

目录

GPLe 失活动力学模型在 HNaβ 沸石上的应用	乌云高娃;张婕;徐军;刘大壮	(1-4)
混沌在保密通信中的应用研究	李春生;高金峰	(5-9)
数值模拟技术在气体辅助注射成型过程中的应用	陈旭;王利霞;申长雨;陈静波;王国中	(10-17)
化工钢筋混凝土结构的模糊荷载效应分析	郭院成;陈捷;蒋晓东	(18-22)
铸钢件铸造工艺计算机辅助设计	刘新田;马艳萍	(23-28)
非晶 Ni <sub>49</sub> Zr <sub>9</sub> Al <sub>72</sub> 合金表面状态的研究	王西科;杨占胜;沈宁福;雷刚军	(29-33)
带通讯接口的电子称重系统	高金峰;黄俊杰	(34-38)
某火电厂主厂房地震反应分析	宋建学;贾志尧;海云录	(39-46)
乙醇——离子联合沉淀法分离茶多酚及果胶类物质的新工艺	吴增刚;黄强;蒋元力;蒋登高	(47-51)
一边简支一角点或二角点支承的矩形板弯曲统一求解方法	许琪楼;姜锐;唐国明	(52-59)
喹诺酮类药物色谱分析中的人工神经网络技术	曹庭珠;蒋登高;王郑昌	(60-63)
砌体局部均匀受压强度计算	杨卫忠	(64-69)
圆弧槽无相同直径刀具时的近似铣削	覃寿同;李大磊;黄仁贵;马胜钢	(70-73)
AutoCAD 的二次开发技术	翟震;张涛	(74-78)
热处理炉炉温单片机控制系统	韩丰田;白国长	(79-84)
有机胺萃取发酵清液中柠檬酸的研究(III)	周彩荣;葛庆平;钟贤;李惠萍	(85-90)
波动方程一阶导数系数反问题解的整体稳定性	吕廷华	(91-96)
多元随机回归系数和参数的线性估计可容许的几个结果	艾明要;石磊	(97-101)
节水型洗衣机设计的数学模型	贾军国;王书彬;钟燕辉;兰海洋;蒋雪根	(102-109)
微型计算机系统总线技术	陈勇孝;段世霞;郎洪;苏文霞	(110-116)
语音识别技术研究	刘德平;李欣生;刘红霞;刘武发	(117-120)
反应过程中升华型催化剂的物性变化(III)Zn(Ac) <sub>2</sub> 的程序升温脱附测定	赵建宏;宋成盈;王留成;万晓宇;刘大壮	(121-123)
回归分析在生产实践中的应用	陆宜清;张新育;杨松华;张建国	(124-126)

# GPLe 失活动力学模型 在 $\text{HNa}\beta$ 沸石上的应用<sup>\*</sup>

乌云高娃 张 婕 徐 军 刘大壮

(郑州工业大学化工系)

**摘 要** 研究了环氧丙烷与乙醇在  $\text{HNa}\beta$  沸石上的反应动力学以及失活动力学,证明反应动力学为一级;在 8 小时后反应活性出现稳定现象。可以用一级 GPLe 模型较好地拟合实验结果。

**关键词** 失活动力学;沸石;丙二醇乙醚

**中图分类号** O643.3

在沸石催化剂上开发有机合成新工艺时,常会出现因积炭而造成催化剂迅速失活<sup>[1]</sup>。在不少情况下,活性衰化到了一定程度之后,会出现一个活性稳定区,并用这个稳定活性来评价催化工艺的可行性。因此,用数学模型法描述从失活到稳定的过程,对沸石催化剂的开发使用具有重要价值。

传统的失活动力学使用的是简单级数型(SPLe)方程式,它的特点是在使用过程中活性不断衰化,到无限长时间后活性为零,不能描述出现稳定区这个特征。1985 年,Fuentes<sup>[2]</sup>提出,在使用无限长时间后活性不是零而是一个大于零的有限值,从而提出 GPLe (General Power Law Expression)模型,其方程式为:

$$-\frac{da}{dt} = k_d(a - a_s)^n \tag{1}$$

式中  $a$  为催化剂的活性,  $a_s$  为反应无限长时间后的稳定活性。  $k_d$  为失活速度常数,  $n$  为失活级数。当  $a_s=0$ ,式(1)便还原为 SPLe 模型。在 Fuentes 引用的实例中,并没有从实验直接求出  $a_s$  值,而是用数据拟合的方法作为参数推算出来的。由于  $a_s$  值大于零是 GPLe 的基本特点,因此直接从实验测出它,对 GPLe 模型的确立是至关重要的。近年来,GPLe 模型用于烧结失活,有了一些研究报道<sup>[3,4,5]</sup>,对于积炭失活的研究尚未引起应有的注意。本文的目的是,用 GPLe 模型拟合环氧丙烷反应在  $\text{HNa}\beta$  沸石上的活性变化数据,探讨 GPLe 模型在沸石催化剂上使用的可行性。

## 1 实验方法

### 1.1 催化剂制备

<sup>\*</sup> 河南省科技攻关项目(961100101)

收稿日期:1997-10-15

$\beta$  沸石系南开大学所制。 $\beta$  型沸石原粉在  $O_2$  气氛下、823K 下焙烧处理 7 小时,经 XRD 检验,所有的有机胺杂质已被除去。取焙烧处理后的  $\beta$  沸石样品,经一定浓度的 NaCl 溶液进行离子交换,制得  $HNa^\beta$  沸石。样品在 393K 下干燥过夜后,压片成型,粉碎过筛,制得 20~40 目(粒径为 0.35~0.83mm)催化剂备用。

1.2 活性测定方法

反应物是环氧丙烷和乙醇(环氧丙烷为化学纯,上海试剂一厂出品;乙醇为分析纯,郑州化学试剂二厂出品,含量大于 99.7%),生成物是丙二醇乙醚。反应是在常压气相连续微反上进行的。反应器为 3mm 内径的石英直管,催化剂质量为 0.2g,床高 4cm,上面放入高度为 4cm 的石英砂以预热反应物。反应物中环氧丙烷和乙醇的摩尔比例  $R=5$ ,混合液总流速用  $V$  (ml/h)表示,反应温度为 408K,反应载气为高纯氮气,流速保持恒定。氮气与环氧丙烷的摩尔比用  $n_1$  表示。催化剂样品在反应前,均以 8K/min 的速率从室温升至 753K,并在 753K 下活化 2hr,活化时载气流速为 30ml/min。

反应过程中产物由六通阀进样,GC-14B 气相色谱进行在线热导检测分析。色谱柱为 3m $\times$ 3mm,固定液为 1,2-丙二醇二乙酸聚酯,固定相为 60-80 目的 6201 红色载体。柱温为 403K,氢气为载气。反应后各组分的色谱峰面积由 SHIMADZU C-R6A 型积分仪处理,数据采用“归一化”法处理。产物组成由色谱-质谱联用认定。

2 实验结果

2.1 135℃下的反应数据

在混合液送入速度  $V=0.3$ ml/hr 的条件下进行试验,发现产物基本上都是丙二醇乙醚,其它产物可以忽略。在不同的反应时间下环氧丙烷的转化率变化情况见表 1。

表 1 135℃下  $HNa^\beta$  沸石上环氧丙烷转化率和  
反应速度常数随时间变化的实验结果  
 $V=0.3$ ml/h,  $n_1=25.85$

$t$ (h)	0.67	1.12	1.98	2.62	3.15	3.65	4.17	5.00	5.80	7.85	8.05	8.25
$x$ (%)	87.92	63.28	40.80	35.13	27.58	26.52	25.44	17.86	16.38	14.24	11.50	11.31
$k$	2.745	0.131	0.689	0.569	0.425	0.406	0.387	0.260	0.236	0.203	0.161	0.159

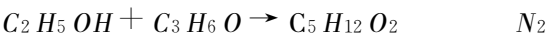
到了 8h 后,活性大体已经稳定。最后两组转化率相互差别在误差范围之内。为了进一步考察活性情况,大幅度改变  $n_1$ ,使原有的乙醇、环氧丙烷和氮混合原料气中环氧丙烷的摩尔分率从 0.032 增大到 0.1 左右;混合液流速从 0.3ml/hr 增大到 2ml/hr,继续进行实验,结果如右。

表 2 改变原料组成和流速的实验结果  
 $V=2.0$ mL/h

$t$ (h)	$X$ (%)	$n_1$	$k$
9.58	6.65	3.24	1.75
10.07	6.65	3.68	1.84
10.27	6.39	4.54	1.92

2.2 反应动力学

对反应中诸组成作物料衡算。



开始	R	1	0	n <sub>1</sub>
结束	R-X	1-X	X	n <sub>1</sub>

总摩尔数为 R+1-x+n<sub>1</sub>。环氧丙烷的分压为：

$$P = \frac{1-x}{R+1+n_1-x} P_{\text{总}} \tag{2}$$

按照固定床反应器动力学的计算方法，设反应对环氧丙烷为一级，

$$r = kP = k \frac{1-x}{R+1+n_1-x} P_{\text{总}} \tag{3}$$

且 
$$\frac{W}{F} = \int_0^x \frac{dx}{r} \tag{4}$$

式中 *k* 为反应速度常数 (mol/(h·gcat·MPa))，*W* 为催化剂质量 (g)，*F* 为环氧丙烷的进口摩尔流速 (mol/hr)，它与混合料液送入流速 *V* 的关系是：

$$F = \left[ \frac{M_1}{\rho_1} \cdot \frac{M_2}{\rho_2} \cdot R + 1 \right] \cdot \frac{\rho_2}{M_2} \tag{5}$$

式中 *M*<sub>1</sub>、*M*<sub>2</sub> 和 ρ<sub>1</sub>、ρ<sub>2</sub> 分别为乙醇和环氧丙烷的摩尔质量和液体密度 (g/ml)。因反应在常压下进行，故 *P*<sub>总</sub>=0.1Pa，于是联立(3)－(5)式，积分之，得：

$$\frac{\frac{W \cdot M_2}{V \cdot \rho_2}}{\left[ \frac{M_1}{\rho_1} \cdot \frac{M_2}{\rho_2} \cdot R + 1 \right]} = \frac{1}{k \times P_{\text{总}}} [x - (R + n_1) \ln(1 - x)] \tag{6}$$

为了计算方便，将诸参数代入，简化得：

$$k = \frac{V}{7.222} [x - (5 + n_1) \ln(1 - x)] \tag{7}$$

用式(7)算得的两组反应的 *k* 值见表 1 和表 2。由两表的 *k* 值看出，8h 后 *k* 值相互接近。由于流速和分压变化都较大，*k* 值仍相互接近，说明此反应对环氧丙烷来说服从一级反应动力学的规律。在 8h 后活性出现稳定，也是对 GPL E 给出的直接实验证明。将表 1、2 中 8h 后的五个 *k* 的实验值求平均为 0.174，由此取稳定反应速度常数 *k*<sub>s</sub>=0.174。

2.3 失活动力学

按照活性 *a* 的定义：

$$a = \frac{r}{r_0} = \frac{k}{k_0} \tag{8}$$

若为一级 GPL E 失活 (*n*=1)，则：

$$-\frac{da}{dt} = k_d(a - a_s) \tag{9}$$

其中 *k*<sub>d</sub> 为失活动力学常数，*k*<sub>0</sub> 为初始动力常数。

即：，大 
$$-\frac{d(k/k_0)}{ndt} = k_d \left( \frac{k}{k_0} - \frac{k_s}{k_0} \right) \tag{10}$$

或 
$$-\frac{dk}{dt} = k_d(k - k_s) \tag{11}$$

其积分式为:  $\ln(k - k_s) = \ln(k_0 - k_s) - k_d \cdot t$  (12)

由  $k_s=0.174$ , 自表 1 的数据拟合求出  $k_0=5.194$ ,  $k_d=0.9$ 。或:

$$k = \exp(1.614 - 0.9t) + 0.174 \quad (13)$$

用式(13)和式(7)联立作  $x \sim t$  (见图 1), 将实验点与拟合曲线进行对比, 发现 GPLE—1 级模型即式(13)可以较好地拟合表 1 中的实验结果。

### 3 结论

发现环氧丙烷与乙醇在  $\text{HNa}^\beta$  沸石上的反应, 服从一级反应动力学。在  $135^\circ\text{C}$  时, 反应 8h 后, 活性即出现稳定, 为 GPLE 模型中  $a_s$  是大于零的一个数值取得了直接的实验证据。该反应服从一级 GPLE 失活动力学模型。

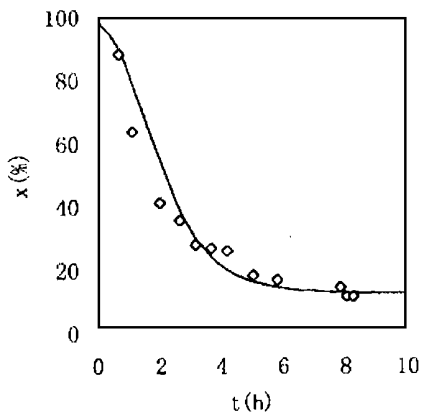


图 1 拟合数据与原始数据的对比

### 参考文献

- 1 Masuda, T. and Hashimoto, K., Zeoratio, 1994, 11(1), 2
- 2 Fuentes, G. A., Appl. Catal., 15(1985), 33~40
- 3 Fuents, G. A. and Gamas, E. D., in Bartholomew, G. H. and Butt, J. B. (Editors). Catalyst Deactivation 1991 (Studed in Surface Science and Catalysis, Vol. 68). Elsevier, Amsterdam, 1999, 637
- 4 Bartholomew, C. H., Appl. Catal. A., 107(1993), 1~57
- 5 何文胜, 刘大壮, 化学工程, 将发表

## The Application of GPLE Deactivation Kinetics Model on $\text{HNa}^\beta$ Zeolite

Wuyungaowa      Zhang Jie      Xu Jun      Liu Dazhuang  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** In this paper, the reaction kinetics and the deactivation kinetics of propylene oxide and ethanol on  $\text{HNa}^\beta$  zeolite were studied. We proved that the reaction kinetics followed first order equation and that the conversion tended to a stable value after 8 hours reaction. First GPLE model gave the better fit for the experimental data.

**Keywords** deactivation kinetics; zeolite; propylene glycol ethyl ether

# 混沌在保密通信中的应用研究<sup>\*</sup>

李春生 高金峰 王俊<sub>昆</sub>

(郑州工业大学计自系)

**摘 要** 混沌在保密通信中的应用是混沌理论应用方面的一个研究方向。该方向的研究近几年发展较快,本文结合我们的研究成果对该研究方向的现状作一简单综述。

**关键词** 混沌;保密通信;同步

**中图分类号** TN918

混沌是确定性系统产生的不确定信号,它类似噪声,具有不可预测性<sup>[1,2]</sup>。利用混沌信号类似噪声的宽频谱特性来“包装”信息信号,即将混沌信号作为载波来传输信息信号,这就是所谓的混沌保密通信<sup>[3,4]</sup>。更具体地讲混沌信号用于保密通信是由于信号所具有的宽频带、类噪声及难以通过时域和常用的频域处理来预测和分离,它自然被用作信息的载体,即作为调制载波以实现加密。混沌用于保密通信是随着对混沌理论的深入研究及同步混沌理论的建立而发展起来的,也是混沌应用研究的一个重要方面。

## 1 混沌同步理论的发展过程

混沌用于保密通信的关键是:实现发受混沌系统之间的同步。

同步在通信中具有非常重要的意义,它是决定通信系统通信能否实现的一个重要因素。应用于通信的同步可以分为<sup>[5]</sup>:1. 载波同步;2. 位同步;3. 帧同步;4. 网同步等几个大类。通俗地说,“同步”指的是“动态系统中的步调一致的现象”。传统的载波同步是指同步系统接收端产生一个与发送端发送的载波同频、同相的相干载波。

1983年,Tang等人<sup>[3]</sup>提出混沌电路可以由一个输入信号同步地驱动。这似乎是很奇怪的,因为混沌信号是确定性系统产生的不确定的信号,是类随机的,似乎是不可能同步的。但随之而来的一系列关于混沌同步的报道却揭示出:混沌信号的同步不仅是可以实现,而且是应用于保密通信的有效工具。1990年,Pecora和Carroll<sup>[6]</sup>提出自治系统的自同步的混沌同步方案,它能有效地实现自治混沌系统的同步。他们指出:用一个激励信号可以使另外一个信号表现为混沌,但它们却是同步的。这就给混沌实现信息的调制与解调提供了可能。1991年,Endo和Chua<sup>[7]</sup>报道了锁相环电路的同步现象。同年,Pecora和Carroll<sup>[8]</sup>报道了用Newcomb等人研究的三阶自治混沌电路实现的同步。1992年,Kocarev等人<sup>[9]</sup>证实了蔡氏

<sup>\*</sup> 河南省自然科学基金资助项目(964060200)

收稿日期:1997-08-29

第一作者 男 1968年生 硕士学位 助工

电路的同步现象。1992 年和 1993 年,Cuomo 和 Oppenheim<sup>[10,11,12,]</sup>报道了基于 Lorenz 系统的同步混沌系统实现方案。

1992 年以后,当人们掌握了几种混沌同步理论和手段后,便将混沌用于保密通信并提出一些初步的实现方案。

同步方案一:基于系统间连续反馈的控制同步。它包含连续信号误差反馈系统,其中系统间反馈比例因子的值是关键。该比例因子无法从理论上推得,而只有更多地依赖于经验。这种方法很少有报道,仅作为一种思考方案。

同步方案二:1995 年,T·C·Newell<sup>[13]</sup>等在 Edward Ott 等 OGY 混沌控制论<sup>[4]</sup>的基础上提出,通过控制非稳定周期轨道,对系统的控制参数进行控制,以使其轨道同步于混沌吸引子的轨道,他们用比例反馈控制法,控制两个混沌振子来实现同步。

以上两种方案均是基于控制理论的。利用控制理论来实现同步,是复杂的。

第三种方案称为 Pecora—Carroll 同步方案<sup>[4,6,8,14]</sup>。基于该原理可以简单可靠地实现三阶自治混沌系统的同步;如果将系统分为激励部分 D 即“发端”和响应部分 R 即“受端”,当受端子电路所有条件 Lyapunov 指数均负时,受端子电路将同步于发端电路的信号。这是自同步方案。该方案的同步系统包括:(1)第一个混沌电路,称为发端系统、发射机或发射系统(2)第二个混沌电路,称为受端系统、接收机或接收系统。发端系统发射一些状态矢量(激励信号)到受端系统,使两个电路产生的信号同步。Pecora—Carroll 同步方案在电路、信号与系统领域引起了很大的兴趣。

2 混沌同步系统在保密通信中的应用情况

同步混沌系统能够实现混沌保密通信。

1992 年,Oppenheim 等<sup>[12]</sup>报道了“混沌开关”和“混沌加密、调制”的实际应用。特别地,他们以实例说明了怎样把混沌同步的概念应用于信息加密,怎样把信息加到混沌载波上而被传输。所采用的混沌电路是 Lorenz 吸引子。并得出了混沌同步在一定的摄动条件下具有较强的鲁棒性的结论。也就是说,当发受电路间满足一定的条件时,即使有干扰存在也会发生同步。在实现保密通信时,将信息信号作为干扰加入混沌信号中,利用混沌信号频谱的宽带性对信息信号进行“包装”以实现加密,而后利用混沌同步的鲁棒性,通过实现混沌同步来进行解调。1992 年,Kocarev 等人<sup>[9]</sup>基于蔡氏电路,用 Pecora—Carroll 同步方案设计,也完成了保密通信。应当注意:他们都是将信息信号作为干扰加在混沌信号上,信息信号的功率应大大低于混沌信号的功率,为的是利用混沌同步的鲁棒性,在不破坏同步的基础上实现保密通信。

混沌保密通信系统可以表示为图 1,其中信息信号为  $m(t)$ ,解调出的信息信号为  $m'(t)$ 。这是一个混沌载波同步系统。

综合已有报道,将混沌保密通信分为模拟通信和数字通信。Cuomo 和 Oppenheim<sup>[10,11,12,]</sup>实现的基于 Lorenz 吸引子的混

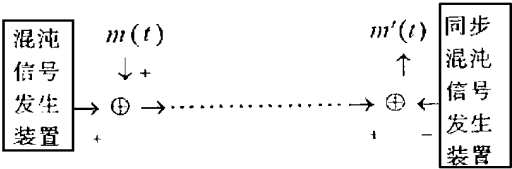


图 1

混沌保密通信,属于模拟通信的范畴;混沌移相键控(CSK)方式<sup>[15,16]</sup>和 D·R·Frey 等<sup>[3]</sup>混沌数字编码方式则属于数字通信的范畴。混沌保密通信,从混沌电路是自治电路还是非自治电路,可分为自治的混沌保密通信和非自治的混沌保密通信,如 Oppenheim 等<sup>[10,11,12,]</sup>和 Kocarev 等<sup>[9]</sup>分别利用自治电路构成了通信系统,属于自治的保密通信;而 Carroll 等<sup>[19,20]</sup>采用非自治电路,用滤波器处理,属于非自治的保密通信。

纵观目前用于保密通信的“同步混沌系统”的实现方案,无论采用哪种混沌电路和方式,其重点在于“同步”问题。从传统的同步理论来看,为了将接收端的信息解调出来,必须在接收端产生与发射端同频、同相用于解调出信息信号的同步信号。对“同步混沌系统”而言,即在接收端产生与发射端形状完全相同的用于解调的信号。因此,从实用的角度考虑,讨论通信系统的同步性能尤为重要。

我们采用 Pacora-Carroll 同步方案,研究三阶自治同步混沌系统。受到 Oppenheim 和 Cuomo 等人<sup>[10,11,12,]</sup>工作的启示,引入地磁场反向方程(REMF 方程)<sup>[17]</sup>,研究基于 REMF 吸引子的保密通信方案,并和基于 Lorenz 吸引子、基于 Rossler 吸引子的情况作以对比。考虑到 H·Dedieu 文章<sup>[15]</sup>中,“0”状态和“1”状态过渡时间是毫秒数量级的,发射端只有等到接收端同步或失谐确实发生才能发出下一个数字信息。这使研究“0”混沌吸引子和“1”混沌吸引子中间的过渡时间很必要。类比于传统的同步系统的同步性能,我们在文章<sup>[18]</sup>提出同步混沌系统的同步性能的概念。主要研究同步建立时间、同步保持时间和同步稳态误差等,这对考察三阶自治同步混沌系统的同步质量好坏和同步混沌系统的设计是很必要的,因为这会直接决定保密通信系统的质量。在分析同步性能的基础上,我们设计出基于 REMF 吸引子的同步混沌系统并进行了模拟保密通信的研究。同步混沌系统可以有多种混沌电路构成,并且同种混沌电路构成的同步系统它们的参数也可以不同,这都对同步系统的同步性能有很大影响。

实际上,关于同步混沌系统的最新报道,基本上都是在同步系统同步性能的某一方面发展。

1996 年,Tao Yang 和 L·O·Chua<sup>[19]</sup>提出混沌的参数调制方法,是为了解决 CSK 通信和模拟混沌保密通信中的通信速率问题,其实质是如何解决同步建立时间问题。1996 年,L·O·Chua 等<sup>[20]</sup>又针对蔡氏电路构成的同步系统,对时变信道和时变混沌参数的同步系统进行研究,其实质是如何解决同步稳态误差问题。

### 3 混沌保密通信中的信道问题

由于混沌信号的特点及同步混沌系统的同步机理,要实现较高质理的通信,除对同步系统有一定的要求外,信道的好坏也是重要决定因素。理论上要求用于保密通信的信道频带很宽。光纤是一种较好的选择。光纤具有:近似无穷的带宽、较低的衰减、无线路噪声等。1995 年,P·Celka<sup>[16]</sup>成功地利用光调制、CSK 技术和光纤技术,解决了混沌保密通信中的信道问题和数字信号的传输问题;1996 年,P·Celka<sup>[21]</sup>又成功地通过 700 米光纤实现光学动态系统的混沌同步。与光纤信道研究相对比的是,1995 年,钟国群<sup>[22]</sup>基于蔡氏电路实现混沌保密通信的无线通信,其效果不理想。究其原因是:无线通信的信道不理想所致。如何使无线通信尽可能好地用于混沌保密通信,仍是进一步研究的课题。



## 4 混沌保密通信中的信号频率

目前文献报道的混沌电路所产生的混沌信号的频率较低,多在音频范围内<sup>[23]</sup>。以 Pecora-Carroll 同步方案构成的同步混沌系统是以混沌信号作载波信号来实现保密通信的,即混沌信号是“包装”信号。信息信号的频率应与混沌信号的频率在同一个数量级内。Cuomo 等<sup>[11]</sup>的保密通信模拟中,信息信号在音频内。钟国群<sup>[22]</sup>的研究,信息信号也在音频内。我们的研究<sup>[24]</sup>也表明:当信息信号的频率低于混沌信号的主频带时,保密通信的效果较好;当信息信号频率高于混沌信号的主频带时,保密通信效果差,甚至不能进行。研究如何利用典型的混沌电路实现高速信息保密通信,是混沌保密通信走向实用化所必需考虑的。

## 5 结语

混沌的应用研究,虽然发展很快,但仍处于初始阶段。混沌保密通信是混沌应用研究的一个分支,它在混沌应用性研究中是比较有成果的,但需要做的工作还很多,离实际使用还有一定距离。其中值得一提的是混沌同步理论,它对保密通信起了关键作用。全面考察同步混沌系统的同步性能,以便设计出性能良好的同步系统;拓展保密通信信道的种类,以使混沌保密能应用于各种通信;提高混沌信号的频率,改善同步系统,使系统能对高频信号进行保密,这些都是本方向走向实际应用所应解决的问题。

## 参考文献

- 1 陈式刚.映象与混沌;国防工业出版社.1992
- 2 葛真等.非线性电路及混沌;重庆大学出版社.1989
- 3 D·R·Frey “Chaotic digital encoding: an approach to secure communication”IEEE Trans·Circuits Syst· vol· 40, No· 10, Oct· 1993
- 4 L·M·Pecora and T·L·Carroll “Driving systems with chaotic signals”Physical Rev· A, vol· 44, NO· 4, Aug· 1991
- 5 樊昌信等.通信原理;国防工业出版社.1988
- 6 L·M·Pecora and T·L·Carroll “Synchronization in chaotic systems”Physical Rev· Lett·, vol· 64 No· 8, pp· 821824, Feb· 1990
- 7 T·Endo and L·O·Chua· Synchronization of chaos phase-locked loops· IEEE Trans· Circuits Syst, vol· 38· Dec· 1991
- 8 T·L·Carroll and L·M·Pecora “Synchronizing chaotic circuits”IEEE Trans· Circuits Syst· vol· 38, No· 4, pp· 453456, Apr· 1991
- 9 L·Kocarev et al “ Experimental demonstration of secure communications via chaotic synchronization”Int·J· Bifurcation and Chaos, vol· 2, No· 3, Sep· 1992
- 10 K·M·Cuomo et al “ Circuit implementation of synchronizde chaos with application to communications”, Phys· Rew· Lett·, vol· 71, Jul· 1993
- 11 K·M·Cuomo et al “Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with application to communication” IEEE Trans· Circuits Syst·, vol· 40, No· 10, Oct· 1993

12  A•V•Oppenheim et al“Signal processing in the context of the chaotic signals ”in Proc. IEEE ICASSP, pp, IV-117IV-120 , 1992

13  T•C•Newell “Synchronization of chaotic resonators based on control theory”Physical Rev. E, vol. 51, Mar. 1995

14  M•J•Ogorzalek“ Taming Chaos-Part I ; Synchronization”IEEE Trans. Circuits SYst., vol. 40, No. 10, Oct. 1993

15  H•Dedieu“Chaos shift keying: Modulation and demodulation of a chaotic carrier using selfsynchronizing Chua ’s circuits ”IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 40, No. 10, Oct. 1993

16  P•L•Carroll“Communication with use of filtered, synchronized, chaotic signals”, IEEE Trans. Circuits Syst, vol 42, No3, Mar. 1995

17  Chaos / Edited by A•V•Holden , Manchester, Manchester Univ. Pr. . 1986

18  高金峰等. 同步混沌保密通信系统的同步性能研究. 待发

19  Tao Yang L•O•Chua“Secure communication via Chaotic parameter modulation”IEEE Trans. Circuits Syst. I ;Fundamental theory and applications, vol. 43, No. 9, Sep. 1996

20  L•O•Chua et al “Synchro nization of Chua ’s circuits with time-varying channel and parameters”IEEE Trans. Circuits Syst. I ;Fundamental theory and applications, vol. 43, No. 10, Oct. 1996

21  P•Celda“Synchronization of chaotic optical dynamically systems through 700m of single mode fiber ”IEEE Trans. Circuits Syst. I ; Fundamental theory and applications, vol. 43, No. 10, Oct. 1996

22  钟国群. 蔡氏电路混沌同步保密通信. 电路与系统学报. 第一卷. 1996. 3

23  Bifurcation Sights Sounds, and Mathematics / edited by T•Matsumoto et al , Springer-Verlag , Tokyo , 1993

24  李春生. 混沌振荡在保密通信中的应用研究. 郑州工业大学硕士研究生论文. 1997

The Research-based Chaos with

Application to Secure Communications

Li Chunsheng  Gao Jinfen  Wang Junkun

( ZhenZhou university of technology)

**Abstract**  Chaos with application to secure communications is one of research aspects of chaotic theroy . In this paper , we combine with our research results on secure communication via chaos, having a reviews about chaotic theory ’s application to secure communication.

**keywords**  chaos;secure communication ; synchronization

# 数值模拟技术在气体辅助注射成型过程中的应用<sup>\*</sup>

陈 旭 王利霞 申长雨 陈静波 王国中

(郑州工业大学橡塑模具国家工程研究中心)

**摘 要** 基于粘性流体力学基本方程,针对气体辅助注射成型的特点,提出合理的假设并进行必要的简化,建立描述气体辅助注射成型充模流动过程的数学模型,进而采用有限元/有限差分混合算法进行数值求解。在对移动边界的处理采用控制体积法对充模过程中的两类移动边界:熔体前沿、熔体—气体边界进行跟踪,从而实现气体辅助注射成型充模过程的数值模拟。

**关键词** 气体辅助注射成型;充模流动模拟;有限元法;有限差分法;控制体积法

**中图分类号** TP614

## 0 引言

气体辅助注射成型(以下简称气辅)是在传统的注射成型基础上发展起来的一种新的聚合物加工方法。与传统的注射成型不同,它在向型腔内注入一定量的熔体后,用气体取代熔体继续注入型腔,气体在预先注入的熔体中形成中空并推动熔体运动直至将型腔充满。

由于气辅成型的充模流动行为对气辅成型制件、最终的质量和性能都有较大的影响,本文利用流变学、热力学、计算力学等知识,对气辅成型的充填过程进行了分析和研究,并实现了对该过程的数值模拟。

## 1 数学模型的建立

工程实际中,利用气体辅助注射成型的制件,需要设计专门的气道引导气体的注入。除气道外的型腔其他区域,一般其在厚度方向的尺寸远小于其他两个方向,因此视熔体在这些区域中的流动为扁平型腔中的流动。对于

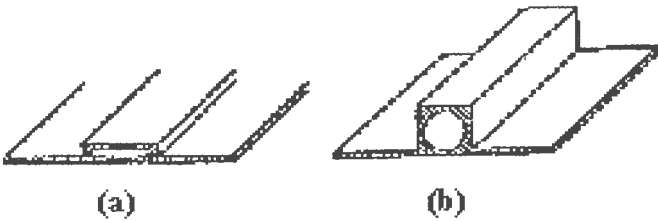


图 1 两种典型气道示意图

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(9632004)

收稿日期:1997-08-21

气道,根据其宽度方向和厚度方向尺寸的比值,分两种情况考虑,如图 1 所示。

图 1(a)所示气道的宽度与厚度尺寸之比大于 4,将熔体在其中的流动也视为扁平型腔中的流动,对于气道的宽度与厚度尺寸之比小于 4 的情况,则认为熔体在其中的流动为圆管中的流动。

1.1 基本假设和简化

首先对气体辅助注射成型在扁平型腔中的充填过程做出如下假设和简化:

(1)型腔中的流动仅以熔体区域内部以及熔体—气体边界及熔体前沿界面为研究对象,气体对熔体的作用通过施加在熔体—气体边界上的边界条件来体现。这是因为在充填流动过程中,气体的性质虽然随着加工条件和气体状态的变化而变化,但这种变化与熔体和气体性质之间的差异比较起来很小,可以忽略不计。

(2)由于扁平型腔厚度方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸,且熔体粘度大,于是厚度方向的速度分量可忽略,且厚度方向压力梯度为零。

(3)假定熔体不可压缩,即 $\nabla \cdot \vec{V} = 0$ 。

(4)熔体在充模流动过程中雷诺数很小,一般  $Re < 10^{-2}$ ,可忽略惯性力和质量力。

(5)忽略熔体的弹性效应。

(6)忽略熔体流动方向上的热传导,这是因为熔体在流动过程中佩克莱特数  $Pe$  很大,一般  $Pe > 10^2$ ,认为热传导仅沿着壁厚方向,熔体中不含热源。

(7)在充模流动过程中,熔体温度变化不大,因此可认为熔体的比热及热传导率为常数。

(8)忽略熔体前沿膜作用而在壁厚方向产生的压力梯度。

1.2 熔体流动的控制方程

由粘性流体力学基本方程,利用以上假设和简化,可推导出气体辅助注射充填过程中熔体流动的控制方程:

(1)连续性方程

$$\frac{\partial(\overline{bu})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{bv})}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

式中,  $b$  为型腔厚度的一半,  $\overline{u}, \overline{v}$  分别为  $x, y$  方向的平均流速。

(2)运动方程

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0 \tag{3}$$

(3)能量方程

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_P \left( \overline{u} \frac{\partial T}{\partial x} + \overline{v} \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] \tag{4}$$

式中,  $\rho$  为熔体密度,  $C_P, k, \eta$  分别为熔体比热、热传导率及粘度。

(4)流变本构方程

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}) \dot{\gamma} \tag{5}$$

图 1 对

$$\varphi = \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

(5)边界条件

首先考虑型腔厚度方向上的边界条件。

一般均假定熔体在型腔厚度方向呈对称流动,熔体温度沿厚度方向呈对称分布,有:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{对 } z = 0 \quad (7)$$

$$u = v = 0; \quad T = T_w \quad z = \pm b \quad (8)$$

其中  $T_w$  为模壁温度。

接着考虑流动平面( $X-Y$  平面)上的边界条件。

气辅助成型充模流动的两个阶段,即熔体注射阶段和气体注射阶段所考虑的边界条件是不同的。在熔体注射阶段,主要考虑以下三类边界:

在入口边界  $C_e$  处,对于给定注射流率  $Q$ ,则入口边界条件可简化为

$$\int_{C_e} \left[ -s \frac{\partial P}{\partial n} \right] ds = Q \quad (9)$$

在熔体前沿  $C_m(t)$ 处,若排气良好且以大气压力为基点,则有

$$P = 0 \quad \text{在 } C_m(t) \text{ 上} \quad (10)$$

在型腔边界  $C_0$  上满足无渗透边界条件有

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0 \quad \text{在 } C_0 \text{ 上} \quad (11)$$

在气体注射阶段,主要考虑以下三种边界:

在型腔边界  $C_0$  处以及在熔体前沿  $C_m(t)$ 处的边界条件和熔体注射阶段相同。

对于熔体—气体边界  $C_i(t)$ 处,由于气体内部是单一介质,也即未掺杂有熔体。且忽略气体传递压力过程中的压力损失,因此,可以认为熔体—气体边界  $C_i(t)$ 处压力分布均匀,对于气体压力常压控制方式下,有

$$P = P_e; \quad \text{在 } C_i(t) \text{ 处} \quad (12)$$

$P_e$  为气体注射压力。

对于宽度和厚度比小于 4 的气道,熔体在其中的流动视为圆管内的流动,同时,根据浇注系统的特点,也假定流道内熔体的流动为圆管内的流动。基于合理假设和必要简化,得到圆管气道和流道内熔体流动的控制方程

$$2\pi \int_0^R r u dr = Q \quad (13)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \eta \frac{\partial u}{\partial r} \right] - \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

$$\rho C_p \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \frac{k}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \eta \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 \quad (15)$$

式中,  $z, r$  分别表示圆管气道和流道的轴向和径向坐标,  $R$  为圆管气道和流道的半径。

其相应边界条件与扁平型腔中流动做类似处理。

2 数值实现

在进行数值求解之前,需先对型腔中面进行有限元网格划分,除对浇注系统及型腔具有圆形截面部分划分为一维柱单元外,沿型腔中面划分一系列三角形线性单元。另外,在模拟中,采用均匀差分网格,对于每个三角形单元和柱单元,均采用相同数目的差分增量,见图 2。

当气辅制件被划分为三角形单元和一维柱单元后,连接三角形单元的重心及三个边中点将其划分为三个子部分,柱单元分为两个子部分,定义与一个结点  $N$  相接的所有子部分的集合为该结点的控制体积(简称为控制体积  $N$ ),如图 3 所示,其中虚线为单元边界、实线为控制体积边界。阴影部分表示结点  $N$  的控制体积。

