

# 腔体滤波器的设计中耦合窗口的计算

马军昌 魏文珍  
(西安富士达科技股份有限公司 西安 710077)

**摘要:**根据螺旋滤波器耦合窗口,通过螺旋线与谐振杆转换,得出腔体耦合窗口的计算,与实例有很好的吻合。

**关键词:**同轴腔体滤波器耦合窗口 面积等效

中图分类号:O431.2

文献标识码:A

文章编号:1674-098X(2011)05(c)-0082-02

腔体滤波器谐振腔之间的耦合窗口问题比较复杂,用数学分析的方法来解决比较困难,尤其耦合窗口的高度与耦合系数之间的关系,目前还没有准确的数学分析和计算。现在可以借鉴的技术只有螺旋谐振器的耦合系数与窗口高度之间一个关系曲线。如果将其通过等效转换,将螺旋线等效为腔体滤波器的谐振杆,那么问题将会得到解决。为了更好的说明这个问题,在推导完成之后,再通过一个例题去验证它。

## 1 同轴腔体之间的耦合

### 1.1 耦合窗口高度和耦合系数之间的关系

螺旋滤波器的窗口 $h$ 的定义如图1所示。

通过实验的方法得到如下的关系曲线见图1上图:

图中: $K$ —耦合系数; $h$ —窗口高度; $d$ —螺旋线直径

上图曲线可以简化为下列公式:

$$K \times 10^{-3} = 0.071(h/d)^{1.91} \quad (1)$$

上式中的 $K$ —耦合系数、是按预畸设计法得到的。

所谓预畸设计法:为了在元件有耗的情况下准确地实现各类响应,须把元件的损耗预先考虑进去,然后进行综合得出有耗时的设计参数来。这时除通带内附加一固定损耗外,响应曲线与无耗情况一样,这就是预畸设计法。显然,不同的损耗,综合出来的数据是不同的。

通过上面一个公式明显解不出我们需要的 $h$ ,因此还需要引入另一个参数 $K'$ ,

$K'$ —是归一化的耦合系数,

在低通原型滤波器中,将耦合系数定义为: $K'_{12} = \omega_{12} / \omega_{3dB}$

$\omega_{12}$ —相邻两元件的实际谐振频率

$\omega_{3dB}$ —滤波器通带边缘衰减3分贝处的实际频率

而耦合系数

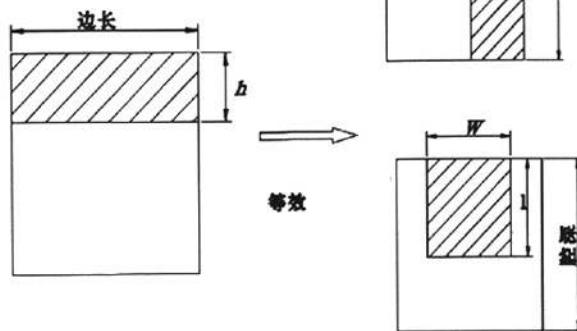
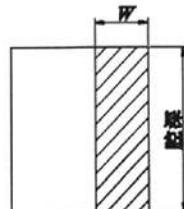


图2

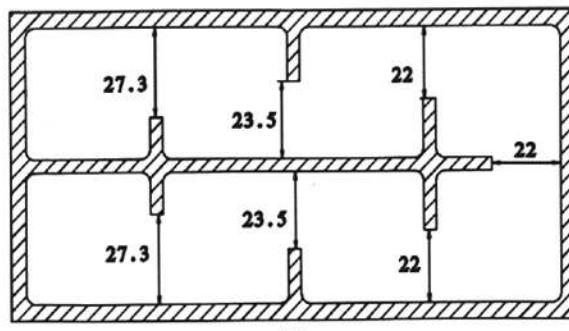


图3

$$K'_{i,i+1} = K'_{1,i+1} \times \Delta f_{3dB} / f_0 \quad (2)$$

上式中: $\Delta f_{3dB}$ 为3dB带宽

$f_0$ 为中心频率

$K'_{1,i+1}$ 为相应已的低通原型中第*i*支路和第*i*+1支路间的耦合系数

在实际设计中 $\Delta f_{3dB}$ 是已知数; $f_0$ 是已知数; $K'_{1,i+1}$ 当滤波器的节数和设计原型确定后,可以通过查表的形式得到。

