第4卷 无锡轻工业学院学报 Vol. 4 No. 4
第4期 JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY 1985

电子计算机在热过程计算中的应用

黄福南

（轻工业部食品发酵工业科学研究所）

一、前　言

自从Ball(1923)开创了罐头热杀菌过程计算的数学方法以来，热过程计算在罐头热杀菌工艺条件制订中一直起着十分重要的作用，近年来，随着高速数字电子计算机的发展，电子计算机在热过程计算中的应用日益广泛，正在逐步取代手工计算。电子计算机具有计算速度快，计算精度高的优点，能使热过程计算更加精确、迅速，更具有实际意义。

一般来说，热过程计算需要解决两类问题。一类问题是已知杀菌时间，计算杀菌值。另一类问题是已知杀菌值计算杀菌时间。

根据电子计算机在热过程计算中应用目的不同，大致可以分为两种：一是用于计算热过程计算用参数表；二是直接进行热过程计算。在第二种应用中，电子计算机执行了全部的计算任务，因此不再需要任何的手工计算

第一种应用中最典型的是用于计算经验公式法中使用的无量纲参数值U/f_h或f_h/U。U是杀菌釜温度为参考温度下的全过程(包括加热期和冷却期)的杀菌值。Stumbo[1](1973)应用电子计算机计算了$f_h/U:g$表。Stumbo的计算全部采用了Ball公式，但考虑了不同j_c对f_h/U值的影响，Hayakawa[2](1974)应用他自己发展的公式借助电子计算机计算了U_h/f表。U_h是杀菌釜温度为参考温度下的加热期的杀菌值。Hayakawa的表值只适用于他发展的热过程计算方法。R.J.Steel[3](1979)发表了经过修正的Ball表值即$U/f:g$表。R.J.Steel对Ball表值的修正是通过正确使用两个指数积分函数及其数值积分公式实现的，而在本质上与Ball公式并无差别。作者[4](1985)对Ball公式作了更正，且应用电子计算机计算了新的$U_h/f:\lg(g)$表。新的表值由于从根本上更正了Ball中存在的问题，因而提高了Ball公式在热过程计算中的精确度。

计算机在第一种应用中还有部分计算仍然需要靠手工来完成。为了免除手工计算，许多人采用电子计算机直接进行热过程计算。

应该指出，绝大部分第一种应用中的计算机程序，只要经过适当的改进就可以实现计算机直接热过程计算，即实现第二种应用。但第一种应用中的计算机程序应用在第二种应用中时是不经济的，其原因在于：①计算效率不高；②需要较多的存贮单元；③在给定杀菌值计算杀菌时间时程序将会十分复杂而耗用大量的计算时间。Manson和Zahradnik(1976)[5]编制了这样的程序，这个程序采用了Stumbo和Longleg(1966)[6]计算的参数表。因此这个程序用了较多存贮单元存放这些参数表，而且程序仅能解决第一类问题。

随着对罐头传热规律的深入研究，采用电子计算机热过程模拟进行热过程计算已有了基

本文1985年6月22日收到。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

础。

Teixeira等(1969)发展了一个计算机程序[1]。这个程序是运用传热理论方程编制的，且采用了有限元计算技术。因此这个程序可用于圆罐固体食品的热过程计算，但也只能用于解决第一类问题。

Hayakawa(1977)发展了一个程序，且在1982年作了改进。这个程序具有多种功能，可用于解决第一类问题，也可用于解决第二类问题；可用于简单直线型加热的情况，也可用于多至两个转折点的转折型加热的情况；可用于计算单点的杀菌值，也可用于计算整罐平均杀菌值。由于这是个多用途的程序，因此程序十分复杂，需要较大的计算机容量，操作上也较为复杂。

为便于推广应用电子计算机于热过程计算，作者新近编制了与Hayakawa(1982)的程序相仿的一个计算机程序，仅需较少的存贮单元，使用也较为简便，但程序保留了大部分主要功能*。