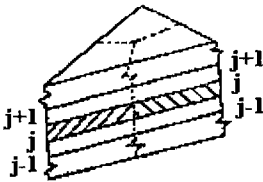


图 2 差分网格定义

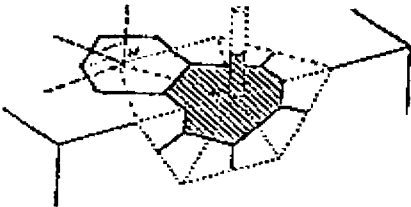


图 3 控制体积

在气辅成型充模流动过程中,熔体在型腔中流动,其温度除沿流动方向变化外,熔体的温度在沿型腔厚度方向也存在着差异。因此,为求解温度场,还需沿厚度方向引入差分网格。目前在  $z$  方向采用均匀差分网格,即  $z_j=(j-1)\Delta z$  ( $j=1,2,3\cdots,N3P1+1$ )同时采用可变时间增量  $t_1=0, t_{k+1}=t_k+\Delta t_k$  ( $k\geq 1$ ),做如下定义:  $T_{i,j,k}=T_i(z_j,t_k)$ 。在以上基础上,能量方程各项的处理分述如下:

(1)瞬态项:瞬态项采用向前差分近似有:

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \rho C_P \frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t}$$

(16)

(2)热传导项:热传导项采用隐式向前差分。

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{k}{\Delta z_j^2} (T_{i,j+1,k+1} - 2T_{i,j,k+1} + T_{i,j-1,k+1})$$

(17)

(3)热对流项:采用加权平均处理,同时为保证数值解稳定,采用一种类似于向后差分的方法“上风法”来处理热对流项。

$$\rho C_P \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\rho C_P}{\sum_l \hat{V}_{i,j}^{(l)}} \sum_l \hat{V}_{i,j}^{(l)} \int_{z_j}^{z_{j+1}} \frac{\tilde{z}^{(l)}}{\eta} d\tilde{z}$$

(

$$\cdot \sum_{m=1}^3 [(\Lambda_x^{(l)})_k b_2^{(l)} + (\Lambda_y^{(l)})_k b_3^{(l)}] \cdot T'_{i',j,k}$$

(18)

(4)粘性热项:其处理与热对流项类似,

$$\eta \nabla^2 = \frac{1}{\sum_l \hat{V}_{i,j}^{(l)}} \sum_l \hat{V}_{i,j}^{(l)} \cdot \frac{[\Lambda^{(l)} z_j]^2}{\eta^{(l)}} \tag{19}$$

对于一维柱单元,采用与三角形单元类似处理。

对每个结点写出以上诸式,代入能量方程,可得以结点温度为未知量的方程组。在每个顶点结点求解能量方程获得温度场,单元内的温度分布采用线性插值。

温度场和计算区域确定后,应用质量守恒定律求解压力场。

由于流动过程中熔体的不可压缩性,控制体积(如图 3 所示)的质量守恒关系可由通过控制体积边界的总体积来导出,在某一给定时间,如果温度场和计算区域已知,某一单元  $l$  内的压力可以用三个顶点压力的线性插值表示,且由于单元很小,其流通率  $S$  在一个单元内可取为常数,其值为单元中心的值,此时,流入每个单元的平均体积流率为常数且流入每一个控制体积的流量可由沿其边界的线积分求得。

从而流入结点  $i$  的控制体积的净流率为:

$$Q_i = \sum_{l'} s^{(l')} \sum_{m=1}^3 D_{im}^{(l')} P_{N'} + \sum_{l''} s^{(l'')} \sum_{m=1}^2 R_{im}^{(l'')} P_{N'} \tag{20}$$

式中,  $l'$  是结点  $i$  周围的所有三角形单元,  $l''$  为结点  $i$  周围的所有一维单元。

$D_{im}^{(l')}$  和  $R_{im}^{(l'')}$  分别为三角形单元和柱单元内结点压力对净流率的影响系数。

式(20)即为压力场有限元方程,因为  $s$  依赖于压力场,所以式(20)是一非线性方程。

型腔充填过程是一个瞬态过程,熔体—气体边界和熔体前沿随时间向前推进,在当前的模拟中,采用控制体积法同时跟踪熔体—气体边界和熔体前沿面。对每个控制体积引入无量纲系数,充填因子  $f$  和厚度比因子  $f_s$ , 定义充填因子  $f = \frac{v_m}{v}$ , 这里  $v$  和  $v_m$  分别表示结点的控制体积和该控制体积已被熔体充填部分的体积。因而  $f$  的大小反映了控制体积的熔体充满程度。厚度比因子  $f_s = \frac{a}{b}$ , 其中  $a$  为结点控制体积中除气体外熔体所占的体积,  $b$  为结点的控制体积,  $f_s$  的大小反映了控制体积的气体充填程度。 $f_s$  的取值范围为  $0 \leq f_s \leq 1$ , 对  $f_s = 0$  表示结点的控制体积已经完全被气体充填, 对于  $0 < f_s < 1$ , 表示相应结点的控制体积已部分被气体充填, 对  $f_s = 1$  表示相应结点的控制体积还未进入气体。

在某一给定时刻,假设熔体前沿结点满足  $P_i = 0$ , 且所有内点满足质量守恒方程  $Q_i = 0$ , 熔体—气体边界结点满足  $P_i = P_e$ , 当压力场求解后,由方程(20)计算流入每个熔体前沿结点控制体积的净流率和流出每个熔体—气体边界结点控制体积的净流率,确定下一个时间步长并更新下一时刻的  $f$  值和  $f_s$  值。时间步长的选取是使刚好有一个控制体积被熔体充满或刚好有一个控制体积中的熔体被气体吹空, 与其相邻的所有空结点成为新的前沿结点或与其相邻的所有熔体内部结点成为新的熔体—气体边界结点。这样推进熔体前沿和熔体—气体边界,直至整个型腔充满。

气辅成型充模流动分析程序的流程图如图 4 所示。

输入数据,假设充填开始时,入口结点的控制体积已被熔体充满,此时,可近似认为熔体仍处于等温状态,这样便获得了初始时刻的熔体前沿位置和温度场,由此可计算出此时刻的剪切粘度  $\eta$ , 流通率  $S$ , 然后用迭代法求解压力,在获得压力场数据后,计算下一时间步长和

新的熔体前沿位置,并计算下一时间温度场,然后判断熔体、气体是否切换,若熔体、气体发生切换,则确定初始熔体气体边界位置,用迭代法求解压力,并计算下一时间步长和新的熔体前沿位置以及新的熔体-气体边界位置,以便计算下一时刻温度场,然后返回计算新时间的压力场,如此循环,直至将整个型腔充满。

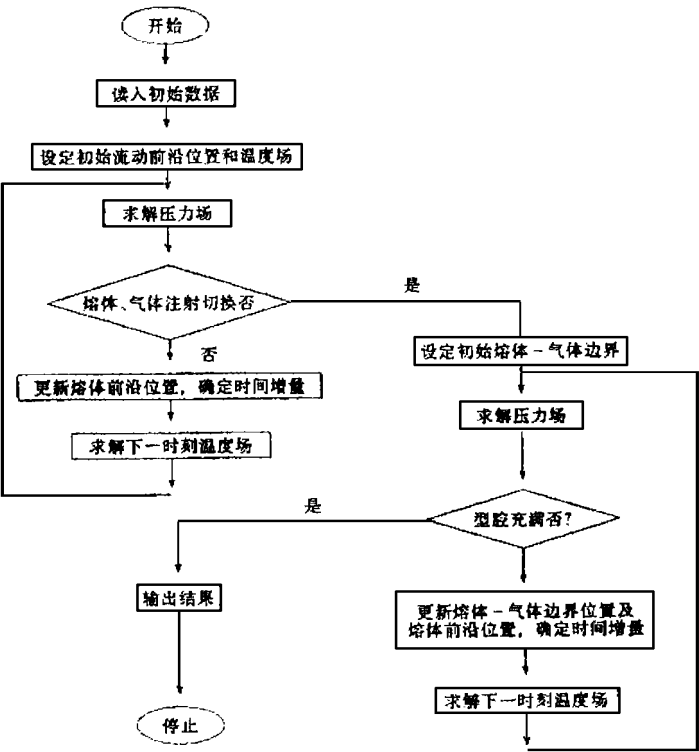


图 4 气体辅助注射充填流动分析流程图

利用气辅成型充模流动模拟可实现以下功能:

- \* 动态模拟模具充填过程
- \* 预测在所选时间步长上的压力、温度、速度、厚度比分布
- \* 预测在所选结点上的压力、温度、厚度比分布
- \* 预测在所选单元上的速度

3 数值算例

为了验证所开发的气辅成型充模流动模拟软件所采用的数学模型和算法的正确性及有效性,本文选择了几个典型算例进行了分析和比较。

分析制件是平板结构并带一厚筋。所选材料的各项热力学性能指标为:

密度  $\rho=1020\text{ kg}/\text{m}^3$     热传导系数  $K=0.18\text{ W}/\text{m}\cdot\text{k}$     比热  $C_p=2400\text{ J}/\text{kg}\cdot\text{k}$

采用 *Cross-exp* 粘度模型,其对应参数为



$n=0.3456$   
 $\tau=13160 Pa$

$T_b=45140$   
 $\beta=0$

$B=30125 E-08$   
 $1/Pa$

$Pa\cdot s$

3.1 算例 1

这里,将熔体充填时间分别设定为  $t_{melt}=1.0$  秒,  $t_{melt}=1.4$  秒,而其他各项工艺条件和参数都相同,利用气体辅助注射成型充模流动模拟进行分析。充填结束时表示型腔内壁厚分布的等值线图分别示于图 5(a)、(b)。

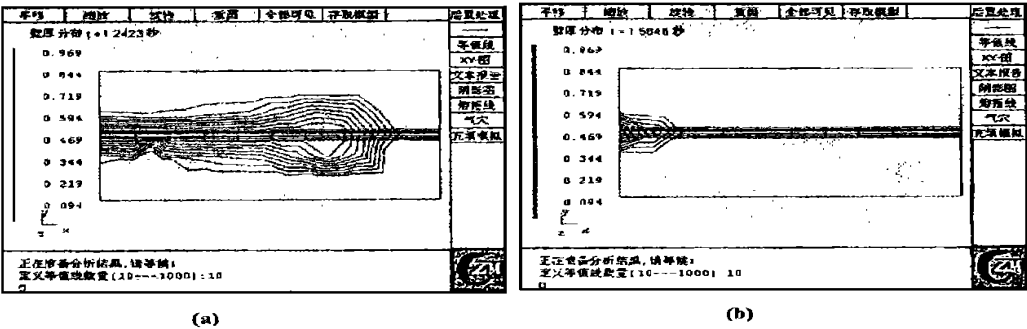


图 5 填充时间不同时型腔内壁厚分布等值线图

气体辅助注射成型中,气体注射前熔体的注射量是影响制件最终质量的一个关键参数。若熔体注射时间较短,也即气体注入前型腔中熔体的注射量较少,会引起气体大量注入制件薄壁部分的情形,见图 5(a)。反之,若气体注射前熔体注射量太多,会因为型腔中没有足够空间给气体充填,从而导致气体只能沿气道注入一小部分,使气体辅助注射的优越性不能发挥,从图(b)可以看出。

3.2 算例 2

现将气道尺寸分别设定为直径 12 mm 和直径 6 mm,其它工艺条件和参数相同,利用气体辅助注射成型充模流动模拟进行分析,充填结束时表示型腔内壁厚分布的等值线图分别示于图 7(a)、(b)。

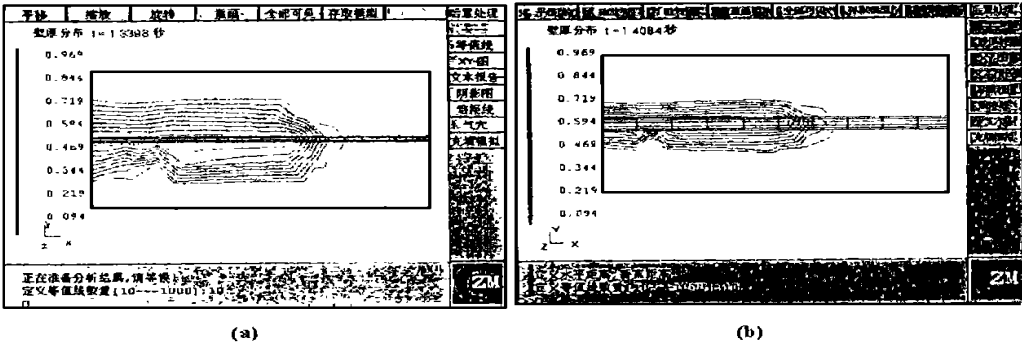


图 6 气道尺寸不同时型腔内壁厚分布等值线图

在进行气体辅助注射成型的模具设计时,气道的尺寸是至关重要的,因为它直接影响着制件最终的质量和性能。同样形状的制件,虽然气道直径都显著大于薄壁部分厚度,但对于气道尺寸较大者,见图 6(a),气体将集中沿着气道充填,较少出现充入薄壁的现象。因为气道尺寸相对较大,则气道中熔体的温度也相对较高,对气体充填产生的阻力较周围薄壁部分更小,因而气体就集中沿气道充填,较气道尺寸小者(见图 6(b))充入薄壁处要少。

## 4 结论

本文从粘性流体力学的基本理论出发,针对气辅成型充填过程的特点,提出了合理的假设,并进行了必要的简化,从而建立了描述气辅成型充填过程的数学模型,采用有限元/有限差分/控制体积混合数值算法求解,进而开发了气辅充填过程数值模拟软件,并通过对选择的典型算例进行数值模拟,以其结果验证了本文给出的理论、算法及软件的有效性。

## 参考文献

- 1 V. W. Wang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, Dynamic Simulation and Graphics for the Injection Molding of Three-Dimensional Thin Parts, J. Polym. Eng., 7, 21—45(1986)
- 2 Fallon M., Why They're Talking About Gas Injection Molding. Plastics Technology, PP. 77—75. (June 1989)
- 3 Perter L. Medina, Lih-Sheng Turng. Ven-Woei Wang "Understanding and Evaluating Gas-Assisted Injection Molding Applications via Computer Simulation." Structural Plastics Division. The Society of the Plastics Industry. Structural Plastics 19th Annual Conference, Atlanta, Georgia.
- 4 Bernhardt, E. C., ed., Computer Aided Engineering for Polymer Processing, Hanser, New York, (1987)
- 5 Tucker III, C. L., Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing, Hanser, New York (1989)
- 6 D. M. Gao, K. T. Nguyen and G. Salloum, "A Numerical Model for Cavity Filling During Gas Assisted Injection Molding." Submitted to NUMIFORM '95, Ithaca, May 1995

## A Numerical Simulation for Cavity Filling during Gas-assisted Injection Molding

Chen Xu Wang Lixia Shen Changyu Chen Jingbo Wang Guozhong  
(National Engineering Research Center of Rubber & Plastic Mold)

**Abstract** Based on the fundamental equations of the hydromechanics, the paper presents the mathematical model by means of reasonable assumptions and necessary simplifications to describe the flow behavior in cavity during gas-assisted injection molding. A hybrid finite element finite difference numerical scheme is employed to carry out the numerical simulation of the filling stage. A control volume approach is applied here to trace the moving boundaries, one for melt front, the other for gas-melt interface.

**Keywords** gas-assisted injection molding ; cavity filling simulation; finite-element ; finite-difference ; control-volume

化工钢筋混凝土结构的模糊荷载效应分析\*

郭院成 陈捷\*\* 蒋晓东

(郑州工业大学土建系)

**摘 要** 讨论了化工钢筋混凝土结构在腐蚀环境下,钢筋及砼材料力学性能指标的变化对结构构件和梁柱节点强度及刚度的影响,初步定义了节点模糊约束度概念。结合钢筋混凝土连续梁结构,定义了考虑弯矩内力重分布的模糊调幅系数,从而避免了主观调幅的盲目性。对钢筋混凝土结构的模糊耐久性分析及可靠性分析具有一定的参考意义。

**关键词** 在役结构;腐蚀度;模糊约束度;模糊荷载效应

**中图分类号** TU312

1 模糊腐蚀度

由于外部腐蚀环境的复杂性,且钢筋混凝土结构构件的腐蚀属于应力腐蚀,使其实际发生的腐蚀程度是与结构构件所处的截面应力状态密切相关的<sup>[1]</sup>。对同一受力结构的不同结构构件,在外荷载作用下,可能处于受弯状态、受压状态(包括大偏心受压或小偏心受压)、受拉状态或受剪、受扭状态,即使对同一构件,在不同工况下,也可能处于不同的应力状态,或几种受力状态的综合。对同一构件的同一截面,在不同的位置构件上,任一点所处的应力性质或应力值的大小实际上也是不同的。所以说结构构件在任一时刻、任一不同位置上的腐蚀度是不同的,对任一时刻的同一截面上的各处,考虑构件不同的腐蚀程度将导致结构内力分析的急剧复杂化,甚至使计算难以实现。故为简化计算,我们引入结构构件的模糊腐蚀度概念,将处于某种侵蚀介质中的钢筋混凝土结构,在结构服役的任意时刻,对同一构件的任一截面,认为其模糊腐蚀度是相同的<sup>[2,3]</sup>。其隶属函数定义为

$$\mu_X(x) = \sin(\frac{x-X^-}{X^+-X^-})\pi \tag{1}$$

2 模糊约束度

对钢筋混凝土杆系结构而言,结构构件截面尺寸、受力钢筋截面面积的减小以及钢筋屈服强

\* 河南省自然科学基金资助项目(964040500)

\*\* (河南财经学院,郑州,450002)

收稿日期:1997-11-11

第一作者 男 1965 年生 博士学位 副教授

度值的衰减, 均将降低构件的极限承载能力。对承受弯矩的构件截面, 结构节点抗弯承载能力的相对降低就意味着结构荷载效应计算模式的改变, 在外部作用不变或只作微小变动的情况下, 使整个结构构件的受力状态发生不可忽视的变化。

对受弯构件而言, 结构腐蚀度的加大将促使截面受压区高度减小, 钢筋应变增大, 从而导致该节点截面的转动能力增强, 促其发生由刚结向铰结的过渡, 导致结构强度、刚度发生衰减。我们以结构构件截面的约束度  $\gamma$  表征截面的刚性转动能力。对于刚节点(包括固定端和空间可动刚节点), 截面的约束度定义为 1; 对于铰节点, 约束度定义为 0, 则约束度越大, 其转动能力就越小; 反之, 转动能力就越大。可见, 化工结构在侵蚀介质作用下, 构件截面的相对刚度有所降低, 相应对结构节点的约束度也有所折减, 其约束度将在介于 0~1 之间变动。构件截面的转动能力介于刚节点和铰节点的转动能力之间。

对在役受腐蚀钢筋砼框架结构, 由于受到外部侵蚀介质的影响, 在结构使用  $t_1$  年后, 结构构件的几何尺寸和材料的力学性能都要发生一定程度的衰减。假设此时框架梁端部截面的模糊高度为  $(\tilde{h}^{(1)})_{\alpha}=[h^{-}, h^{+}]$ ; 模糊宽度为  $(\tilde{b}^{(1)})_{\alpha}=[b^{-}, b^{+}]$ ; 纵向受力钢筋的模糊截面面积为  $(\tilde{A}_s^{(1)})_{\alpha}=[A_s^{-}, A_s^{+}]$ 、 $(\tilde{A}_s'^{(1)})_{\alpha}=[A_s'^{-}, A_s'^{+}]$ ; 受力钢筋的模糊抗拉(压)强度分别为  $(\tilde{f}_y^{(1)})_{\alpha}=[f_y^{-}, f_y^{+}]$ 、 $(\tilde{f}_y'^{(1)})_{\alpha}=[f_y'^{-}, f_y'^{+}]$ , 则可计算得其模糊极限抗弯承载能力  $\tilde{M}_u$ 。对于大偏心受压构件来说, 在确定轴力  $N_P$  的情况下, 同理可计算得受压截面节点的模糊极限抗弯承载能力  $\tilde{M}_u$ 。

假设原结构材料处于完全弹性状态时, 框架梁端截面的计算弯矩为  $\tilde{M}_P$ , 则当  $\tilde{M}_u^{(1)} \geq \tilde{M}_P$  时, 结构构件截面的模糊约束度  $\tilde{\gamma}=1.0$ ; 而当  $\tilde{M}_u^{(1)} < \tilde{M}_P$  时, 有  $\tilde{\gamma} < 1.0$ 。若以  $\tilde{M}_0^{(1)}$  表示截面极限抗弯承载能力, 则截面模糊约束度可定义为<sup>[2]</sup>

$$\tilde{\gamma} = \frac{\tilde{M}_u^{(1)} - \tilde{M}_0^{(1)}}{\tilde{M}_P - \tilde{M}_0^{(1)}} \tag{2}$$

3 模糊杆系结构的内力调幅

对受腐蚀建筑结构, 结构腐蚀度的加大, 将引起构件在该截面约束度的减少。对静定结构来说, 必然导致构件截面抗力的降低, 在外荷载保持不变情况下, 也可能进一步造成构件承载能力不足而破坏, 或使构件发生过大的变形失去正常使用功能而失效。对超静定结构, 结构节点约束度的减小, 相当于部分放松该节点的转动约束; 而构件自身抗弯刚度的减低, 必然导致与同一节点相连系的若干结构构件的相对线刚度发生变化, 最终导致结构发生内力重分布, 使结构的外部荷载效应发生变化。

处于化学侵蚀介质环境中的在役钢筋砼结构, 在不改变其使用功能的前提下, 其外部荷载可以认为是保持不变的。当结构构件控制截面的几何特征、刚度及承载能力不发生改变时, 结构荷载效应也将是不变的。随着结构服役时间的延长, 由于介质的侵蚀作用, 结构构件的几何特征、刚度及承载力发生不可逆的衰减, 构件节点截面的约束度减小, 使结构发生

内力重分布。当其刚度、承载力衰减到一定程度时,该截面就会由于钢筋屈服而出现塑性铰。当然,结构构件控制截面出现塑性铰之后,由于高应力及其它因素的影响,塑性铰处出现局部腐蚀加重,从而引起结构截面承载力进一步降低,可能会在下一个塑性铰出现之前,该截面受压区砼达到极限压应变,截面转角达极限转角,最终砼被压碎而破坏。由于外界环境因素的腐蚀,荷载效应及抗力等都有很强的随机性、未确知性,为了充分利用结构的塑性性能,这里假定暂不考虑局部腐蚀加重,而忽略截面应力的变化对钢筋腐蚀速度的影响。

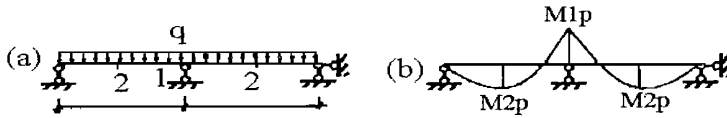


图 1 等截面两跨连续梁

对于如图 1(a)所示的承受均布线荷载的等跨等截面两跨连续梁,当结构的服役时间为 0 时,在外荷载作用下,该结构的弯矩图如图 1(b)所示。而在结构投入使用  $t_1$  年后,由于外部侵蚀介质的影响,中间支座截面的抗弯承载力衰减为  $\tilde{M}_{u1}^{(1)}$ ,跨中截面的抗弯承载力衰减为  $\tilde{M}_{u2}^{(1)}$ 。则若  $\tilde{M}_{u1}^{(1)} < \tilde{M}_{lp}$  时,有中间支座截面的约束度  $(\tilde{\gamma}_1)_\alpha < 1.0$ 。此时支座弯矩可通过引入模糊随机结构的内力调幅系数  $\tilde{\zeta}$ ,对弹性结构的内力进行修正得到。定义

$$\tilde{\zeta}^{(1)} = \frac{\tilde{M}_u^{(1)}}{\tilde{M}_p} \tag{3}$$

显然,内力调幅系数  $\tilde{\zeta}$  与构件截面节点约束度有关。当结构构件控制截面为刚结时,其约束度  $\gamma = 1.0$ ,此时结构处于完全弹性状态,按弹性理论计算所得的内力即为结构实际的内力分布,不需对其进行调幅,即内力调幅系数  $\tilde{\zeta} = 1.0$ ;当构件控制截面由于受腐蚀或其它原因使约束度下降时,结构进入弹塑性阶段,而使结构发生一定的内力重分布,重分布的程度与控制截面的约束度有关,约束度越大,构件控制截面的刚性就越大,结构就越接近弹性状态,内力调幅系数  $\tilde{\zeta}$  就越大;约束度  $\gamma$  减小,控制截面的刚性也会减小,内力调幅系数  $\tilde{\zeta}$  就越小,直至形成一个能发生有限转动的塑性铰,此时截面约束度  $\gamma = 0.0$ ,内力调幅系数最小  $\tilde{\zeta} = \zeta_0$ 。根据节点约束度概念可得

$$\tilde{\zeta} = \tilde{\gamma} + \zeta_0(1 - \tilde{\gamma}) \tag{4}$$

对  $\forall \alpha \in (0, 1)$ , 则有

$$\begin{aligned} (\tilde{\zeta})_\alpha &= [\tilde{\gamma} + \zeta_0(1 - \tilde{\gamma})]_\alpha \\ &= [\gamma^- + \zeta_0(1 - \gamma^+), \gamma^+ + \zeta_0(1 - \gamma^-)] \end{aligned}$$

第一个塑性铰将出现在支座处(这里假定腐蚀对于钢筋砼结构构件中所有截面是均匀发生的)。之后,结构发生内力重分布,可能导致结构控制截面的转移。中间支座截面的极限抗弯承载能力将继续呈下降趋势,使外荷载作用下,中间支座处弯矩逐渐减小,而外荷载作用下梁结构跨中截面的弯矩将逐渐增大。在至  $\tilde{M}_{2p} > \tilde{M}_{u2}^{(1)}$  使跨中截面的约束度  $\gamma_2^{(2)} <$

1.0, 在梁结构跨中出现塑性铰, 从而使整个连续梁结构成为机动体系, 丧失继续承载能力。

4 实例

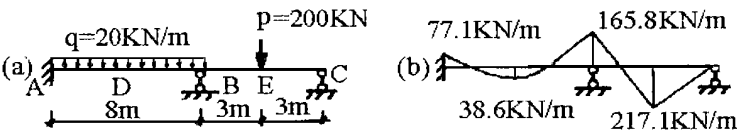


图 2 二跨连续梁结构

如图 2 所示为一等截面两跨连续梁结构, 砼设计强度为 C20 级, 受力钢筋为 II 级, 截面尺寸为  $b \times h = 250 \times 600 \text{mm}^2$ , 保护层厚度  $a_s = a'_s = 35 \text{mm}$ ; 边支座截面上部受力钢筋为  $2\Phi 18$ ;  $A_{s1}' = 509 \text{mm}^2$ , 第 1 跨跨中截面底部受拉钢筋为  $2\Phi 18$ ;  $A_{s1} = 509 \text{mm}^2$ , 中支座截面上部受拉筋为  $2\Phi 18 + 2\Phi 20$ ;  $A_s' = 1137 \text{mm}^2$ , 第 2 跨跨中截面底部受拉筋为  $2\Phi 25$ ;  $A_{s2} = 1964 \text{mm}^2$ 。由于外界使用环境中侵蚀介质的影响, 使结构在投入使用  $t_1 = 15$  年后, 分别在中支座和跨中截面附近沿受力钢筋方向发现较大裂缝, 部分区域钢筋外露周长分别达  $\omega_A = 10 \text{mm}$ ,  $\omega_B = 15 \text{mm}$ ,  $\omega_E = 10 \text{mm}$ 。假定受力钢筋发生均匀锈蚀, 测得受力筋平均腐蚀深度分别为  $\overline{P_A} = 0.1 \text{mm}$ ,  $\overline{P_B} = 0.3 \text{mm}$ ,  $\overline{P_E} = 0.3 \text{mm}$ ,  $\overline{P_D} = 0.05 \text{mm}$ , 根据现场工作环境及经验类比推断, 构件在使用达 7 年左右时, 钢筋开始发生锈蚀, 试求此在役结构的弯矩图。

[解] (1)按弹性理论分析连续梁结构得 A、B、D、E 截面的荷载效应分别为

$$M_{As} = 77.1 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad M_{Bs} = 165.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$
$$M_{Ds} = 38.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad M_{Es} = 217.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2)计算控制截面的极限抗弯承载能力

由已知条件知  $t_1 = t_0 = 7$  年时, 钢筋腐蚀速率  $P_{t0} = 0$ ; 以及  $t_1 = 15$  年时, 受力筋平均腐蚀深度分别为  $\overline{P_A} = 0.1 \text{mm}$ ,  $\overline{P_B} = 0.3 \text{mm}$ ,  $\overline{P_E} = 0.3 \text{mm}$ ,  $\overline{P_D} = 0.05 \text{mm}$ 。可近似认为构件的腐蚀过程遵循下列模型

$$\overline{P_A} = 322.6 \{ e^{0.0031(t_1-7)} - 1 \} - (t_1 - 7)$$
$$\overline{P_B} = \overline{P_E} = 109.9 \{ e^{0.0091(t_1-7)} - 1 \} - (t_1 - 7)$$
$$\overline{P_D} = 625 \{ e^{0.0016(t_1-7)} - 1 \} - (t_1 - 7)$$

不考虑截面受力钢筋裸露长度继续变化对结构截面抗力计算模式的影响, 则 A、B、D、E 各截面的抗弯极限承载能力及受力钢筋根限锈蚀率分别为

$$M_A(t^*) = 73.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad \gamma_{A0\text{截}} = 0.059$$
$$M_B(t^*) = 134.8 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad \gamma_{B0\text{截}} = 0.162$$
$$M_D(t^*) = 79.7 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad \gamma_{D0\text{截}} = 0.030$$
$$M_E(t^*) = 232.1 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad \gamma_{E0\text{截}} = 0.128$$

(3)计算 A、B 控制截面的约束度及调幅系数

$$\zeta_0^{(A)} = 73.3 / 77.1 = 0.95 \qquad \zeta_0^{(B)} = 134.8 / 165.8 = 0.813$$

据已知条件,  $t_1 = 15$  年时, 结构各控制截面的受力钢筋的截面损失率为

$$\gamma_{A\text{截}}=0.0221<\gamma_{A^0\text{截}}\qquad\gamma_{B\text{截}}=0.062<\gamma_{B^0\text{截}}$$
$$\gamma_{D\text{截}}=0.0111<\gamma_{D^0\text{截}}\qquad\gamma_{E\text{截}}=0.0474<\gamma_{E^0\text{截}}$$

由此可计算得到 A、B 两截面的约束度系数和弯矩调幅系数分别为

$$\gamma_A^{(1)}=0.7895\qquad\gamma_B^{(1)}=0.5226$$
$$\zeta^{(A)}=0.7895+0.95\times(1-0.7895)=0.9896$$
$$\zeta^{(B)}=0.5226+0.813\times(1-0.5226)=0.911$$

各控制截面的极限抗弯承载能力为

$$M_A(t_1)=77.1\times0.9896=76.3kN\cdot m$$
$$M_B(t_1)=165.8\times0.911=151kN\cdot m$$
$$M_D(t_1)=81.1kN\cdot m\qquad M_E(t_1)=249kN\cdot m$$

参考文献

1

*B. M. 莫斯科文·C. H. 克谢耶夫等著·黄炯秋等译·砼和钢筋砼的腐蚀及其防护方法·化学工业出版社·1988*

2

*郭院成·化工钢筋砼结构可靠性评估与维修决策·哈尔滨建筑大学博士学位论文·1997*

3

*赵卓,王东炜,郭院成·在役钢筋砼结构的腐蚀可靠度分析·华北水利水电学院学报·第 16 卷·第 2 期·1995*

Fuzzy Loading Effect Analysis of Chemical R·C·Structure

Guo Yuancheng    Chen Jie<sup>＊＊</sup>    Jiang Xiaodong  
(Zhengzhou University of Technology)  
<sup>＊＊</sup>(Financial and Economical Institute of Henan)

**Abstract**    Under the corroded environment, the mechanics performance index of reinforcement and concrete of chemical R·C·structure. This will attack the strength and stiffness of beam column nodes. So new concepts of node fuzzy constraint degree are defined initially in this paper. And connected with R·C·continuous beam structures, we also define fuzzy amplitude adjustment coefficient of considering moment internal force redistribution which avoid the error aroused from amplitude adjustment. These have certain reference to R·C·structures' fuzzy durability analysis and reliability analysis.