这样通过(2)式既可求出 $K'_{1,i+1}$ ,将它代入(1)就可以解出 $h/d$ 。

### 1.2 螺旋线与谐振杆

通过以上公式可以看出,只要知道 $d$ 就可以解出窗口的高度 $h$ ,在螺旋滤波器中 $d$ 是可以确定的,而在同轴腔体滤波器中如果将谐振杆和螺旋线作一等效,问题将得到解决。

#### 1.2.1 圆柱腔

螺旋滤波器:

阻抗: $Z_c = 25 \times 10^4 / f_0 D$

$D$ —内腔直径(cm)

当 $Q$ 值最大时: $d/D = 0.55$

$d$ —螺线管平均直径(cm)

代入上式有: $Z_0 = 137.5 \times 10^3 / f_0 d$  (3)

同轴腔体圆柱腔:

$Z_{c1} = 138 \lg(D^4/d^4)$  (4)

$D^4$ —同轴腔体圆柱腔内径

(下转84页)

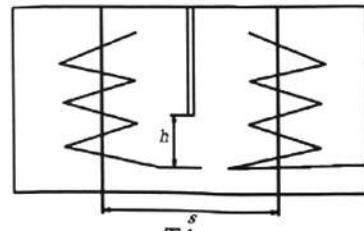
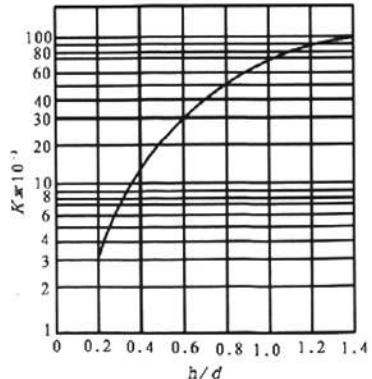


图1

性化的同时，朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展。在数控机床上增加不同容量的刀具库和自动换刀机械手，增加第二主轴和交换工作台装置，或配以工业机器人和自动运输小车，以组成新的加工中心、柔性制造单元(FMC)或柔性制造系统(FMS)。如出现了PLC控制的可调组合机床，数控多轴加工中心，换刀换箱式加工中心，数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工设备和介于传统自动线与FMS之间的柔性制造线(FTL)。

## 5 小型化

蓬勃发展的机电一体化技术对CNC装置提出了小型化的要求，以便将机、电装置揉合为一体。目前许多CNC装置采用最新的大规模集成电路(LSI)，新型TFT彩色液晶屏型显示器和表面安装技术，实现三维立体装配，消除了整个控制逻辑机架。如日本FUNAC的18i和21i系列CNC装置采用高密度352球门阵列(BGA)，专用LSI和多晶片模块(MCM)微处理器技术，两项产品都是一个单电路卡，安装在平板显示器背后，整个CNC装置缩小成一块控制板。这类CNC装置将控制器尺寸缩小了75%，成功地把具有8轴控制功能的CNC印刷电路板凝缩为只有一张名片大小，并把它安装在液晶显示器的背面，成为世界上最薄的CNC控制器。

(上接82页)

$d^1$ —同轴腔体圆柱腔谐振杆直径

令 $Z_{c1} = 20$

则有： $138/g_{10}(D'/d') = 137.5 \times 10^3/f_0 d$

所以： $d = 10 \times 10^3/f_0 g_{10}(D'/d')$ (cm) (5)

### 1.2.2 矩形腔

方法同上，可以得到

$d = 10 \times 10^3/f_0 [lg_{10}(D'/d') + 0.025]$ (cm) (6)

可见我们利用螺旋滤波器耦合窗口的计算方法，通过转换，将腔体滤波器的腔体，谐振杆等效为螺旋滤波器的腔体和螺旋线，再通过螺旋滤波器的理论去计算出它的耦合窗口。

## 2 举例

例：通带频率：2110~2170(MHz)

$\Delta f_{3dB} \approx 66.6\text{MHz}$

矩形单腔： $40 \times 40 \times 27(\text{mm})$

谐振杆直径： $\Phi 15\text{mm}$ ，高 $20.8\text{mm}$

节数：8

计算满足通带频率的各耦合出口的宽度、深度。

计算：

(1)采用切比雪夫0.01波纹

(2)查表得归一化耦合系数

$K'_{12} = 0.8430$ ;  $K'_{23} = 0.5673$ ;  $K'_{34} = 0$ .

