

# 基于微波回波法检测混合液组分技术研究

马耀,邢贺民,段滋华\*

(太原理工大学化学化工学院,山西太原030024)

**摘要:**对混合液体组分的微波检测技术进行了研究。基于微波回波检测法,利用不同的物质具有不同的介电常数,将混合液介电常数的信息转变为微波特征参数的信息,通过矢量网络分析仪反映出来,从而快速精确检测出混合液各组分的含量。笔者选取回波法,即选取微波回波损耗作为特征参量,将混合液作为微波传输介质,通过微波探头直接测量出微波回波损耗,从而确定混合液组分含量。

**关键词:**微波检测技术;回波法;回波损耗;液体组分

中图分类号:TQ11

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2013)03-0113-03

## Study on detection of miscible liquids based on the microwave technology with pulse echo

MA Yao, XING He-min, DUAN Zi-hua\*

(Taiyuan University of Technology, College of Chemistry and Chemical Engineering, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Detection of liquid components with microwave technology is studied in this study. Based on microwave pulse echo method, the information of permittivity can be turned into an argument of microwave due to different permittivity for different material, which can detect the liquid components rapidly and exactly. Microwave return loss (RL) can be directly determined with RL as an argument and the mixed liquid as microwave transmission medium. Thus liquid components can be determined by microwave pulse echo method.

**Key words:** microwave detecting technique; pulse echo; return loss; liquid components

混合液组分含量的控制对于工业企业尤其重要,如工厂中要严格控制润滑油的组分,润滑油老化或被污染,油液中的极性分子核颗粒物含量发生变化,将直接影响到传动装置的传动质量以及传动零件的寿命;食品业如牛奶类以及酒类要严格控制产品中各个组分的含量,工艺过程中物料各组分的成分变化会影响到整个过程是否能够安全的运行,甚至影响到产品的质量。目前,用于检测混合液体组分的方法主要有比重法<sup>[1]</sup>、绝对体积法<sup>[2]</sup>,此外还有单片机结合外围电路测量法<sup>[3]</sup>、电容测量法<sup>[4]</sup>等。比重法虽然仪器简单,操作方便,由于计算比较复杂,导致结果误差较大;绝对体积法相对成熟但是对外界条件要求严格,而且不适用于测量易挥发的混合液;单片机结合外围电路测量和电容测量法虽然测量精度高但是成本高昂,操作不便。而微波检测技术作为一种新的检测技术在建筑、结构等方面

应用广泛<sup>[5]</sup>,微波检测的基本原理是综合利用微波与物质的相互作用,一方面微波在不连续界面产生反射、散射和透射,另一方面微波还能与被检测物质产生相互作用,此时微波均会受到物质中的电磁参数和几何参数的影响。笔者运用回波法,通过测量微波信号特征参数—回波损耗的变化即可实现对混合液组分含量的快速检测。

## 1 微波检测系统

### 1.1 实验装置

微波是一种高频电磁波,其特点是波长短、频率高、频带宽,他的波长在0.1~1 000 mm,频率范围通常为300 MHz~3 THz,微波通常呈现穿透、反射和吸收3个特性。

利用微波与被检测混合液产生相互作用,不同组分的混合液,其介电常数不同,由于不同介电常数

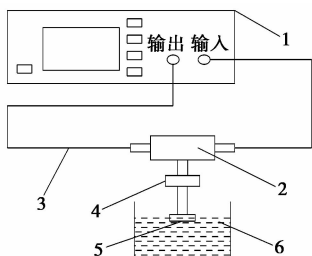
收稿日期:2012-09-25

基金项目:太原市科技局2012年大学生创新创业专项课题资助(120164029)

作者简介:马耀(1987-),男,汉族,硕士生,mayao\_1208@163.com;段滋华(1952-),女,硕士,教授,硕士生导师,通讯联系人,duanzihua@tyut.edu.cn。

的混合液会使微波信号特征参数发生变化,笔者选取回波损耗(RL)为特征量,通过测量微波回波损耗的变化来确定混合液组分含量。

实验装置主要有微波矢量网络分析仪、环形器、连接电缆、N 型保护接头、微波测液探头和待测混合液等构成,如图 1 所示。



1—微波矢量网络分析仪;2—环形器;3—连接电缆;  
4—N 型保护接头;5—微波测液探头;6—待测混合液

图 1 微波检测系统实验装置

### 1.2 实验样品

选取不同体积分数的乙醇水溶液进行试验,将无水乙醇(乙醇质量分数 > 99.7%)与水分别配备成不同体积比的混合液,按酒精体积分数为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% (无水乙醇) 分别配制 300 mL,作为待测液放置于玻璃瓶中,贴上标签,密闭。