**Keywords**    structure in service; corrosive degree; fuzzy constraint degree; fuzzy loading effect

# 铸钢件铸造工艺计算机辅助设计

刘新田

马艳萍

(郑州工业大学材料系) (西北轻工业学院, 咸阳, 712000)

**摘 要** 对铸造工艺设计中的铸件模数计算、补缩工艺的设计方法及浇注系统设计等几个关键问题进行讨论,并给出了相应的计算机程序。开发了具有功能全面、使用方便、适用面广等特点的铸钢件铸造工艺计算机辅助设计软件。

**关键词** 铸钢;冒口;浇注系统;计算机辅助设计

**中图分类号** TG26

铸造工艺 CAD 是计算机技术在铸造行业中应用的重要内容。完整的铸造工艺 CAD 应包括工艺设计优化和凝固过程模拟两个方面。铸件凝固及相应的铸型充填是铸造工艺的基本问题,大部分铸造缺陷产生于这一过程或与之密切相关,但由于该项问题复杂、难度较大,在实际生产中不得不更多地依赖于经验。目前,利用数值模拟并辅之以几何模拟数据库,已经能较为有效地做到控制凝固过程及预测铸件缩孔缩松及裂纹等缺陷。

在铸造工艺 CAD 中,冒口和浇注系统设计是两个很重要的内容。目前国内工厂常用的冒口设计方法有多种,如模数法、热节圆法、比例法等<sup>[1]</sup>,但这些方法使用过程中人为因素占较大的比例。在利用计算机进行冒口设计时,比较合适的是三次方程法<sup>[2]</sup>。利用动态模数法求解三次方程,可以较为准确地确定冒口尺寸,因此也是当前应用较多的方法。

## 1 程序结构

本程序由一个主程序和四个子程序模块构成。四个子程度模块分别是:

- (1)模数计算模块
- (2)冒口计算模块
- (3)浇注系统计算模块
- (4)图形显示模块

模块(1)主要完成对铸件的几何量、物理量进行计算,如铸件的散热面积、体积、模数和重量;模块(2)主要完成铸钢件冒口尺寸、种类的设计;模块(3)主要完成铸钢件浇注系统的设计;模块(4)完成对各浇道断面形状和尺寸的显示,冒口的种类、尺寸和形状的显示以及显示具体铸件浇冒系统设计的工艺图。主程序框图如图 1 所示。

收稿日期:1997—07—15

第一作者 男 1963 年 4 月生 博士学位 副教授



2 模数计算

铸件几何、物理量的计算主要是为了确定铸件的模数的重量,它们是铸造工艺设计的两个重要参数,直接影响着工艺设计结果的精度。

2.1 计算方法

铸造中所遇到的铸件的形状是各种各样的,铸件的体积和表面积计算没有统一的公式可利用。对于简单形状铸件,模数计算较容易,但对于形状复杂的铸件,模数的计算是很困难的。然而,任何复杂的铸件总可以看成是由几种较为简单的几何体组合而成。因此,适当地选择这种为数不多的简单几何体,就能够组合成各种不同形状的铸件。这样就把铸件的体积、表面积、重量和模数等参数的计算问题归结为简单几何体的计算,从而使问题大为简化。这种计算方法称为组合形体法<sup>[3,4,5]</sup>。

组成铸件的基本几何体可分为四类:简单形体、等截面单元体、回转单元体和不规则形状单元体。具体计算公式的推导另有详细叙述。

用组合形体法求出每一部分的模数和相应的体积,进而可求出铸件的重量。

2.2 程序设计

利用前述的组合形体法及有关计算公式,编制计算机程序,即可完成体积、重量、模数等铸件的几何、物理量计算。其计算程序框如图 2。

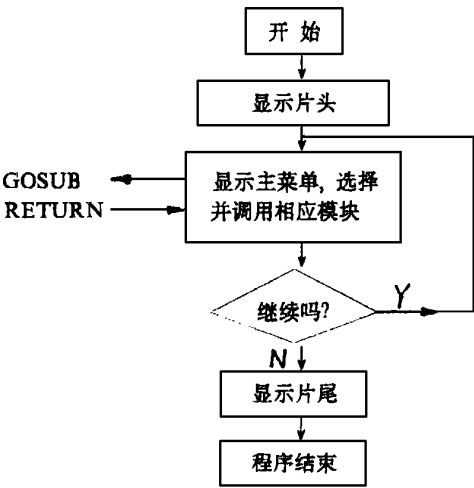


图 1 主程序框图

3 冒口设计

3.1 设计原理

为了得到致密健全的铸件,冒口必须能充分补缩铸件。为此必须满足以下三个条件<sup>[6]</sup>:

- ①冒口系统的凝固应当晚于铸件的凝固,以保证对铸件提供必要的补给金属。
- ②冒口要能根据设计的要求提供足够的金属液来补偿铸件的液态收缩、凝固收缩以及由于型腔扩大而增加的体积。
- ③冒口和铸件受补缩部位之间要保持一定的温度梯度和凝固梯度,以保证补缩通道的畅通。

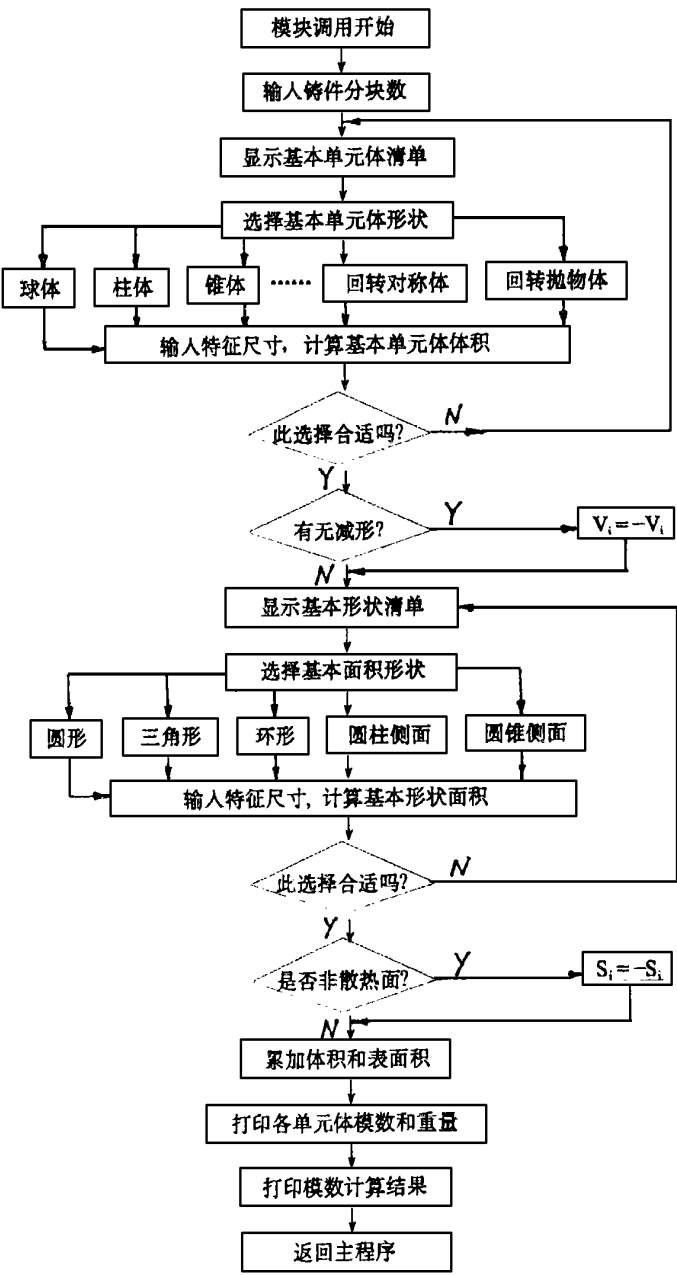


图 2 模数计算程序框图

3.2 用动态模数法求解冒口尺寸

采用模数法计算冒口，一般取  $M_r=1.1\sim1.2M_c$ ，冒口补缩效率  $\eta=14\sim20\%$ 。应用这种方法计算冒口的前提是，冒口模数  $M_r$  和当量体积  $V_r$  以及铸件的模数  $M_c$  和当量体积  $V_c$  始终保持不变。但是，在冒口/铸件的凝固体系中，从金属液浇注完毕至凝固结束， $M_r$ 、 $M_c$ 、 $V_r$ 、 $V_c$  等参数实际上一直处于动态变化过程中，铸件的当量体积最后增加到  $V_c+\epsilon V_c$ ，冒口的残余体积减少为  $V_r-\epsilon V_c$ ，它们的模数分别为：

$$M_{ce} = \frac{V_c + \epsilon V_c}{A_c} = \frac{V_c}{A_c}(1 + \epsilon) \tag{1}$$

$$M_{re} = \frac{V_r - \epsilon V_c}{A_r} \tag{2}$$

式中,  $M_{ce}$ ——修正后的铸件模数, cm  
 $A_{re}$ ——残余冒口表面积,  $\text{cm}^2$   
 $V_r$ ——冒口的当量体积,  $\text{cm}^3$   
 $\epsilon$ ——合金的凝固收缩率, %  
 $M_{re}$ ——残余冒口模数, cm  
 $V_c$ ——铸件的当量体积,  $\text{cm}^3$   
 $A_c$ ——铸件的表面积,  $\text{cm}^2$

从理论上讲, 只有当  $M_{re} = M_{ce}$  时, 即残余冒口的凝固时间与铸件的凝固时间相等时, 所选择的冒口尺寸是最小的, 最合理的。因此,

$$\frac{V_r - \epsilon V_c}{A_{re}} = \frac{V_c(1 + \epsilon)}{A_c} \tag{3}$$

通过变换、整理, 即可得到求解冒口的动态模数法的三次方程式:

$$x^3 - K_1 M_c x^2 - K_2 V_c = 0 \tag{4}$$

式中的  $K_1, K_2$  是和冒口的形状、类别等有关的常数。

### 3.3 程序设计

采用牛顿法求解方程(4)。其程序框图如图 3。

## 4 浇注系统设计

### 4.1 设计方法

所谓浇注系统的设计就是确定浇注系统各组元的形状、尺寸。铸件中的许多缺陷, 如夹渣、气孔等都和浇注系统设计的好坏有密切的关系。浇注系统的设计仍然是基于水力学中的伯努利方程及流量公式<sup>[1]</sup>

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{2gH_0} \tag{5}$$

经过简单的代换, 则

$$A = G / (\alpha \cdot \rho \cdot t_p \sqrt{2gH_0}) \tag{6}$$

式中,  $G$ ——浇注重量

$\alpha$ ——流量系数

$t_p$ ——浇注时间

$H_0$ ——平均压头高度

$A$ ——阻流断面面积

为求出  $A$  值, 首先需要确定式中各个参数, 其中  $G, \rho$  已知,  $\alpha = 0.3 - 0.8$ , 由设计者选择输入。最佳的浇注时间  $t_p$  和铸件重量及壁厚有关, 其经验关系式为:

$$t_p = K_1 + K_2 \cdot L^{0.4} \cdot G^\beta \tag{7}$$

其中,  $K_1 = 0 - 7.0$ ;  $K_2 = 0.30 - 5$

$$\beta = 5 / (20 - 13 \cdot \lg H_s)$$

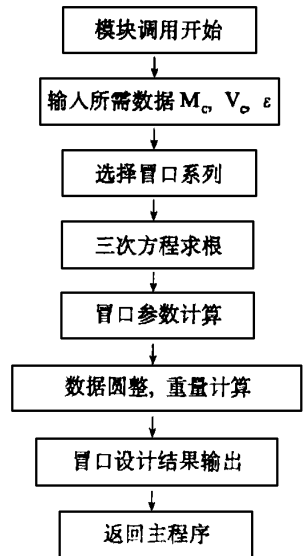


图 3 冒口计算程序框图

$$H_s = (T_{\text{浇}} - 1500) / 15$$

L——铸件壁厚

平均压头的计算由下式给出：

$$H_o = H_s - [ H_u^2 / 2 ( H_u + H_i ) ] \tag{8}$$

其中， $H_s$ ——最大压头高度

$H_u$ ——上型腔高度

$H_i$ ——下型腔高度

求出阻流面积 A 后，根据浇口比决定其它组元的断面积。而浇注系统各组元的形状和尺寸则需考虑造型的方便程度等。

若采用漏包浇注，浇注系统对包孔来说必须是开放式的，即包孔为阻流断面。因此在设计时只需先设定一包孔直径，据此求出钢水流出时间，即为浇注时间。需要注意的是，这里应该根据这一浇注时间，求出钢水在型腔中的平均上升速度 V，然后用型腔中允许的液面最小上升速度  $V_{min}$  来校核。若  $V < V_{min}$  说明所选包孔过小，应重新选择。包孔直径确定之后，即可依据设定的浇口比确定浇注系统各组元的截面尺寸。

4.2 程序设计

利用前述的有关计算方法，即可编制计算机程序对浇注系统进行设计。下面是该模块的框图。

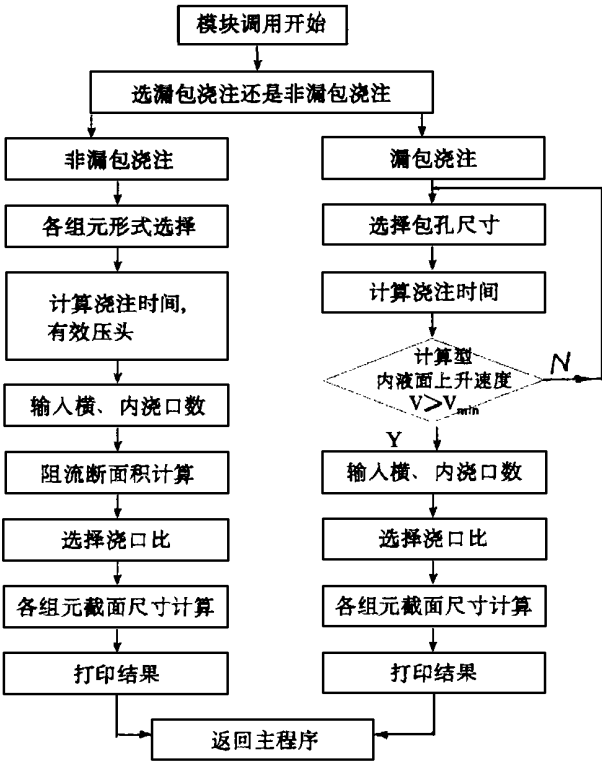


图 4 浇注系统计算程序框图

5 结语

本文所述计算方法比一般经验方法更科学、更合理。不但能提高工作效率,而且能优化工艺,提高工艺出口率。

所设计的程序能比较准确地计算一般铸件的体积,散热面积、模数和重量,最终完成对浇冒口系统的辅助设计。该程序采用汉字提示,输入简单、使用方便。经进一步完善后,可以用于实际生产。

参考文献

1 曹文龙. 铸造工艺学;机械工业出版社. 1989  
2 李弘英, 赵成志. 用动态模数法求解铸钢件冒口尺寸. 铸造. 1994. No. 10  
3 大中逸雄. 计算机传热凝固解析入门;机械工业出版社. 1988  
4 黄斌, 陈志对. 铸件体积模数的计算机程序. 铸造技术. 1993. No. 6  
5 张毅. 铸件凝固数值模拟及铸造工艺 CAD 现代进展. 铸造. 1987. No. 6  
6 李弘英. 铸钢件的凝固和致密度的控制;机械工业出版社. 1985

Computer-aided Design System  
for Steel Casting Process

Liu Xintian

Ma Yanping

(Zhengzhou University of Technology) (Xibei Light Institute of Technology)

**Abstract** In this paper, several important problems in the design of casting technology of steel, including the calculation of the modulus of a casting, the designing method on the feeder and the gating system, etc, were discussed respectively. A flexible software with versatile functions was presented, which can be used conveniently in the design of the steel casting process.

**Keywords** steel casting; feeder; gating system; CAD

# 非晶 $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$ 合金表面状态的研究<sup>\*</sup>

王西科 杨占胜 沈宁福 雷刚军

(郑州工业大学材料系)

**摘 要** 采用俄歇电子能谱(AES),X 射线光电子能谱(XPS),并结合氩离子溅射剥层,研究了非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带的表面状态。结果表明,在条带表层,Ni 以金属态存在,Al 和 Zr 被选择氧化,且 Al 被优先选择氧化。条带两侧表面均被一薄层氧化物覆盖,氧化物的主要组分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,另有少量的  $\text{ZrO}_2$ 。

**关键词** 非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金;表面状态  
**中图分类号** TG139.8

## 0 引言

80 年代以来,非晶金属合金的催化性能已越来越受到材料科学和化工界的重视。研究的合金系列已从最初的金属—类金属系<sup>[1,2]</sup>,发展到目前的金属—金属系<sup>[3,4]</sup>。非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金是一种新型的催化剂材料。

原始非晶合金条带的活性很低,其原因主要是由于表面存在着氧化和成分偏聚,因此必须采取一定的活化预处理使其活化。活化的目的方面是去除原始条带表面惰性的氧化膜,从而增加活性组元的表面浓度;另一方面是增加催化剂的比表面积。为了有效地确定活化工艺,必须对其合金的原始表面状态进行详细的研究。不同的合金成分其表面状态不同,既使对于同一条带,其自由侧和贴辊侧的表面状态也往往存在很大的差别<sup>[5]</sup>。文献[5]研究了非晶  $\text{Ni}_{63}\text{Zr}_{37}$  合金的表面状态及 La 加入后对表面状态的影响。本文研究了非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带自由侧及贴辊侧的表面状态。

## 1 实验方法

按原子百分比  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  在 ZG—10B 中频感应熔炼炉中配制成母合金,熔炼时为防止氧化首先将系统抽真空到 0.1Pa,然后充氩气保护。将熔配好的母合金在旋铸机上制成宽 2mm,厚 55 $\mu\text{m}$  的非晶条带。

在 PHI558 型能谱仪上测定俄歇电子能谱(AES)和 X 射线光电子能谱(XPS),其中 X 射线采用  $\text{MgK}\alpha$ ,分析室真空度为  $1.0\times 10^{-8}\text{Pa}$ 。试样在分析室内原位 Ar 离子溅射剥层,能量 4.5KeV,束流 600 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。通过标定,本试验中的剥离速率为 4nm/min。全部 XPS 谱用

<sup>\*</sup> 化工部重点基础研究资助项目(93—23—01)

收稿日期:1997—10—08

第一作者 男 1961 年 3 月生 博士学位 副教授

Cl<sub>s</sub> 284.6eV 校正。

2 实验结果及分析讨论

2.1 条带表面成分的 AES 分析

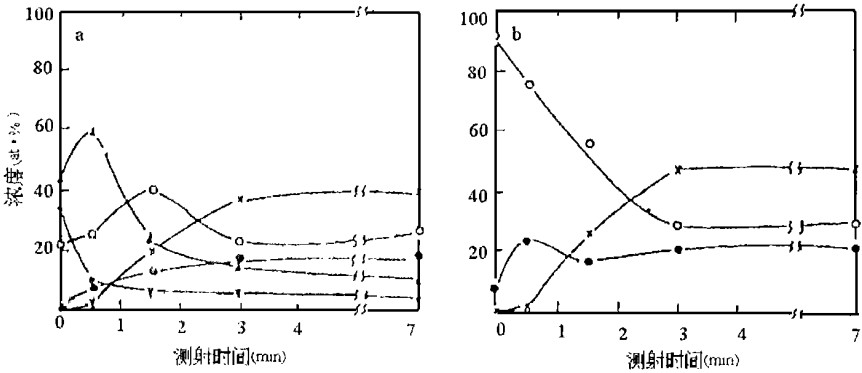


图 1 非晶 Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub>合金条带自由侧表层的成分分布

(a) [Ni]+[Zr]+[Al]+[C]+[D]=100%; (b) [Ni]+[Zr]+[Al]=100%  
●Ni; × Zr; ○Al; ▲O; ▼C

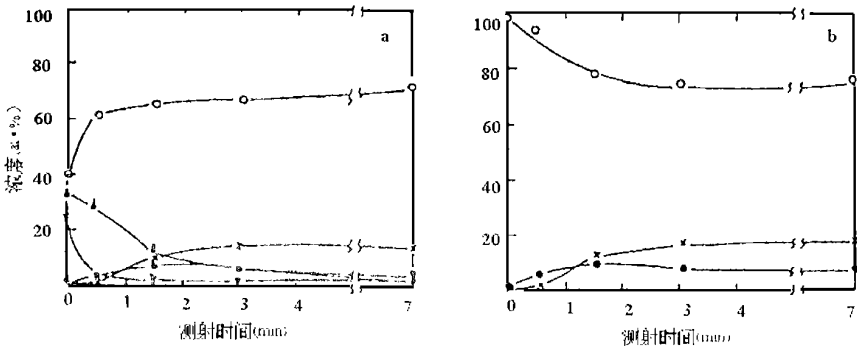


图 2 非晶 Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub>合金条带贴辊侧表层的成分分布

(a) [Ni]+[Zr]+[Al]+[C]+[D]=100%; (b) [Ni]+[Zr]+[Al]=100%  
●Ni; × Zr; ○Al; ▲O; ▼C

图 1 是 AES 测定的非晶 Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub>合金条带自由侧表层的成分分布。由图 1(a)知,在条带表面,主要成分是氧及吸附碳,另有 22%原子浓度的 Al,及大约 2%原子浓度的 Ni,Zr 在条带表面的浓度近乎为零。随氩离子溅射剥层的进行,C 浓度急剧降低到一个低的稳定值(约 5%原子浓度),而 Ni 和 Zr 的原子浓度则逐渐增加,并经 7.0min 溅射后最终分别达到 18%和 40%的原子浓度。与此不同的是 O 和 Al 的原子浓度随层深的变化,它们在亚表层分别有一个浓度峰值。图 1(b)排除 C 和 O 的影响给出了 Ni、Zr 和 Al 的层深分布曲线。表明,在条带表面 Al 明显偏聚,而 Ni 和 Zr 则明显贫集。在亚表层,Ni 基本上保持平均体浓

度不变,而 Al 浓度则逐渐降低并在溅射 3min 后达到稳定的 30%原子浓度。相反,Zr 浓度则逐渐增加并经 3min 溅射后达到基本稳定的 48%原子浓度。

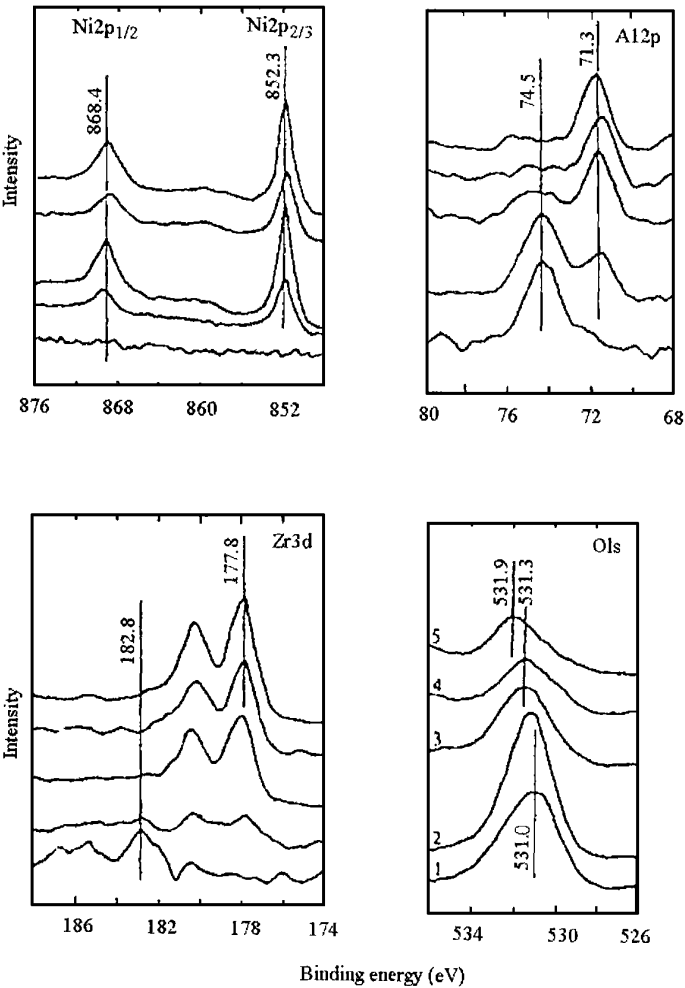


图 3 非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带自由侧经不同时间溅射后的  $\text{Ni}^{2p}$ 、 $\text{Zr}^{3d}$ 、 $\text{Al}^{2p}$  及  $\text{O}^{1s}$  的 XPS 谱  
1—0.0min;2—0.5min;3—1.5min;4—3.0min;5—7.0min

图 2 是 AES 测定的非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带贴辊侧的表层成分分布曲线。由图 2(a) 知,在条带表面,Al 的原子浓度约为 40%。氧和碳的原子浓度分别为 32%和 24%,而 Ni 和 Zr 的浓度则极低,表明 Al 在条带表面发生了明显偏聚。随着氩离子的溅射剥层,Ni、Zr 和 Al 的浓度逐渐增加,并经 3min 溅射后基本达到稳定值。相反,碳和氧的浓度则急剧降低,并分别经过 0.5min 和 3min 溅射后达到稳定值。与自由侧的成分分布(图 1(a))略有不同,Al 和 O 的浓度分布在贴辊侧亚表层没有峰值出现。图 2(b)的结果表明,在条带贴辊侧表面,Al、Ni 和 Zr 的原子浓度分别为 97%,2%和 1%,表明在条带表面 Al 发生了强烈的偏聚,相反,Ni 和 Zr 则发生了明显的贫集。与该合金的平均体原子浓度相比较,在溅射 3min 的深度范围内,Al 的原子浓度明显高于其平均体浓度(72%),表明 Al 的偏聚层深度约为



12nm。而在溅射 1min 到 7min 的深度范围内,Zr 发生了明显的偏聚。相反,Ni 在整个溅射深度范围内均处于贫集状态。

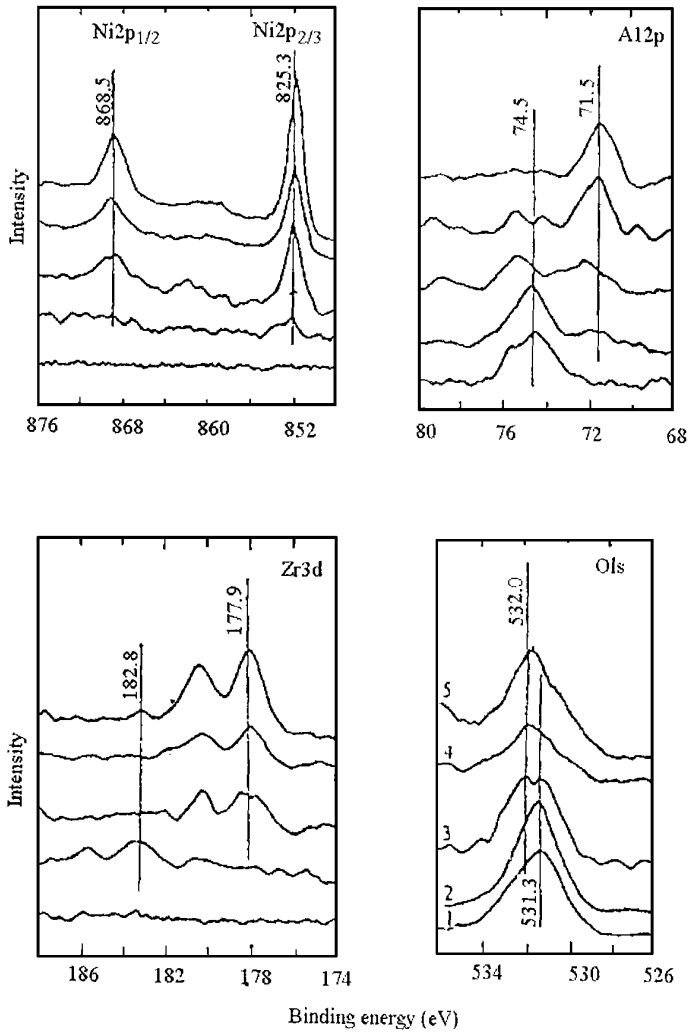


图 4 非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带贴辊侧经不同时间溅射后的  
 $\text{Ni}2p$ 、 $\text{Zr}3d$ 、 $\text{Al}2p$  及  $\text{O}1s$  的 XPS 谱  
1—0.0min; 2—0.5min; 3—1.5min; 4—3.0min; 5—7.0min

2.2 条带表面元素化学状态的 XPS 分析

图 3 为非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带自由侧表层  $\text{Ni}2p$ 、 $\text{Zr}3d$ 、 $\text{Al}2p$  及  $\text{O}1s$  的 XPS 谱。在条带表面,没有  $\text{Ni}2p$  信号被探测到,表明条带表面 Ni 的浓度极低,这与 AES 测定结果(图 1)一致;在条带表面出现了微弱的  $\text{Zr}3d$  信号,其  $\text{Zr}3d_{3/2}$  结合能为 182.8eV,表明少量的 Zr 完全以  $\text{ZrO}_2$  形式存在<sup>[7]</sup>。Al 在条带表面的 XPS 信号较强,其  $\text{Al}2p_{3/2}$  结合能为 74.5eV,根据标准谱图<sup>[7]</sup>可知,Al 在条带表面以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形式存在。溅射 0.5min 后, $\text{Ni}2p$  信号明显出现,其  $\text{Ni}2p_{3/2}$  结合能为 852.3eV,表明 Ni 以金属态存在; $\text{Zr}3d$  的 XPS 谱上除仍有微弱的  $\text{ZrO}_2$  信号外,同时在 177.8eV 处出现了另一组略强的峰,表明金属 Zr 已经出现,且浓度已经超过 Zr

氧化物;在  $\text{Al}2\text{p}$  的 XPS 谱图上,除较强的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  信号仍然存在外,另外在结合能为  $71.5\text{eV}$  处出现了另一较弱的  $\text{Al}2\text{p}_{3/2}$  信号,表明经  $0.5\text{min}$  溅射后,Al 主要以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形式存在,同时出现了少量的金属 Al。经  $1.5\text{min}$  溅射后,金属 Ni 的  $\text{Ni}2\text{p}$  信号进一步增强,表明其浓度进一步有所提高;Zr 氧化物信号已完全消失,同时金属 Zr 信号明显增强,表明浓度已增加的 Zr 完全以金属态存在;Al 主要以金属态存在,另有少量氧化态。溅射  $3\text{min}$  后,直到  $7\text{min}$ ,Ni 和 Zr 仍然全部为金属态,同时 Al 氧化物信号已完全消失,且完全以金属态形式存在。

根据图 1 和图 3 的 AES 及 XPS 测定结果可知,在非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  条带自由侧表面覆盖着一层厚度约为  $6\text{nm}$  的氧化膜,氧化膜的主要组分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,另有少量的  $\text{ZrO}_2$ ,而  $\text{ZrO}_2$  的出现厚度仅有  $2\text{nm}$  左右;Ni 在条带最表面没有出现,而在表下全部以金属态存在。说明在条带表层发生了 Al 和 Zr 的选择氧化和表面偏聚,且 Al 被优先选择氧化。

图 4 为非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带贴辊侧表层的  $\text{Ni}2\text{p}$ 、 $\text{Zr}3\text{d}$ 、 $\text{Al}2\text{p}$  及  $\text{O}1\text{s}$  的 XPS 谱图。在条带最表面,没有  $\text{Ni}2\text{p}$  及  $\text{Zr}3\text{d}$  信号出现,表明其表面浓度极低,这与 AES 测定结果(图 2)一致;Al 在条带表面出现了明显的  $\text{Al}2\text{p}$  信号,其峰  $\text{Al}2\text{p}_{3/2}$  结合能为  $74.5\text{eV}$ ,表明 Al 全部以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形式存在<sup>[7]</sup>。溅射  $0.5\text{min}$  后,出现了微弱的  $\text{Ni}2\text{p}_{3/2}$  信号,其峰结合能为  $852.3\text{eV}$ ,表明少量的金属 Ni 已经出现;同时在  $\text{Zr}3\text{d}$  的 XPS 谱图上,出现了较弱的  $\text{Zr}3\text{d}_{5/2}$  峰结合能,其值为  $182.8\text{eV}$ ,表明少量的 Zr 已经出现,且全部以  $\text{ZrO}_2$  形式存在;Al 仍然主要以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形式存在,另有极少量的金属 Al<sup>[7]</sup>。溅射  $1.5\text{min}$  后,金属 Ni 含量明显增多,Zr 全部以氧化物形式存在,而 Al 仍然是氧化态和金属态并存。直到溅射  $7\text{min}$  后,Al 的氧化物信号才完全消失。

根据图 2 和图 4 的 AES 及 XPS 测定结果可知,在非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  条带贴辊侧表面同样覆盖着一层氧化物,但与自由侧相比,贴辊侧的氧化层更厚,约达  $12\text{nm}$ ,且贴辊表面的 Al 氧化偏聚更加显著,在该侧表层氧化物组成中,Zr 氧化物的含量较自由侧明显降低,几乎氧化物全为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成。同时,与自由侧相比,在贴辊侧表面和表下,Ni 浓度明显降低。

### 3 结论

非晶  $\text{Ni}_{19}\text{Zr}_9\text{Al}_{72}$  合金条带自由侧及贴辊侧的表层氧化膜厚度分别约为  $6\text{nm}$  和  $12\text{nm}$ 。氧化膜的主要组分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,另有少量的  $\text{ZrO}_2$ 。在条带两侧表面均发生了 Al 的显著偏聚,且贴辊侧表面 Al 的氧化偏聚更加显著。在条带表层,Ni 以金属态存在,Al 和 Zr 被选择氧化,且 Al 被优先选择氧化。

### 参考文献

- 1 A. Yokoyama, Komiyama H. Inoue H. J Catal. 1981.68:355
- 2 S. Yoshida, Yamashida H. Funabiki T. J Chem Soc. Faraday Trans I. 1984;80:1435
- 3 Walz B, Wiesendanger R. Rosenthaler L. Mater Sci. Eng. 1988.99:501
- 4 Benvoloni J C, Brissot J. Lemogne T. Appl. Surface Sci. 1987.29:29
- 5 Kisfaludi G, Schay Z. Gucai L. Appl. Surface Sci. 1987.28:111
- 6 王西科,沈宁福,张海峰,顾海澄.材料科学进展.1993.3,204
- 7 C D, Wagner, Riggs W M. Moulder J F. Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy. Eden Prairie. Minnesota: Perkin-Elmer Corporation;Physical Electronic Division. 1979.

(下转 90 页)

4 萃取及浸取·化学工程手册:化学工业出版社·1985

Study on the Kinetics of  
Back-extraction of Citric Acid

Zhou Cairong   Ge Qingping<sup>\*</sup>   Zhong Xian   Li Huiping  
(Zhengzhou University of Technology)   <sup>\*</sup>(Henan Institute of Quality Examination)

**Abstract** The kinetics of back-extraction of citric acid (H<sub>3</sub>A) in alkyl amine extract with water were studied by means of single drop method. The influence of various compositions in different extraction systems on the rate of back-extraction was investigated. The results show that the rate equation of back-extraction depends on the composition of the organic system. The equation of back-extraction rate for the system I, which consists of alkyl amine (R<sub>3</sub>N), oleic acid and butyl acetates, is represented by  $R_b = k_b [H_3A]_{(0)}^{0.6} [R_3N]_{(0)}^{0.8} [butyl\ acetate]_{(0)}^{-0.5} [oleic\ acid]_{(0)}^{1.9}$ .

But the equation of back-extraction rate for the system II, in which 200<sup>#</sup> paraffin is added, is represented by  $R_b = k_b [H_3A]_{(0)}^{0.8} [R_3N]_{(0)}^{1.6} [butyl\ acetate]_{(0)}^{2.0}$ .

**Keywords** alkyl amine; citric acid; kinetics; back-extraction

(上接 33 页)

Study on the Surface State of  
Amorphous Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub> Alloy

Wang Xike   Yang Zhansheng   Shen Ningfu   Lei Gangjun  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** The surface state of amorphous Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub> alloy ribbon has been studied by means of Auger electron spectroscopy (AES) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), combined with in situ. Ar ion bombardment etching On the ribbon surface, Ni existed in its pure metallic state, Al and Zr were selectively oxidized. The surface of both the free and dull side of the alloy ribbon was covered with a thin layer oxides which consisted of a large amount of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and a small amount of ZrO<sub>2</sub>.