二、数 学 模 型

计算机热过程计算与手工热过程计算一样需要微生物特性数据和食品温度特性数据，计算机热过程计算程序的数学模型是基于应用这两类特性数据的一系列数学表达式。

1．表示微生物致死特性的数学公式

这是基于微生物半对数热致死规律，即在恒温下加热时，微生物的残存数与加热时间在半对数座标上作图时成为直线。此直线可用如下方程表示。

$$(C/C_0) = R \cdot 10^{-t/D} \tag{1}$$

式中R是微生物热致死残存曲线的截距系数。当微生物的残存曲线没有初始的曲线部分时$R=1$。

由于指数函数的性质，等温加热时间无论有多长，理论上微生物的残存浓度不可能为零。实践中，人们往往选择一个指定的残存浓度作为确定热致死时间的标准。若选定残存浓度为初始浓度的10^{-n}，则需要等温加热时间为

$$\tau = nD + D\lg(R) \tag{2}$$

当$R=1$时

$$\tau = nD \tag{2a}$$

当$D=D_r$时，τ便为F值，

$$F = nD_r \tag{2b}$$

根据微生物热致死时间曲线则有方程

$$\tau_r/\tau = 10^{(T-T_r/Z)} \tag{3}$$

实际测定时，往往用D值曲线代替热致死时间曲线，D值曲线常称之为假想热致死时间曲线，此时方程(3)可用另外一个方式表达。

$$D_r/D = 10^{(T-T_r)/Z} \tag{3a}$$

比较方程(1)和(2a)可知

$$n = t/D \tag{4}$$

* 由于受篇幅限制本文没有列出程序的全文。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

将方程(4)代入(2b)得

$$F = t/D \cdot D_r \tag{5}$$

将方程(3a)代入(5)得

$$F = t \cdot 10^{(T-T_r)/Z} \tag{6}$$

从方程(6)可知，若把时间 t 看作自变量，杀菌值 F 便是时间 t 的函数。因此杀菌值即为以 t 为积分变量的积分值。

$$F = \int_{t_1}^{t_2} 10^{(T-T_r)/Z} dt \tag{7}$$

计算机计算时，方程(7)用数值积分法计算。为计算方便，积分函数 $10^{(T-T_r)/Z}$ 常常单独计算，且用 L_i 表示，即

$$L_i = 10^{(T-T_r)Z} \tag{7a}$$

方程(7)和(7a)便是计算机程序中使用的两个用以表示微生物致死特性的数学公式。

2. 食品温度方程

目前已有许多温度方程式可用于食品在热杀菌过程中的温度计算，其中以使用参数 j 和 f 的经验公式应用最为广泛。

整个杀菌过程分加热期和冷却期。加热曲线用于表示食品在加热期的温度特性；冷却曲线表示食品在冷却期的温度变化情况。在许多情况下，加热曲线和冷却曲线都由初始曲线部分和一个或二个以上的直线部分组成。初始曲线和直线部分的食品温度用不同的方程式计算。

加热期初始曲线部分的食品温度采用 Hayakawa (1983)的方程计算[8]。

当　$0.001 \leqslant j \leqslant 0.4$ 时

$$T = T_1 - (T_1 - T_0) \cdot 10^{-(t/B)/n}$$

$$n = (t_1/f - \lg(j))(t_1/f)$$

$$B = t_1(t_1/f - \lg(j))^{-n}$$

当　$0.4 \leqslant j < 1$ 时

$$T = T_1 - (T_1 - T_0) \cdot \operatorname{ctg}(Bt + \pi/4)$$

$$B = -\frac{1}{t_1}\left[\operatorname{arc\,tg}\left[\frac{\lg(T_1 - T_0)}{\lg(j \cdot (T_1 - T_0)) - t_1/f}\right] - \frac{\pi}{4}\right]$$

当　$1 < j$ 时

$$T = T_1 - (T_1 - T_0)^{\cos(Bt)}$$

$$B = \frac{1}{t_1}\operatorname{arc\,cos}\left[\frac{\lg(j(T_1 - T_0)) - t_1/f}{\lg(T_1 - T_0)}\right]$$

冷却期初始曲线部分的食品温度同样可用上述方程计算，但需将符号变换

$$f_h = f_c \qquad T_1 - T = T - T_w$$

$$j_h = j_c \qquad T_1 - T_0 = T_g - T_w$$

加热期直线部分的食品温度方程是

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$T = T_1 - j_h(T_1 - T_0)10^{-t}/f_h \qquad \text{当 } t \geqslant t_1 \text{ 时}$$

冷却期直线部分的食品温度方程是

$$T - T_w = j_c(T_g - T_w)10^{-t_c}/f_c \qquad \text{当 } t_c \geqslant t_1 \text{ 时}$$

