

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

單模共振腔微波加熱器在食品工程的應用

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2214-E-002-027-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

計畫主持人：李允中

共同主持人：江昭暄

計畫參與人員：劉俊傳、葉耀中、曹宇欣

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 12 月 26 日

單模共振腔微波加熱器在食品工程的應用

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC93-2815-C-002 -004E

執行期間： 93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：李允中

共同主持人：江昭皚

計畫參與人員：劉俊傳、葉耀中、曹宇欣

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫

及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學生物產業機電工程學系

中 華 民 國 94 年 12 月 26 日

中文摘要

連續無菌加工含有固體顆粒的液體食品是食品工程上一直在探討的問題。本計畫是原為一個三年期的研究計畫，擬在這段期間研究單模共振腔微波加熱器並應用於含顆粒液體食品的殺菌作業。第一年將以數學模式分析模擬建立理想的微波加熱器設計，並自行在實驗室製作。微波加熱器將經過試車、量測與修改。計畫將來能設計製作中間工廠型的微波加熱器，並使用這個加熱器進行含顆粒液體食品的殺菌試驗，以殺菌動力分析研判殺菌效能

Abstract

Development a continuous thermal process of liquid foods with solid particulates is a challenging problem in food engineering. In this three conjunctive years proportion project a single-mode resonant cavity microwave heating system will be developed to fulfill the goal. In the first year laboratory scale microwave heating system was designed based on computer simulation studies and the system was made and tested in our laboratory. In the year to come a pilot scale single-mode resonant cavity microwave heating system will be design and accomplished and sterilization of liquid food with solid particulates will be studied in the system.

一、前言

微波加熱在食品加工與膳食備製上的使用非常多，它是一種方便而有效率的加工方式。但是主要的微波加熱設備大多是家用或商用，工業用的微波加熱商品並不多。食品工業製程加熱的目的主要為殺菌與滅菌，使用微波於大型固體的工業製程近年來才逐漸展開。無菌包裝是液體食品包裝的一個主流，以蒸汽直熱或間接加熱是目前的主要殺菌方式。多年來研究者一直嘗試擴展這種方法到含小顆粒的液體食品，但都未能成功。使用微波連續加熱於液體食品或是含有小顆粒固體的液體食品之殺菌都有相當的潛力，但是目前這方面的商品還是很少研究文獻也有限，具有很大的研究發展空間。

二、研究目的

本計畫擬設計一個單模共振腔的微波加熱器以供液體食品與含小顆粒固體的液體食品之殺菌之用。計畫的成功達成可以提供液體無菌包裝食品一個高效率的加熱殺菌方式，並對含小顆粒液體無菌包裝殺菌是一個簡便而有效率的方法。對相關研究者提供一實驗研究的平台，對食品業提供一個製程開發的新研究方向。

三、文獻探討

一般家用或商用微波爐為多模共振腔微波加熱器，微波在共振腔中產生很多的共振模式，因此具有許多的共振模點。再加上金屬通風扇的擾動，產生比較均勻的能量分佈。這種微波爐適合加熱體積較大的不規則固體，雖然能量分佈均勻而不能集中，加熱速度與效率較差。單模共振腔微波加熱器在共振腔只產生單一的模式，模點固定而且較少，因此能量集中。若能將被加熱的固體放置在適當的位置，則可以得到集中的加熱，加熱速率較快。若是將液體流經適當的位置則可以連續快速的加熱液體。