**Keywords** amorphous Ni<sub>19</sub>Zr<sub>9</sub>Al<sub>72</sub>alloy; surface state

# 带通讯接口的电子称重系统

高金峰 黄俊杰 王俊<sup>昆</sup>  
(郑州工业大学计自系)

**摘要** 介绍一种以 MCS—51 系列单片机 8031CPU 为核心而组成的带通讯接口的称重系统的硬件工作原理及软件框图。该系统具有精度高、造价低、适应电压范围宽等特点。

**关键词** 单片机;电子秤;通讯接口

**中图分类号** TP211.5

农副产品的收购是关系到国计民生的大问题,随着技术的进步及集约化规模化经营管理的需求,计算机进入农副产品的收购领域,已逐步实现。传统的杆秤和机械磅秤已逐渐退出历史舞台,逐渐被电子磅秤所取代,电子称重系统特别是作为一般经营活动中的电子秤,目前国内已有很多厂家生产,产品系列也较齐全。基本上能满足一般经营活动的需要。但农副产品收购中所需要的与微机收购系统配套且具有联机、数据远传接口、较宽的电源电压适用范围,较强的抗干扰能力的称重系统还不多见。本文介绍一种以 MCS—51 系列单片机 8031CPU 为核心而组成的称重系统。该系统既适合于农副产品收购的重量量程和环境,又具有通讯接口和数据远传功能。下面就系统各个部分的软硬件工作原理进行介绍:

## 1 整机硬件工作原理及框图

系统的基本工作过程为将物体的重量称量出来,以国际单位千克显示,并通过通讯接口将重量传送至上位结算系统。基于各项功能的需要和电子衡器国家标准要求,我们设计的系统的基本框图如图 1 所示。从图上可以看出称重传感器在加入激励标准电源后,物体的重量使传感器输出与重量成正比的差动电压信号,经信号调理电路放大到合适的幅度后送入 A/D 转换电路采集其重量对应的电压值并转为数字结果,在 MCS—51 系列单片机 8031 内部进行标度变换处理,形成以千克为单位的结果,通过四位 LED 显示出来,再通过 RS—422 接口传送出去。

## 2 各部分硬件设计

### 2.1 称重传感器部分

系统的传感器采用压力传感器,其电气原理如图 2 所示。图中  $R_1 \sim R_4$  为组成测量电桥

收稿日期:1996—10—09;修改稿返回日期:1997—07—14

第一作者 男 1963 年 11 月生 硕士学位 副教授

的应变片电阻,  $R_D$  为初始不平衡补偿电阻,  $R_T$  为零点温度补偿电阻,  $R_E$  为输出灵敏度温度补偿电阻。其工作原理是在弹性体上对称粘贴电阻应变片, 并将应变片连接成惠斯登电桥。当被测重量通过秤盘施加于弹性体上时, 使粘贴有电阻应变片的弹性体发生形变, 此时应变片也随之形变。应变片所粘贴的位置使  $R_1$  和  $R_2$  阻值减少,  $R_3$ 、 $R_4$  阻值增加, 故电桥失去平衡, 电路对角输出一不平衡的电压。该电压正比于作用在传感器上的重量或重力。

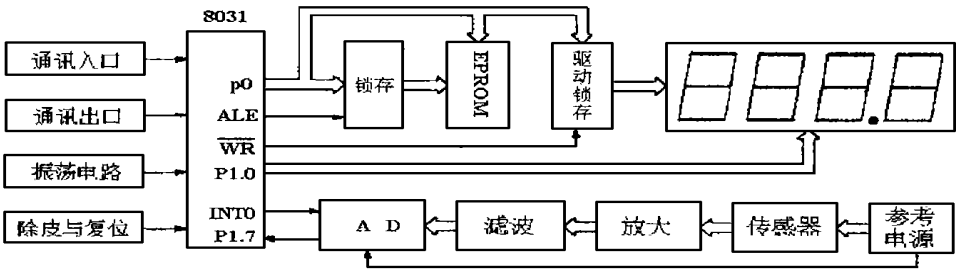


图 1 总体框图

2.2 信号调理及滤波电路

称重传感器输出的电压信号的大小, 由传感器的额定输出灵敏度决定。当传感器的量程与激励电压确定后, 传感器的满度输出也就随之确定。本系统所使用的传感器的灵敏度, 在采用最大激励电源时, 其满度输入最大电压仍为毫伏级。因此, 传感器的输出电压需经放大后才能进行 A/D 转换。

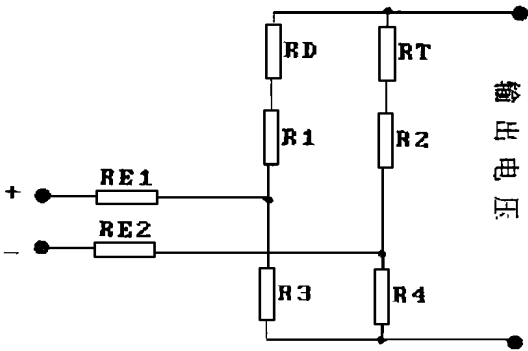


图 2 测量电桥

传感器信号放大电路如图 3 所示, 图中的运算放大器采用美国 Intersil 公司生产的 ICL7650 第四代集成运算放大器, 它的动态校零原理清除了 MOS 器件固有的失调和漂移。其失调电压和漂移仅几个  $\mu V$ , 适合于相对较弱信号的放大。从图上可见, 压力传感器组成的电桥, 受恒压源  $V_{ss}$  激励。当电桥平衡时, 通过  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$  和  $R_F$  组成的电桥进行零位调节。此时, 相当于整个传感器无输出, 放大器两输入端承受负共模电压。

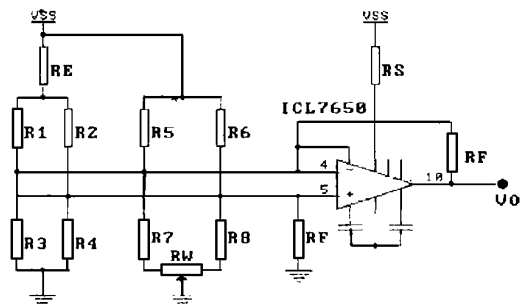


图 3 信号放大电路

$V_{ss}$  为负激励电源。采用负激励电源是 ICL7650 对负共模电压有较高的抑制能力。图中的  $R_S$  为电源防振电阻, 可消除 CMOS 器件的可控硅效应。  $C_1$ 、 $C_2$  为外接存储电容器。当  $R_E$  较小,  $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $R_8$  和  $R_F$  取值较大时, 放大器的放大倍数可以通过改变电阻  $R_F$  的大小

进行调节,当重量确定时,输出电压与激励电源  $V_{SS}$  成正比,即

$$V_0=K_1\times V_{SS} \tag{1}$$

为使称重系统显示和输出的重量稳定,显示出被称物体的静态重量。对放大后的信号进行平滑滤波是必要的。理论上讲,为了显示数字的稳定,低通滤波器的截止频率应越低越好。但频率过低会使电子秤跟踪重量变化的性能降低,也即是滤波器的阶跃响应上升时间过长,会使显示的重量在短时间内不能显示物体重量的真值。综合考虑后系统采用了如图 4 所示的二阶单位增益切比雪夫滤波器。

2.3 A/D 转换电路

在单片机实时测控和智能化仪器仪表等应用系统中,将连续信号转成数字信号需要模数转换器(A/D)。随着集成电路技术的发展和电子计算机技术在工程领域内的广泛应用,A/D 转换器的设计思想和制造技术层出不穷。由于其通用性,其接口、参考电压等都有其特殊的限制。通常在单片机实时测控和智能仪表中,大都要求精度高于 0.1%,A/D 转换分辨率高于 11 位(二进制),转换速度为每秒几十次。特别是在批量生产的智能仪表中,还要求 A/D 的价格在满足性能要求的情况下,价格尽可能的低,以期实现较高的性能价格比。根据分析并考虑传感器部分的激励电源的稳定度对整个系统精度的影响等因素。我们采用了文献[2]中的 A/D 转换电路和软件。该电路和软件具有价格低、参考电压的极性与传感器激励电源参考极性一致、激励电源电压的变化可以通过 A/D 转换的参考电压的变化进行抵消或补偿,占用单片机资源少,与单片机接口容易等特点。

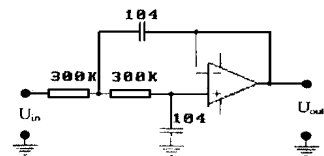


图 4 二阶 LPF

2.4 参考电压的形成及补偿

如前所述,信号调理电路的输出电压与激励电源之间有式(1)的关系,当为 A/D 转换电路提供参考电压的电源采用  $V_{SS}$  时,参考电压与  $V_{SS}$  之间有

$$V_{REF}=K_2\times V_{SS} \tag{2}$$

式中的  $K_2$  为分压系数, $K_2$  的大小决定参考电压的大小。则由文献[2]给出的 A/D 转换电路的原理可得,与被测电压  $V_0$  成正比反映被测物重量的计数值  $N$  为

$$N=K_3\times V_0\div V_{REF} \tag{3}$$

代入式(1)和式(2)可得到

$$N=K_3\times K_1\div K_2 \tag{4}$$

由上式可以看出 A/D 转换的结果与参考电压和传感器的激励标准电压的大小没有关系。为此,我们可以采用廉价的电源实现较高的系统精度,使所设计的称重系统既对电源的适应性较强。又大大提高了整个系统的性能价格比。

2.5 显示接口及驱动电路

根据所设计的电子称重系统所称物体重量的范围,我们选用四位 LED 数码管来显示所称出的重量。

MCS-51 系列单片机 8031 具有 64K 的 EPROM 和 RAM 的寻址能力,通过读写信号的不同来区分是对程序存储器或是数据存储器进行操作。由于我们采用的 A/D 转换电路不占用 RAM 口地址资源,因此,仅采用一片 74LS374 锁存器即可完成显示数据段码的锁存和驱动。这样处理即简化了接口电路又使 LED 数码管的驱动得以实现,大大简化了电路。

降低了成本。也使数据输出时直接可以通过一条数据写指令完成。四位数码显示的位地址,采用 8031 的 P<sub>1</sub> 口的 4 个端子即可以实现。其电路如图 5 所示。

2.6 通讯接口电路

MCS-51 系列 8031 单片机 P<sub>3</sub> 口的 P<sub>3.0</sub> 和 P<sub>3.1</sub> 是一对复用的端子。既可以作为一般的输入输出线,也可以作为串行口使用。但 P<sub>3.0</sub> 和 P<sub>3.1</sub> 作为串行口使用时,由于其电平为 TTL 电平,其传送的数据的距离有限。一般来讲,电子称重系统所放的位置与结算机是有一定的距离的,因此,直接采用 TTL 电平,而不加驱动,数据传递的速率和可靠性都是较低的。RS-232 标准接口电平与 TTL 电平相比,大大提高了数据信号的传输距离,也提高了其抗干扰能力。但由于其接口中需要 +12V 作为其逻辑“0”, -12V 作为其逻辑“1”。因此,在形成其接口时设备中应该有 ±12V 电源存在。这是使用 RS-232 标准接口不便的原因。尽管也有采用单三级管电路实现 RS-232 接口的电路而不需要 ±12V 电源,但前提条件是相互通讯的两端中,必须的一端是标准 RS-232 接口,以供利用。考虑到既要提高通讯距离,又能够直接使用电子称重系统中的 +5V 电源而不必另加电源这一要求,我们选用了 RS-422 标准。RS-422 标准接口采用平衡驱动和差分接收方法,从根本上消除信号地线。它能够在较长的距离(1km)内明显地提高数据速率,并且抗干扰能力也大大加强,图 6 给出了采用一片 MC3486 和 MC3487 形成 RS-422 标准接口的接线图。图中采用了 MC3487 中的一个驱动电路作为反相器,用以保证在 8031 复位时,MC3487 处于高阻状态。

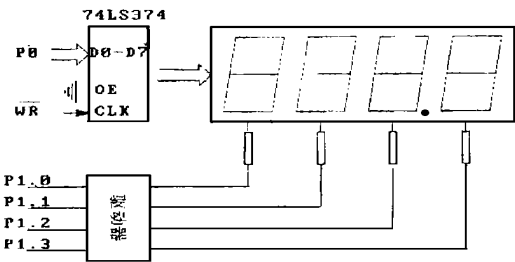


图 5 显示接口及驱动电路

3 软件框图及编程要点

本带通讯接口的电子称重系统的软件,采用 MCS-51 系列 8031 汇编语言编制而成。由于 8031CPU 的较强的硬件和软件功能,使我们通过软硬件的结合顺利实现了普通电子称重系统应具有的功能。如去皮、零点调整等,电子称重系统的主程序及各部分子程序框图如下各框图。从框图上可以看出,串行通讯部分采用了中断方式,也即是电子称重系统的数据向结算微机的传送与否,既取决于电子称重系统的数据有否更新,也取决于结算微机是否申请读取数据。当结算微机申请读取数据而称重系统又有数据更新时,数据传送才能实现。同时在数据传送程序中加入了抗干扰措施。即只有双方默认的协议实现时,通讯或数据的传送才得以顺利进行。

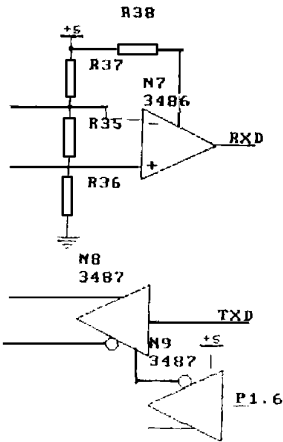


图 6 RS-422 标准接口示意图

4 结论

本文介绍的系统采用了一些独特的硬件电路和软件编程技术,使所研制的电子称重系

统与国内同类型系统相比,具有配置灵活,功能齐全,造价低、可靠性高等特点。文中采用的

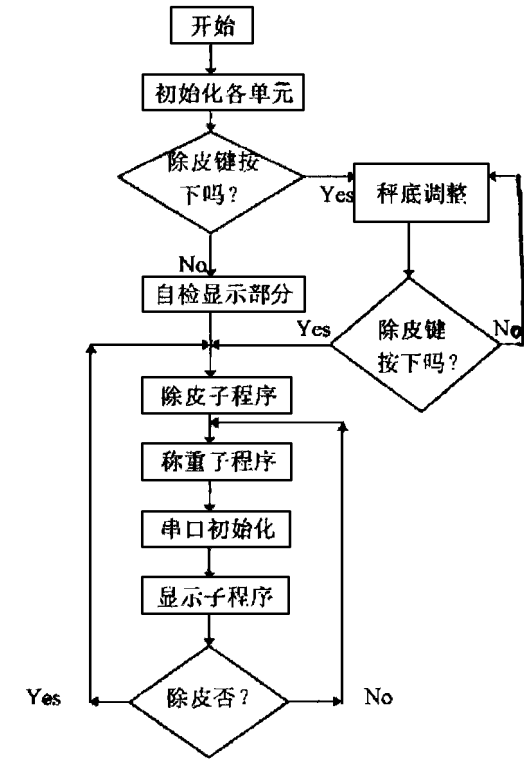


图 7 主程序框图

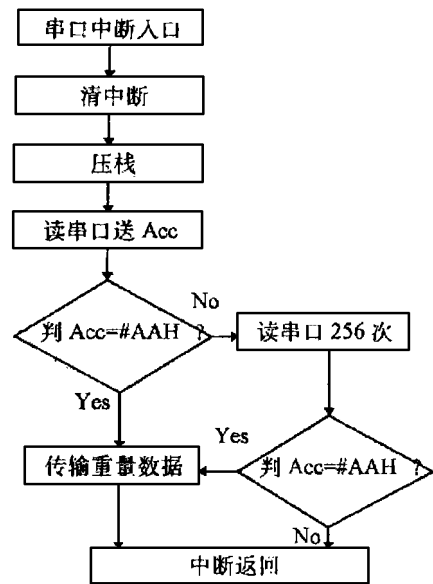


图 8 串口中断服务程序

技术对其它类似系统的设计也有一定指导意义。

参考文献

1 孙涵芳. MCS—51、96 系列单片机原理及应用;北京航空航天大学出版社  
2 高金峰等. 单片机双积分 A/D 转换电路及软件. 待发表  
3 单片机应用文集(1);北京航空航天大学出版社

Electronic Weighting System with a Communication Port

Gao Jinfeng Huang Junjie Wang Junkun  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** This paper presents the hardware and software principle of the weighting system with a communication port consisting of a single—chip computer The system has the characteristics of the high precise、low price、wide voltage varity .

**Keywords** single—chip computer ;electronic steelyard ;the communication port



# 某火电厂主厂房地震反应分析

宋建学

贾志尧

(郑州工业大学土建系) (郑州市工程质检站, 450052)

海云录

(河南省化工设计院, 郑州, 450052)

**摘 要** 选取某火电厂汽机房和磨煤机房组成的框——排架结构作为主厂房的计算模型, 分析了主厂房的自振特性, 并采用振型分解反应谱法详细计算了主厂房在 6—8 度地震影响下结构各部分的内力及变形, 最后根据结构控制点在各烈度下的位移量值, 给出了主厂房的震害预测结果。

**关键词** 工业建筑; 结构分析; 震害预测

**中图分类号** TU311.3

某火电厂主厂房 1、2 号机组系国产机组, 其土建部分建于 1972 年, 柱距 12 米, 采用等高排架。主厂房地震反应分析选 1、2 号机组主厂房(以下简称主厂房)作为计算对象。从结构方面看, 由于磨煤机房与锅炉房之间的联系比较薄弱, 因此作为地震反应分析, 可以取主厂房的计算模型为汽机房和磨煤机房两部分。

## 1 结构概况

主厂房平面图如图 1 所示, 其剖面图如图 2 所示。根据对主厂房设计资料的分析, 在结构方面, 沿主厂房纵向, 各榀排架的刚度、强度完全相等, 只有磨煤机房的框架沿纵向在高度和竖向分层方案上略有变化。从荷载方面看, 沿厂房纵轴的荷载分布也可以近似认为是均匀的。因此, 可以认为主厂房的地震反应(内力和变形)沿纵向是均匀的, 即可以把主厂房简化为一个平面结构。根据对主厂房设计资料的综合分析, 主厂房沿纵向在其中部结构高度最大, 且轴线 10、11 和 12 上的结构基本相同。在轴线 11 上的框排架结构 KPJ—11 可以作为计算分析的典型单元。图 3 所示为主厂房地震反应分析的结构模型以及计算模型的结点编号和单元编号图。

## 2 结构自振特性分析

在上述计算模型中, 共有 16 结点, 计算单元为 19 个, 结构的总自由度数为 39。

结构自振特性的分析采用有限单元法<sup>[1]</sup>。首先将结构离散化, 进行单元的特性分析,

收稿日期: 1997—10—08

第一作者 男 1967 年生 硕士学位 讲师

最后进行整体综合分析,得到结构的总体振动方程。由于结构的自振特性受阻尼的影响比较小,可以按无阻尼自由振动求解结构的自振特性。

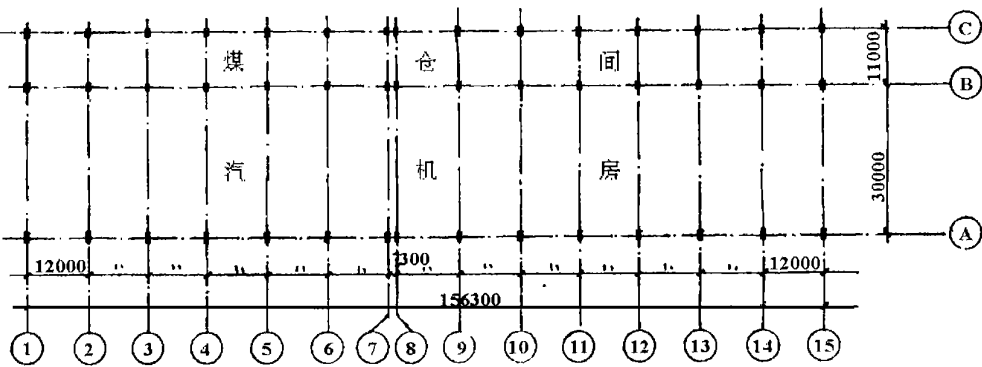


图 1 主厂房平面图

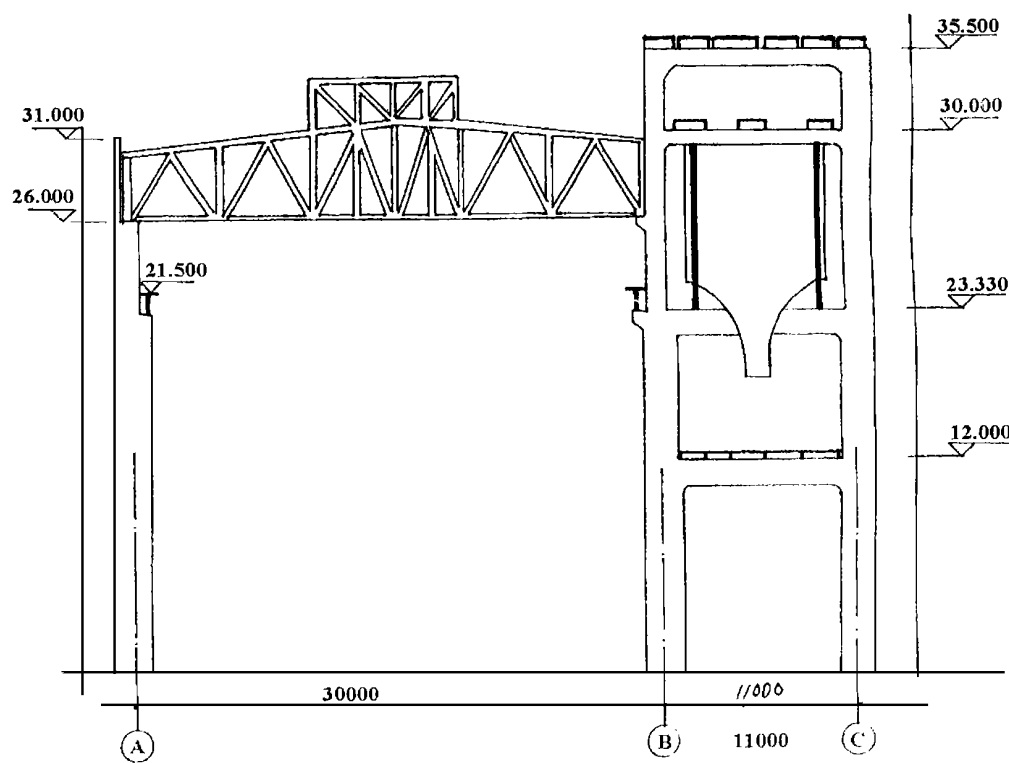


图 2 主厂房剖面图

无阻尼自由振动的运动方程为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \tag{1}$$

其中,  $[M]$  是系统的质量矩阵;

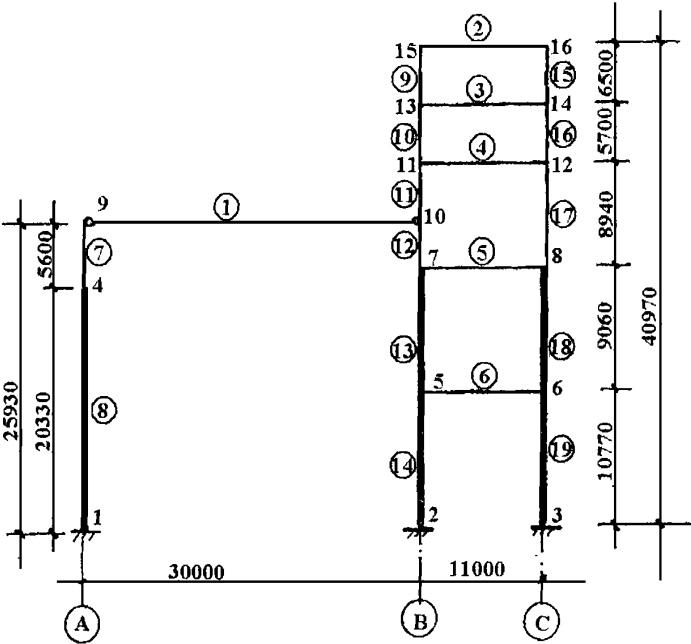


图 3 主厂房结构分析模型

[K]是系统的刚度矩阵；

{x}是系统的位移向量；

{ẍ}是系统的加速度向量。

求解(1)式可以得到系统振动的频率方程：

$$([k] - \omega^2 [M]) \{x_0\} = \{0\}$$
 (2)

其中  $\omega$  表示结构的自振圆频率， $\{x_0\}$  表示系统的固有振型。它们只取决于结构本身的刚度[k]和质量[M]，是结构的固有动力特性。

对于方程(2)，采用 QR 特征值求解方法<sup>[2]</sup>，并在实际分析中编制了相应的 FORTRAN 程序。本程序可以求解任意数量的特征值与特征向量对。根据上述方法，结合实际工作背景，求出电厂主厂房前五阶自振特性如表 1 所示。图 4—8 为主厂房自由振动的前 5 阶振型。

表 1 主厂房自由振动特征值

振型阶	圆频率 $\omega$ (rad/s)	周期 T (s)	频率 f (Hz)
1	7.1230	.8821	1.1337
2	21.6757	.2899	3.4498
3	38.7311	.1622	6.1642
4	43.8581	.1433	6.9802
5	75.9812	.0827	12.0928

3 地震作用计算

3.1 振型分解反应谱法

主厂房地震作用的计算采用振型分解反应谱法<sup>[3]</sup>。振型分解反应谱算法就是利用振型分解法将  $n$  个自由度的多质点体系分解成  $n$  个广义单自由度体系,再利用单质点体系的反应谱理论计算各振型下的地震作用及其效应(结构的内力及变形),最后按照“平方和开平方”的方法求解结构的总体地震效应。

对应于  $j$  振型的第  $i$  个质点,其水平地震作用标准值可以按(3)式进行计算:

$$F_{ji} = \alpha_j \cdot \gamma_j \cdot X_{ji} \cdot G_i$$
 (3)

式中: $F_{ji}$ —— $j$  振型下  $i$  质点的水平地震作用标准值;

$\alpha_j$ ——相应于  $j$  振型自振周期的水平地震影响系数;

$X_{ji}$ —— $j$  振型下  $i$  质点的水平相对位移;

$G_i$ ——集中到  $i$  质点处的重力荷载代表值;

$\gamma_j$ —— $j$  振型的参与系数,可以按(4)计算。

$$\gamma_j = (\sum G_i X_{ji}) / (\sum G_i X_{ji}^2)$$
 (4)

根据各振型的地震作用,可以求解相应的地震作用效应。当计算出各振型的地震作用效应后即可按照式(5)计算结构体系的总体地震反应。

$$S = \sqrt{\sum S_j^2}$$
 (5)

3.2 荷载计算

由设计资料 and 实际使用情况调查得出,主厂房的汽机房部分屋面活荷载为  $0.075 T/M^2$ ,除氧煤仓间的屋面活荷载为  $0.5 T/M^2$ 。

煤仓是直径为 6.0 米,高度为 10 米的圆柱型筒壳,其壁厚为 300 mm,且上部为空腔,下部为实心体。沿主厂房纵向,每两跨设煤仓一个。从生产的实际情况出发,考虑煤仓是半满载的情况作为计算依据。

3.3 计算结果

根据振型分解反应谱算法和静力荷载图式,即可求解结构在各烈度下的地震效应。表 2 给出了 8 度条件下的杆端力。

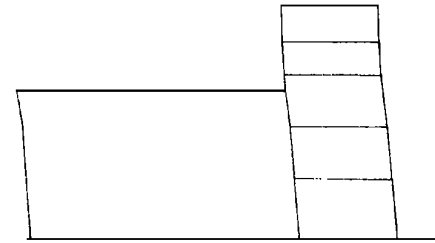


图 4 主厂房第一振型

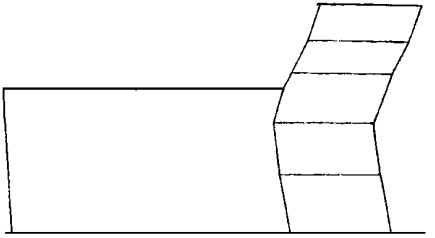


图 5 主厂房第二振型

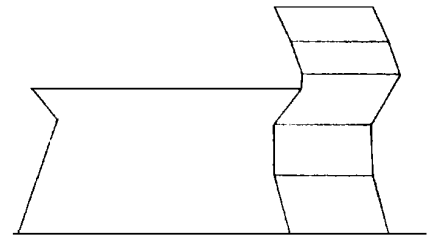


图 6 主厂房第三振型

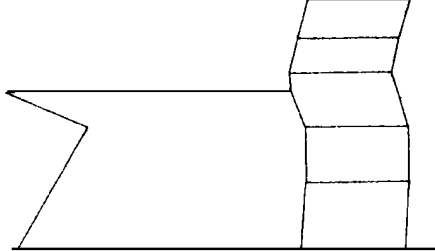


图 7 主厂房第四振型

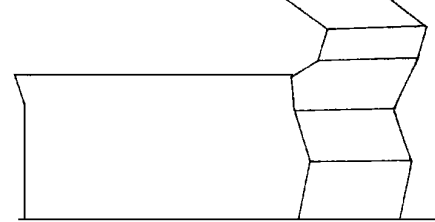


图 8 主厂房第五振型

表 2 8 度地震作用下各杆端力(与静力荷载效应组合)

单元	结点	轴力 <i>KN</i>	剪力 <i>KM</i>	弯矩 <i>KNM</i>
1	9	105.47490	1185.00000	.00000
	10	−105.47490	1185.00000	.00000
2	15	145.65250	661.71180	−898.51710
	16	−145.65250	661.81590	901.35390
3	13	53.24922	440.48570	−1111.71800
	14	−53.24922	440.89580	1109.48500
4	11	−170.01480	882.29530	−1938.32200
	12	170.01480	884.31320	1980.220000
5	7	64.329720	1327.74500	−3766.27300
	8	−64.329720	1336.51700	3729.85100
6	5	−104.35030	560.93600	−1753.57000
	6	104.35030	562.24950	1762.94500
7	4	1252.20000	−29.94749	167.70600
	9	−1185.00000	29.94749	−.00025
8	1	1435.17000	−34.32251	750.32950
	4	−1252.20000	34.32251	−167.70600
9	13	763.02370	−199.26260	404.93370
	15	−665.52370	199.26260	898.51640
10	11	1289.63900	−285.63640	904.10900
	13	−1204.13900	285.63640	728.66850
11	10	2211.46600	−203.47270	−650.25270
	11	−2168.86600	203.47270	1047.94500
12	7	3513.93100	−337.22790	1429.41000
	10	−3422.43100	337.22790	650.25240
13	5	5041.11300	−365.66830	953.63510
	7	−4823.67300	365.66830	2366.57200

14	2	5860.90400	—299.06140	2405.73200
	5	—5602.42300	299.06140	818.35080
15	14	762.27080	200.74770	—406.07710
	16	—664.77080	—200.74770	—901.35360
16	12	1288.71900	273.28980	—887.66610
	14	—1203.21900	—273.28980	—711.97880
17	8	2304.96000	278.62800	—1280.57800
	12	—2170.86000	—278.62800	—1212.21500
18	6	3845.42400	377.56120	—930.93750
	8	—3627.98400	—377.56120	—2496.77300
19	3	4665.61200	298.18870	—2365.12100
	6	—4407.13200	—298.18870	—849.56460

4 主厂房震害预测

叠加各结点在地震条件下的位移及在静力作用下的位移,可以求出在各种烈度的地震条件下,主厂房各结点的总体位移。

表 3—8 为汽机房和除氧煤仓间在 6—8 度地震作用下的层间位移和顶部位移计算结果。

计算结果表明,在 6—8 度地震条件下,主厂房各部分的层间位移和顶部总体位移,仍处在弹性限值内,因此,可以判定:在 6—8 度条件下,主厂房将仍处于基本完好的状态。

表 3 6 度地震作用下汽机房侧移计算

结点	水平位移 $\Delta_x$ (M)	层间位移 $dx$ (M)	高 度 $H$ (M)	层间位移角 $\theta$ (rad)	层间位移角 限值(rad)
4	.0048	0.0048	20.33	1/4235	
9	.0070	0.007	25.93	1/3704	1/800
10	.0070	0.007	25.93	1/3704	

表 4 7 度地震作用下汽机房侧移计算

结点	水平位移 $\Delta_x$ (M)	层间位移 $dx$ (M)	高 度 $H$ (M)	层间位移角 $\theta$ (rad)	层间位移角 限值(rad)
4	.0103	0.0103	20.33	1/1974	
9	.0152	0.0152	25.93	1/1705	1/800
10	.0152	0.0152	25.93	1/1706	

表 5 8 度地震作用下汽机房侧移计算

结点	水平位移 $\Delta_x$ (M)	层间位移 $dx$ (M)	高 度 $H$ (M)	层间位移角 $\theta$ (rad)	层间位移角 限值(rad)
4	.0212	0.0212	20.33	1/960	
9	.0315	0.0315	25.93	1/823	1/800
10	.0314	0.0315	25.93	1/826	

表 6 6 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

层 数	侧移 (mm)	层间侧移 (mm)	层高 (mm)	$\theta_e$	$[\theta_e]$
一层	3.2	3.2	10.7	1/3366	
二层	5.6	2.4	9.06	1/3775	
三层	8.5	2.9	8.94	1/3083	1/800
四层	9.4	0.9	5.50	1/6110	
五层	9.6	0.2	6.50	1/32500	
顶部总侧移	9.6	—	40.96	1/4268	

表 7 7 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

层 数	侧移 (mm)	层间侧移 (mm)	层高 (mm)	$\theta_e$	$[\theta_e]$
一层	6.2	6.2	10.7	1/1726	
二层	11.4	5.2	9.06	1/1742	
三层	17.6	6.2	8.94	1/1442	1/800
四层	19.8	2.2	5.50	1/2500	
五层	20.8	1.0	6.50	1/6500	
顶部总侧移	20.8	—	40.97	1/1970	

表 8 8 度地震作用下除氧煤仓间侧移计算

层 数	侧移 ( mm )	层间侧移 ( mm )	层高 ( mm )	$\theta_e$	$[\theta_e]$
一层	12.2	12.2	10.7	1/877	1/800
二层	22.9	10.7	9.06	1/847	
三层	35.8	12.9	8.94	1/693	
四层	40.6	4.8	5.50	1/1146	
五层	43.3	2.7	6.50	1/2407	
顶部总侧移	43.3	—	40.97	1/946	

5 结语

从计算结果可以看出,该火电厂主厂房在当地基本烈度(7 度)或罕遇烈度地震作用下,其主体结构构件仍能保持在弹性状态,即主体结构的震害评价结论为“基本完好”,可以满足电力系统核心工程建筑结构抗震设防要求。

参考文献

1 K·J 巴特等.有限元分析中的数值方法.北京:科学出版社.1991  
2 殷学纲,陈准等.结构振动分析的子结构方法.北京:中国铁道出版社.1991  
3 中华人民共和国国家标准建筑抗震设计规范 GBJ11—89.北京:中国建筑工业出版社.1989

Earthquake Response Analysis on Major  
Workshop in a Power Factory

Song Jianxue  
(Zhengzhou University of Technology)  
Jia Zhiyao  
(450052, Zhengzhou Project Quality Checking Station)  
Hai Yunlu  
(450052, Henan Institute of Chemical Design)

**Abstract** A frame-truss composit model is chosen as the analysis object of the major workshop in a certain power factory. The nature vibration features such as periods and modes are firstly determined. Then the response spetrum based on modes decomposition method is used to calculate the internal forces and displacements on key points under the 6-8 intensity of earthquake. Finally the damage rate of the workshop is predicted.

**Keywords** industry building ; structure analysis; earthquake damage prediction  
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w



# 乙醇——离子联合沉淀法分离茶多酚及果胶类物质的新工艺<sup>\*</sup>

吴增刚 黄 强 蒋元力 蒋登高

(郑州工业大学化工系)

**摘 要** 介绍了一种乙醇——离子联合沉淀法制备茶多酚的新工艺,并对工艺过程进行优化。在最佳工艺条件下,茶多酚的收率可达到 12.1%,纯度达 92.3%。同时初步探讨了乙醇——离子联合沉淀法除果胶类物质的机理。

**关键词** 茶多酚;乙醇——离子联合沉淀法;抗氧化剂

**中图分类号** TQ243

## 0 引言

茶多酚(tea polyphenol)是茶叶的一种重要成分,是一类以儿茶素为主体的多酚类物质。它是一种优良的天然抗氧化剂<sup>[1]</sup>,以其安全性高、抗氧化能力强、无毒副作用、防腐保鲜效果明显而日益受到人们的关注。现代科学证明,儿茶素还有捕集人体自由基、抗衰老、抗辐射、减肥降血脂等功效,具有重要的药用价值。随着研究的深入,还发现茶多酚在化妆品、日化、轻化、医药和保健等方面具有广阔的应用前景。

目前,茶多酚的提取方法很多,但较常用的可分为两类:溶剂法<sup>[2,3]</sup>和沉淀法<sup>[4]</sup>。两种方法都要经过浸提过程,其不同之处在于对浸提液的处理方法上。溶剂法是用溶剂萃取的方法将浸提液中的杂质去掉而分离出茶多酚;沉淀法则是用沉淀剂将茶多酚从浸提液中沉淀出来。溶剂法因溶剂消耗量大、安全性差、能耗高等原因限制了其进一步推广。传统的沉淀法中所加沉淀剂也能使浸提液中的果胶类物质和水溶蛋白一起盐析出来,混入茶多酚沉淀中,不但使后面的萃取过程缓慢,甚至不分层,乳化严重,乙酸乙酯用量过大,而且也影响产品的纯度。为此,我们提出乙醇——离子联合沉淀法,对传统的沉淀法加以改进,并对工艺过程进行优化。在最佳工艺条件下,产品收率可达 12.1%,纯度 92.3%。

## 1 材料与试验方法

1.1 实验中所用茶叶是河南信阳低档茶叶,三氯化铝、乙酸乙酯、硫酸锌、氯化钙、碳酸钠、酒石酸钾钠、硫酸亚铁、磷酸氢二钠、磷酸氢钾等均为分析纯,酒精是工业级。

<sup>\*</sup> 河南省科技攻关项目(971100315)

收稿日期:1997—08—20

第一作者 男 1972 年 10 月生 在读硕士

1.2 主要仪器设备

721 分光光度计	上海分析仪器厂
DZKW—C 型水浴锅	河北黄骅航天仪器厂
真空泵	沈阳微电机厂

1.3 茶多酚含量的测定<sup>[5,6,8,9]</sup>

茶水浸提液浓度按国际 GB8313—87 测定。  
茶多酚制品浓度用没食子酸丙酯法测定。

1.4 茶多酚制品的制备

称取一定量的茶叶,研碎后用水浸提 30 分钟,滤饼经反复浸提后弃去,向滤液中加入适量乙醇和金属离子,过滤除去果胶类物质,用碳酸钠调节 pH 值至沉淀完全,过滤后将沉淀酸化,用乙酸乙酯萃取,减压蒸馏,真空干燥后即得浅黄色茶多酚粗品。

2 结果与讨论

2.1 浸提过程

2.1.1 浸提最佳工艺条件的选取

为了选取最佳工艺条件,我们采用了正交设计法。通过单因素实验发现,料液比、浸提时间、浸提温度和浸提次数对茶多酚的浸提速率、浸出率及产品质量有很大关系,因此,我们选用四因素三位级的正交表 L<sub>9</sub>(3)<sup>4</sup>,实验安排见表 1<sup>[7]</sup>。

由表 1 可知料液比(A)、浸提时间(B)、浸提温度(C)和浸提次数(D)对浸提过程影响的显著性依次是 A>B>C>D。水用量的多少直接影响到茶多酚浸出率。但太大,加重了后续工作的处理量,因此不宜选太大。次数较其他因素影响小,且浸提 2 次和 3 次差别不大,故可选 2 次。为测定其他因素的影响,对浸提温度和时间又做了单因素实验。

2.1.2 浸提时间及浸提次数的影响

称取一定量的茶叶,用水浸提,每 5min 取样一次,测其吸光度。所得吸光度随时间变化如图 1 所示。

由图 1 可知:当时间超过 30min 后,吸光度随时间的延长变化已不太明显。同时,加热时间越长,茶多酚的氧化就越严重。经综合考虑,浸提时间以 30min 为宜。由图 2 可知,浸提 2 次后,浸提液的吸光度已很低,表明茶多酚已基本浸提干净。

表 1 正交实验表

序号	A 料液比	B 浸提时间		C 浸提温度		D 浸提次		吸光度 (A)	浸提液 体积(V)	A * V
1	1(1:10)	3	40	1	60	2	2	0.565	100	56.5
2	2(1:13)	1	20	1	60	1	1	0.505	130	65.65
3	3(1:1)	2	30	1	60	3	3	0.495	160	79.2
4	1(1:10)	2	30	2	70	1	1	0.69	100	69
5	2(1:13)	3	40	2	70	3	3	0.58	130	75.4
6	3(1:16)	1	20	2	70	2	2	0.52	160	83.2

7	1(1:10)	1	20	3	80	3	3	0.59	100	59
8	2(1:13)	2	30	3	80	2	2	0.55	130	71.5
9	3(1:16)	3	40	3	80	1	1	0.45	160	72
K <sub>1</sub>	184.5	207.85		201.35		206.65				
K <sub>2</sub>	212.5	219.7		227.6		211.2				
K <sub>3</sub>	234.5	203.9		202.5		213.6				
R	49.9	15.8		26.25		6.95				

吸光度与浓度成正比,故可用  $A * V$  表示茶多酚的浸出量。

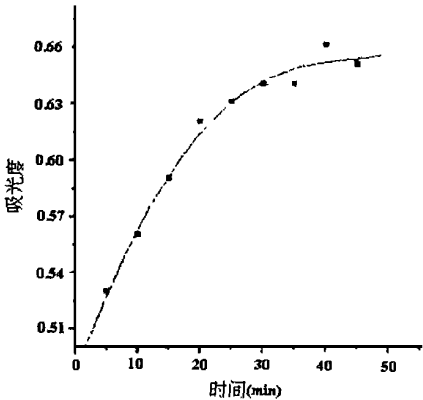


图 1 吸光度随浸提时间的变化关系

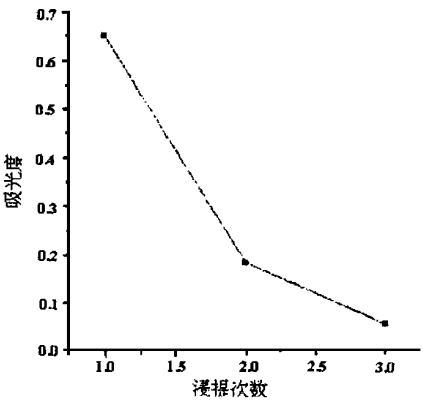


图 2 吸光度随浸提次数的变化关系

2.1.3 浸提温度的影响

浸提温度也是影响浸出率的一个重要因素。在其他条件一定下,分别与 50、60、70、80、100℃下浸提,测得吸光度(每次浸提 15min 后的吸光度)与温度关系如下:

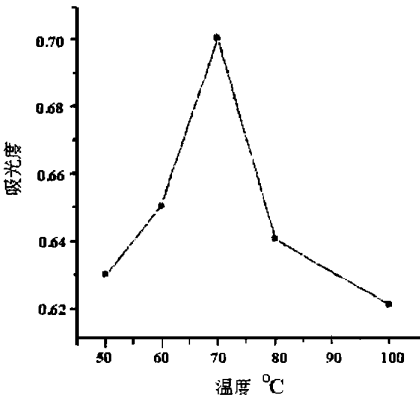


图 3 吸光度随浸提温度的变化关系

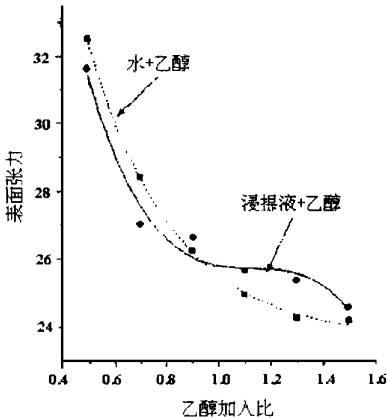


图 4 表面张力随乙醇比例的变化关系

由图 3 可以看出,最初,随浸提温度升高,吸光度也随之升高,超过一定温度后,由于氧化等原因,吸光度下降,故温度以 70℃为宜。

2.2 乙醇量的影响

乙醇量对果胶等物质的析出影响很大。由图 4 可知,若乙醇/浸提液(v/v)小于 0.5 时没有絮状物析出;大于 0.8 时明显有絮状物析出。由于乙醇的表面张力较小(18.7)随着乙醇的加入,两种溶液的表面张力都会降低,但因浸提液(55.7)较水(80.3)的表面张力小,混合后浸提液+乙醇体系较水+乙醇体系表面张力小,随着絮状物的析出,浸提液+乙醇体系的表面张力大于水+乙醇体系,表明一些表面活性物质被除去。

2.3 沉淀剂的影响

果胶等物质的析出和茶多酚的制备与沉淀剂的选择有很大关系。茶多酚有较强的还原性,在酸性和中性条件下较稳定,而在碱性条件下极易被空气中的氧气氧化。不同的金属离子在沉淀过程中对 pH 值要求也不同,AlCl<sub>3</sub> 在 pH 值为 6~7 条件下可使茶多酚沉淀完全;ZnSO<sub>4</sub> 最佳 pH 值为 7 左右;CaCl<sub>2</sub> 为 9~10,此时,茶多酚的氧化已比较严重,故沉淀剂选用 AlCl<sub>3</sub>。

2.4 乙酸乙酯的用量

乙酸乙酯是萃取过程中的另一个重要指标。若太少,萃取不完全;若太大,增加了减压蒸馏的负担。以乙酸乙酯/酸化液为 2:1、分两次萃取较合适。

在以上最佳条件下,经实验得收率可达 12.1%,纯度 92.3%。

2.5 乙醇——离子联合沉淀法除果胶为物质的机理初探

茶叶水浸出物的成分极为复杂,主要成分有:多酚类、可溶性糖、水溶性纤维素、游离氨基酸、咖啡碱、水溶蛋白、果胶、无机盐等。茶叶浸出物含量的多少与茶叶种类及品质有关,其大致组成如表 2 所示<sup>[3]</sup>。

表 2 茶叶浸出物的含量和组成

主要组成	含量(对茶干物), %
多酚类(含水溶性色素)	12~35
咖啡碱	2~4
游离氨基酸	1~4
水溶蛋白	1~2
水溶性糖	0.8~4
水溶性果胶	0.5~2
水溶性纤维素	0.1~0.5
无机盐	0.5~1.2

茶水浸出物中水溶性蛋白、果胶类物质,此类物质因其表面活性,使萃取时界面乳化严重。在加热和盐析作用下,它们就会沉淀出来。当我们加入 AlCl<sub>3</sub> 等金属盐就有一部分盐析出来。乙醇可以促进蛋白质的析出,这是因为蛋白质是两性物质,极性基团容易发生相互作用,使蛋白质趋于凝聚。在水中,水的介电常数较高(79),可以减弱蛋白质的这种相互作用;当向溶液中加入乙醇时,其介电常数较小(26),有利于蛋白质的凝聚析出<sup>[10,11]</sup>。在这个过程中,AlCl<sub>3</sub> 不仅是茶多酚的沉淀剂,还有促进果胶物质盐析出来的双重作用。

3 结论

(1)经过正交试验和单因素优选,获得如下最佳工艺条件:料液比 1:16,70℃下浸提

30min,共浸提 2 次,按 0.8 的体积比加入乙醇,AlCl<sub>3</sub> 作沉淀剂,按 2:1 的比例加入乙酸乙酯萃取。

(2)在最佳工艺条件下,得收率 12.1%、纯度 92.3%。

(3)乙醇——离子联合沉淀法的确是一种行之有效的处理果胶、蛋白质的方法。处理后的酸化液萃取,分层迅速、澄清,不再有絮状物。

(4)乙醇比水的介电常数小,可以促进蛋白质的凝聚,在乙醇和金属离子的共同作用下,有效地去除了水溶蛋白和果胶类物质。

参考文献

1  食品添加剂工业:上海食品添加剂中心.1996.4.42

2  戚向阳,谢笔钧,胡慰望.精细化工.1994.11(4):40—46

3  杨昌炎.郑州工业大学硕士论文.1997.5

4  葛宜掌,金红.应用化学.1995.4(2):12—14

5  GB8313—87.茶——茶多酚测定

6  阮成宇.中国茶叶.1995.3:20—21

7  刘大壮,杨碧光.化工工艺过程中的数据处理与实验设计:河南科技出版社.1993.5

8  Michael Spiro,Deogratius Jaganyi.J.Chem.1992.45.333—335

9  D.Treutter.J.of Chromatography.1989.467.185—93

10  白蕴如等.第七届全国化学工程论文报告会论文集:1994.801—804

11  赵伟良.食品添加剂工业.1996(30):10—12

A new Process for the Separation of Tea Polyphenol and Pectin by Ethanol—ion Joint Precipitation

Wu Zenggang     Huang Qiang     Jiang Yuanli     Jiang Denggao  
(Zhenzhou University of Technology)

**Abstract** In this paper,a new method for the preparation of tea polyphenol is introduced. The optimal conditions are obtained under which the yield and purity reach 12.1% and 92.3% respectively. The mechanism on the removal of pectin and protein from tea polyphenol is correspondingly studied.

**Keywords** tea polyphenol;ethanol—ion jojnt precipitation;antioxidant

# 一边简支一角点或二角点支承的 矩形板弯曲统一求解方法<sup>\*</sup>

许琪楼 姜 锐 唐国明

(郑州工业大学土建系)

**摘 要** 本文的统一解法可以解决一边简支一角点或二角点支承的矩形板在任意荷载作用下的弯曲。这种方法求解思路清晰,收敛速度快,计算精度高。

**关键词** 弹性薄板弯曲;矩形板;统一解法

**中图分类号** TU375.2

图 1 所示边长为  $a, b$  的矩形板,  $x=0$  为简支边,  $B$  角点支承或  $B、C$  二角点支承。本文的求解方法可以解决这二种矩形板在任意荷载作用下的弯曲。

## 1 一边简支一角点支承的矩形板

### 1.1 板面荷载作用

板面法向荷载作用下,挠度  $W$  应满足下列平衡微分方程:

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D} \tag{1}$$

式中  $D$  为板的抗弯刚度,  $D = \frac{Et^3}{12(1-\mu)}$ ,  $E, \mu$  分别为板的弹性模量及泊松比,  $t$  为板厚。

$W$  还应满足自由角点  $C$  处的反力条件:

$$R_C = -2(1-\mu) \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \Big|_{x=a, y=b} = 0 \tag{2}$$

设:  $W = W_1 + W_2$  (3)

$W_1$  和  $W_2$  分别为方程(1)的通解和特解。 $W_1$  主要与板的边界条件有关。为表示板的双向弯曲变形和对应板的八个边界条件,取  $W_1$  为包含八个待定常数的双向单三角级数:

$$\begin{aligned} W_1 = & \sum_{m=1,3,5} (A_m \cosh \alpha y + B_m \sinh \alpha y + C_m \alpha y \cosh \alpha y + D_m \alpha y \sinh \alpha y) \sin \alpha x \\ & + \sum_{n=1,3,5} (E_n \cosh \beta x + F_n \sinh \beta x + G_n \beta x \cosh \beta x + H_n \beta x \sinh \beta x) \sin \beta y + R_1 x \end{aligned} \tag{4}$$

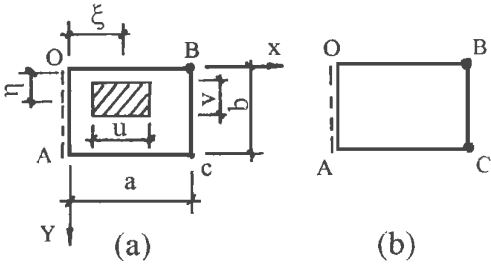


图 1 矩形板示意图

<sup>\*</sup> 河南省自然科学基金资助项目

收稿日期:1997-08-20

第一作者 男 1944 年 4 月生 硕士 教授

式中  $\alpha = \frac{m\pi}{2a}$ ,  $\beta = \frac{n\pi}{2b}$ ,  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $C_m$ ,  $D_m$ ,  $E_n$ ,  $F_n$ ,  $G_n$ ,  $H_n$ , 为八个待定常数, 级数

$\sum_{m=1,3,5} \sin \frac{m\pi x}{2a}$  在  $x=0$  时为零值,  $x=a$  时不为零, 符合  $x=0$  为支承边,  $x=a$  为自由边的

变形特点, 级数  $\sum_{n=1,3,5} \sin \frac{n\pi y}{2b}$  也符合  $y=b$  边界上挠度大,  $y=0$  边界上挠度小的变形特点。

$R_1$  可由  $B$  角点的挠度条件确定。设  $\triangle_B$  为  $B$  角点的支座沉降值, 有

$$R_1 = -\frac{1}{a} \sum_{m=1,3,5} \sin \frac{m\pi}{2} + \frac{\triangle_B}{a} \quad (5)$$

级数  $\sum_{m=1,3,5} \sin \frac{m\pi x}{2a}$  和级数  $\sum_{n=1,3,5} \sin \frac{n\pi y}{2b}$  分别在  $[0, a]$  和  $[0, b]$  区间上具有下列正交性、当  $i, j$  为任意正奇数时, 有

$$\int_0^a \sin \frac{i\pi x}{2a} \cdot \sin \frac{j\pi x}{2a} dx = \begin{cases} 0 & (i \neq j) \\ \frac{a}{2} & (i = j) \end{cases} \quad (6)$$

$$\int_0^b \sin \frac{i\pi y}{2b} \cdot \sin \frac{j\pi y}{2b} dy = \begin{cases} 0 & (i \neq j) \\ \frac{b}{2} & (i = j) \end{cases} \quad (7)$$

特解  $W_2$  主要与荷载有关, 满足平衡微分方程的特解有很多形式, 但仅以下二种形式适用。

#### 1.1.1 $W_2$ 采用双重三角级数

$W_2$  采用双重三角级数时, 首先要将  $q(x, y)$  展成双重三角级数, 级数形式必须与  $W_1$  中的级数相同, 设

$$q(x, y) = \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} S_{mn} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (8)$$

其中

$$S_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b q(x, y) \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} dx dy \quad (9)$$

设

$$W_2 = \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} R_{mn} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (10)$$

$$R_{mn} = \frac{S_{mn}}{\pi^4 D \left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \quad (11)$$

当  $q(x, y) = q$  时,

$$W_2 = \frac{16q}{\pi^6 D} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{1}{mn \left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (12)$$

当  $q(x, y) = \frac{qx}{a}$  时,

$$W_2 = \frac{32q}{\pi^7 D} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{(-1)^{\frac{m+3}{2}}}{m^2 n \left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (13)$$

当  $q(x, y) = \frac{qy}{b}$  时,

$$W_2 = \frac{32q}{\pi^7 D_m} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{(-1)^{\frac{n+3}{2}}}{mn^2 \left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (14)$$

在图 1(a)所示阴影区作用均布荷载  $q$  时,

$$W_2 = \frac{64q}{\pi^6 D_m} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{\sin \frac{m\pi \xi}{2a} \sin \frac{m\pi \eta}{4a} \sin \frac{n\pi \eta}{2b} \sin \frac{n\pi \eta}{4b}}{mn^2 \left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (15)$$

在  $x = \xi, y = \eta$  点上作用集中荷载  $P$  时,

$$W_2 = \frac{4P}{ab\pi^4 D_m} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{\sin \frac{m\pi \xi}{2a} \sin \frac{n\pi \eta}{2b}}{\left[ \left( \frac{m}{2a} \right)^2 + \left( \frac{n}{2b} \right)^2 \right]^2} \sin \frac{m\pi x}{2a} \sin \frac{n\pi y}{2b} \quad (16)$$

$W_2$  满足式(2)所示的自由角点条件,利用边界条件可得求解待定常数的线性方程组,见表 1。

表 1 边界条件对应的方程

边界条件	方程号	方程左端系数项	右端常数项
$x=0$ 时 $W=0$	17	$F_n$	0
$x=a$ 时 $V_x=0$	18	$\beta^3 \{ E_n(\mu-1) \operatorname{ch} \beta a + F_n(\mu-1) \operatorname{sh} \beta a + G_n[(\mu+1) \operatorname{sh} \beta a + (\mu-1) \beta a \operatorname{sh} \beta a] + H_n[(\mu+1) \operatorname{ch} \beta a + (\mu-1) \beta a \operatorname{sh} \beta a] \}$	0
$y=0$ 时 $M_y=0$	19	$\alpha^2 [B_m(1-\mu) + 2C_m]$	0
$y=b$ 时 $V_y=0$	20	$\alpha^3 \{ A_m(\mu-1) \operatorname{ch} \alpha b + B_m(\mu-1) \operatorname{sh} \alpha b + C_m[(\mu+1) \operatorname{sh} \alpha b + (\mu-1) \alpha b \operatorname{ch} \alpha b] + D_m[(\mu+1) \operatorname{ch} \alpha b + (\mu-1) \alpha b \operatorname{sh} \alpha b] \}$	0
$x=0$ 时 $M_x=0$	21	$\beta^2 (F_n + 2G_n)$	0
$x=a$ 时 $M_x=0$	22	$\sum_m \alpha^2 \{ A_m(\mu-1) a_1 + B_m(\mu-1) a_2 + C_m[2\mu a_n^2 + (\mu-1) a_3] + D_m[2\mu a_1 + (\mu-1) a_4] \} \sin \frac{m\pi}{2} + \beta^2 \{ E_n(1-\mu) \operatorname{sh} \beta a + F_n(1-\mu) \operatorname{ch} \beta a + G_n[2 \operatorname{ch} \beta a + (1-\mu) \beta a \operatorname{sh} \beta a] + H_n[2 \operatorname{sh} \beta a + (1-\mu) \beta a \operatorname{ch} \beta a] \}$	$\sum_m \left[ \left( \frac{m\pi}{2a} \right)^2 + \mu \left( \frac{n\pi}{2b} \right)^2 \right] \cdot R_{mn} \sin \frac{m\pi}{2}$
$y=0$ 时 $V_y=0$	23	$\alpha^3 [A_m(\mu-1) + D_m(\mu+1)] + \sum_n \beta^3 \{ E_n(1-\mu) b_1 + F_n(1-\mu) b_2 + G_n[2(2-\mu) b_2 + (1-\mu) b_3] + H_n[2(2-\mu) b_1 + (1-\mu) b_4] \}$	$\sum_n \left[ \left( \frac{n\pi}{2b} \right)^3 + (2-\mu) \frac{n\pi}{2b} \right] \left( \frac{m\pi}{2a} \right)$



$$y=b \text{ 时 } M_y=0 \quad \sum_n^m \left\{ \begin{aligned} &\alpha^2 \{ [A_m(1-\mu) \operatorname{sh} \alpha b + B_m(1-\mu) \operatorname{ch} \alpha b + C_m[2 \operatorname{ch} \alpha b \\ &+ (1-\mu) \alpha b \operatorname{sh} \alpha b] + D_m[2 \operatorname{sh} \alpha b + (1-\mu) \alpha b \operatorname{ch} \alpha b] \} \\ &+ \sum_n^m \{ E_n(\mu-1) b_1 + F_n(\mu-1) b_2 + G_n[2 \mu b_2 + (\mu-1) b_3] + H_n[2 \mu b_1 + (\mu-1) b_4] \} \sin \frac{n\pi}{2} \end{aligned} \right\} \cdot R_{mn} \sin \frac{n\pi}{2}$$

$$\sum_n^m \left[ \left( \frac{n\pi}{2b} \right)^2 + \left( \frac{m\pi}{2a} \right)^2 \right]$$

表中  $a_1, a_2, a_3, a_4$  分别为  $\operatorname{sh} \alpha y, \operatorname{ch} \alpha y, \alpha y \operatorname{sh} \alpha y, \alpha y \operatorname{ch} \alpha y$  在  $[0, b]$  区间上对级数  $\sum_n \sin \alpha x$  的展开系数,  $b_1, b_2, b_3, b_4$  分别为  $\operatorname{sh} \beta x, \operatorname{ch} \beta x, \beta x \operatorname{sh} \beta x, \beta x \operatorname{ch} \beta x$  在  $[0, a]$  区间上对级数  $\sum_m \sin \beta x$  的展开系数, 其值为:

$$a_1 = \frac{2 \alpha \operatorname{ch} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2}}{b(\alpha^2 + \beta^2)}$$

(25)

$$a_2 = \frac{2(\beta + \alpha \operatorname{sh} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2})}{b(\alpha^2 + \beta^2)}$$

(26)

$$a_3 = \frac{2 \alpha^2 \operatorname{ch} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2}}{(\alpha^2 + \beta^2)} + \frac{2 \alpha(\beta^2 - \alpha^2) \operatorname{sh} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2} - 4 \alpha^2 \beta}{b(\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

(27)

$$a_4 = \frac{2 \alpha^2 \operatorname{sh} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2}}{(\alpha^2 + \beta^2)} + \frac{2 \alpha(\beta^2 - \alpha^2) \operatorname{ch} \alpha b \sin \frac{n\pi}{2}}{b(\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

(28)

$$b_1 = \frac{2 \beta \operatorname{ch} \beta a \sin \frac{m\pi}{2}}{\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}$$

(29)

$$b_2 = \frac{2(\alpha + \beta \operatorname{sh} \beta a \sin \frac{m\pi}{2})}{\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}$$

(30)

$$b_3 = \frac{2 \beta^2 \operatorname{ch} \beta a \sin \frac{m\pi}{2}}{(\alpha^2 + \beta^2)} + \frac{2 \beta(\alpha^2 - \beta^2) \operatorname{sh} \beta a \sin \frac{m\pi}{2} - 4 \alpha \beta^2}{\alpha(\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

(31)

$$b_4 = \frac{2 \beta^2 \operatorname{sh} \beta a \sin \frac{m\pi}{2}}{(\alpha^2 + \beta^2)} + \frac{2 \beta(\alpha^2 - \beta^2) \operatorname{ch} \beta a \sin \frac{m\pi}{2}}{\alpha(\alpha^2 + \beta^2)^2}$$

(32)

式(17)~式(21)左端系数项不包含任一个非三角函数的展开系数, 右端项为零值, 这类方程称为精确方程。产生精确方程的原因是  $W_1$  和  $W_2$  采用了相同的级数形式, 级数  $\sum_{m=1,3,5} \sin \frac{m\pi x}{2a}$  在  $x=0$  的边界上零阶导数或二阶导数值为零, 在  $x=a$  的边界上一阶导数或三阶导数值为零; 级数  $\sum_{n=1,3,5} \sin \frac{n\pi y}{2b}$  也有类似的特点。这导致在  $x=a, y=0, y=b$  边界上各产生一个精确方程, 在  $x=0$  的边界上产生二个精确方程。如果  $W_2$  或  $q(x, y)$  展开式中的级数与  $W_1$  中的级数不同, 这个特解一定不适用, 同时在每个边界上也不会至少产生一个精确方程。因此可得: 在每个边界上至少产生一个精确方程是确保数值收敛和计算精度的必要条件, 是判断特解适用性的标准。

算例 1. 正方形板,  $\mu=0.3$ 。表 2 列出四种荷载作用下板中点(1 点)和自由角点(C 点)

的挠度系数和弯矩系数以及支承角点  $B$  的支反力系数,并与有限元值或理论反力值进行比较。表中荷载 3 为以  $x=\frac{a}{2},y=\frac{b}{2}$  为中心,  $u=\frac{a}{2},v=\frac{b}{2}$  范围内作用均布荷载  $q$  的情况,荷载 4 为在板的中心作用集中荷载的情况,计算时取级数前三项。

表 2 计算结果( $\triangle_B=0$ )

计算点	类别	$q(x,y)=q$		$q(x,y)=\frac{qx}{a}$		荷载 3		荷载 4	
		本文值	有限元值	本文值	有限元值	本文值	有限元值	本文值	有限元值
1	$W$	0.0632	0.0637	0.0401	0.0403	0.0177	0.0179	0.0745	0.0757
	$M_x$	0.1196	0.1189	0.0593	0.0586	0.0514	0.0518		
	$M_y$	0.0625	0.0634	0.0379	0.0384	0.0339	0.0348		
$C$	$W$	0.1786	0.1808	0.1190	0.1201	0.0446	0.0455	0.1786	0.1820
$B$	反力	-0.4938	-.0.5 *	-0.3291	-0.3333 *	-0.1239	-0.1250 *	-0.4875	-0.5 *

注:反力向上为负值,有 \* 者为理论反力值  
表中反力值是由挠度在二个方向的变化率进行计算的。结果可见双重三角级数特解可以解决板面作用任意荷载时的弯曲。但在集中荷载作用下荷载作用点处的弯矩不收敛。

1.1.2  $W_2$  采用  $x,y$  的多项式

特解  $W_2$  也可以采  $x,y$  多项式形式,除满足式(1)和式(2)条件外,还应与双重三角级数特解满足相同的条件,即在每一条边界上至少产生一个精确方程。

当  $q(x,y)=q$  时,取

$$W_2=\frac{q\mu}{4D(2\mu-1)}[(x^2-2ax)(y^2-2by)-\frac{1}{6\mu}(x^4-4ax^3+3a^3x)]$$

(33)

当  $q(x,y)=\frac{qx}{a}$  时,取

$$W_2=\frac{\mu(\mu-2)q}{24Da(\mu-1)^2}[(x^3-3a^2x)(y^2-2by)-\frac{1}{2(2-\mu)}(y^4-4by^3+8b^3y)-\frac{1}{10\mu}(x^5-10a^2x^3+9a^4x)]$$

(34)

当  $q(x,y)=\frac{qy}{b}$  时,取

$$W_2=\frac{q(2-\mu)}{12(3-2\mu)Db}\{(y^3(x^2-2ax)-\frac{y}{2(2-\mu)}[x^4-4ax^3+6b^2(2-\mu)x^2+(8a^3-12ab^2(2-\mu)x)])\}$$

(35)

由于  $W_2$  满足  $x=0$  时,  $W_2=0$ ,  $y=0$  时相应弯矩为零,  $x=a$  和  $y=b$  时相应的剪力为零, 因此精确方程式(17)~式(20)保持不变。其它边界条件对应的方程左端系数项不变, 右端常数项见表 3 示。

表 3 其它边界条件对应方程右端项

方程号	$q(x, y)=q$	$q(x, y)=\frac{qx}{a}$	$q(x, y)=\frac{qy}{b}$
21	$-2A_1(C_2-2bC_1)$	0	$-2A_3(C_3-3b^2C_1)$
22	$-2A_1(C_2-2bC_1$ $-a^2(\mu-\frac{1}{\mu})C_0]$	$-A_2\left\{6a(1-\frac{\mu}{2-\mu})\cdot[C_2$ $-2bC_1]-4a^3(\mu-\frac{1}{\mu})C_0\right\}$	$-A_3[2C_3+6a^2\cdot$ $(\frac{\mu-1}{2-\mu})C_1-6b^2C_1]$
23	$4A_1b(2-\mu)d_0$	$12A_2b(2-\mu-\frac{1}{2-\mu})d_1$	$6A_3b^2(2-\mu)d_0$
24	$2A_1\mu b^2d_0$	$6A_2b^2(\mu-\frac{1}{2-\mu})d_1$	$-A_3[12b(d_2-2ad_1)$ $\cdot\frac{1-\mu}{2-\mu}-4\mu b^3d_0]$

表中  $A_1=\frac{q\mu}{4D(2\mu-1)}$ ,  $A_2=\frac{\mu(\mu-2)q}{24Da(\mu-1)^2}$ ,  $A_3=\frac{q(2-\mu)}{12Db(3-2\mu)}$ 。  $c_3, c_2, c_1, c_0$  分别为  $y^3, y^2, y^1, y^0$  在  $[0, b]$  区间上对级数  $\sum_n \sin \beta y$  的展开系数,  $d_2, d_1, d_0$  分别为  $x^2, x, x^0$  在  $[0, a]$  区间上对级数  $\sum_m \sin \alpha x$  的展开系数, 其值为:

$$c_3=\frac{6b}{\beta^2}\sin\frac{n\pi}{2}\left[1-\frac{8}{(n\pi)^2}\right]$$

(36)

$$c_2=\frac{4}{\beta^2}(\sin\frac{n\pi}{2}-\frac{2}{n\pi}]$$

(37)

$$c_1=\frac{2}{\beta^2b}\sin\frac{n\pi}{2}$$

(38)

$$c_0=\frac{2}{\beta b}$$

(39)

$$d_2=\frac{4}{\alpha^2}(\sin\frac{m\pi}{2}-\frac{2}{m\pi})$$

(40)

$$d_1=\frac{2}{\alpha^2a}\sin\frac{m\pi}{2}$$

(41)

$$d_0=\frac{2}{\alpha a}$$

(42)

取级数前三项计算, 结果与表 2 所示值相同。但多项式特解无法计算板面作用局部分布荷载或集中荷载的情况, 因为无法找到一个满足平衡微分方程、自由角点条件及前述边界条件的多项式。

1.2 板边荷载作用

当在简支边或自由边上作用分布弯矩、局部分布弯矩或集中弯矩时, 或在自由边上作用分布剪力、局部分布剪力或集中力时, 挠度  $W$  应满足式(1)对应的齐次微分方程及式(2)所示的自由角点条件。这时可利用通解  $W_1$  和边界条件直接求解。设在自由边  $x=a$  边界上

作用向下的均布剪力  $q$ , 则求解待定常数的线性方程左端系数项保持不变, 除与该边界条件对应的式(18)外, 其余方程的右端项均为零值。式(18)的右端项见表 4 示。

表 4            自由边  $x=a$  边界上作用荷载时方程右端项

方程号	全长作用向下均布剪力 $q$	$y=y_0$ 为中心, 长度为 $v$ 的范围内作用向下局部均布剪力 $q$	$y=y_0$ 处作用向下集中力 $P$
式(18)	$-\frac{q}{D}c_0$	$-\frac{8q}{n\pi D}\sin\frac{n\pi y_0}{2b}\sin\frac{n\pi v}{4b}$	$-\frac{2P}{Db}\sin\frac{n\pi y_0}{2b}$

当在自由边  $x=a$  的边界上,  $y=y_0$  为中心, 长度为  $v$  的范围内作用向下的均布剪力  $q$  时, 要将其转换为全长等效的分布剪力。设在  $x=a$  的边界上分布剪力为  $V_x$ , 则

$$\left. \begin{aligned} \triangle \leq y \leq y_0 - \frac{v}{2} & \qquad V_x = 0 \\ y_0 - \frac{v}{2} \leq y \leq y_0 + \frac{v}{2} & \qquad V_x = q \\ y_0 + \frac{v}{2} < y \leq b & \qquad V_x = 0 \end{aligned} \right\}$$

(43)

]

设

$$V_x = \sum_{n=1,3,5} S_n \sin \frac{n\pi y}{2b}$$

$$S_n = \frac{2}{b} \int_0^b V_x \sin \frac{n\pi y}{2b} dy = \frac{2}{b} \int_{y_0-\frac{v}{2}}^{y_0+\frac{v}{2}} q \sin \frac{n\pi y}{2b} dy = \frac{8q}{n\pi} \sin \frac{n\pi y_0}{2b} \sin \frac{n\pi v}{4b}$$

(44)

显然在  $x=a$  的边界上  $y=y_0$  处作用向下的集中力  $P$  时, 有

$$S_n = \frac{2P}{b} \sin \frac{n\pi y_0}{2b}$$

(45)

这时可将式(18)的右端项进行相应修改, 见表 4 示。在其它边界上作用荷载时处理方法类同。

表 5    自由边  $x=a$  上作用向下剪力时计算结果( $\triangle_B=0$ )

计算点	类别	全长均布剪力 $q$		$y=b/2$ 为中心, $v=b/2$ 范围内作用局部均布剪力 $q$		$y=b/2$ 处作用集中力 $P$	
		本文值 $k=7$	有限元值	本文值 $k=5$	有限元值	本文值 $k=5$	有限元值
1	$W$	0.1018	0.1038	0.0534	0.0545	0.1094	0.1109
	$M_x$	-0.0101	-0.0114	-0.0080	-0.0089	-0.0194	-0.0219
	$M_y$	0.0841	0.0858	0.0608	0.0609	0.1348	0.1379
$C$	$W$	0.3572	0.3641	0.1781	0.1820	0.3609	0.3641
$B$	反力	-0.9699	-1.0*	-0.4988	-0.5*	-0.9904	-1.0*

注:反力向上为负值,带\*者为理论反力值。

算例 2:正方形板,  $\mu=0.3$ 。表 5 列出在自由边  $x=a$  上作用向下剪力时板中点(1 点)和自由角点 C 的挠度系数和弯矩系数以及支承角点 B 的支反力系数。表中  $k$  为级数的取项数,结果与有限元值或理论反力值吻合。

1.3 自由角点作用单位集中力

图 1(a)所示的矩形板,在自由角点 C 作用向下的单位力时,挠度  $W$  应满足式(1)对应的齐次微分方程和下式所示的角点条件:

$$R_c=-2D(1-\mu)\frac{\partial^2 W}{\partial x\partial y}\Big|_{x=a,y=b}=-1$$

(46)

设  $W=W_1+W_2$ ,  $W_1$  为通解,仍取式(4)的形式,  $W_2$  为特解,取

$$W_2=\frac{xy}{2(1-\mu)D}$$

(47)

由此得式(17)~式(24)右端全为零,即八个待定常数均为零值,有

$$W=\frac{xy}{2(1-\mu)D}+\frac{\triangle_B}{a}$$

(48)

当 $\triangle_B=0$ 时,对  $\mu=0.3$  的方板中点挠度系数为 0.1786(有限元值为 0.1808),自由角点挠度系数为 0.7143(有限元值为 0.7233),板内各点的弯矩和剪力均为零值,与有限元结果相符。由于自由角点的集中力无法展成式(8)所示的双重三角级数形式,  $W_2$  无法采用双重三角级数特解。

2 一边简支二角点支承的矩形板

一边简支二角点支承的矩形板在任意荷载作用下的弯曲可以采用叠加法计算。即撤去一个角点支承而代之以未知力  $R$ ,分别计算一边简支一角点支承矩形板在原荷载和自由角点单位集中力作用下的弯曲。由自由角点在支座方向的位移条件:挠度为零或等于确定的支座沉陷值,求出角点支承力  $R$ ,利用叠加法可求出原结构体系的弯曲解。

参考文献

1 S·铁摩辛柯, S·沃诺斯基著·板壳理论·科学出版社·1977

2 许琪楼,姬同庚·二邻边支承其余边自由的矩形板在均布荷载作用下的弯曲解·土木工程学报·1995·3

United Solution Method on Rectangularplate Bending with  
One simply SupportedEdge and One or Two Corner Points Resting

Xu Qilou jiang Rui Tang Guoming  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Using the united method in this paper, the bending solution of the rectangular plates with one simply supported edge and one or two corner points resting can be derived under arbitrary load. The method has the advantage of clear thinking , rapidly converging and high precision.