### 1.3 实验方案

#### 1.3.1 确定最佳检测频率段

按图 1 所示连接好微波检测系统实验装置,观察矢量网络分析仪的频率范围,实验所用矢量网络分析仪的频率范围为 30 ~ 3 200 MHz,在此频率范围内先依次对已知体积分数的乙醇水溶液进行测量,记录网络分析仪中回波损耗的变化曲线,分析其变化规律,确定微波测液频率段。实验发现,纯水的回波损耗随着频率的变化最为明显,由于频率  $\geq 1\ 100$  MHz 时,纯水的回波损耗已接近于 0,同时在频率  $\leq 100$  MHz 时,纯水的回波损耗变化随频率变化规律不明显,因此,频率段确定为 100 ~ 1 100 MHz,初步将频率分为 3 段:低频段(140 ~ 150 MHz)、中频段(760 ~ 810 MHz)、高频段(950 ~ 1 050 MHz)。

#### 1.3.2 相应频率段下进行微波检测

在划分好的 3 个频率段下,将已知体积分数的乙醇水溶液按从小到大的顺序,利用微波检测系统实验装置对混合液进行检测(注意检测时不要将微波测液探头被待测液浸没,以免影响精度),同时记录矢量网络分析仪中显示的回波损耗的变化曲线以

及相应的数据。

## 2 实验结果

### 2.1 低频段下检测分析

低频段下(140 ~ 150 MHz)微波检测的实验数据如表 1 所示。由于在低频段下,不同体积分数的乙醇水溶液的回波损耗变化不太明显,因此选取 4 个点频来分析低频段的实验数据。

表 1 低频段下微波检测的回波损耗实验数据(RL/dB)

体积分数	142 MHz	144 MHz	146 MHz	148 MHz
水	6.3	6.3	6.3	6.3
10%	6.7	6.6	6.6	6.6
20%	7.0	7.0	6.9	6.9
30%	7.4	7.4	7.3	7.3
40%	8.0	7.9	7.9	7.8
50%	8.5	8.5	8.5	8.4
60%	9.5	9.5	9.4	9.4
70%	10.2	10.1	10.1	10.1
80%	11.2	11.1	11.1	11.1
90%	12.1	12.1	12.0	11.9
酒	13.5	13.4	13.4	13.3

由表 1 可以看出,在 140 ~ 150 MHz 频率范围内,同一种液体的回波损耗值基本稳定,即在液体体积分数不变的情况下,液体的回波损耗值基本不变。纯水在 140 ~ 150 MHz 频率范围内的回波损耗稳定在 6.3;对其他体积分数的乙醇水溶液,在 140 ~ 150 MHz 频率范围内的回波损耗呈现波动现象,回波损耗的变化值  $\leq 0.2$ 。由此可以说明,在低频段下乙醇水溶液的回波损耗值基本稳定。

在一定的点频下(140 ~ 150 MHz),乙醇水溶液回波损耗随着体积分数的增加而增大。由此可得:在 140 ~ 150 MHz 频率范围内,通过回波损耗这一特征参量可以检测乙醇水溶液的组分。

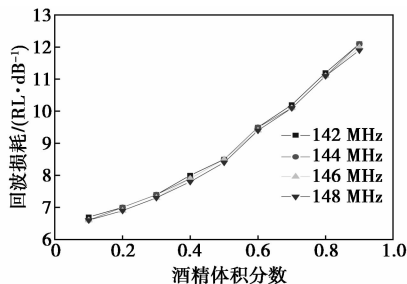


图 2 低频段下乙醇水溶液的回波损耗变化

从图2可以直观的看出,在一定频率下,乙醇水溶液的回波损耗随着体积分数的增加而增大且趋势明显,可见在此频率范围内,利用微波检测技术,通过测量微波回波损耗可以实现对乙醇水溶液组分的检测。4条图线基本重合,表明乙醇水溶液的回波损耗值对频率变化不敏感。可以推断在频率不稳定的情况下,用低频区间对乙醇水溶液进行检测,检测结果稳定。