式中t_1由下列方程组计算

$$t_1/f = \begin{cases} 0.3913 - 0.3737 \lg(j) & \text{当 } 0.0001 \leqslant j < 0.4 \\ 0.9(1-j) & 0. \leqslant j < 1 \\ 0 & j = 1 \\ 0.7(j-1) & 1 < j \leqslant 5.8 \\ 1.54 \lg(j/1.8) & 5.8 < j \end{cases}$$

三、计算机程序

计算机程序是采用 FORTRAN Ⅳ 语言编制的，图1是程序的流程简图。

程序中子程序SVAIU是进行热过程计算的主要程序，它调用所有的子程序。子程序STH和STC分别承担加热期直线部分和冷却期直线部分的食品温度的计算。子程序COOI同时用于计算加热期和冷却期的初始曲线部分的食品温度。子程序TIX用于计算初始部分的时间长度。计算所得食品温度通过子程序RATE换算成与温度相对应的细菌致死率。子程序 SIMP是致死率的积分程序，这个子程序应用牛顿——辛卜生积分公式，将各温度下的致死率值进行积分得出全过程的杀菌值。主程序中 的ID 判断语句是鉴别第一类和第二类问题的语句。当ID = 1时，程序执行第二类问题，ID等于其他任何值时为解决第一类问题。在解决第二类问题时，程序计算的杀菌值与已知杀菌值比较。当计算值等于已知值时，这时的时间即为所需的杀菌时间。由于计算机难以鉴别两个相同的实数，因此程序在执行计算值与已知杀菌值比较时，实际上是比较两者的差值不大于某一个很小的值。当这个条件满足时，即认为计算的杀菌值与已知杀菌值相等。程序设定最小差值为10^{-4}，这对热过程计算来说，精度已足够了。主程序中的BROK判断语句是鉴别简单直线型加热还是转折型加热。当 BROK = 1 时，程序执行转折加热型热过程计算，BROK为其他任何值时，程序执行简单直线加热型热过程计算。本程序只适用有一个转折点的转折加热型热过程计算。

本程序共有17个输入数据，这些输入数据是HJ，FH1，CJ，FC，TR，TWCMC，T1，TOIAL，Z，UTIM，X，FH2，FP，DIV，ID，BROK，T。这些输入数据的含义是：HJ为食品加热的截距系数，FH1为食品加热曲线第一条直线的斜率指数，CJ为食品冷却曲线的截距系数，FC为食品冷却曲线的斜率指数，TR为参照温度，TWCMC为冷却水温度，T1为杀菌锅温度，TOIAL为食品初温，Z 为微生物热致死时间曲线的斜率指数，UTIM为加热时间，X为与转折点有关的参数，FH2为食品加热曲线第二条直线的斜率指数，FP 为杀菌值，DIV为确定温度点数的参数，BROK为判断简单直线加热型或转折加热型的参数，ID为判断解决第一类问题或第二类问题的参数，T为加热时间，其中HJ，FH1，CJ，FC，TR，TW CMC，T1，TOIAL，Z，UTIM，DIV是基本输入数据，程序在进行任何计算时，这些输入数据都必须有一定的值。X，FH2，BROK，ID，FP，T 的输入值需要根据计算目的而确定。这些输入数据有以下几种可能。