**Keywords** bending of elastic plate; rectangular plate; united solution

# 喹诺酮类药物色谱分析中的 人工神经网络技术

曹庭珠 蒋登高 王郑昌

(郑州工业大学化工系)

**摘 要** 用离子抑制色谱进行水溶液中氧氟沙星等喹诺酮类药物含量的分析。色谱分析数据用人工神经网络中误差反向传播算法进行处理,取得满意结果,为色谱定量分析提供一种有美好前景的新技术。

**关键词** 人工神经网络;高效液相色谱;喹诺酮类药物

**中图分类号** O657

## 0 前言

喹诺酮类药物六十年代问世,八十年代发展迅速,该类药物的相继面市代表了一类重要的有治疗作用的新型化合物的出现,它们已作为许多老抗生素的取代物,特别是遇到耐药菌所致感染时,喹诺酮类药物更是首选药物。其应用范围不仅仅囿于抗菌,还扩展到抗人体免疫缺陷病毒及抗肿瘤方面。

喹诺酮类药物溶解度实验测定的困难在于其溶解度极低,获得准确溶解度数据的关键在于分析方法。有关喹诺酮类药物的分析方法主要有滴定法、分光光度法、比色法、液相色谱法等<sup>[1]</sup>。我们选用高效液相色谱法进行分析。使用高效液相色谱法进行微量分析时,常出现一定的非线性响应,这时常规的色谱定量数据处理方法如主成份分析法、最小二乘法等会给结果带来一定的误差,我们用人工神经网络技术处理液相色谱分析数据。

人工神经网络(ANN)是八十年代中期迅速兴起的一门非线性科学。它是模拟人的大脑神经元记忆、推理和思维的过程,其突出优点是有效地对模型不确定的数据进行大规模非线性自适应信息处理,自动调节不同类型的非线性响应。其应用已经渗透到各个领域,并在信号处理、智能控制、模式识别、非线性化等方面取得令人鼓舞的进展<sup>[2]</sup>,在分析化学方面的应用也引人注目<sup>[3]</sup>。本工作用人工神经网络技术中的反向传播算法处理高效液相色谱分析数据,为色谱定量分析提供一种有美好前景的新技术。

## 1 原理

神经元是组成人脑的基本单元<sup>[4]</sup>,相互连接组成网络,人工神经网络则是通过模拟人脑的神经网络来处理信息。单个神经元示意如图 1 所示,其中  $a_i$  是神经元接收到的输入信息, $W_{ij}$ 是相互间连接权重, $b_j$  是神经元的输出信息, $f$  是非线性函数, $T_j$  是内部阈值。

收稿日期:1997-07-15

第一作者 女 1966 年 9 月生 硕士学位 讲师

人工神经网络算法就是给网络各种训练样本,把网络实际输出和正确目标值相比较,然后根据偏差情况修改各节点权值,使网络不断朝误差减少方向进行,直至输出值与正确目标值的偏差满足工作所需的精度。

误差反向传播算法(BP 算法)的网络结构如图 2 所示。

BP 算法的学习过程由正向传播和反向传播组成<sup>[5]</sup>。正向传播过程是输入模式从输入层经隐含层逐层处理,并传向输出层,如果在输出层不能得到期望的输出,则转入反向传播,将误差信号沿原来的连接通路返回,通过修改各神经元的权值,使误差最小。

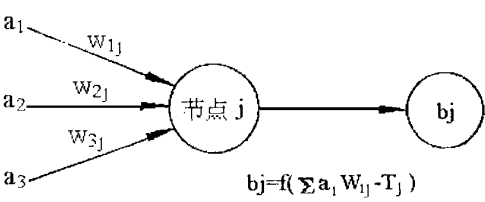


图 1 第 j 个神经元节点的结构

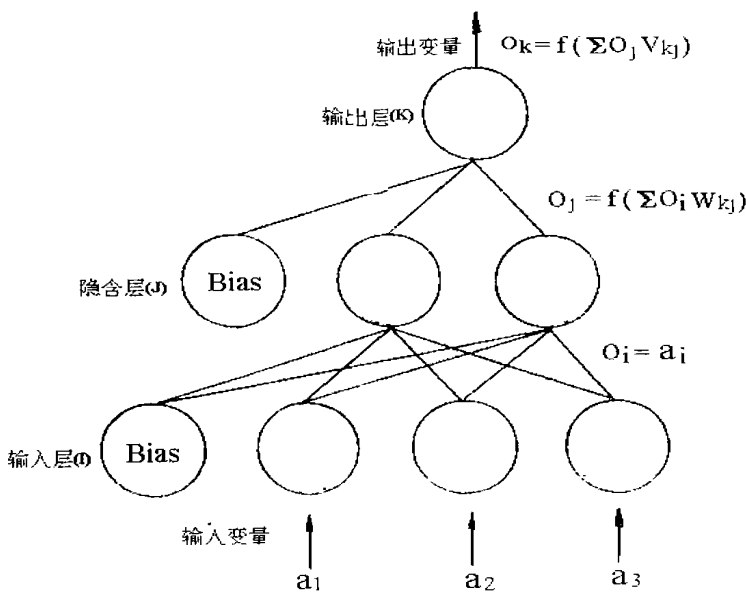


图 2 三层人工神经网络的结构

- 权值的改变方程为
- $$\Delta W_{ij}(n+1) = -\epsilon d_j^k V_j^{k-1} + \alpha \Delta W_{ij}(n)$$

(1)
- $W_{ij}$ 是权重,  $V_j^k$  是第  $k$  层单元  $j$  的输出,  $\epsilon$  是学习速率,  $\alpha$  是有助于收敛的动量。
- (1)如果  $j$  是输出层(第  $m$  层)的神经元,  $k=m$ , 则  $y_j$  是整个网络的期望输出。
- $$d_j^m = V_j^m(1 - V_j^m)(V_j^m - y_j)$$

(2)
- (2)如果  $j$  不是在输出层, 而是在中间隐含层  $k$ , 则:
- $$d_j^k = V_j^k(1 - V_j^k) \sum W_{jl} d_l^{k+1}$$

(3)

2 实验

2.1 仪器与试剂

日本岛津 LC-6A 型高效液相色谱仪, C-R3A 数据处理机, Pentium-100 型计算机

氧氟沙星(简称 FBA,按郑州工业大学开发的新技术合成,含量>99.9%),吡哌酸(简称 PPA,按郑州工业大学开发的新技术合成和精制,含量>99.9%),诺氟沙星(简称 FPA,河南晨曦制药厂生产,含量>99.9%),乙腈、柠檬酸等试剂为市售的分析纯,水是自制的去离子二次蒸馏水。

2.2 色谱分析条件

采用 ZORBAX-ODS C<sub>18</sub>(4.6mmID×15cm)反相键合相色谱柱,以柠檬酸(0.05mol/L,用三乙胺调 pH 到 4.0)-乙腈(80:20)为流动相,流速 1.0ml/min,柱温 40℃,检测器为 SPD-6AV 紫外可见光检测器。

2.3 色谱分析

喹诺酮类药物是具有胺基和羧基的两性化合物,能在水中解离,单独以乙腈-水或甲醇-水为流动相时,会出现色谱峰滞后、拖尾严重、对称性差、分离度低和保留值不稳定等问题,故采用离子抑制色谱<sup>[6,7]</sup>克服上述缺点。本文以三乙胺为离子抑制剂,以外标法定量,每个样重复三次,在数据处理机上同时记录下色谱峰面积和保留时间。

2.4 人工神经网络处理实验数据

本文使用的人工神经网络由输入层、隐含层和输出层组成。输入信号是色谱峰面积,输入层由三个神经元组成。隐含层中神经元的数量是一个可调参数,它说明网络的复杂性,隐含层有二个神经元。隐含层使用 S 型传递函数  $f(x)=1/(1+e^{-x/\theta})$ , $\theta$  是增益,线性及非线性应用可以容易地控制,在线性应用时,权重自动调节,使用 S 型函数中段来完成较好的线性近似,当呈现非线性响应时,权重自动调节,以使用 S 型函数的曲线部分。对于我们的定量校正应用,在输出层只使用一个神经元,即峰面积所对应的药物含量。

表 1 人工神经网络的训练参数

训练参数	数据	训练参数	数据
输入神经元	3	增益	2.0
隐含神经元	2	输入层传递函数	线性
输出神经元	1	隐含层传递函数	S 型
学习速率	0.7	输出层传递函数	线性
动量	0.9		

以三个标样所对应的峰面积及含量作为三个输入样本和相应的期望输出,以 C 语言自编的程序在 Pentium-100 型计算机上进行网络训练,训练参数见表 1,训练结果是输出各层间的权重。经过算法调整得到回响程序,利用已知权重,由样品的色谱峰面积得到药物的含量。

3 结果与讨论

- 3.1 对 FBA、FPA、PPA 水溶液标样的分析结果见表 2。
- 3.2 对于大批样品,该法预测速度快。人工神经网络训练要花费较多的时间,但训练好的神经网络在对未知样品进行预测时,仅需作少量加法和乘法,预测速度快。
- 3.3 容错能力。神经网络模型中,知识信息分布存储,每一个节点只反映问题的一个微特



征,在曲线拟合模型中,每个自变量都起重要作用。如果神经网络模型中某一节点输入不完善,影响不会那么严重。人工神经网络处理不完善问题,能比经验模型更有效地归纳,得出实质性结论。

表 2  喹诺酮类药物水溶液标样的分析结果

序号		1	2	3	平均值 — ( $\bar{X}$ )	标准偏差 (S)	变异系数 (RSD%)
FBA	实测值(mg/ml)	1.147	1.144	1.147			
	原加值(mg/ml)	1.146	1.146	1.146			
	回收率(%)	100.0	99.8	100.0	99.9	0.12	0.12
FPA	实测值(mg/ml)	0.984	0.987	0.984			
	原加值(mg/ml)	0.985	0.985	0.985			
	回收率(%)	99.9	100.2	99.9	100.0	0.17	0.17
PPA	实测值(mg/ml)	0.947	0.940	0.944			
	原加值(mg/ml)	0.943	0.943	0.943			
	回收率(%)	100.4	99.7	100.1	100.0	0.35	0.35

参考文献

1  沈向忠·国外医药抗生素分册·1994·15(1):12  
2  何明一·神经计算原理·语言·设计·应用·西安电子科技大学出版社  
3  Jansson P A·Anal·Chem·1991·63(6):357A  
4  Long J R,Gregriov V G,et al·Anal Chem·1990·62:1791  
5  庄镇泉等编·神经网络与神经计算机·科学出版社·1992  
6  王福安,曹庭珠等·化工学报·1996·47:615  
7  Wang F A,Jiang Y L,et al·Microchemical Journal·1997

Artificial Neural Network Technique in  
Chromatographic Analysis of Quinolone Medicines

Cao Tingzhu    Jiang Denggao    Wang Zhengchang  
( Zhengzhou University of Technology )

**Abstract**  The contents of quinolone medicines such as ofloxacin etc in aqueous solution are analyzed by ion inhibition chromatography·The data of chromatographic analysis are treated with the error back propaqation algorithm in artificial neural network·The results are satisfactory·A good prospective new technique is provided for chromatographic quantitative analysis·

**Keywords**  artificial neural network; HPLC; quinolone medicines

砌体局部均匀受压强度计算

杨卫忠

(郑州工业大学土建系)

**摘 要** 在分析局部均匀受压破坏原因的基础上,得到影响局部受压强度的主要因素,提出局部受压强度提高系数的计算公式,该式具有明确的力学概念,且能避免现行砌体结构设计规范中相应公式的不足,该式的计算结果与试验结果吻合很好。

**关键词** 砌体结构;局部受压;强度;计算方法

**中图分类号** TU312

0 前 言

局部受压是砌体结构中的一种重要受力状态,按局部面积上压力的分布方式不同,可分为局部均匀受压和局部非均匀受压二种。工程中承受墙体荷载的刚性基础顶面,它一般属于局部均匀受压,而承受钢筋混凝土梁传来荷载的梁底墙体,由于梁的变形,则属于局部非均匀受压。局部均匀受压是研究其它局压的基础,而承受局部压力的面积往往较小,且破坏的后果较为严重,因而,正确进行局部受压强度的计算尤为必要。

试验研究表明<sup>[1]</sup>,承受局部均匀压力的砌体通常有三种破坏形态,即(a)因纵向裂缝的发展而破坏;(b)劈裂破坏和(c)与垫板接触的砌体发生局部破坏,其中以(a)为最普遍,而(b)、(c)则在一定的条件下才发生。砌体承受局部压力下的强度要高于均匀受压下砌体的强度,其提高的原因是荷载在砌体内存在扩散作用。设砌体的抗压强度为  $f_m$ ,局部抗压强度为  $\gamma f_m$ ,则局部抗压强度提高系数  $\gamma$  可采用式(1)的形式:

$$\gamma = 1 + \zeta \sqrt{\frac{A_0}{A_1} - 1} \tag{1}$$

式中  $A_0$ ——影响局部抗压强度的计算面积;

$A_1$ ——局部受压面积;

$\zeta$ ——系数。

根据各种均匀局压的试验结果, $\zeta$ 一般在 0.36 到 0.75 之间,文献[1]偏于安全地取  $\zeta=0.364$ ,而当  $\zeta=0.35$ ,式(1)变为《砌体结构设计规范》(GBJ3—88)中的公式(4.2.2)。

分析式(1)不难发现,当  $(1+\zeta^2) > A_0/A_1 > 1$  时,出现局部受压承载力高于相应的(短柱)

收稿日期:1997—11—11

第一作者 男 1966 年生 硕士学位 讲师

全截面均匀受压承载力;同时, $\zeta$  具有较大的变化幅度,其原因在于  $A_0$  的取值并不合理。

1 局压破坏的原因

按局压位置的不同,局部均匀受压有五种情况,如图 1 示,平面有限元分析表明<sup>[3]</sup>,局部压力作用下砌体内的横向应力  $\sigma_x$  和竖向应力  $\sigma_y$  的分布如图 2 示。

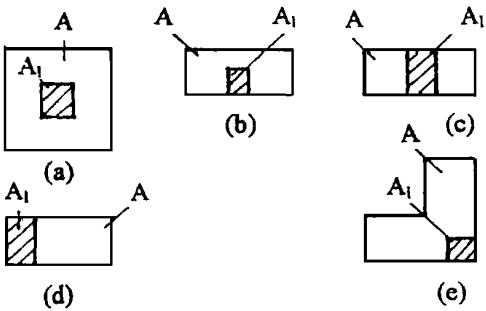


图 1 局压位置

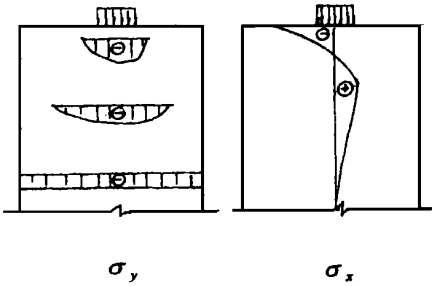


图 2 垫板下砌体内应力分布

$\sigma_y$  的分布清楚地表明了砌体内存在力的扩散作用,使竖向应力逐渐均匀地分布到整个截面。而垫板下砌体由于受到周围砌体的横向约束作用,使其处于三向受压(图 1(a))和双向受压(图 1(b)、(c)),因而砌体很难破坏,而中部以下砌体由于处于竖向受压,横向为双向或单向受拉的应力状态,当最大横向接应力达砌体抗拉极限强度时,即出现第一条竖向裂缝,由于其范围较小,并不能使砌体马上破坏。随着竖向裂缝的发展和出现其它的竖缝和斜缝,使砌体内部应力分布情况发生了变化,当被竖向裂缝分割的小立柱内的竖向压应力达砌体的抗压极限强度时,砌体即告破坏。承受局部压应力的砌体在产生竖向变形的同时还产生横向膨胀,因而受到周围砌体的约束作用,延缓砌体内竖向裂缝的发展,使砌体的局部抗压强度高于均匀受压下的强度。

只要砌体周围存在未受荷的面积,就存在力的扩散作用,而周围砌体的约束作用则不同,其约束作用大小与局压面积在整个试件中的相对位置有关,以中心局压为最大,一般墙段中部局压次之,端、角部局压时为最小;同时,约束作用还与局压面积与整个砌体截面积的比值有关,当局压面积相对较小时,相应的约束作用增大,但中线上的横向应力的分布也越均匀,即中线上较长的一段会同时达到砌体极限抗拉强度,形成劈裂破坏。因而,局部抗压强度提高的原因是力的扩散作用和周围砌体的约束作用二者共同影响的结果。

2 局部均匀受压强度

2.1 局部受压强度提高系数

根据上述分析, $\gamma$  可采用如下计算模式

$$\gamma = 1 + \eta_{\log_{10}} \frac{A_d}{A_l}$$

(2)

式中  $A_d$  —— 扩散面积

$\eta$ ——由于约束作用引起的增大系数。

对于图 1a 中心局压, 由于受到周围砌体的双向约束作用, 取  $\eta=2$ ; 对图 1d、e 的端、角部局压, 周围砌体的约束作用几乎为零, 取  $\eta=1$ ; 而图 1(b)、(c) 的一般墙段局压,  $\eta$  介于上述二者之间, 取  $\eta=A_c/A_d$  且不超过 1.5, 其中,  $A_c$  为约束面积。

2.2  $A_d$ 、 $A_c$  的取值

$A_d$  遵循短边扩散的原则, 即以  $A_l$  为基础, 以  $A_l$  的短边向周围扩散一个短边边长。而  $A_c$  则以  $A_d$  为基础, 按同心对称的原则确定。典型的  $A_d$  和  $A_c$  取值如图 3、图 4 所示。但  $A_d$  和  $A_c$  均不应超过整个构件面积。

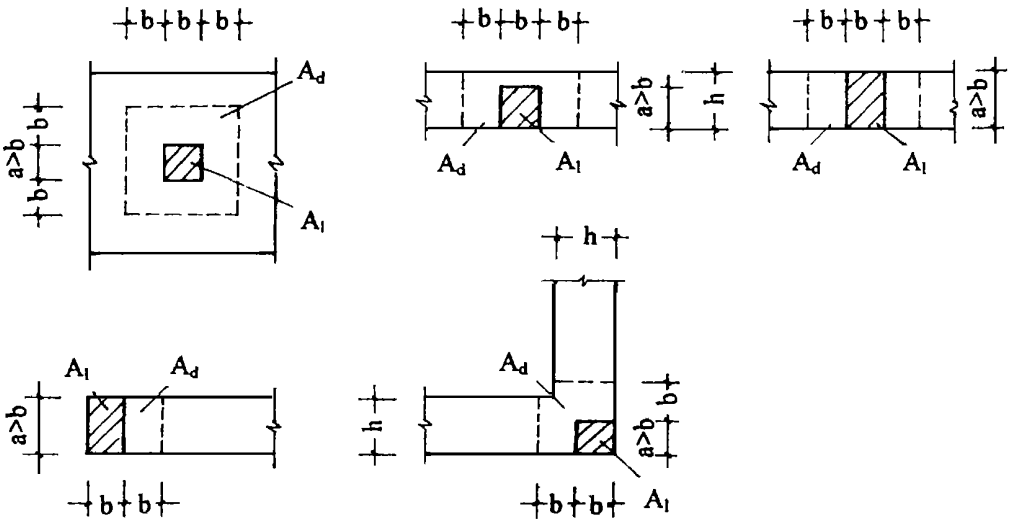


图 3 扩散面积  $A_d$

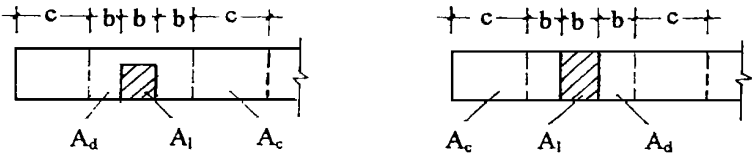


图 4 约束面积  $A_c$

2.3 计算公式

考虑砌体材料的变异后, 承受局部均匀压力的砌体承载力  $N_l$  可按式(3)计算

$$N_l = \gamma f A_l \tag{3}$$

式中  $f$ ——砌体的抗压强度设计值;

$\gamma$ ——局部抗压强度提高系数, 按式(2)计算。

3 试验验证

为了验证上述分析的正确性, 以文献[1]中五种局部均匀受压(局压位置示意于图 1 中)

的试验结果进行验证,试验参数、 $\gamma$  的试验值  $\gamma_n$  及采用式(2)计算所得的  $\gamma_2$  均列于表 1 中,同时,也把采用式(1)的计算值  $\gamma_1$  列于表 1,计算  $\gamma_1$  时取  $\zeta=0.364$ ,  $A_0$  按文献[1]中的规定取值,各种局部均匀受压的  $\gamma_n$  与  $\gamma_1$  或  $\gamma_2$  的比值也列于表 1 中。对表 1 中最后二列数据按中心局压、一般墙段中部局压和端、角部局压分别进行统计分析和总体分析,结果列于表 2 中。

表 1 均匀局部受压试验

试件 编号	局压 示意	fm (MPa)	试件尺寸 (mm)	局压面积 A <sub>l</sub> (mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ 的试验值和计算值			$\frac{\gamma_n}{\gamma_1}$	$\frac{\gamma_n}{\gamma_2}$
					$\gamma_n$	$\gamma_1$	$\gamma_2$		
67A~C		5.06	490×490×830	150×150	3.16	2.909	2.134	1.086	1.481
68A~C		5.06	490×490×830	300×300	1.81	1.852	1.472	0.977	1.230
83A~C		2.76	370×370×830	150×150	2.36	2.568	1.805	0.919	1.308
84A~C		2.76	370×370×830	210×210	2.03	1.984	1.521	1.023	1.335
2a~c	1(a)	3.05	370×370×970	180×180	2.84	2.252	1.646	1.260	1.725
3a~c		3.17	370×370×970	126×126	3.33	2.871	1.98	1.159	1.682
6a,b~c		4.39	370×370×720	180×180	1.78	2.252	1.646	0.791	1.081
7a,b~c		4.39	370×370×720	126×126	2.12	2.871	1.99	0.739	1.066
9a,b~c		3.02	490×490×1500	245×245	2.22	2.204	1.638	1.007	1.355
10a,b~c		2.97	490×490×1500	175×175	3.07	2.789	1.964	1.101	1.563
07A~C		2.20	370×1000×1000	250×200	2.04	1.971	1.888	1.035	1.080
08A~C		1.82	370×1000×1000	250×200	1.83	1.971	1.888	0.928	0.969
09A~C		1.88	370×1000×1000	250×200	2.12	1.971	1.888	1.075	1.123
11A~C		2.16	370×870×1000	250×200	1.86	1.938	1.843	0.960	1.009
12A~C		2.16	370×870×1000	250×200	1.83	1.938	1.843	0.944	0.993
13A~C		2.00	370×870×1000	250×200	2.00	1.938	1.843	1.032	1.085
14A~C	1(b)	1.86	370×740×1000	250×200	1.68	1.798	1.770	0.934	0.949
15A~C		1.86	370×740×1000	250×200	1.72	1.798	1.770	0.967	0.972
16A~C		1.82	370×740×1000	250×200	1.76	1.798	1.770	0.979	0.995
18A~C		2.37	370×620×1000	250×200	1.68	1.669	1.680	1.007	1.000
19A~C		2.12	370×620×1000	250×200	1.64	1.669	1.680	0.983	0.976
20A~C		2.12	370×620×1000	250×200	1.77	1.669	1.680	1.061	1.054
17A~C		1.80	370×490×1000	250×200	1.63	1.538	1.582	1.060	1.030
26A~C	1(c)	2.66	370×740×820	370×200	1.62	1.588	1.598	1.020	1.014
37A~C		2.76	240×740×840	240×200	1.76	1.588	1.587	1.180	1.109
41A~C		2.53	240×740×820	370×240	1.05	1.217	1.293	0.863	0.812
54A~C		3.10	370×740×820	370×200	1.50	1.301	1.495	1.153	1.003
61A,B,E		4.12	240×740×820	240×240	1.41	1.301	1.350	1.083	1.044
62A~F	1(d)	4.12	240×740×820	300×240	1.34	1.222	1.324	1.097	1.012

试件 编号	局压 示意	fm (MPa)	试件尺寸 (mm)	局压面积 A <sub>l</sub> (mm)	γ 的试验值和计算值			$\frac{\gamma}{\gamma_1}$	$\frac{\gamma}{\gamma_2}$
					γ	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>		
70A、E、F		4.28	240×740×820	240×240	1.22	1.301	1.399	0.938	0.872
71A、D、F		4.28	240×720×820	240×240	1.25	1.301	1.399	0.961	0.893
73A~C		4.35	370×720×820	210×210	1.47	1.547	1.710	0.950	0.860
74A~C		4.35	370×740×820	150×150	1.81	1.693	2.003	1.069	0.904
80A~C		4.73	240×740×820	200×200	1.29	1.526	1.685	0.845	0766
89B、C	1(e)	3.58	240×740×820	240×240	1.45	1.477	1.515	0.982	0.957
90A~C		3.58	240×740×820	150×150	1.825	1.585	1.787	1.148	1.018

表 2 统计分析结果

局 压 位 置	γ/γ <sub>2</sub>		γ/γ <sub>1</sub>	
	平均值	变异系数	平均值	变异系数
中心局压图 1(a)共 10 组	1.006	0.158	1.382	0.166
一般墙段中部局压图 1(b)、(c)共 15 组	1.0055	0.055	1.023	0.053
端、角部局压图 1(d)、(e)共 11 组	1.008	0.107	0.922	0.099
均匀局压(36 组)	1.006	0.107	1.092	0.209

统计分析表明,无论总体还是对每一种均匀局压,本文的 γ 计算值与试验值均能很好地吻合,而采用式(1)计算的 γ 值仅对一般墙段中部局压时能与试验值很好地吻合,而对中心局压则偏于安全,而对一般墙段的端部局压、角部局压则偏于不安全,由此可见,本文所提出的 γ 计算方法是合理的。

为了防止劈裂破坏,文献[2]采用限制 γ 的方法来实现。文献[1]的试验结果表明,γ=3 时发生劈裂破坏,而文献[2]采用 γ≤2.5 来防止。按本文 Ad 的取值及计算模式,可得 γ≤2.91,与试验结果非常接近,对图 1 中的其它情况可同理求得,结果列于表 3。由表 3 的结果不难发现,采用本文 γ 的计算模式,能满足文献[2]中对 γ 限制的要求,可不必给出 γ 的限制条件。

表 3 γ 的上限值

局压位置示意图	1(a)	1(b)	1(c)	1(d)	1(e)
本文的 γ 上限值	2.91	1.30	2.17	1.72	1.48
文献[2]的 γ 上限值	2.50	1.25	2.0	2.0	1.50

4 结论

(1) 砌体局压强度提高的主要原因是力的扩散作用和周围砌体对局压范围内砌体的约

束作用。可分别采用扩散面积和约束系数来表示。

(2)·局部抗压强度提高系数可采用本文提出的计算公式(2)计算,该式具有明确的物理概念,避免了现行砌体结构设计规范中 $\gamma$ 的不足,且计算结果优于该规范的公式结果,并能满足对 $\gamma$ 的限制要求。

参考文献

1 唐岱新·砌体结构局部受压试验及计算方法·砌体结构研究论文集·长沙:湖南大学出版社·1989.4  
2 中华人民共和国国家标准·砌体结构设计规范(GBJ10—89)·北京:中国建筑工业出版社·1988  
3 王庆霖·砌体结构·北京:地震出版社·1991.9

Ultimate Compression Strength of Masonry  
under Uniform Localized Pressure

Yang Weizhong  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Based on the analysis of failure causes of masonry under local uniform pressure, the causes which effect an increase in ultimate compression strength over local bearing area are gotten·The formula about added coefficient of strength is put forward·The formula not only has a clear mechanics concept, but also evades the shortcoming of corresponding expression in chinese code GBJ3—88·It is found that the calculation results have a good agreement with the experiments·

**Keywords** masonry Structure;Local compression;strength;calculation method

# 园弧槽无相同直径刀具时的近似铣削

覃寿同 李大磊 黄仁贵 马胜钢

(郑州工业大学机械系)

**摘 要** 提出了一种在铣削开式园弧槽无相同直径铣刀时,用小直径铣刀代替的近似铣削方法,并给出了有关公式及误差估计式。

**关键词** 铣削;近似加工

**中图分类号** TG714

在机械零件加工中,常会碰到与标准铣刀直径不同的半园成型面的加工,如果单独定做或重新刃磨工具,从成本上可能不划算,若以小直径铣刀进行手控包络法铣半园成型面<sup>[2,3]</sup>,从质量和效率上又难以保证。这里推荐一种应用相近小直径铣刀依靠立铣头斜置加工大直径半园成型面的方法。实际应用证明,在单件或小批量生产时,可以起到提高生产效率,满足精度要求,节约刀具投入费用的目的。

## 1 加工原理

图 1 为一半园弧成型面的端截面剖视图,其设计参数往往是其半径  $R$ 、深度  $h$ (或者是半园弧弦长  $AC$ )。由三角形勾股定理知:

$$R^2 = \overline{BC}^2 + \overline{OB}^2 = \overline{BC}^2 + (R - h)^2$$

可得出:  $h = \overline{BD} = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{\overline{AC}}{2}\right)^2}$  th (1)

或  $\overline{AC} = 2 \overline{BC} = 2 \sqrt{h(2R - h)}$  (2)

在加工中若没有合适半径尺寸  $R$  的铣刀,可选用一把比半径尺寸  $R$  略小的半径为  $r$  的铣刀,利用立铣头(或铣削头)斜置一  $\alpha$  角的方法同样达到加工目的,见图 2。从图上可以看出,当铣刀斜置  $\alpha$  角后,铣刀刀齿的运动轨迹在工件端截面上的投影形成一椭圆。刀具工件水平方向相对移动形成切削时,被加工工件的半园弧成型面正好由这椭圆轨迹的一部分近似代替而被铣出,而椭圆上这一部分轨迹的曲率与要求的园弧成型面的曲率相近。这就是以小直径铣刀斜置后加工大直径园弧成型面的加工原理。

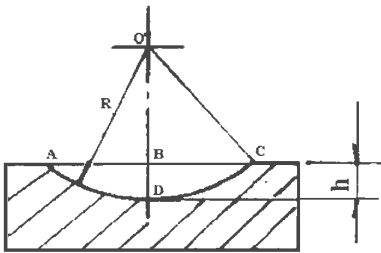


图 1 端截面剖视图



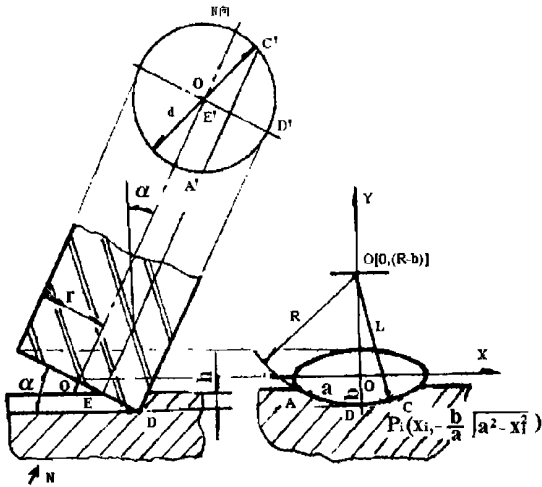


图 2 铣刀斜置加工原理

2 铣刀直径选择与铣刀轴斜置角度  $\alpha$

2.1. 铣刀直径选择 由(2)式知, 只有当铣刀直径  $d$  大于圆弧槽的弦长时, 才有可能一次将圆弧槽铣出。

即 
$$d \geq \overline{AC} = 2 \sqrt{h(2R - h)} \tag{3}$$

可以证明, 铣刀直径  $d$  越大, 越接近圆弧槽的直径(即  $2R$ )这时的加工误差越小。

2.2. 铣刀轴斜置角度  $\alpha$  从图 2 上可的出:

$$\sin \alpha = \frac{h}{ED} \tag{4}$$

而在铣刀的正端面的  $N$  向投影上, 由(1)式可得出

效 
$$\overline{ED} = \overline{E'D'} = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{\overline{A'C'}}{2}\right)^2} \tag{5}$$

式中 $\overline{A'C'}$ 的长度应是铣刀实际切削出圆弧槽的弦长 $\overline{AC}$ 。在图 2 左视图中, 当设计的圆弧槽半径  $R$  及深度  $h$  一经确定后, 则弦长 $\overline{AC}$ 也随之被确定。加大距离由(2)式知

$$\overline{A'C'} = \overline{AC} = 2 \sqrt{h(2R - h)} \tag{6}$$

将(6)代入(5)后再代入(4), 经化简可得:

$$\sin \alpha = \frac{r + \sqrt{r^2 - h(2R - h)}}{2R - h}$$

故铣刀轴斜置角度  $\alpha$

$$\alpha = \arcsin \frac{r + \sqrt{r^2 - h(2R - h)}}{2R - h} \tag{7}$$

从上面分析的过程知, 当用一稍小直径的铣刀铣削加工圆弧槽时, 当主轴斜置  $\alpha$  角之后, 可保证铣刀形成的椭圆截面上的三点  $A$ 、 $C$ 、 $D$  与设计要求的圆弧槽端截面上对应位置

在截面投影图(即左视图)上是相同的。

### 3 误差分析与计算

由于是将一段椭圆园弧近似代替设计要求的园弧槽园弧,故存在有形状误差。特别是当刀具半径与园弧槽半径相差较大时,这时的误差较大。其原因是这时铣刀轴斜置的  $\alpha$  角较小,形成的椭圆截面在椭圆长轴端部曲率变化较大与园弧槽的曲率不同,从而造成较大的形状误差。下面求解误差值的大小。建立坐标系如图 2,椭圆弧上任一点  $P_i(x_i, -\frac{b}{a}\sqrt{a^2-x_i^2})$  到园心  $O[0, (R-b)]$  的距离  $L$  可由两点间距离公式<sup>[4]</sup>得出:

$$L = \sqrt{x^2 + [(R-b) + \frac{b}{a}\sqrt{a^2-x^2}]^2} \quad (8)$$

对(8)式求导并令  $\frac{dL}{dx}=0$ , 可以解出当  $x=x_0=\sqrt{a^2-[\frac{ab}{a^2-b^2}(R-b)]^2}$  时

代入(8)式  $L$  有极大值存在:

$$L_{\max} = a \sqrt{1 + \frac{(R-b)^2}{a^2 + b^2}} \quad (9)$$

从图中可以看出,椭圆的长轴即为刀具半径,即  $a=r$ , 椭圆短轴为  $b=r\sin\alpha$ 。代入(9)式后化简整理得

$$L_{\max} = \sqrt{r^2 + (\frac{R}{\cos\alpha} - r\lg\alpha)^2}$$

显然这种加工方法产生的最大形状误差  $\Delta_{\max}$  应为

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= L_{\max} - R \\ &= \sqrt{r^2 + (\frac{R}{\cos\alpha} - r \cdot \lg\alpha)^2} - R \end{aligned} \quad (10)$$

### 4 应用举例

某零件表面有一通园弧槽,园弧半径  $R=34\text{mm}$ , 槽深为  $h=6\text{mm}$ , 试选择铣刀直径及计算误差大小。

显然这是用标准直径铣刀无法加工的园弧槽,故可用上法近似铣削加工。步骤如下:

1) 由(2)式求出园弧槽弦长,  $AC=2\sqrt{6 \times (2 \times 34 - 6)}=38.575\text{mm}$

2) 选最小铣刀直径:由上计算知,只要铣刀直径  $d \geq AC=38.575\text{mm}$  即可,选标准立铣刀<sup>[1]</sup>  $d=50\text{mm}$  的铣刀加工(直径越接近  $2R$  误差越小)

3) 计算立铣头斜置角度  $\alpha$ :由(7)式可求得

$$\alpha = \arcsin \frac{25 + \sqrt{25^2 - 6 \times (2 \times 34 - 6)}}{2 \times 34 - 6} = 41.283^\circ (41^\circ 16' 57'')$$

4) 计算形状误差的最大值:由(10)式可求得

$$2. \quad \Delta_{\max} = \sqrt{25^2 + \left[ \frac{34}{\cos 41.283^\circ} - 25 \times \lg 41.283^\circ \right]^2} - 34 = 0.171\text{mm} \quad \text{可得}$$

若认为误差值过大,可改选直径大一些的标准立铣刀再计算。如当改用  $d=63\text{ mm}$  的标准直径立铣刀<sup>[4]</sup>时可求得:

$$\alpha=\arcsin \frac{31.5+\sqrt{31.5^2-6\times (2\times 34-6)}}{2\times 34-6}=65.472^{\circ}(65^{\circ}28'19'')$$
$$\Delta_{max}=\sqrt{31.5^2+\left[\frac{34}{\cos 65.472^{\circ}}-31.5\times \operatorname{tg} 65.472^{\circ}\right]^2}-34=0.028\text{ mm}$$

即采用直径  $d=63\text{ mm}$  的标准直径立铣刀,将立铣头(或铣削头)斜置  $\alpha=65^{\circ}28'19''$  角度,可近似铣削出要求的圆弧槽,其形状误差值仅为  $0.028\text{ mm}$ 。

参考文献

1  赵如福·金属机械加工工艺人员手册;上海科技出版社·1990·10

2  陈端树·金属工业学(下册);高等教育出版社·1985·4

3  技工类通用教材编审委员会编·铣工工艺学;机械工业出版社·1980·1

4  四川矿院数学组·数学手册;科学出版社·1978·1

A Approximation Milling Method of Circular Arc  
without Same Diameter Cutting Tool

Qin Shoutong  Li Dalei  Huang Rengui  Ma Shengang  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract**  In this paper, a approximation milling mothod is introduced. When the open-circular arc was worked without same diametel cutting tool, can substitute a small one for it. The formula and error estimate formula are given.