## 2.2 中频段下检测分析

在中频段(760~810 MHz)下,乙醇水溶液回波损耗的检测结果如图3所示。

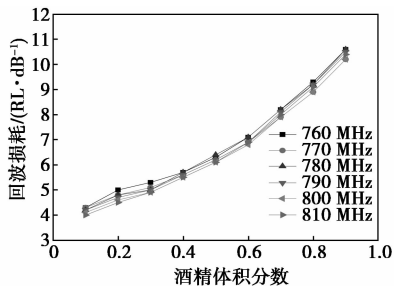


图3 中频段下乙醇水溶液的回波损耗变化

由于在中频段下乙醇水溶液的回波损耗随频率的变化波动相对较大,故采取步长 $\Delta F = 10$  MHz来记录数据并绘制曲线。从图3中曲线可以直观看出,在频率一定的条件下,乙醇水溶液的回波损耗随体积分数的增加而增大,6条曲线比较分散,即在体积分数一定时,回波损耗随频率的变化区别开来,相对于低频区间,同一体积分数乙醇水溶液的回波损耗随测量频率的改变而改变,测量精度有所提高。

## 2.3 高频段下检测分析

在高频段(950~1 050 MHz)下,乙醇水溶液回波损耗的检测结果如图4所示。

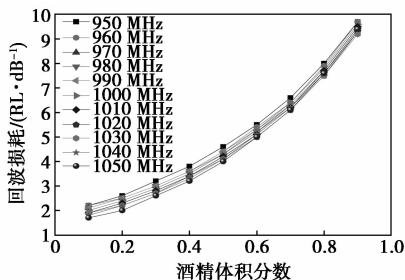


图4 高频段下乙醇水溶液的回波损耗变化图

在高频段下,乙醇水溶液的回波损耗随频率的变化波动更大,取 $\Delta F = 10$  MHz,记录数据并绘制曲

线。分析图4中曲线可以更直观的看到,在高频段下,回损同样是随着酒精体积分数的增大而增大,趋势更为明显,在此频段下,可以更为明显的区分出各混合液组分质量分数,曲线重合度相对更低,即频率变化时,同一体积分数的乙醇水溶液的回波损耗变化更为明显,检测精度随之提高,因此高频段适用于对精度要求较高的场合。

## 3 结论

通过对微波检测系统的理论研究和实验方案的设计,在3个频率范围内进行了相应的实验。实验以乙醇水溶液为例,得出如下结论:

(1)利用微波检测技术,通过回波法可以实现对混合液组分的快速精确检测。

(2)实验在3个频段下对比进行,最终确定最佳检测频段为高频区间,即在950~1050 MHz范围内,检测精度最高。

综合比较3个频段下的回波损耗曲线表明:随着频率的提高,回波损耗变化曲线越陡,变化趋势越来越明显,检测精度随之提高。实验以乙醇水溶液为例,证明了利用微波检测技术可以快速的检测出混合液的组分。在精度方面,低频段的设备成本较低,精度较低,而高频段的设备则成本较高,精度随之提高,检测时可以根据实际需要,综合考虑选择合适的频段。

将微波检测技术应用于混合液组分含量的检测,快速、精准,无需取样分析,避免定期采样检测带来的安全隐患,保证了传输和储存等过程中各个组分都在合理范围内,有很大的工程应用价值。

致谢:论文得到太原市科技局的大力支持,同时指导老师也付出了辛勤劳动,在这里一并表示感谢。

## 参考文献

- [1] 赵祥. 比重计法测定混合油浓度的新式计算[J]. 中国油脂, 1984, (02): 26-30.
- [2] 刘淑玲, 李建刚. 大包装白酒产品净含量测量方法的探讨与改进[J]. 酿酒科技, 2012(03): 57-62.
- [3] 张震宇. 基于SPEC061A的智能化酒精浓度检测器设计[J]. 电子器件, 2008, 31(02): 738-742.
- [4] 肖建伟, 杨定新, 胡政, 等. 基于介电常数测量的新型在线油液监测传感器[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(04): 102-104.
- [5] 周在杞. 微波检测技术发展动向[J]. 无损检测, 2008, 30(11): 782-783. ■