## 6 网络化

网络化数控装备是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求，也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机，如在EMO2001展中，日本山崎马扎克(Mazak)公司展出的“CyberProduction Center”(智能生产控制中心，简称CPC)；日本大隈(Okuma)机床公司展出“IT plaza”(信息技术广场，简称IT广场)；德国西门子(Siemens)公司展出的Open Manufacturing Environment(开放制造环境，简称OME)等，反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

## 7 开放式体系结构

由于数控技术中大量采用计算机的新技术，新一代的数控系统体系结构向开放式系统方向发展。自20世纪80年代末以来，国际上主要数控系统和设备生产国家竞相开发基于PC的CNC，并提出了开放式CNC体系结构的概念，开展了针对开放式CNC的前、后台标准的研究，如美国的NGC(The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧共体的OSACA(Open System Architecture for Control within

Automation Systems)、日本的OSEC(Open System Environment for Controller)、中国的ONC(Open Numerical Control System)等。美国的NGC(下一代控制器)计划的核心就是建立在一个有硬件平台和软件平台的开放式系统，开发SOSAS，用于管理工作站和机床控制器的设计和开发。基于PC的开放式CNC大致可分为四类：PC连接型CNC、PC内置CNC、CNC内装型PC和纯软件NC。这些系统以通用PC机得体系结构为基础，构成了总线式(多总线)模块，开放型、嵌入式的体系结构，其硬软件和总线规范均是对外开放的，硬件即插即用。经过加固的工业级PC机已在工业控制区域得到了广泛应用，并逐渐成为主流，其技术上的成熟程度使其可靠性大大超过以往的专用CNC硬件。

## 参考文献

- [1] 何雪明，等主编.数控技术.华中科技大学出版社，2006.
- [2] 夏伯雄主编.数控技术.水利水电出版社，2010.
- [3] (美)瓦伦蒂诺,(美)戈登堡主编,郑金辉等编译.计算机数控技术基础.中国劳动社会保障出版社,2005.

1。

边长(直径) $\times h = W \times H$ 如图2。

(6) 结构图(如图3)。

## 3 结语

通过以上推算和等效转换，将复杂的同轴腔体滤波器耦合窗口的计算变得简单化，经过十几种不同频率和带宽的滤波器实践，证明是可行的。现在的设计常用到一些仿真软件，如果将两者相结合，对设计的结果会更准确。

## 参考资料

- [1] LC滤波器和螺旋滤波器的设计.成都电讯工程学院.
- [2] Simplified Modern Filter Design. New York. 1963.
- [3] C.F.Nicholson. 交叉指状滤波器元件的谐振频率.IEEE Trans MTT vol.14. 1966.

5198;  $K'_{45} = 0.5098$ ;  $K'_{56} = 0.5198$ ;  $K'_{67} = 0$ .

5673;  $K'_{78} = 0.8430$

因为： $K'_{i,i+1} = K'_{i+1,i} \times \Delta f_{3dB}/f_0$

代入 $K'_{i,i+1}$

得到： $K'_{12} = K'_{78} = 26.259 \times 10^{-3}$

$K'_{23} = K'_{67} = 17.671 \times 10^{-3}$

$K'_{34} = K'_{56} = 16.192 \times 10^{-3}$

$K'_{45} = 15.88 \times 10^{-3}$ 。

(3)求 $d$

因为： $d = 10 \times 10^3/f_0 [lg 10(D'/d') + 0.025]$

代入 $f_0 = 2140$ ,  $D' = 40$ ,  $d' = 15$

得： $d = 10.36\text{mm}$ 。

(4)求 $h/d$

由公式(1)得： $h_{i,i+1}/d = (K_{i,i+1}/71)^{1/1.91}$

代入前面求出的 $K_{i,i+1}$ 可以得到：

$h_{12}/d = 0.594$ ;  $h_{23}/d = 0.483$ ;

$h_{34}/d = 0.461$ ;  $h_{45}/d = 0.457$

解出 $h$ 后根据腔体间的隔板厚进行修正(修正值在1.0752~2.4之间)。

(5)面积等效

计算 $h$ 后根据面积等效的方法，等效出实际加工的窗口宽度 $W$ 和深度 $H$ (如图2)。

圆柱腔的面积等效方法同上，直径同矩形腔的边长。

注：等效运算方法：

边长(直径) $\times h = W \times$ 谐振杆的高，如图

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



### 微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

### 更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

**易迪拓培训**

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>