**Keywords**  milling; approximate work

# AutoCAD 的二次开发技术

翟 震

张 涛

(郑州工业大学橡塑模具研究所)

(河南省电子工业学校, 郑州, 450002)

**摘 要** 介绍了对 AutoCAD R12.0 绘图软件进行二次开发的一些方法。包括如何实现参数化绘图、数据检索, 以及对图形数据库的操作, 对于工程 CAD 系统的实现有一定的帮助。

**关键词** AutoCAD ; AutoLISP

**中图分类号** TP311.5

## 0 引言

AutoCAD 是美国 Auto desk 公司开发的通用型绘图软件, 具有强大的图形编辑和处理功能、开放性结构以及良好的性能价格比, 其版本从早期的 1.0 版到目前的 R14 版, 在国内外都已得到广泛的应用。AutoLISP 语言是一种嵌在 AutoCAD 内部的 LISP 编程语言, 既具有一般高级语言的基本结构和功能, 又具备 AutoCAD 所特有的图形处理功能。利用 AutoLISP 可以直接增加、修改和调用 AutoCAD 命令, 并能结合各类标准建立大量的参数图形库, 还能够对当前图形数据库直接访问和修改等。

## 1 设计实例

尽管 AutoCAD 的功能十分强大, 但是并不是完全符合我国各领域的实际情况, 比如图幅设置、尺寸公差标注、图形编辑等, 这就需要运用其内部编程语言 AutoLISP 进行二次开发。下面以通用绘图系统为例列举了一些典型的 AutoLISP 程序, 在 AutoCAD R12.0 环境下运行, 用户可以此为参考开发出适合自己情况的 CAD 软件。

### 1.1 AutoCAD 命令的扩充

众所周知, AutoCAD 本身提供的各种命令都是最基本的, 对一些复杂的具有特殊要求的操作, 如果用手工操作将十分麻烦, 类似于图幅设置、局部放大、无边界延伸等等, 都需要编制新的函数, 作为 AutoCAD 命令调用。下面列举了一个在工程制图时经常要进行的局部放大函数, 其设计思想是: 以圆心的外切正方形为目标区域, “c”方式选择目标, 拷贝后选择

收稿日期: 1997—08—29

第一作者 男 1968 年 9 月生 硕士学位 助教

该圆为剪切边界,以 1.2 倍半径进行剪切目标 360 环形搜索,再按比例放大,该程序如下:

```
(defun fd()
  (initget 7) ;禁止输入零值、负值及空输入
  (setp pl (getpoint "输入放大区域圆心坐标:"))
  (command "circle" pl) ;画圆心
  (setq prl (getpoint "输入半径位置:"))
  (setq k 2 r (distance pl prl) ;计算半径
    p2 (getpoint "输入放大图形位置"))
  (setq p3 (list (- (car pl) r)(- (cadr pl) r));选中图形左下角
    p4 (list (+ (car pl) r)(+ (cadr pl) r));选中图形右下角
    p5 (list (- (car p2) r)(- (cadr p2) r));放大图形左下角
    p6 (list (+ (car p2) r)(+ (cadr p2) r));选中图形右下角
    r1 (* 1.35 r) ;剪切搜索半径
    k 2) ;放大比例为 2
  (command r)
  (command "erase" "l" "" ;删除该圆
    "copy" "c" p3 p4 "" p1 p2 ;将选中目标拷贝至 p2 点
    "circle" p2 r) ;画圆
  (setq ss (ssget "l"))
  (command "trim" ss "")
  (setq n 360 n1 1 dt (/ 3.14159 0.5 n) ;设置搜索次数
  (repeat n
    (setq pp (polar p2 (* n1 dt) r1))
    (command pp) ;剪切目标
    (setq n1(+1 n1))
  )
  (command "" "scale" "c" p5 p6 "" p2 k "redraw");放大操作
)
```

## 1.2 参数化绘图

根据调查,在我国使用 AutoCAD 的用户中,绝大多数都仅仅采用交互式绘图方式,这样,AutoCAD 系统只是将设计师的工作环境从图板上移到计算机上,并没有真正减少设计工作中的重复劳动。因此就需要引入参数化设计,其目的是对所设计的产品进行定制,设计者只需按要求输入若干参数,系统就能自动生成各种图纸,从而实现快速绘图,将设计者从繁杂的绘图工作解脱出来,将大部分时间和精力集中于富有创造性的设计活动中。下面列举了绘制如图 1 所示的键槽的轴剖面图的程序。

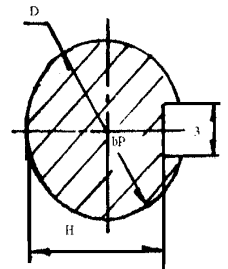


图 1 键槽的轴剖面图

```
(defun akey(/d h w bp ang p1 p2)
  (setq d (/ getdist "\n d=?") 2.0)
```

```
w (/ (getdist "\ n h=?")
bp (getpoint "\ n w=?") 2.0)
ang (atan (/ w (sqrt (- (* d d)(* w w))))))
) ;setq
(command "pline" ;绘轮廓线
(setq p1 (polar bp (- ang) d))
(setq p2 (list (+ (car bp)(- h d))(cadr p1)))
(polar p2 (/ p1 2.0)(* 2 w))
(polar bp ang d)
("a" "ce" bp p1 "")) ;command
(setq ss (entlast))
(command "hatch" "u" 45 2 "" ss "") ;绘剖面线
) ;defun
```

运行时输入 d、h、w 值及中心点,即可绘出图形。  
需要指出的是,实际开发 CAD 时 h 和 w 是根据直径 d 从数据库检索得出来的。

1.3 数据检索

在开发工程 CAD 系统时经常要检索大量数据,下面列出了检索表 1 数据的程序。

变元\表头		H1	H2	H3	H4
A1	B1	V11	V12	V13	V14
	B2	V21	V22	V23	V24
A2	B1	V31	V32	V33	V34
	B2	V41	V42	V43	V44

数据存储

```
(defun data()
  (setq L1 '(V11 V12 V13 V14) ;将数据存入表中
        L2 '(V21 V22 V23 V24)
        L3 '(V31 V32 V33 V34)
        L4 '(V41 V42 V43 V44)
  )
)
```

数据检索

```
(defun dtjs1(cs)
  (setq L (cond((= cs '(A1 B1)) L1) ;将表 L1 赋给表 L
              ((= cs '(A1 B2)) L2)
              ((= cs '(A2 B1)) L3)
              (T L4))
  )
)
```

```
    ) ;cond  
  ) ;setq  
(setq H1 (nth 0 L) ;提取表 L 中第一个元素  
      H2 (nth 1 L) ;提取表 L 中第二个元素  
      H3 (nth 2 L)  
      H4 (nth 3 L)  
  ) ;setq  
) ;defun
```

若要检索 A2—B1 变元的数据,则调用:

```
(dtjs1'(A2 B1))
```

便可得到 H1~H4 的值。

1.4 图形数据库的应用

在开发机械 CAD 系统中,经常要用 command 函数调用 AutoCAD 绘图命令来绘制各种变参图形。这时,常常要进行目标选择,AutoCAD 常用点选择和窗口选择方式来选择目标。这种方法的缺点是比较麻烦,在程序中要给定点的坐标,而且经常由于选不到目标使程序中断,以及在复杂图形中选择目标剖面线时常常出错等。如果利用图形数据库的实体和选择集来回答目标选择问题,不仅编程简单,而且目标选择准确,下面给出的是绘制图 2 所示齿轮的一段程序(设图中 p1~p10,c1~c4 均已赋值)。

```
(defun hcl(/s1 s2 s3)  
(绘图环境设置)  
(command "pline" p1 "w" 0.4 "" p2 p3 p4 p5 p6  
"c")  
(setq s1 (ssget "l"));选择最后绘制的实体  
(command "mirror" s1 "" c1 c2 "")  
(ssadd (entlast) s1);增加镜像图形  
(command "hatch" "u" 45 3 "" s1 "" "pline" p3 "w"  
0.4 "" p7 p8 p9 p10 p4 "")  
(setq s2 (entlast))  
(command "mirror" s2 "" c1 c2 "")  
(计算水平对称点 p1h~p10h)  
(command "pline" p1 p1h ""  
"pline" p2 p2h ""  
  
"pline"p5 p5h ""  
"pline"p6 p6h "")  
(command "line" c3 c4 "")  
(setq s3 (entlast))
```

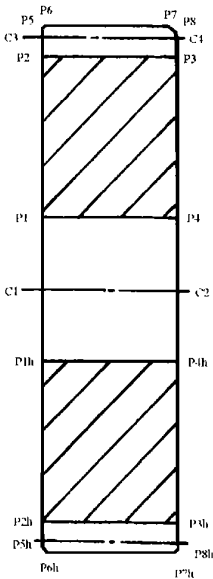


图 2 齿轮剖面简图

```
(command "mirror" s2 "" c1 c2 "")  
(command "line" c1 c2 "")  

```

2 结 论

由以上例子可以看出,利用 AutoLISP 语言对 AutoCAD 进行二次开发,能够充分发挥 AutoCAD 的使用效率,而且 AutoLISP 编程十分简洁,便于调试。可以预见,在我国实现工程图纸计算机化的过程中,AutoLISP 必将是工程系统,特别是绘图系统的一个重要的开发工具。

Second Development of AutoCAD

Zhai Zhen

( *Research Institute of mold Zhengzhou University of Technology* )

Zhang Tao

( *Henan Electric and Technology School* )

**Abstract** Based on AutoCAD R12 sofware, using AutoLISP language to develop the engineering CAD system. This paper gives some skills to bring about parameter drawing, inquire data and operation geometric figure database. Through examples, the resultsare given to support this skills.

**Keywords** AutoCAD; AutoLISP



热处理炉炉温单片机控制系统

韩丰田 白国长

(郑州工业大学机械系)

**摘 要** 介绍一种采用单片机构成的热处理炉炉温控制系统,对系统的控制算法、硬件设计及软件实现进行了较详细的论述。现场试验证明该温控系统具有较好的控制效果。

**关键词** 炉温控制;单片机;控制算法

**中图分类号** TP368.1

1 概述

热处理电炉的发热体为电阻丝,一般由三相交流电供电,为调节其温度,常规方式大都使用模拟式控制仪表测量温度,并通过控制交流接触器的通断时间比例来达到改变加热功率的目的。但由于仪表本身测温精度差,并受到交流接触器的寿命限制,通断频率很低,故温度控制精度低,且无法实现按程序设定曲线升温及故障自诊断等功能。

本文提出的炉温控制系统就是为了克服模拟式温控仪的缺陷而研制的。系统采用高精度放大器及高分辨率  $V/F$  转换器以获得较高的测温精度;热电偶的冷端补偿采用热电阻温度传感器,测量冷端温度准确,克服了常规方法补偿误差大的缺点;采用 8031 单片机实现控制算法、程序升温、键盘输入、显示打印等功能;使用双向可控硅实现加热功率的控制,由于采用无触点功率开关,故通断频率可设置得很高,显著提高了控温精度。

2 控制算法

本系统采用时间最优控制 ( $Bang - Bang$  控制) 与积分分离  $PID$  控制的双模控制算法<sup>[1]</sup>,时间最优控制可加快动态过程, $PID$  控制则可提高跟踪精度,保证稳态误差满足要求。

2.1 时间最优控制模式

当  $|R(k) - Y(k)| = |e(k)| \begin{cases} \geq E_1 & \text{时间最优控制模式} \\ < E_2 & \text{积分分离 PID 模式} \end{cases}$

(1)

时间最优控制模式  $\begin{cases} e(k) > 0 & U(k) = U_{max} \\ e(k) \leq 0 & U(k) = 0 \end{cases}$

(2)

式中  $E_1$  —— 时间最优控制偏差极限值  
 $R(k)$  —— 第  $k$  次采样时刻的设定值  
 $Y(k)$  —— 第  $k$  次采样时刻的反馈值

$e(k)$ ——第  $k$  次采样时刻的偏差值  
 $U(k)$ ——第  $k$  次采样时刻的计算机输出值  
 $U_{max}$ ——计算机输出的最大值

2.2 积分分离式 PID 控制

积分分离式 PID 控制可显著抑制积分饱和,防止产生超调和振荡。

当  $|e(k)| \begin{cases} \geq E_2 & PD \text{ 控制} \\ < E_2 & PID \text{ 控制} \end{cases}$  (3)

式中  $E_2$  为积分分离门限值,并且有  $E_2 < E_1$ 。

在 PD 控制时其调节规律为  $U(t) = K_P \left[ e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$  (4)

离散化后其差分方程为

$U(k) = U_P(k) + U_D(k) = K_P * e(k) + K_D * (e(k) - e(k-1))$  (5)

在 PID 控制时,调节规律为  $U(t) = K_P \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$  (6)

其差分方程为

$U(k) = U_P(k) + U_I(k) + U_D(k)$   
 $= K_P * e(k) + U_I(k-1) + K_I(e(k) + e(k-1)) + K_D(e(k) - e(k-1))$  (7)

式中  $K_P$ ——调节器的比例系数  
 $T_I$ ——调节器的积分时间  
 $T_D$ ——调节器的微分时间  
 $e(t)$ ——调节器的偏差信号  
 $U(t)$ ——调节器的输出信号  
 $e(k-1)$ ——第  $k-1$  次采样时刻的偏差值  
 $K_I$ ——调节器的积分系数  
 $K_D$ ——调节的微分系数  
 $T$ ——采样周期

式(7)中积分项采用梯形法对偏差进行数值积分,与一般位置式 PID 中采用矩形法相比可使积分项更加精确。

与积分项对应的差分方程为

$U_I(k) = K_P \frac{1}{T_I} \left[ \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2} T(e(i) + e(i-1)) + \frac{1}{2} T(e(k-1) + e(k)) \right]$   
 $= U_I(k-1) + K_I(e(k-1) + e(k))$  (8)

式中  $U_I(k)$  为第  $k-1$  次采样之前各次积分项之和

$U_I(k-1) = \sum_{i=1}^{k-1} K_I(e(i) + e(i-1))$  且  $K_I = \frac{K_P T}{2 T_I}$  (9)

2.3 按设定控温曲线控温时的算法

输入设定控温曲线如图 1 所示。每个曲线段包括段序号、升温时间及设定温度三个部分,系统中每个控温曲线允许最多包含 99 个曲线段。

(1)在等速升温时,每采样一次,按设定升温曲线计算一次设定值  $R(k)$ ,并根据与温度传感器测得的反馈量  $Y(k)$  之差求得偏差  $e(k)$ ,计算出在等速升温时的输出量  $U(k)$ 。

(2)恒温阶段, 设定值  $R(k)$  恒等于保温温度, 根据  $R(k)$  与温度传感器测得的反馈量  $Y(k)$  之差求得偏差  $e(k)$ , 算出在恒温时的输出量  $U(k)$ , 由于恒温阶段偏差很小, 控制算法为一般为  $PID$  方式。

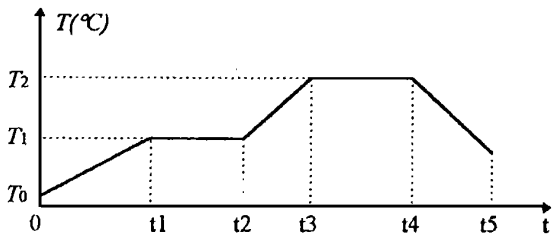


图 1 设定控温曲线示例

2.4 Bang—Bang 控制/ PD 控制/ PID 控制之间的切换

在每一次采样周期中, 首先根据采集的热电偶输出信号计算出炉温值  $Y(k)$  并与设定曲线中相应时刻的设值  $R(k)$  进行比较, 如果其差值  $|e(k)| > E_1$ , 则系统转入 Bang—Bang 控制, 如果  $|e(k)| > 0$ , 系统全速加温, 可控硅在整个采样周期内全时间导通。否则, 系统输出为零, 可控硅在当前采样周期内关断。

如果偏差值  $|e(k)| < E_1$ , 则系统进入 PD 或 PID 控制, 这时系统控制程序要做两种判断:

- (1) 如差值  $|e(k)| \geq E_2$ , 则只用 PD 控制, 令积分项为零, 以防止过大的偏差积累使系统出现超调和振荡。
- (2) 如差值  $|e(k)| < E_2$ , 则系统转入 PID 控制, 由于积分项的作用, 在恒温段可使控制温误差很小。

3 系统硬件设计

系统的硬件框图如下页图 2.

3.1 数据采集和 V/F 转换

用作热电偶冷端补偿用的室温信号、热电偶输出的炉温信号及基准源通过多路开关 CD5051, 经限幅处理后加到 V/F 转换 LM331 上转换成与模拟电压成正比的频率信号, 采用闸门控制计数并经 8031 处理, 一方面显示温度值, 另一方面作为反馈信号。

3.1.1 对室温信号的采集

系统中对热电偶的冷端补偿采用了铜电阻作为测温元件。铜电阻的电阻值与被测温度之间呈如下关系:

$$R(t) = R(0) * (1 + At + Bt^2)$$

式中,  $R(0) = 100 \Omega$  ( $0^\circ\text{C}$  时的电阻值),  $A$ 、 $B$  为铜电阻的一次和二次温度系数。

室温测量部分见图 3。电桥采用 +5 V 电源供电, 放大电路输出电压  $V_t$  与桥臂交点电压  $V_A$ 、 $V_B$  的关系为:

与积    应的 $V_t = V_A * \left[ 1 + \frac{R_{19}}{R_{18}} \right] - V_B * \left[ 1 + \frac{R_{17}}{R_{16}} \right] * \frac{R_{19}}{R_{18}}$

电路中取  $R_{16} = R_{19} = 100 \text{ K}\Omega$ ,  $R_{17} = R_{18} = 1 \text{ K}\Omega$ , 故有:  $V_t = 101 * (V_A - V_B)$



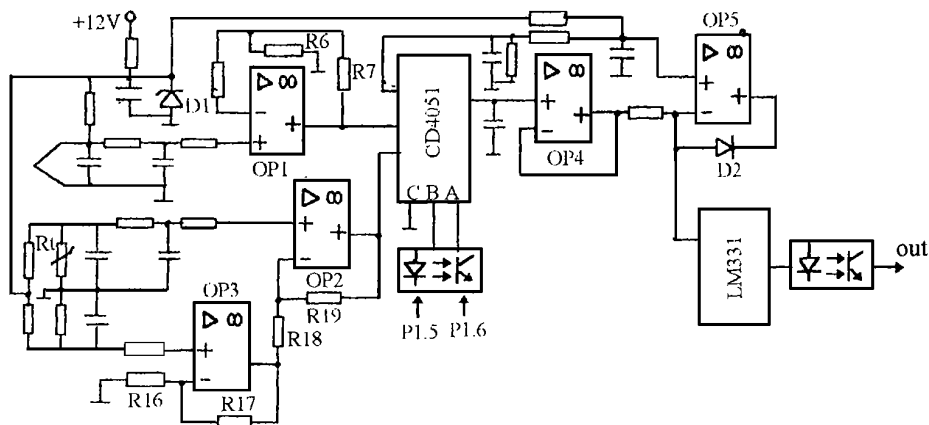


图 3  信号放大及 V/F 转换

打印部分由微型打印机及其接口电路组成,可打印出设定的加温曲线及其参数,并按键入的打印周期在线打印出时间值及当时的炉温值。

由掉电保护电路对 6264 进行掉电保护<sup>[2]</sup>,系统运行时每一采样周期均将 8031 内各寄存器的内容存入 6264 中。在发生偶然掉电再来电后,可根据 RAM 中保存的参数恢复运行。

为了提高系统的抗干扰能力,系统除包含丰富的软硬件自诊断能力外,采用 74LS123 实现系统失控自复位功能。当测量温度超过设定的上、下偏差值时还可采用声光报警方式提醒操作人员采取措施。

3.3  控温电路

由 8031 的 P1 口输出三个触发脉冲信号,经反相器光电隔离,功率放大后加到双向可控硅上。由于采用 Z 型交流固态继电器(SSR),其内部有过零检测电路,只有当负载交流电源到达过零区时,SSR 才导通,所以负载工作电流近似正弦波,可减少高次谐波对电网的干扰。

这种控制方法为过零触发型交流调功器<sup>[3]</sup>,通过控制采样周期 T 内的导通的周波个数,即 n 值,就可控制电阻丝的加热功率。其关系式为:

$$P = \frac{n}{N} \times I^2 \times R$$

式中: P —— 负载输入功率

N —— 采样周期 T 内的周波数,若 T=2 秒,则 N=100

n —— 采样周期 T 内导通的周波数

R —— 负载电阻

I —— 在采样周期内电流全导通时流过 R 的电流有效值

4  系统软件

系统软件由主程序、时钟模块、升温曲线预置模块、参数设置模块、读键盘及键处理模块、显示模块、数据采集及处理模块、打印模块及控制输出模块等组成。

在主程序中首先设堆栈,对 8279 初始化,设置各标志位和对 8031 内部 RAM 及各寄存器初始化。然后,显示开机初始状态,读键盘,散转到各键的处理程序,在按下启动键后系统开始运行,检测热电阻、基准源及热电偶的输入值,再进行数字滤波、查表及插值作非线性校正,计算出炉温。在显示器上显示该温度值,根据当时的时间计算出该采样周期设定温度值及炉温之差由的大小按控制算法公式计算出计算机的输出值,对可控硅在本采样周期导通的时间长短进行调节。

由于热电偶的输出特性具有较大的非线性,所以必须加以校正,本文采用实测和插值的方法,即从 0℃起每隔 16℃按热电偶  $mV$  输出手册中的标称值输入该温度下的  $mV$  数代替热电偶的输出,同时用高精度度数字表监视。通过单片机进行数据采集可获得与输入的  $mV$  值对应的数字量,然后作出温度数字量表,将此表固化于 EPROM 中,以后即可根据此表用插值的方法,由  $V/F$  转换器输出的数字量计算出对应的任一温度值,其公式为<sup>[1]</sup>

$$y = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}(y_2 - y_1) + y_1$$

式中  $x$  —— 经  $V/F$  转换后所得的数字量

$y$  —— 与  $x$  对应的温度值,即炉温

$x_2, x_1$  —— 表中与相邻的高、低数字量

$y_2, y_1$  —— 表中与  $x_2, x_1$  对应的温度值

本系统曾在 30 KW 及 45 KW 等多台电阻炉上可靠运行,使用结果证明控制系统控制具有方式灵活方便、控温精度高、保护措施完善可靠等一系列优点。

## 参考文献

- 1 江秀汉等. 计算机控制原理及应用;西安电子科技大学出版社. 1995. 8
- 2 何立民编著. 单片机应用系统设计;北京航空航天大学出版社. 1994. 6
- 3 陈粤初编. 单片机应用系统设计与实践;北京航空航天大学出版社. 1992

## The Temperature Control System of the Heat Treating Furnace by Using 8-bit Single Chip Computer

Han Fengtian      Bai Guochang

(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** A kind of resistance-heated furnace temperature control system with single chip computer is introduced in this paper. The paper presents the control algorithm, hardware design and software composition of the system. Satisfactory control results have been obtained by application in industrial fields.

**Keywords** furnace temperature control; single chip computer; control algorithm

有机胺萃取发酵清液中柠檬酸的研究(Ⅲ)

周彩荣 葛庆平\* 钟 贤 李惠萍

(郑州工业大学化工系)

摘 要 用上升液滴法研究纯水及萃取有机溶液中柠檬酸的动力学,考察了不同有机溶液体系对反萃取速率的影响,结果表明由有机胺、油酸、醋酸丁酯组成的体系Ⅰ和体系Ⅰ基础上增添 200# 溶剂油组成的体系Ⅱ,其反萃取动力学经验方程式分别为:

$$R_b=k_b[H_3A]_{(0)}^{0.6}[R_3N]_{(0)}^{0.8}[\text{醋酸丁酯}]_{(0)}^{-0.5}[\text{油酸}]_{(0)}^{1.9}$$
  
和  $R_b=k_b[H_3A]_{(0)}^{0.8}[R_3N]_{(0)}^{1.6}[\text{醋酸丁酯}]_{(0)}^{2.0}$

关键词 反萃取;柠檬酸;有机胺;动力学

中图分类号 0652.62 0623.613

有机胺是从薯干粉发酵清液中萃取柠檬酸的有效萃取剂。经过萃取过程,发酵清液中的柠檬酸被提取到有机相中<sup>[1]</sup>,欲得到提纯的柠檬酸需要用纯水反萃取含有柠檬酸的有机溶液。对于该过程的反萃取动力学研究至今未见报导。本文采用上升液滴法研究在一定条件下,用纯水反萃取被萃取到有机胺(R<sub>3</sub>N)溶液中柠檬酸的动力学。

1 实验部分

1.1 实验装置 见图 1。连续相为去离子水,置放在反萃取柱 3 中,含有柠檬酸的有机溶液称为萃取液置放在进料柱 1 中,实验时,打开毛细管 5 的控制活塞,萃取液以单个液滴形式从毛细管 5 逸出,液滴经连续水相进行反萃取柠檬酸。液滴在反萃取柱顶形成连续相,然后流入刻度集液管 6 中。实验中,通过改变反萃取柱的高度,达到改变上升有机液滴与水相的接触时间,并保持液面于高位槽 2 和柱顶细管 7 中某一合适高度。实验在恒定温度下进行,柱 1 和柱 2 夹套中的恒温水由恒温水浴提供。

1.2 试剂和原料 有机胺来自大连油脂化工厂 R<sub>3</sub>N(R 为 C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>,n=8~10),发酵清液来自河南许昌柠檬酸

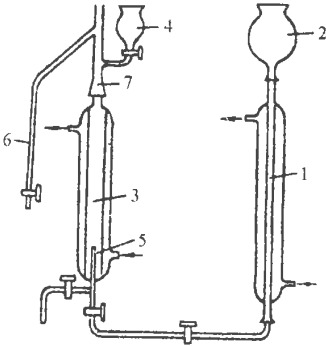


图 1 单液滴实验装置示意图  
1—进料柱; 2—高位槽;  
3—萃取柱; 4—加料漏斗;  
5—毛细管; 6—集液管;  
7—柱顶

收稿日期:1997-04-04;修改稿返回日期:1997-08-12

\* (河南省质检所,郑州,450003)

厂,其它试剂规格均不低于化学纯级。

1.3 实验操作条件

除了研究温度对反萃取速率的影响时,实验温度有所变化外,其他实验温度均控制在 $80\pm1^{\circ}\text{C}$ 。

整个实验中,水相中柠檬酸浓度用 $0.1\text{mol/L}$ 氢氧化钠标准溶液滴定;有机相中柠檬酸浓度用多级错流反萃取,收集水相进行分析,方法同上。

实验中需要测定以下数据:

$\Delta t$ :液滴经过萃取柱所需的时间(S); $N$ : $\Delta t$ 时间内逸出的液滴数; $V$ : $\Delta t$ 时间内 $N$ 滴液体的体积( $\text{cm}^3$ )。

1.4 反萃取速度方程

反萃取速率 $R$ 定义为单位时间通过单位界面面积( $\text{cm}^2$ )反萃取入水相中柠檬酸的量,即:

$$R_b = \frac{\Delta m}{A \Delta t} \quad (\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \text{ 或 } (\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \tag{1}$$

式中  $\Delta m = V \cdot \Delta [\text{H}_3\text{A}]_{(0)}$ , 则

$$R_b = \frac{V}{A} \cdot \frac{\Delta [\text{H}_3\text{A}]_{(0)}}{\Delta t} \tag{2}$$

若将有机相液滴视为刚性球体,则可以从实验数据求得其半径为 $r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4N\pi}}$ , 于是:

$$\frac{V}{A} = \sqrt[3]{\frac{N}{36\pi V}} \tag{3}$$

这样,由式(2)就可以计算出反萃取速率 $R$ 。

当尚未确定反萃取过程的类型时,可用方程式(1)来表示带有化学反应的反萃取传质速率,同萃取过程的传质速率一样,反萃取传质速率方程也只能作为反萃取过程的一种经验表达式<sup>[2]</sup>。反萃取与萃取相比较,仅有温度发生了变化,在反萃取的温度条件下,减弱了柠檬酸与有机胺所形成配合物的结合力,从而有利于使得柠檬酸从有机相向水相转移。因而,反萃取速率经验方程可假设为:

$$R_b = k_b [\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^a [\text{R}_3\text{N}]_{(0)}^b [\text{A}_2]_{(0)}^d \tag{4}$$

确定出 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ……的值,就可以确定反萃取速率同各组分浓度之间的关系<sup>[3]</sup>。

2 实验结果和讨论

实验测定了温度为 $353\text{K}$ 时,两种萃取体系的反萃取速率与有机相中溶质柠檬酸浓度和溶剂有机胺浓度的关系,并考察了有机相中其他组分的存在对反萃取速率的影响,确定了在 $353\text{K}$ 下反萃取的表现活化能。结果绘于图1~2和表1。

2.1 有机相中柠檬酸浓度对反萃取速率的影响

当有机相中柠檬酸含量在 $0.1\sim0.3\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ,体系I和体系II的有机相组成(体积比)分别为:有机胺:醋酸丁酯:油酸=1:1:1和有机胺:200<sup>#</sup>溶剂油:醋酸丁酯:油酸=1:2:0.6:0.4时,用上升液滴法测得的数据以 $\log R_b$ 与 $\log [\text{H}_3\text{A}]_{(0)}$ 作图,由图2可见,它们之间存在有良好的线性关系,由线性回归,其斜率分别是0.6234和0.7636,按近似计算求得体系I



和体系Ⅱ的  $a$  值分别为 0.6 和 0.8。这表明了在不同的萃取体系中,萃取到有机相中柠檬酸的浓度对反萃取速率的影响不同,反萃取速率分别和有机相中柠檬酸浓度的 0.6 次方和 0.8 次方成正比。

2.2 有机胺浓度对反萃取速率的影响

当有机相中柠檬酸浓度恒定时,测定了有机胺对反萃取速率的影响,同时考虑到有机相中其他添加剂对反萃取速率的影响,因而采用多元指数模型综合分析,设

$$R=k[R_3N]_{(0)}^b[A_1]_{(0)}^c[A_2]_{(0)}^d[A_3]_{(0)}^e$$

(5)

式中,  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  分别代表 200<sup>#</sup> 溶剂油、醋酸丁酯、油酸。由表 1 数据用多元线性逐步回归,其结果见表 2。

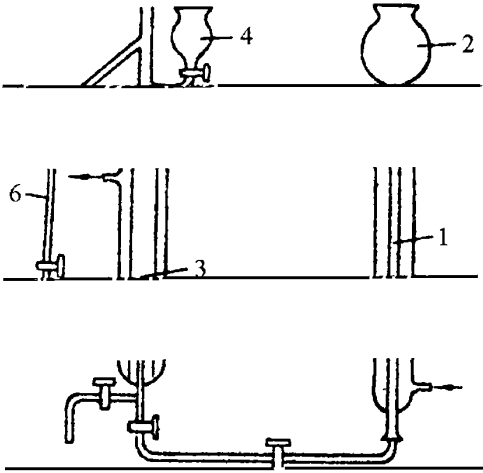


图 2 有机相中柠檬酸的浓度对反萃取速率的影响  
(1)体系Ⅰ (2)体系Ⅱ

表 1 反萃取速率与有机胺和添加剂间的关系

体系 \ 项目	No.	$\Delta t/s$	N	$V/cm^3$	A	B	C	D	E	$R \times 10^4$
Ⅰ	1	7.32	3.605	0.03712	0.3511	30166	1.323		0.05399	3.313
	2	7.29	3.466	0.03467	0.4213	3.039	1.274		0.05990	3.666
	3	7.36	3.421	0.03202	0.5267	2.849	1.195		0.06668	3.948
	4	7.29	3.463	0.03185	0.7.22	2.532	1.062		0.07120	4.231
	5	7.28	3.485	0.03290	0.8427	2.279	0.9559		0.07000	4.256
	6	7.17	3.366	0.02860	1.0534	1.899	0.7962		0.06030	3.537
Ⅱ	1	7.38	4.621	0.04532	0.3371	1.276	0.3543	2.555	0.05451	3.268
	2	7.44	4.442	0.03577	0.3830	1.243	0.3451	2.733	0.0662	3.079
	3	7.52	4.635	0.03662	0.4435	1.199	0.3330	2.402	0.5521	4.668
	4	7.59	4.734	0.03321	0.5267	1.140	0.3163	2.281	0.1205	6.285
	5	7.72	4.811	0.03186	0.6487	1.052	0.2920	2.106	0.1191	5.990
	6	7.82	4.691	0.03191	0.8427	0.912	0.2531	1.825	0.1088	6.413
	7	7.90	5.902	0.03500	1.2033	0.651	0.1808	1.304	0.1404	7.125

注: A、B、C、D、E 分别表示有机相中有机胺、醋酸丁酯、油酸、200<sup>#</sup> 溶剂油、柠檬酸的摩尔浓度,  $mol \cdot L^{-1}$ 。

由 F 检验, 上述拟合曲线合格。

由表Ⅱ数据知, 萃取剂浓度和添加剂各组分的浓度在不同的萃取体系中对反萃取速率所造成的影响不同。200<sup>#</sup> 溶剂油的存在, 就其本身浓度的大小对反萃取速率没有影响, 但它的存在可能改变萃取体系的物理性能, 使得萃取剂浓度对反萃取速率的影响加强, 以萃取剂有机胺浓度对反萃取速率影响来看, 其浓度指数比没有 200<sup>#</sup> 溶剂油的体系Ⅰ增大了一

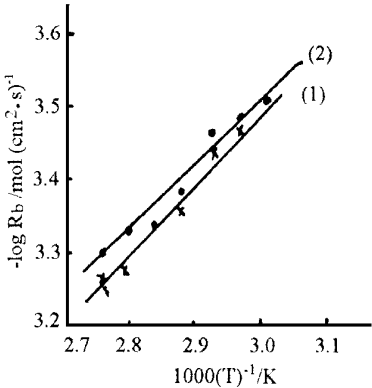
倍,这就使得在相同的有机胺浓度下,体系Ⅱ的反萃取速率比体系Ⅰ要快一倍。添加剂在不同的体系中所起的作用不同,在体系Ⅰ中,醋酸丁酯对反萃取速率起反作用,即反萃取速率与醋酸丁酯的浓度成 $-0.5$ 次方的关系,这说明了醋酸丁酯的存在不利于反萃取过程的进行。但在体系Ⅱ中,由于 $200^\#$ 溶剂油的存在,醋酸丁酯对反萃取速率又起到了促进作用,反萃取速率与醋酸丁酯浓度的 $2$ 次方成正比,同时削弱了油酸的作用,油酸浓度对反萃取速率的影响不显著。实验结果证实了萃取剂对反萃取速率的影响,受到反萃取体系中其他组分的制约,组分不同其结果差异很大,也说明了萃取剂对反萃取速率影响的复杂性<sup>[4]</sup>。

表 2 多元线性回归结果

体系 \ 指数	b	c	d	e	相关系数
Ⅰ	0.8	/	$-0.5$	1.9	0.9863
Ⅱ	1.6	0	2.0	0	0.9503

2.3 温度对反萃取速率的影响

图 3 是温度对反萃取速率的影响,当有机相中柠檬酸浓度恒定,温度控制在 $333\sim 363\text{k}$ 时,将两种体系的 $\log R_b$ 与 $1000/T$ 作图。由图可见, $\log R_b$ 与 $1/T$ 具有线性关系,其斜率分别为: $-1038.405$ (体系Ⅰ), $-1012.23$ (体系Ⅱ),由阿累尼乌斯公式计算出的表观活化能分别为: $19.879\text{KJ/mol}$ 和 $19.378\text{KJ/mol}$ 。从温度对反萃取速率的影响结果来看,反萃取过程的控制步骤可能不是扩散过程,而是萃取配合物分解的化学反应过程。



3 结果与检验

综上所述,在醋酸丁酯和油酸介质中,有机胺萃取发酵清液中柠檬酸,再用纯水反萃取,其反萃取经验速率方程可表示为:

$$R_b=k_b[H_3A]_{(0)}^{0.6}[R_3N]_{(0)}^{0.8}[\text{醋酸丁酯}]_{(0)}^{-0.5}[\text{油酸}]_{(0)}^{1.9}$$
 (6)

在上述介质中增添 $200^\#$ 溶剂油,其反萃取经验速率方程为:

$$R_b=k_b[H_3A]_{(0)}^{0.8}[R_3N]_{(0)}^{1.6}[\text{醋酸丁酯}]_{(0)}^{2.0}$$
 (7)

反萃取过程中,传质过程是有机相液滴中柠檬酸向连续纯水相传质。因实验中总是观察到柠檬酸在有机液滴中浓度的变化,所以,根据式(1),可建立起以下传质方程:

$$-\frac{d[H_3A]_{(0)}}{dt}=\frac{A}{V}[k_b[H_3A]_{(0)}-k_f[H_3A]_{(B)}^0]$$
 (8)

由于在连续水相中柠檬酸浓度 $[H_3A]_{(B)}$ 几乎等于水相初始柠檬酸浓度 $[H_3A]_{(B)}^0$ ,该实验起始水相为纯去离子水, $[H_3A]_{(B)}^0=0$ 。所以:

$$d[H_3A]_{(0)}=-\frac{K_bA[H_3A]_{(0)}}{V}dt$$
 (9)

经数学处理后,得到:

$$\ln ([\text{H}_3\text{A}]_{(0)}/[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0) = -(k_b A/V) \cdot \Delta t$$

(10)

图 4 表明在萃取剂和添加剂一定配比下,有机相中不同柠檬酸浓度时的反萃取动力学曲线,  $\ln ([\text{H}_3\text{A}]_{(0)}/[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0)$  与  $\Delta t$  呈良好的线性关系。因为用液滴法研究反萃取速率时,在其他条件完全相同的情况下,  $V/A$  为定值,由此,据实验数据可分别求出两体系的反萃取速率常数:  $k_b = 25.57 \times 10^{-4}$  (体系 I);  $k_b = 53.14 \times 10^{-4}$  (体系 II)。由反萃取速率常数可见,当萃取体系中添加 200<sup>#</sup> 溶剂油时,反萃取速率常数明显增大,这就意味着 200<sup>#</sup> 溶剂油的存在,削弱了有机相中柠檬酸与有机胺的结合力,使柠檬酸在一定温度下易于释放出来。

将计算出的两体系反萃取速率常数  $k_b = 25.57 \times 10^{-4}$  和  $k_b = 53.14 \times 10^{-4}$  分别代入式(6)和式(7)中,利用式(6)和式(7)所得计算值和实验值相比较,见图 5 和图 6,二者吻合较好,相对误差小于 10%。

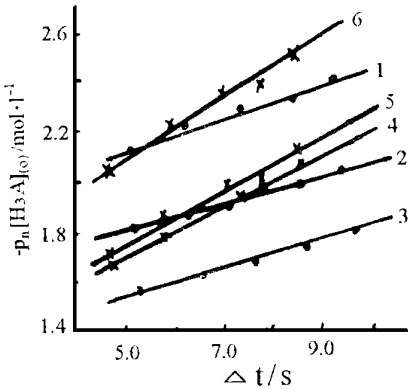


图 4 反萃取动力学曲线图  
体系 I : (1)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.142$   
(2)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.2071$   
(3)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.3229$   
体系 II : (4)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.2949$   
(5)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.2589$   
(6)  $[\text{H}_3\text{A}]_{(0)}^0 = 0.1479$

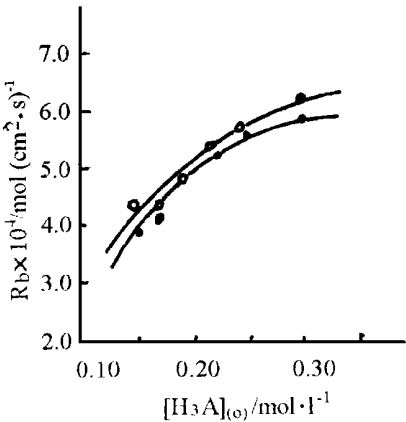


图 5 体系 I 计算值与实验值比较曲线  
“●”实验值,“○”计算值

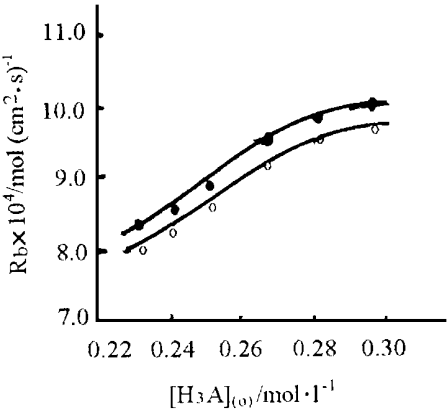


图 6 体系 II 计算值与实验值比较曲线  
“●”实验值,“○”计算值

参考文献

1 周彩荣,李惠萍,钟贤.石油化工.1997.26(3).167

2 周彩荣,钟贤.化学反应工程与工艺.1993.9(1).84

3 周彩荣,钟贤.郑州工学院学报.1991.12(4)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

4 萃取及浸取·化学工程手册:化学工业出版社·1985

Study on the Kinetics of  
Back-extraction of Citric Acid

Zhou Cairong   Ge Qingping\*   Zhong Xian   Li Huiping  
(Zhengzhou University of Technology)   \* (Henan Institute of Quality Examination)

**Abstract** The kinetics of back-extraction of citric acid ( $H_3A$ ) in alkyl amine extract with water were studied by means of single drop method. The influence of various compositions in different extraction systems on the rate of back-extraction was investigated. The results show that the rate equation of back-extraction depends on the composition of the organic system. The equation of back-extraction rate for the system I, which consists of alkyl amine ( $R_3N$ ), oleic acid and butyl acetates, is represented by  $R_b = k_b [H_3A]_{(0)}^{0.6} [R_3N]_{(0)}^{0.8} [butyl\ acetate]_{(0)}^{-0.5} [oleic\ acid]_{(0)}^{1.9}$ .