單模共振腔常見的形式有長方形與圓柱形。若使用於液體加熱於長方形共振腔時，將流體以非導體對微波有通透性的導管通過電場強度最大的點。共振腔在有負荷時會改變其共振形式，長方形共振腔藉由活塞改變共振腔的尺寸而來調協，這種形式的共振可用來量測物體的介電常數，也可以做為物體的加熱例如：Abdelghani-Idrissi(2001)；Adu. and.Otten. (1996)使用這種形式的微波加熱器探討微波加熱對食品感濕性的影響。長方形單模共振腔體積較大能量較分散，不如圓柱形共振腔來得集中。圓柱形共振腔的共振模式以 TM010 最為集中，在此模式的共振模式中，電場強度最大的位置非常的集中在圓心軸上，且在軸上非常均勻，是一個最有效的集中加熱裝置。但由於過於集中，僅適合加熱細絲狀的物體。以 2450MHz 的微波原為例，若負荷如水這類的高介電常數物質，其能量集中的半徑僅有 1-2mm。TM020 是較適合考慮的共振形式，雖然此中形式的能量不如 TM010 的集中，但是寬度較寬。雖然在電場強度高的範圍，不如 TM010 的均勻，如果用於流體的加熱，由於流體的紊流流動產生的混合現象可以彌補此缺點 (Metaxas and Meredith 1983)。微波由磁控管產生後經由波導傳輸，再與共振腔結合，磁控管、波導與共振腔的匹配是決定能量輸送效率的重要關鍵，但是被加熱的物質除對共振模式有所影響對於匹配也有所影響。Pipiskova and Lukac (1970)以實驗分析決定負荷開口的位置設計。共振腔的設計與計算關鍵模式是 Maxwell 公式，在以往常藉著偏微分方程式的解析解來探討共振模式，在有負荷時由於負荷的複雜性，而不容易研究。近年來數值分析的進步，使有負荷的共振形式變得容易分析 (Chan and Reader 2000)。Sangdao.and Krairiksh (1998)、Sangdao et al. (2000) 以數值方法分析導波管與圓柱共振腔的耦合位置，並指出此位置與尺寸必須配合共振頻率，才會得到最佳的組合。數值分析也用於探討磁控管入口與電場分佈的關係

(Milovanovic2003)。Hill and Marchant (1996) 設計一個可以調整高度的圓柱共振腔，耦合一個可以調整長度的導波管，利用負荷的變化與長度的變化可以調協出幾個不同共振模式，並以量測輸出的最大值與加熱紙上的灼痕驗證。有些模式的最高電場強度的位置不在中央，而

且可能對稱的有兩個，例如 TM_{11n}，這種模式的共振會有兩個最高電場強度位置，偏心的對稱分佈在兩側，若以兩液體導管通過則可平均的接受能量，這種不同模式的共振很多，但是目前的研究仍不多(Chan and Reader 2000)。單模共振腔應用於食品加熱早期的研究與專利大多以 TE₁₀ 的波導耦合 TM₀₁₀ 為多，其中最有趣的專利是用這種裝置製造無膜熱狗 (李 1992)。

四、研究方法

本計畫設計製造實驗室型單模共振腔微波加熱器一套，並希望藉由分析能於將來建立一中間工廠型單模共振腔微波加熱器，並利用這些設備進行性能分析。

加熱器設計首先以軟體模擬分析，目前本實驗室有的軟體為 FEMLAB 多物理量的模擬分析軟體。此軟體具有熱傳與流力模組(化學工程模組)與電磁場模組，並且可以自行以偏微分方程式建立所必須的模組，各模組可以耦合同時求解。因此被加熱物體的變化，以及隨溫度變化的物理量可以同時求得，比較接近實際的狀況。利用軟體分析可以減短設計時嘗試錯誤所發的時間與金錢。

實驗室型微波設備將使用 2540MHz 的微波產生器，輸出功率約為 700-1000W。這種規格與家用微波爐相同，可以利用家用微波爐的微波產生器與部分波導等零件。但是使用這個頻率的加熱器加熱區域的尺寸比較小，處理量比較少因此比較適合製作實驗室型加熱器。輸出功率較小，則可以將兩套串連使用。

以模擬所得的設計資料，利用家用 1kW 微波爐的微波源，製作微波加熱器。加熱器的共振腔將平均的鑽出 3mm 的小孔，以利電場探頭伸入量測電場。

加熱器液體管路入口與出口裝置熱電偶溫度感測器，將以水為加熱對象，並以不同流量驗證所建立的數學模式之正確性。

五、結果與討論

本研究使用 2.4GHz 的微波，波源為訂作的 1Kw 微波產生器。實驗中將調整為調整單模共振腔的阻抗匹配，使微波在共振腔內的耦合程度達到最高，節省損耗的能量。

以 FEMLAB 軟體模擬矩形共振腔電場、磁場與能量強度結果分別如圖 5-1 至 5-3。

以上述模擬設計共振腔如圖 5-4 共振腔長度由活塞調節，活塞由擋板和螺桿組成，藉由旋轉螺桿來調整活塞進入腔體的程度，擋板的主要功能為固定活塞和腔體，避免在作用時能量外洩，活塞尺寸為 86*43*10mm，擋板配合螺桿攻牙，