1）解决第一类 ID 取除 1 以外的任何正整数，FP = 0.0，，T = 0.0，

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

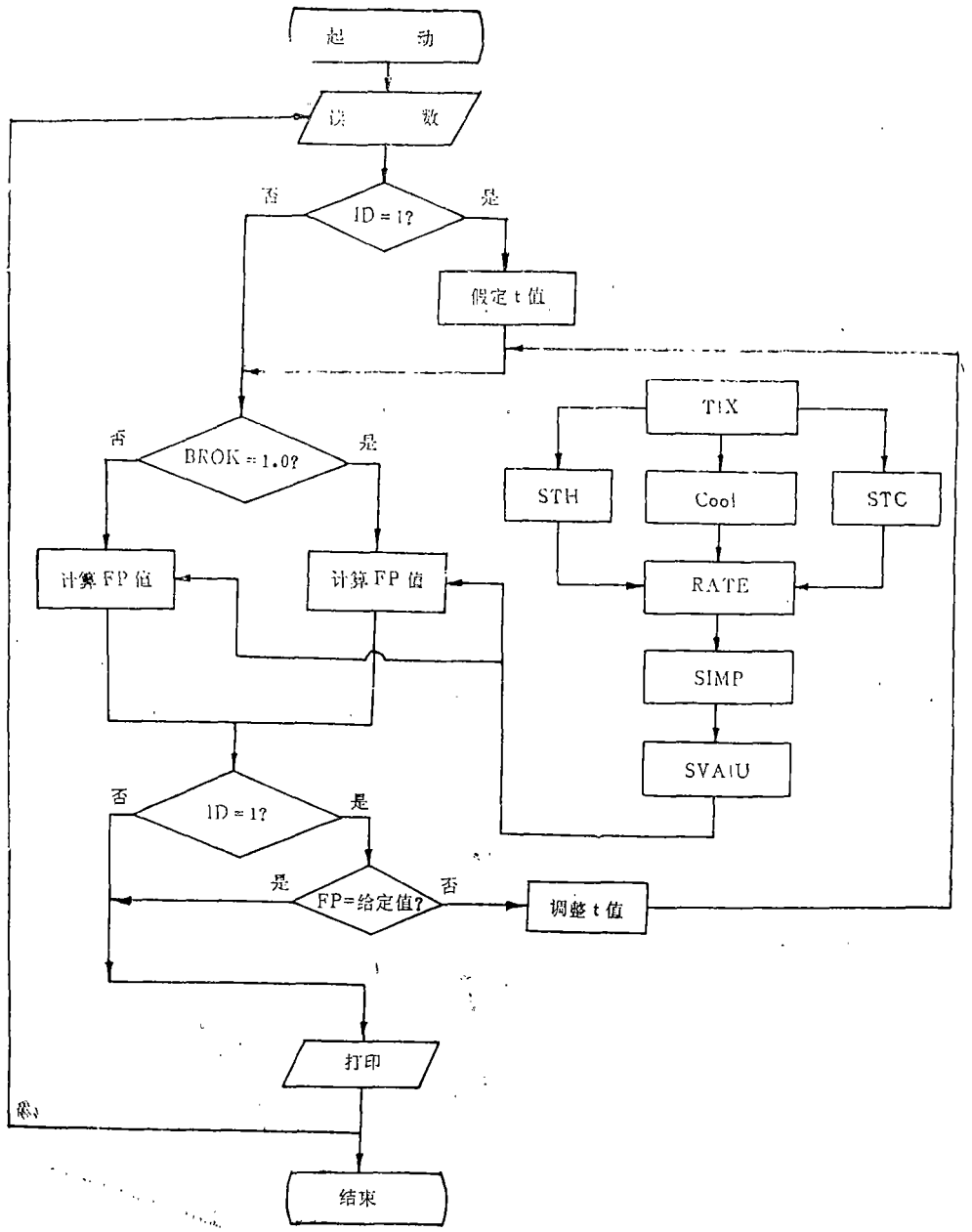


图 1　计 算 机 程 序 流 程 简 图

2）解决第二类问题　ID = 1，FP = 给定值，UTIM = 0.0

3）简单直线加热型　BROK 取除 1.0 以外的任何实数，X = 0.0，$FH_2 = FH_1$

4）转折加热型　BROK = 1.0，X_1 = 某一给定值，FH_2 = 某一给定值

四、举　例

1. 计算 8117 罐型清水竹笋杀菌条件为1 16℃，56 分钟的杀菌值

这是简单直线加热型，解决第一类问题，因此ID取除 1 以外的任何正整 数 如 2，FP =

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0.0，T = 0.0，BROK取除1.0以外的任何实数如2.0，X = 0.0，FH2 = FH1 = 14.9。其他输入数据为 HJ = 0.95，FH1 = 14.91，CJ = 1.41，FC = 14.91，TR = 121.1，TWCMC = 15.0，T1 = 116.0，TOIAL = 20.0，Z = 10.0，UTIM = 56.0，DIV = 0.1。

计算结果 FP = 10.6

2．确定8113罐型整装马蹄在116℃下满足杀菌值为8.3所需要的加热时间

这是简单加热型，解决第二类问题，因此ID = 1，FP = 8.3，UTIM = 0.0，BROK取除1.0以外的任何实数如2.0，X = 0.0，FH2 = FH1 = 6.93，其他输入数据为 HJ = 0.69，FH1 = 6.93，CJ = 1.41，FC = 6.93，TR = 121.1，TWCMC = 20.0，T1 = 116.0，TOIAL = 10.0，Z = 10.0，DIV = 0.1。

计算结果，所需要的加热时间T = 33.7(分)

