪器中测试回路本身剩余电感“ $L_0$ ” (QBG-3D  $L_0 = 27nH$ ，AS2853  $L_0 = 7nH$ )。

### 4. 高频线圈分布电容 $C_0$ 的测量

#### A. 倍频率法

如线圈的分布电容较大，可用此法作近似测试。

将被测线圈按在“ $L_x$ ”接线柱上，调主调电容器到最大电容数值，调讯号源频率到谐振，令谐振时频率和指示调谐电容分别是  $f_1$  和  $C_1$ 。然后将讯号源频率调到  $f_2 (f_2 = n f_1)$ ，再调电容器度盘到谐振点，此时电容读数为  $C_2$ ，根据下式即可求出分布电容量 (测量时微调

电容到零)。

$$C_0 = \frac{C_1 - n^2 C_2}{n^2 - 1}$$

如取  $n=2$ ，则为： $C_0 = (C_1 - 4C_2) / 3$

若取不同  $C_1$  进行多次测量后取一个平均值，则测试结果将较为准确。

B．自然频率法（此法可获得较准确的结果）

- a．将被测线圈接在“ $L_x$ ”接线柱上；
- b．将微调电容器度盘调至零，主调电容器度盘调到最大电容值  $C_1$ ；
- c．调讯号源频率，使回路谐振，该频率为  $f_1$ ；
- d．取下被测线圈，换上一个能在主调电容器调节范围内和十倍于  $f_1$  频率谐振的电感；
- e．讯号源调到  $10 f_1$  位置，调节主调电容器到谐振点；
- f．将被测线圈接在“ $C_x$ ”两端，调节主调电容器达谐振，此时视电容读数是增加还是减小。若增加，则应将振荡器频率调高些，若减小，则频率调低些。
- g．再取下被测线圈，调节主调电容达到谐振；
- h．重复步骤“f”、“g”直到某一频率，被测线圈接上“ $C_x$ ”两端和不接上均不改变谐振点，这一频率即为被测线圈的自然谐振频率  $f_2$ ，它的  $C_0$  数值为：

$$C_0 = C_1 (f_1 / f_2)^2$$

注：测量中所需辅助线圈可由 LKI-I 电感组提供便利。

#### 5．电容器容量的测量

A. 在测量范围内的小于主调电容量的电容器的测量

- a．选一个适当的谐振电感接到“ $L_x$ ”的两端；
- b．将微调电容调至零，主调电容器调到最大值附近，令这个电容是  $C_1$ ，如未知电容是小数值的， $C_1$  应调到较小电容值附近，以便达到尽可能高的分辨率；
- c．调讯号源的频率，使测试回路谐振，令谐振器 Q 的读数为  $Q_1$ ；
- d．将被测电容接在“ $C_x$ ”两端，调主调电容器，使测试电路再谐振，令新的调谐电容值为  $C_2$  和指示 Q 值为  $Q_2$ 。

被测电容的有效电容为  $C_x = C_1 - C_2$

电容器损耗角正切为

$$\tan \delta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1 + C_2}$$

电容器的有效并联电阻为

$$R_p = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \cdot \frac{1}{C_1 + C_2}$$

$C_0$  为回路谐振电感的自身电容。

B．大于主调电容量的电容器用可替代法测量

- a. 取一只适当容量的标准电容量，其容量为  $C_3$ ，将它接在“ $C_x$ ”接线柱上。
- b．按 5A / a-c 各测试步骤；
- c．取下标准电容器，将被测电容接到“ $C_x$ ”接线柱，调节主调电容器到谐振，此时主调电容量读数为  $C_2$ ，则  $C_x$  可由下式得到：

$$C_x = C_3 + C_1 - C_2$$



## 6. Q 合格预置功能使用

Q 合格预置功能特别适用于工厂需大批量测试某同规格元件的 Q 值时，当该元件 Q 值超过某一给定值即为合格，这时合格指示灯亮仪器同时鸣叫提醒，这样可减轻工人视力疲劳，同时大大加快了测试速度。

Q 合格预置的步骤：

- a. 选择要求的测试频率；
- b. 用一只合格元件或一只辅助线圈调谐测试回路，使 Q 值读数指示在所需预置 Q 值位置上；
- c. 按一下 Q 值合格比较按键，使 Q 合格指示灯亮，同时仪器发出鸣叫声，此时该功能设置就结束了；
- d. 换上要测试的器件，微调谐振电容至谐振点，如果该器件的 Q 值大于设定的 Q 值，Q 合格指示灯就亮，同时仪器发出鸣叫。如需取消已设置的合格值，只需拿去被测元件，待 Q 值指示 0 时，再按一下设置键即可。

## 7. 标准测试频率按键的使用

如果你需在标准测试频率点上，测试器件时，你可以先按频段选择键选择好标准频率所在的工作频段，然后再按一下标准频率设置按键，仪器就会替你自动准确地设置好测试频率，省去你花时间去调节频率。