內徑約為 15-20mm，螺桿長 200mm。經實驗結果得知加熱溫度最高點在距離共振腔入口長度 30mm 處，與模擬計算值差 30mm，此長度正為磁控管之導管的等效長度。此系統正進行進一步試驗並模擬連續加熱，以其利用此資料研提下一年度計畫。

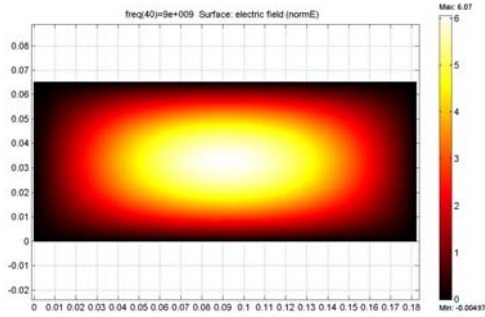


圖 5-1 矩形單模共振腔電場強度分佈

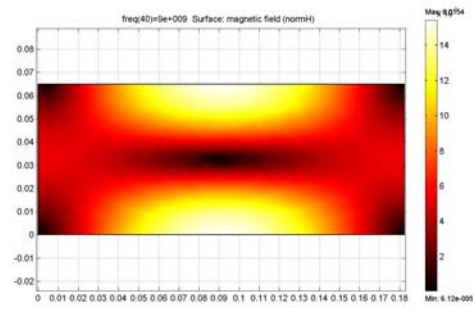


圖 5-2 矩形單模共振腔磁場強度分佈

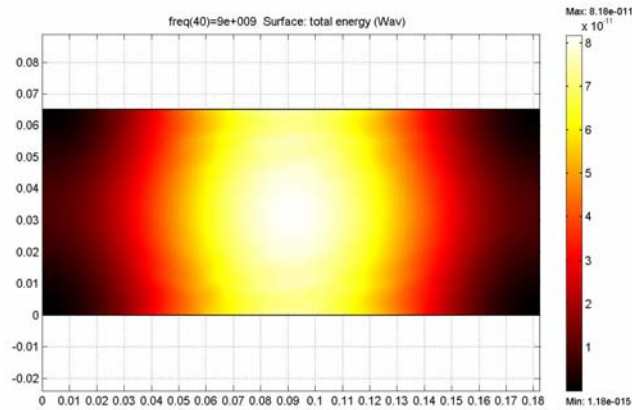


圖 5-3 矩形單模共振腔電場強度分佈

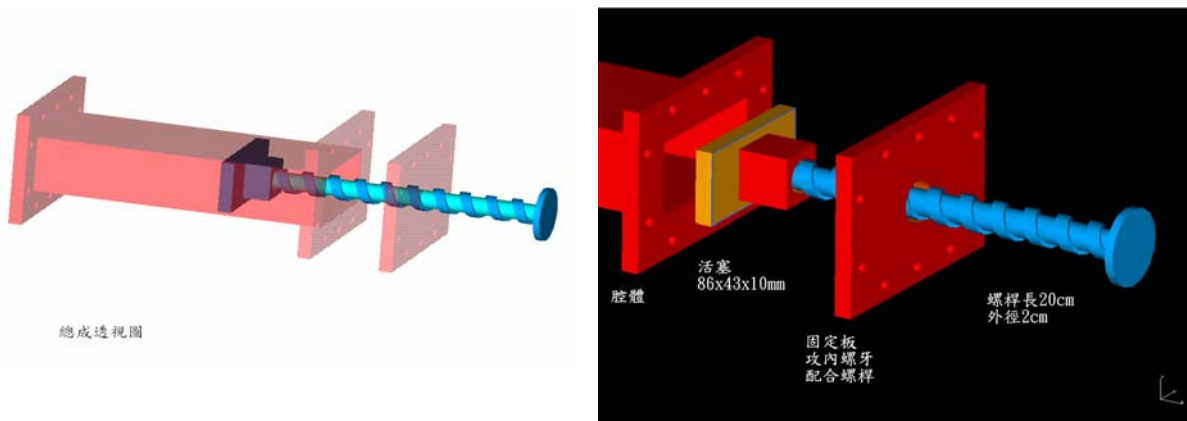


圖 5-4 矩形單模共振腔實體圖