3．计算 854 罐型整装马蹄杀菌条件为116℃，40分钟的杀菌值

这是转折加热型，解决第一类问题，因此ID取除 1 以外的任何正整数如 2，FP = 0.0，T = 0.0，BROK = 1.0，X = 1.58，FH2 = 4.8。其他输入数据为 HJ = 1.23，FH1 = 2.61，CJ = 1.41，FC = 4.8，TR = 121.1，TWCMC = 20.0，T1 = 116.0，TOIAL = 10.0，Z = 10.0，UTIM = 40.0，DIV = 0.1。

计算结果，FP = 10.33

4．确定15173罐型清水笋丝在116℃下满足杀菌值为13.7所需要的加热时间

这是转折型加热，解决第二类问题，因此 ID = 1，FP = 13.7，UTIM = 0.0，BROK = 1.0，X = 10.18，FH2 = 19.65，其他输入数据为HJ = 1.36，FH1 = 7.55，CJ = 1.14，FC = 19.65，TR = 121.1，TWCMC = 15.0，TI = 116.0，TOIAL = 50.0，Z = 10.0，DIV = 0.1。

计算结果，所需要的加热时间T = 60.03(分)

五、结　论

本文为热过程计算发展了一个计算机程序。是采用食品传热方程和细菌致死率积分公式编制的。由于食品传热方程采用了目前使用最广泛，人们最熟悉的两个传热特征值 j 值和 f 值，因此程序的适用性大，而且使用简便。目前 j 值和 f 值的测定容易获得精确数据，因此该方程的可靠性较大。此外，程序在进行致死率的数值积分时，步长可以任意设定。当步长足够小时，可以获得相当高的计算精度。

程序的设计和编制满足了目前罐头工业热过程计算的需要，即程序可以用于简单加热型和有一个转折点的复杂型加热，解决其第一类问题或第二类问题。

该程序有16个输入数据，其中除HJ，FH1，FH2，CJ，FC以及X需要通过传热试验测定外，其余都由工艺数据确定。当进行传热试验后，或在已经获得某罐头食品的传热特征值时即可对现行杀菌工艺条件进行校核或制定杀菌工艺条件。

符　号　说　明

C 微生物体积浓度

C_0 微生物初始体积浓度

f 食品温度曲线的斜率指数

f_h 食品加热温度曲线的斜率指数

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

f_c 食品冷却温度曲线的斜率指数

g 加热结束时食品温度与杀菌锅温度的差

j 食品温度曲线的截距系数

j_h 食品加热温度曲线的 j 值

j_c 食品冷却温度曲线的 j 值

D 微生物减少90%所需要的加热时间

D_r 在 121.1℃ 下的 D 值

F 参考温度为121.1℃的杀菌值

n 减少指数

L_i 换算系数 $L_i = 10^{-(T-T_r)/Z}$

R 微生物热致死残存曲线的截距系数

T 食品温度

T_r 参考温度，一般为 121.1℃

T_1 杀菌锅温度

T_0 食品初温

T_w 冷却水温度

T_g 加热结束时食品温度

t 加热时间

t_2, t_1 公式(7)中的上下限

t_1 初始曲线部分的时间长度

t_c 冷却时间

U 杀菌锅温度为参考温度下的全杀菌过程的杀菌值

U_h 加热期的 U 值

Z 微生物致死时间曲线的斜率指数

τ 等温加热时间

τ_r 121.1℃下的 τ 值

参　考　文　献

[1] Stumbo, C.R. "Thermobacteriology in food processing", 2nd ed. Academic Press, new york. 1973

[2] Hayakawa, Kan-ichi, Heat Sterilizing of biological material. In "The computer aids for chemical engineering education" (R.Gordon, ed.), Vol. 4,pp.199～243. Aztec publ. Co., Austin, Texas. 1974

[3] R.J. Steel. "Revision of the formula method tables for thermal process evaluation". Journal of food science, Vol. 44, pp 954～957,1979

[4] 黄辐南，"公式法热过程计算用表"。《食品与发酵工业》，第二期，1985

[5] Manson, J.E., and Zahradnik, J.W. "Computer thermal process determination for conduction-heated foods." Food technology Vd21. 1206, 1967

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[6] Stumbo C. R., and Longleg R. E. "New parameters for process calculation." food Technology. vol. 20, 341, 1966

[7] Teixeira, A., Dixon, J.R., "Computer determination of spore survival distributions in thermally processed conduction-heated foods." food technology. vol. 23, 78, 1969

[8] Hayakawa, Kan-ichi. "Heat sterilization of food", pp. 109～120, Koseisha-Koseikaku Co., Ltd.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

85033

A MICROCOMPUTER REALIZATION of IIR DIGITAL FILTER «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1958

KEYWORDS Distributed arithmetic, Lookup table, Summed coefficient, coefficient partitioning, First difference method, Cutoff frequency sampling rate. This paper describes how the IIR digital filters are implemented by use of distributed arithmetic combined with preformed lookup table.