对于 AS2853，前 5 个波段，每波段有二个测试频率，第一次按下此键时，设置的是较低的测试频率，第二次按下此键时，设置的是较高的测试频率。

## 8. 谐振点自动搜索功能的使用

如果你对电感元件无法确定它的数值时，你就可用该功能来帮你寻找出它的谐振频率点。步骤如下：

- a. 把元件接以接线柱上；
- b. 主调电容调到中间位上（大概）；
- c. 按一下搜索按键，右上角指示灯亮时，仪器就进入搜索状态。

仪器从最低工作频率一直搜索到最高工作频率，如果你的元件谐振点在频率覆盖区间内，搜索结束后，将会自动停在元件的谐振频率点附近。

如果临时要退出搜索状态，可再按一次搜索键，仪器会退出搜索操作。

## 9. 频率调谐开关的使用。

QBG-3D/AS2853 的频率调谐采用了数码开关，它能辨别使用者的要求，来调节频率变化的速率（频率变化值 / 档），在你快速调节该开关时，频率变化速率也加快。当你缓慢调节开关时，频率变化速率也慢下来，最低可小于分辨力。因此在调谐时接近所需的频率时，应放缓调节速度。当你调节的频率超出工作频段的频率时，仪器会自动选择低一个或高一个频段工作。实际的各工作频段频率范围比面板上提供的频率范围略宽一些。

## 六、维修

### 1. 新购仪器的检查

新购的仪器最好能先用 LKI-2 电感组，将各个电感在各个不同频率测试 Q 值，把测试的情况，例使用的电感号，测试频率 Q 读数，电容读数等多次测得数及测试环境条件逐一详细记录，并把记录保存起来，以供以后维修时作参考。

LKI-2 电感组是专供测试时作辅助电感用的，不能把这些电感当作高精度的标准电感看待。随着测试环境条件不同，测得电感器 Q 值和分布电容可能略有不同。

### 2. 使用和保养

高频 Q 表是比较精密的阻抗测量仪器，在合理使用和注意保养情况下，才能保证长期稳定和较高的测试精度。



- a . 熟悉本说明书，正确地使用仪器；
- b . 使仪器经常保持清洁、干燥；
- c . 本仪器保用期为 18 个月，如发现机械故障或失去准确度，可以原封送回本厂，免费修理。

3 . 电感组

LKI-2 电感组是专供测试作辅助用的，它含有 10 个屏蔽罩屏蔽的电感。这些电感具有较高的 Q 值。各电感的电感量等数据如附表一。

附表一 LKI-2 电感组， AS2853 选配电感

电感 No	电感量	准确度 %	Q 值≥	分布电容约略值
10	250mH	± 5	50	15pF
9	25mH	± 5	70	10pF
8	5mH	± 5	100	10pF
7	1mH	± 5	100	14pF
6	250 μ H	± 5	150	9pF
5	50 μ H	± 5	150	12pF
4	10 μ H	± 5	150	7pF
3	2.5 μ H	± 5	150	7pF
2	0.5 μ H	0.05 μ H	200	5pF
1	0.1 μ H	0.05 μ H	100	5pF
AS2853 选配				

附： Q 表在测量 Q 值时附加说明：

Q 表是根据串联谐振和电压比值原理工作的， Q 表的指示 Q 值是包括被测件的有效 Q 值及测试回路固有残量在内的整个谐振回路有效 Q 值，必须用 Q 表测试回路残量修正 Q 表的指示 Q 值，这是 Q 表测量的一个重要特点。

在一般情况下， Q 表作为低精度仪器使用或利用 Q 表对线圈作比较测量时，可不必对残量的影响进行修正。

Q 表的 Q 值测量误差可按 Q 值参考标准不同分为二类。



我厂采用的一种是以 Q 表生产厂家所提供并经计量部门审核的均值回路标准指示值 Q en 为参考标准， Q 表指示 Q 值 Q i 的相对误差由下式表示：

$$\delta Q i=[(Q i-Q en) \div Q en] \times 100 \%$$

式中 Q i 为标有 Q en 值标准量具在 Q 表上的实际指示值。

注：修正系数主要用于用户测量一个器件 Q 值时，根据指示的 Qi 值换算出较准础的 Q 值。

附表二 各 Q 值均值回路指示值 和测试回路平均残量修正系数表

线圈测试 号 频率		Qe BQG-2 ( No.81014 )	QBG-3D 	修正 系数	AS2853 	修正 系数
1	100kHz	114	108.7	0.95		
2	400kHz	135	135	1		
3	1MHz	134	134	1		
4	2MHz	154	149.9	0.97		

	4.5MHz	183	175.9	0.96
5	4.5MHz	170	160.2	0.94
	12MHz	237	215.6	0.91
6	12MHz	234	180.3	0.77
	25MHz	305	255.6	0.84
7	25MHz	218	163.5	0.75
	50MHz	257	235.1	0.91

Qe : 标准有效 Q 值