Author: Feng Wei

85031

COMPUTER APPLICATION in THERMAL PROCESS ESTIMATION «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Computerized estimation of thermal process, Thermal characteristic value of canned food, Sterilizing value, Thermal schedule.

A computer program has been developed for evaluation of thermal process of canned food. A group of temperature equations and the integration formula of lethality were used for the development. Since tmperature equations contain two experimental parameters, j and f values, which are widely used by food producers for description of thermal process, the program is the most reliable and simple to use, and suitable to both convection and conduction in heating food. It can be used to resolve two kinds of problems of thermal process estimation, that is, determination of sterilizing value of a given thermal process and determination of a proper processing schedule, heating time and retort temperature to produce a desired sterilizing value for canned food with either simple heating curve or brocken heating curve having no more than one break point.

Author: Huang Funan

85034

A RESEARCH on the MECHANISM for CLOSING the BOX of the SUCCESSIVE-TURN TYPE, FILLING and SEALING MACHINE «Journal of the Wuxi Institute of Light Iudustry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Continuously revolving-type, Pick-up, filling and sealing machine, Folding the tongue, Inserting the tongue, Closing boxes.

A theoretical analysis and research, of the mechanism for closing boxes, based on the development of the pick--up and continuously revolving-type filling and sealing machine is presented. In the paper this formulae for caculating the main parameters as well as graphs and examples for design have been unfolded.

Author: Fang Ganiaing

85032

AN ANALYSIS of the PSEUDO RANDOM SEQUENCE for M-SEQUENCES SYSTEM IDENTIFICATION and CORRELATION MEASURING INSTRUMENT «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Pseudo Random sequence, System Identification, correlation mesuring instrument.

This paper is to introduce the application of micro-computer Tp-801 in the dynamic characteristic analysis of a system. That is, to produce a pseudo random sequence for M-sequence and to identify the system using the statistic correlative method, then the pulse response function of system can be obtained. Finally a transfer function of system is available through data processing. In comparison with theoretical analysis, it is relatively low in cost, with better accuracy and higher speed, also easier data handing

Author: Cheng Bingqian

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

85031

电子计算机在热过程计算中的应用《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 计算机热过程计算，罐头食品的传热特性，杀菌值，杀菌工艺条件

摘 要 本文为罐头食品热过程计算发展了一个计算机程序。这个计算机程序使用了一组温度方程和致死率积分公式。由于所使用的温度方程含有两个在罐头工业中最广泛使用的实验参数：j和f值，因此程序使用简便，可靠，而且适用于对流加热和传导加热食品。该程序可用于解决简单型加热食品和有一个转折点的转折型加热食品的两类热过程计算问题。

作者：黄福南

85032

M序列伪随机信号系统辨识及相关仪的研究《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 假随机序列，系统辨识，相关测量仪

摘 要 本文介绍采用TP801来实现：产生M序列伪随机信号的方法和用统计相关法对系统进行辨识。从而获得对象的脉冲响应函数，经数据处理求得对象的传递函数。实验结果表明，它与理论分析相比，具有投资少、有一定的精度、测试速度快、数据处理方便等优点。

作者：盛炳乾

85033

用微处理机实现IIR数字滤波《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 分布计算，查找表，求和系数，系数分段，一阶差分法，截止频率，采样速度

摘 要 本文叙述如何在微处理机上用分布计算和查表相结合的方法实现数字滤波。

作者：冯 炜

85034

连续回转型开盒充填机封盒机构的研究《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 连续回转型，折舌，插舌，封盒，拾放式开盒充填机

摘 要 本文在拾放式连续回转型开盒充填机研制的基础上，对所设计的封盒机构——折舌和插舌机构进行了理论分析和研究，提出了主要参数的计算公式，并附有线图和设计计算实例。

作者：方于江

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net