But the equation of back-extraction rate for the system II, in which  $200^\#$  paraffin is added, is represented by  $R_b = k_b [H_3A]_{(0)}^{0.8} [R_3N]_{(0)}^{1.6} [butyl\ acetate]_{(0)}^{2.0}$ .

**Keywords** alkyl amine; citric acid; kinetics; back-extraction

(上接 33 页)

Study on the Surface State of  
Amorphous  $Ni_{19}Zr_9Al_{72}$  Alloy

Wang Xike   Yang Zhansheng   Shen Ningfu   Lei Gangjun  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** The surface state of amorphous  $Ni_{19}Zr_9Al_{72}$  alloy ribbon has been studied by means of Auger electron spectroscopy (AES) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), combined with in situ. Ar ion bombardment etching On the ribbon surface, Ni existed in its pure metallic state, Al and Zr were selectively oxidized. The surface of both the free and dull side of the alloy ribbon was covered with a thin layer oxides which consisted of a large amount of  $Al_2O_3$  and a small amount of  $ZrO_2$ .

**Keywords** amorphous  $Ni_{19}Zr_9Al_{72}$  alloy; surface state

# 波动方程一阶导数 系数反问题解的整体稳定性

吕延华

(河南教育学院, 郑州, 450003)

**摘 要** 文献[1]研究了波动方程一阶导数系数反问题解的局部存在性、唯一性与局部稳定性。

本文利用波动方程解的特征线性质将文献[1]的局部稳定性结论推广至整体稳定性。

**关键词** 反问题; 特征线; 整体稳定性

**中图分类号** O175.22

## 1 问题

本文考虑文献[1]中的波动方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + q(x) \frac{\partial u}{\partial x} = 0 & -\infty < x < +\infty \quad t > 0 \\ u|_{t=0} = \phi(x), u_t|_{t=0} = \psi(x) & -\infty < x < +\infty \\ id \begin{cases} u|_{x=x_0} = f_1(t), u_x|_{x=x_0} = f_2(t) & t > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (1.1)$$

$$(1.2)$$

$$(1.3)$$

由  $\phi(x)$ 、 $\psi(x)$ 、 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$  来确定函数偶  $(u, q)$  的反问题。

由于稳定性对于算法设计的有效性有着重要的理论意义, 因而本文着重研究其整体稳定估计问题, 在文献[1]的基础上, 利用波动方程解的特性给出了整体稳定估计。

## 2 一些引理及记号

为了本文的完整性, 我们给出一些必要的结论和记号。

对于给定的  $(x_0, t_0)$ , 记

$$\Delta(x_0, t_0) = \{(x, t) | x_0 - t_0 + t \leq x \leq x_0 + t_0 - t\}$$

引理 2.1 若对  $t_0=0$ ,  $\phi(x) \in C^2[x_0-t_0, x_0+t_0]$ ,  $\psi(x) \in C^1[x_0-t_0, x_0+t_0]$ ,  $f_1(t) \in C^2[0, t_0]$ ,  $f_2(t) \in C^1[0, t_0]$ ,  $\phi(x_0)=f_1(0)$ ,  $\psi(x_0)=f_1'(0)$ ,  $\phi'(x_0)=f_2(0)$ ,  $\psi'(x_0)=f_2'(0)$ , 且  $|\psi'(x)| \geq \alpha > 0$ , 对  $x \in [x_0-t_0, x_0+t_0]$ , 某个  $\alpha > 0$  成立, 那么存在  $h$ ,  $0 < h \leq t_0$ , 使反问题在  $[x_0-h, x_0+h]$  上解存在、唯一, 且  $q(x) \in C[x_0-h, x_0+h]$ 。

引理 2.2 在引理 1 的条件下, 若反问题的解存在, 且  $q(x) \in C(x_0-t_0, x_0+t_0)$ , 则它是

收稿日期: 1996-10-09; 修改稿返回日期: 1997-06-12

第一作者 女 1963 年 10 月生 学士学位 讲师

唯一的。

上述二个引理的证明见[1]。

$$\begin{aligned} \text{若记 } V(x, t) &= \frac{\partial u}{\partial x}, q_0(x) = \frac{1}{\psi'(x)} [-f_1''(|x - x_0|) - f_2'(|x - x_0|) \\ &\cdot \text{sign}(x - x_0) + (\frac{\partial^2}{\partial t^2} \text{sign}(x - x_0) \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} u_0(x, t) |_{x=0, t=|x-x_0|})] \\ u_0(x, t) &= \frac{1}{2} [\phi(x+t) + \phi(x-t)] + \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} \psi(\xi) d\xi \\ V^*(x, t) &= \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} u_0(x, t) - \frac{1}{2} [q_0(x+t) \phi'(x+t) - q_0(x-t) \phi'(x-t)] \end{aligned}$$

则有

引理 2.3 在引理 1 的条件下,关于  $q(x)$  和  $V_t(x, t)$  成立如下封闭方程组:

$$q(x) = q_0(x) + \frac{1}{\phi'(x)} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |x - \xi|) \text{sign}(x_0 - x) d\xi \quad x \in [x_0 - t_0, x_0 + t_0] \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} V_t(x, t) &= \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} u_0(x, t) - \frac{1}{2} [q(x+t) \phi'(x+t) - q(x-t) \phi'(x-t) \\ &- \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} [q(\xi) V_t(\xi, t - |x - \xi|) \text{sign}(\xi - x) d\xi \end{aligned} \quad (2.2)$$

其中  $(x, t) \in \Delta(x_0, t_0)$

证明 利用熟知的波动方程解的 d'Alembert 公式及反问题解的补充条件(1.3)很容易得到(2.1)和(2.2)。

### 3 整体稳定性

为了推出整体稳定性,首先将(2.2)进行简化

引理 3.1 (2.2)式等价于如下方程:

$$\begin{aligned} V_t(x, t) &= V^*(x, t) + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |x + t - \xi|) \text{sign}(x + t - \xi) d\xi + \\ &\frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |x - t - \xi|) \text{sign}(\xi - x + t) d\xi \end{aligned} \quad (3.1)$$

证明 为了由(2.2)推出(3.1),将  $\Delta(x_0, t_0)$  分为四个区域来讨论,如图 1:

(1)  $x + t \leq x_0$ , 此时由于  $t > 0$ , 从而  $x \leq x_0, x - t \leq x_0$ , 将(2.1)代入(2.2)得

$$\begin{aligned} V_t(x, t) &= V^*(x, t) + \frac{1}{2} \int_{x+t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x+t)) d\xi - \\ &\frac{1}{2} \int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x-t)) d\xi + \int_{x-t}^x q(\xi) V_t(\xi, t - (t - \xi)) d\xi - \\ &\frac{1}{2} \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t - (\xi - x)) d\xi \end{aligned}$$

由于  $\int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x-t)) d\xi =$

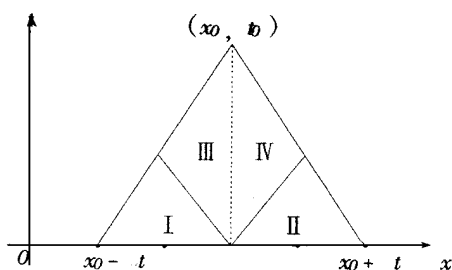


图 1 定义区域的分块区域图

$$\int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x - t)) d\xi + \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x - t)) d\xi$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } V_t(x, t) &= V^* + \frac{1}{2} \int_{x+t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x + t)) d\xi \\ &- \frac{1}{2} \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi - (x - t)) d\xi - \frac{1}{2} \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t - (\xi - x)) d\xi \\ &= V^* + \frac{1}{2} \int_{x+t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, |\xi - (x + t)|) \text{sign}(\xi - (x + t)) d\xi \\ &+ \frac{1}{2} \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, |\xi - (x + t)|) \text{sign}(\xi - (x + t)) d\xi \\ &+ \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |\xi - (x - t)|) \text{sign}(x - t - \xi) d\xi \\ &= V^* + \frac{1}{2} \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, |\xi - (x + t)|) \text{sign}(\xi - (x + t)) d\xi \\ &+ \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |\xi - (x - t)|) \text{sign}(\xi - x + t) d\xi \end{aligned}$$

将第一个积分中的符号函数变号, 再将积分限颠倒即得到(3.1) 对  $x + t \leq x_0$  成立

(2)  $x - t \geq x_0$ , 此时必有  $x \geq x_0$ ,  $x + t \geq x_0$ , 将(2.1) 代入(2.2) 得

$$V_t = V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, x - t - \xi) d\xi$$

$$- \frac{1}{2} \int_{x+t}^x q(\xi) V_t(\xi, t - (x - \xi)) \times (-1) d\xi$$

$$- \frac{1}{2} \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t - (\xi - x)) d\xi$$

$$\text{由于 } \int_{x_0}^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi$$

$$= \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi + \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi$$

$$\text{从而 } V_t = V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, x - t - \xi) d\xi$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{x-t}^x q(\xi) V_t(\xi, t - (x - \xi)) d\xi$$

$$= V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, x + t - \xi) d\xi + \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x-t} q(\xi) V_t(\xi, |x - t - \xi| \text{sign}(\xi - (x$$

$$- t)) d\xi + \frac{1}{2} \int_{x-t}^x q(\xi) V_t(\xi, |x - t - \xi| \text{sign}(\xi - (x - t))) d\xi$$

$$= V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |x + t - \xi| \text{sign}(x + t - \xi)) d\xi + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |x - t$$

$$- \xi| \text{sign}(\xi - (x - t))) d\xi$$

即当  $x - t \geq x_0$  时, (2.2) 式成立

(3)  $x - t \leq x_0, x + t \geq x_0, x \leq x_0$

由(2.1) 及(2.2) 得

$$V_t = V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, x+t-\xi) d\xi - \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi-(x-t)) d\xi - \frac{1}{2} \int_{x-t}^x q(\xi) V_t(\xi, t-(x-\xi)) \times (-1) d\xi - \frac{1}{2} \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t-(\xi-x)) d\xi$$

由于  $\int_{x-t}^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi-(x-t)) d\xi$

$$= \int_{x-t}^x q(\xi) V_t(\xi, \xi-(x-t)) d\xi + \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi-(x-t)) d\xi$$

$$+ \int_x^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t-(\xi-x)) d\xi$$

$$= \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, t-(\xi-x)) d\xi + \int_{x_0}^{x+t} q(\xi) V_t(\xi, t-(\xi-x)) d\xi$$

$$\text{所以 } V_t = V^* - \frac{1}{2} \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, \xi-(x-t)) d\xi - \frac{1}{2} \int_x^{x_0} q(\xi) V_t(\xi, t-(\xi-x)) d\xi$$

$$= V^* + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |\xi-(x-t)|) \text{sign}(\xi-x+t) d\xi + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x q(\xi) V_t(\xi, |\xi-x-t|) \text{sign}(x+t-\xi) d\xi$$

即当  $(x, t)$  属于区域 III 时(2.2) 成立。

(4)  $x - t \leq x_0, x + t \geq x_0, x \geq x_0$

同区域 III 的讨论, 只须将  $[x_0, x+t]$  上积分分解为  $[x_0, x]$  和  $[x, x+t]$  上的积分和, 将  $[x-t, x]$  上的积分分解为  $[x-t, x_0]$  和  $[x_0, x]$  上的积分和。

引理 3.1 证毕

考虑  $\varphi, \psi$  的函数集合  $M(\alpha, k, x_0, t_0), M(\alpha, k, x_0, t_0) = \{\varphi, \psi \mid \psi(x) \geq \alpha, \|\varphi\|_{C^2} \leq k, \|\psi\|_{C^1} \leq k\}$  其中  $C^l = C^l[x_0 - t_0, x_0 + t_0] (l = 1, 2)$

$q(x)$  的函数集合

$$Q(M, x_0, t_0) = \{q(x) \mid \|q\|_{C[x_0 - t_0, x_0 + t_0]} \leq M\}$$

定理 3.2 设  $q(x), \bar{q}(x)$ , 分别是反问题(1.1)——(1.3) 对应于  $\varphi, \psi, f_1, f_2$  及  $\bar{\varphi}, \bar{\psi}, \bar{f}_1, \bar{f}_2$  的解, 且  $q(x), \bar{q}(x) \in Q(M, x_0, t_0), \bar{\varphi}, \bar{\psi}, \varphi, \psi \in M(\alpha, k, x_0, t_0)$  则有估计

$$\|q - \bar{q}\| \leq C[\|\varphi - \bar{\varphi}\|_2 + \|\psi - \bar{\psi}\|_1 + \|f_1'' - [-\bar{f}_1'']\|_0 + \|f_2' - \bar{f}_2'\|_0] \text{ 其中 } C$$

为只依赖于类  $Q(M, x_0, t_0)$  及  $M(\alpha, k, x_0, t_0)$  常数

证 记  $u, \bar{u}$  分别对应于  $q, \bar{q}$  的正问题的解, 且记

$$\hat{u} = u - \bar{u}, \hat{q} = q - \bar{q}, \text{ 其余符号意义类推. 由(2.1) 得}$$

$$\hat{q}(x) = -\frac{\hat{q}(x)}{\hat{\theta}(x)} \hat{\theta}(x) + \frac{1}{\hat{\theta}(x)} [-\hat{f}_1''(|x-x_0|) - \hat{f}_2'(|x-x_0|) \text{sign}(x-x_0) + (\frac{\partial}{\partial t^2} - \text{sign}(x-x_0) \frac{\partial^2}{\partial t + \partial x}) \hat{U}_0(x, t) \big|_{x=x_0, t=|x-x_0|} + \frac{\text{sign}(x-x_0)}{\hat{\theta}(x)} \int_{x_0}^x [q(\xi) \hat{V}_t(\xi, |\xi-x$$



$$|) + \hat{q}(\xi) \bar{V}_t(\xi, | \xi - x |] d\xi \quad (3.2)$$

由(3.1) 得

$$\begin{aligned} \hat{V}_t(x, t) = & \hat{V}^*(x, t) + \frac{1}{2} \int_{x_0}^x [q(\xi) \hat{V}_t(\xi, | x + t - \xi |) + \hat{q}(\xi) \bar{V}_t(\xi, | x + t - \xi |) \\ & \cdot \text{sign}(x + t - \xi) d\xi - \frac{1}{2} \int_{x_0}^x [q(\xi) \hat{V}_t(\xi, | x - t - \xi |) + \hat{q}(\xi) \bar{V}_t(\xi, | x - t - \xi |)] \cdot \text{sign}(x \\ & - t - \xi) d\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } \hat{V}^*(x, t) = & \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \hat{U}_0(x, t) - \frac{1}{2} [-f_1''(| x + t - x_0 |) - f_2'(| x + t - x_0 |)] \text{sign} \\ & (x + t - x_0) + \left[ \frac{\partial}{\partial \tau^2} \hat{\xi} \text{sign}(x + t - x_0) \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \tau} \cdot \hat{U}_0(\xi, \tau) \Big|_{\xi=x_0, \tau=|x+t-x_0|} \right] + \frac{1}{2} \\ & \left[ -f_1'(| x - t - x_0 |) - f_2'(| x - t - x_0 |) \text{sign}(x - t - x_0) \right. \\ & \left. + \left[ \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} + \text{sign}(x - t - x_0) \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \tau} \right] \hat{U}_0(\xi, \tau) \Big|_{\xi=x_0, \tau=|x-t-x_0|} \right] \end{aligned} \quad (3.3)$$

由  $\hat{U}_0(x, t)$  的表达式, 显然有如下估计:

$$\| \hat{U}_0 \|_2 \leq C_1 [ \| \hat{\varphi} \|_2 + \| \hat{\psi} \| ] \quad (3.4)$$

由(3.3) 及(3.4) 可得:  $\hat{V}^*(x, t)$  的估计:

$$\| \hat{V}^* \|_0 \leq C_1 \| \hat{U}_0 \|_2 + C_2 \| f_1'' \|_0 + C_3 \| f_2' \|_0 \quad (3.5)$$

其中  $C_i$  只依赖于类  $Q(M, x_0, t_0)$ , 及类  $M(\alpha, k, x_0, t_0)$  以下类同

由(2.2) 知:  $\bar{V}_t(x, t)$  满足以下方程:

$$\begin{aligned} \bar{V}_t(x, t) = & \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \bar{U}_0(x, t) - \frac{1}{2} [\bar{q}(x + t) \bar{\phi}(x + t) - \bar{q}(x - t) \bar{\phi}(x - t)] - \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} \\ & \bar{q}(\xi) \bar{V}_t(\xi, t - | x - \xi |] \text{sign}(\xi - x) d\xi \end{aligned}$$

$$\text{若记 } V_0^*(x, t) = \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \bar{U}_0(x, t) - \frac{1}{2} [\bar{q}(x + t) \bar{\phi}(x + t) - \bar{q}(x - t) \bar{\phi}(x - t)]$$

$$P(x, t) = \bar{V}_t(x, t)$$

则  $P(x, t)$  满足

$$P(x, t) = V_0^*(x, t) - \frac{1}{2} \int_{x-t}^{x+t} \bar{q}(\xi) P(\xi, t - | x - \xi |) \cdot \text{sign}(\xi - x) d\xi$$

由逐次逼近法易于证明:

$$\| P(x, t) \|_0 \leq \| V_0^* \|_0 \exp(\| \bar{q} \|_0 t_0) \equiv C_4 \quad (3.6)$$

$$\text{记 } Q^*(t) = \max(| \hat{q}(x_0 + t) |, | \hat{q}(x_0 - t) |) \quad 0 \leq t \leq t_0$$

$$P^*(t) = \max_{0 \leq \tau \leq t_0 - t} [ \max(| \hat{V}_t(x_0 + t, \tau) |, | \hat{V}_t(x_0 - t, \tau) |) ]$$

由(3.2) 得

$$Q^*(t) \leq \frac{1}{\alpha} [M \| \hat{\varphi} \|_2 + \| f_1'' \|_0 + \| f_2' \|_0 + \| \hat{U}_0 \|_2] + \frac{1}{\alpha} \left[ \int_0^t MP^*(\tau) d\tau + \right.$$

$$C_4 \int_0^t Q^*(\tau) d\tau] \quad (3.7)$$

由(3.3)得

$$P^*(t) \leq \| \hat{V}^* \|_0 + [\int_0^t MP^*(\tau) d\tau + C_4 \int_0^t Q^*(\tau) d\tau] \quad (3.8)$$

记  $W(\tau) = \max(P^*(t), Q^*(t))$ , 由(3.7), (3.8) 可得:

$$P^*(t) \leq \| \hat{V}^* \|_0 + (C_4 + M) \int_0^t W(\tau) d\tau$$

$$Q^*(t) \leq \frac{1}{\alpha} [M \| \hat{\phi} \|_2 + \| f_1'' \|_0 + \| f_2' \|_0 + \| \hat{U}_0 \|_2] + \frac{1}{\alpha} [M + C_4] \int_0^t W(\tau) d\tau$$

$$\text{记 } W_0 = \max \{ \| \hat{V}^* \|_0, \frac{1}{\alpha} [M \| \hat{\phi} \|_2 + \| f_1'' \|_0 + \| f_2' \|_0 + \| \hat{U}_0 \|_2] \}$$

$$\lambda = \max \{ C_4 + M, \frac{1}{\alpha} (C_4 + M) \}$$

则  $W(t) \leq W_0 + \lambda \int_0^t W(\tau) d\tau$ , 由 Gronwall 不等式有:

$$W(t) \leq W_0 e^{\lambda t} \leq W_0 e^{\lambda_0}$$

注意到  $\lambda$ 、 $W_0$  及  $\| \hat{V}_0^* \|$  的估计, 即可得到稳定估计.

定理 3.2 证毕.

## 参考文献

- 1 吕延华. 确定波动方程一阶导数系数的反问题. 河南科学, 1994. (1)
- 2 V. G. Romanov. Inverse Problems of Mathematical physics. 1987

## Global Stability of the Inverse Problem of

$$\text{the Equation } U_{tt} - U_{xx} + q(x) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

Lu Yanhua

(Henan Teachers' College)

**Abstract** Paper [1] discussed the local existence uniqueness and local stability of the solution for the inverse problem of determining the coefficient  $q(x)$  of the equation  $U_{tt} - U_{xx} + q(x) U_x = 0$  by means of the property of characteristic line, this paper gives the global stability of the inverse problem considered in paper [1].

**Keywords** inverse problem; characteristic line; global stability

多元随机回归系数和参数  
的线性估计可容许的几个结果

艾明要

石磊

(河南财经学院信息系, 郑州, 450002)

(郑州工业大学)

**摘 要** 在两种矩阵损失函数下讨论随机效应多元线性模型中回归系数和参数的线性估计的可容许性, 并且在齐次和非齐次线性估计类中分别得到了可容许估计的充要条件。

**关键词** 多元线性模型; 随机效应; 可容许性

**中图分类号** O212.4

0 引言

设  $A, B$  均为矩阵, 记号  $A \geq 0$  表示  $A$  是对称的非负定方阵;  $A \geq B$  表示  $A - B \geq 0$ ;  $\mu(A)$  表示由  $A$  的列向量所张成的线性空间;  $A^+$  表示  $A$  的 Moore-Penrose 广义逆, 即  $A^+$  满足  $AA^+A = A, A^+AA^+ = A^+, A^+A$  和  $AA^+$  均对称;  $A^-$  表示  $A$  的“-”号广义逆, 即  $A^-$  满足:  $AA^-A = A; \vec{A}$  表示  $A$  按行拉直;  $A \otimes B$  表示  $A$  和  $B$  的 Kronecker 积; “ $\triangleq$ ”表示“定义为”。

考虑一般的随机效应多元线性模型

$$\begin{cases} Y = XB + e, \\ E\begin{pmatrix} B \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A\hat{H} \\ O \end{pmatrix}, \\ Var\begin{pmatrix} \vec{B} \\ \vec{e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (n+p) \times (n+p) \end{pmatrix} V \otimes \Sigma \end{cases} \quad (1.1)$$

其中  $Y$  为可观测矩阵,  $B$  和  $e$  为不可观测的随机矩阵,  $A_{p \times l}$  和  $V \geq 0$  为已知矩阵,  $\Sigma \geq 0$  可为已知矩阵亦可为未知的参数矩阵,  $\hat{H} \in R^{l \times m}$  是未知参数。这个模型简称为模型(1.1)。

在模型(1.1)中, 把  $V$  改为  $\sigma V, V \geq 0$  仍然已知, 但  $\sigma > 0$  也是参数, 这时我们称之为模型(1.2)。

分块  $V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{21} & V_{22} \end{pmatrix}$ , 此处  $V_{11}$  和  $V_{22}$  分别为  $p$  阶和  $n$  阶方阵。由于  $V_{11}$  不必正定, 因而  $B$  可是非随机的, 也可以是部分行向量随机而另一部分行向量非随机。

在模型(1.1)(或模型(1.2))下, 有

$$Var(\vec{Y}) = (XV_{11}X' + V_{21}X' + XV_{12} + V_{22}) \otimes \Sigma \triangleq \Lambda \otimes \Sigma (\sigma \Lambda \otimes \Sigma) \text{ (下同)}.$$

设  $S$  和  $Q$  分别是已知的  $q \times l$  和  $q \times p$  阶矩阵, 称  $S\hat{H} + QB$  是线性可估的, 如果存

在  $q \times n$  阶常数矩阵  $L$ , 使得  $E(LY - S\hat{H} - QB) = 0$ 。由此易知,  $S\hat{H} + QB$  线性可估的充要条件是  $\mu(A'Q' + S') \subset \mu(A'X')$ 。

在估计  $S\hat{H} + QB$  时, 采用下述两种损失函数:

$$(d(Y) - S\hat{H} - QB)(d(Y) - S\hat{H} - QB)' \tag{1.3}$$

和  $\text{为矩} \left[ \frac{(d(Y) - S\hat{H} - QB)}{d(Y) - S\hat{H} - QB} \right] \left[ \frac{(d(Y) - S\hat{H} - QB)}{d(Y) - S\hat{H} - QB} \right]' \tag{1.4}$

在模型(1.1)(或模型(1.2))及损失函数(1.3)下, 称  $S\hat{H} + QB$  的估计  $d_1(Y)$  优于  $d_2(Y)$ , 如果

$$E[(d_2(Y) - S\hat{H} - QB)(d_2(Y) - S\hat{H} - QB)'] - E[(d_1(Y) - S\hat{H} - QB)(d_1(Y) - S\hat{H} - QB)'] \geq 0$$

对一切  $\hat{H}$  (和  $\sigma > 0$ ), 且至少存在一个  $\hat{H}_0 \in R^{l \times m}$  (和  $\sigma_0 > 0$ ) 使得上式左边不为零矩阵。估计  $d_0(Y)$  称为在  $S\hat{H} + QB$  的估计类  $D$  中是可容许的, 如果  $d_0(Y) \in D$ , 且在  $D$  中不存在优于  $d_0(Y)$  的估计。此时记为  $d_0(Y) \underset{1}{\overset{D}{\sim}} S\hat{H} + QB$ 。

完全类似地, 我们可以定义, 在模型(1.1)(或模型(1.2))及损失函数(1.4)下,  $d_0(Y)$  是  $S\hat{H} + QB$  在估计类  $D$  中的可容许估计。简记为  $d_0(Y) \underset{2}{\overset{D}{\sim}} S\hat{H} + QB$ 。

本文总假定  $V \neq 0, \Sigma \neq 0$ , 否则模型就变为非随机的。并且只考虑两个估计类, 即齐次线性估计类  $H = \{LY; L \text{ 为 } q \times n \text{ 阶矩阵}\}$  和线性估计类  $\{LY + a; L \text{ 和 } a \text{ 分别是 } q \times n \text{ 和 } q \times m \text{ 阶矩阵}\}$ 。

当  $m=1$  时, 吴启光在文献[1]中给出了  $S\hat{H} + QB$  的估计  $LY$  在  $H$  中 ( $LY + a$  在  $L$  中) 可容许的充要条件。本文证明了, 当  $m \geq 2$  时, 上述两种形式不同的损失函数下,  $S\hat{H} + QB$  的估计  $LY (LY + a)$  在  $H (L)$  中可容许的充要条件与  $m=1$  时完全相同。

1 引理

考虑非随机的多元线性模型

$$\begin{cases} Y = XA\hat{H} + e \\ E(e) = 0, Var(\vec{e}) = \Lambda \otimes \Sigma \end{cases} \tag{2.1}$$

其中各符号的定义同模型(1.1)中一致。

同样, 若将  $\Lambda$  换成  $\sigma\Lambda$  后,  $\sigma > 0$  为参数。此时我们称之为模型(2.2)。

引理 1.1 在模型(2.1)(或模型(2.2))和损失函数  $(d(Y) - S\hat{H})(d(Y) - S\hat{H})'$  下, 若  $S\hat{H}$  线性可估, 则  $LY$  在  $H$  中是  $S\hat{H}$  的可容许估计的充要条件是:

- (1)  $L\Lambda = LXA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\Lambda$ ; (等价地,  $\mu(\Lambda L') \subset \mu(XA)$ )
- (2)  $LXA = S$  或者  $LXA \neq S$  时, 对任意  $b \in (0, 1)$  有

$$g(b, L) \triangleq LXATA'X'L' - STS' + b(LXA - S)T(LXA - S)' \geq 0 \tag{2.3}$$

不成立。此处  $G \triangleq \Lambda + XAA'X', T \triangleq (A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\Lambda G^+XA(A'X'G^+XA)^-$ 。(下同)

此引理由文献[2]中定理 3.1 的证明过程可得。

引理 1.2 在模型(2.1)(或模型(2.2))和损失函数  $(d(Y) - S\hat{H})(d(Y) - S\hat{H})'$  下, 若  $S\hat{H}$  线性可估, 则  $LY + a$  在  $L$  中是  $S\hat{H}$  的可容许估计的充要条件是:

(1)  $L$  满足引理 1.1 中的条件(1);

(2) 当  $LXA = S$  时,  $\alpha = 0$ ; 当  $LXA \neq S$  时, 对任  $b \in (0, 1)$  有  $g(b, L) \geq 0$  不成立。此处  $g(b, L)$  见(2.3)式。

引理 1.3 在模型(2.1)(或模型(2.2))下, 若  $S\hat{H}$  不是线性可估的, 则在损失函数  $(d(Y) - S\hat{H})(d(Y) - S\hat{H})'$  下,  $LY + \alpha$  在  $L$  中是  $S\hat{H}$  的可容许估计的充要条件是:

$$L \wedge = LXA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\wedge$$

引理 1.2 和引理 1.3 的证明可仿文献[3]中定理 1 和定理 2 得到。

## 2 损失函数(1.3)下的可容许性

本节在模型(1.1)(或模型(1.2))和损失函数(1.3)下, 讨论  $S\hat{H} + QB$  的估计  $LY (LY + \alpha)$  在估计类  $H(\cdot)$  中的可容许性。

定理 2.1 在模型(1.1)或模型(1.2)下, 若  $S\hat{H} + QB$  线性可估, 则下述三个条件等价:

$$1^\circ LY \overset{HL}{\circ} + QB;$$

2 $^\circ$   $L$  满足:

$$(1) L \wedge = LXA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\wedge + Q(V_{11}X' + V_{12})[I - \wedge^+XA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\wedge], (\text{等价地}, \mu(\wedge L' - (V_{21} + XV_{11})Q') \subset \mu(XA))$$

$$(2) LXA = S + QA \text{ 或 } LXA \neq S + QA \text{ 时, 对任 } b \in (0, 1), \text{ 有 } b(LXA - S - QA)T(LXA - S - QA)' + LXATA'X'L' - (S + QA)T(S + QA)' - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+XAT(LXA - S - QA)' - (LXA - S - QA)TA'X'\wedge^+(V_{21} + XV_{11})Q' \geq 0 \text{ 不成立。}$$

3 $^\circ$   $L$  满足:

$$(1) L \wedge = LXA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+\wedge + Q(V_{11}X' + V_{12})[G^+ - G^+XA(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+]\wedge;$$

$$(2) LXA = S + QA \text{ 或 } LXA \neq S + QA \text{ 时, 对任 } b \in (0, 1), \text{ 有 } f(b, L) \stackrel{\Delta}{=} b(LXA - S - QA)T(LXA - S - QA)' + LXATA'X'L' - (S + QA)T(S + QA)' - (LXA - S - QA)(A'X'G^+XA)^-A'X'G^+(XV_{11} + V_{21})Q' - Q(V_{11}X' + V_{12})G^+XA(A'X'G^+XA)^-(LXA - S - QA)' \geq 0 \quad (3.1) \text{ 不成立。}$$

证: 仅对模型(1.1)证之, 对模型(1.2)的证明类似。

$$\begin{aligned} & E(LY - S\hat{H} - QB)(LY - S\hat{H} - QB)' \\ &= (\text{tr}\Sigma)[L\wedge L' + QV_{11}Q' - L(V_{11} + V_{21})Q' - Q(V_{11}X' + V_{12})L'] + (LXA - S - QA)\hat{H}\hat{H}'(LXA - S - QA)' \\ &= (\text{tr}\Sigma)[L - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+]\wedge[L - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+]' + (LXA - S - QA)\hat{H}\hat{H}'(LXA - S - QA)' + [QV_{11}Q' - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+(V_{21} + XV_{11})Q'](\text{tr}\Sigma) \\ &= E\{[L - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+]Y - [S + QA - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+XA]\hat{H}\}\{[L - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+]Y - [S + QA - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+XA]\hat{H}\}' + (\text{tr}\Sigma)[QV_{11}Q' - Q(V_{11}X' + V_{12})\wedge^+(V_{21} + XV_{11})Q'] \end{aligned} \quad (3.2)$$

因此, 在原问题下,  $LY \overset{HL}{\circ} S\hat{H} + QB$  的充要条件是, 在模型(2.1)(或模型 2.2)和损失

函数

$$\{(d(Y)-[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]\hat{\Theta})\}\{(d(Y)-[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]\hat{\Theta})\}'$$
 (3.3)

下,  $[L-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+]Y$  是  $[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]$  的可容许估计。由引理 2.1 知后者等价于本定理的条件 2°。2°等价 3°的证明可参见文献[3]中定理 4.1。

定理 3.2 在模型(1.1)或模型(1.2)下, 若  $S\hat{\Theta}+QB$  线性可估, 则  $LY+a \overset{HL}{S^1} S\hat{\Theta}+QB$  的充要条件是:

- (1)L 满足定理 3.1 中的 3(1);
- (2)当  $LXA=S+QA$  时,  $a=0$ ; 当  $LXA\neq S+QA$  时, 对任  $b\in(0,1)$ , 有  $f(b,L)\geq 0$  不成立, 此处  $f(b,L)$  见(3.1)式。

证: 仅对模型(1.1)证之, 对模型(1.2)的证明类似。

$$\begin{aligned} &E(LY+a-S\hat{\Theta}-QB)(LY+a-S\hat{\Theta}-QB)' \\ &=E\{[L-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+]Y+a-[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]\hat{\Theta}\}\{[L-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+]Y+a-[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]\hat{\Theta}\}' \\ &\quad +(\text{tr}Z)[QV_{11}Q'-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+(V_{21}+XV_{11})Q'] \end{aligned}$$

用定理 3.1 的证明方法, 并应用引理 2.2, 可得定理 3.2 成立。

定理 3.3 在模型(1.1)或模型(1.2)下, 若  $S\hat{\Theta}+QB$  不是线性可估的, 则  $LY+a \overset{HL}{S^1} S\hat{\Theta}+QB$  的充要条件是: L 满足定理 3.1 中 3°(1)。

证: 因为在模型(1.1)(或模型(1.2))下,  $S\hat{\Theta}+QB$  线性可估的充要条件是在模型(2.1)(或模型(2.2))下,  $[S+QA-Q(V_{11}X'+V_{12})\wedge^+XA]\hat{\Theta}$  线性可估, 用定理 3.2 的证明方法, 并应用引理 2.3 知本定理成立。

3 损失函数(1.4)下的可容许性

本节在模型(1.1)(或模型(1.2))和损失函数(1.4)下, 讨论  $S\hat{\Theta}+QB$  的估计  $LY(LY+a)$  在估计类  $HL(L)$  中的可容许性, 并且得到了与 2 中完全相同的充要条件。

定理 4.1 在模型(1.1)或模型(1.2)下, 若  $S\hat{\Theta}+QB$  线性可估, 则下述两命题等价:

- (1) $LY \overset{HL}{S^1} S\hat{\Theta}+QB$ ;
- (2) $LY \overset{S^1}{HL} S\hat{\Theta}+QB$ 。

证: 仅对模型(1.1)证之。

对模型(1.1)按行拉直后得到一元线性模型

$$\begin{cases} \vec{Y}=(X\otimes I)\vec{B}+\vec{e} \\ E\begin{bmatrix} \vec{B} \\ \vec{e} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} (A\otimes I)\vec{\Theta} \\ 0 \end{bmatrix} & \text{对模} & \text{—S} \\ \text{Var}\begin{bmatrix} \vec{B} \\ \vec{e} \end{bmatrix}=\text{V}\otimes\Sigma & \text{V} & \text{—Q} \end{cases} \tag{4.1}$$

损失函数

$$\frac{1}{2} \frac{(\mathbf{LY} - \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} - \mathbf{QB})(\mathbf{LY} - \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} - \mathbf{QB})'}{1}$$

$$= [(\mathbf{L} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{Y}} - (\mathbf{S} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{H}} - (\mathbf{Q} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{B}}][(\mathbf{L} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{Y}} - (\mathbf{S} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{H}} - (\mathbf{Q} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{B}}]' \quad (4.2)$$

因此,原问题下,  $\mathbf{LY} \overset{\text{HL}}{\underset{1}{\rightsquigarrow}} \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB}$  的充要条件是在模型(4.1)和损失函数(4.2)下,  $(\mathbf{L} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{Y}}$  是  $(\mathbf{S} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{H}} + (\mathbf{Q} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{B}}$  在估计类  $\overline{\text{HL}} = \{(\mathbf{L} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{Y}}; \mathbf{L} \text{ 是 } q \times n \text{ 阶矩阵}\}$  中的可容许估计。又模型(1.1)下  $\mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB}$  线性可估等价于模型(4.1)下  $(\mathbf{S} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{H}} + (\mathbf{Q} \otimes \mathbf{I})\vec{\mathbf{B}}$  线性可估。再利用 kronecker 积的有关性质可知本定理成立。

利用上述类似的证明方法,可得到相应于 2 中定理 3.2 和定理 3.3 的下述两个定理。  
定理 4.2 在模型(1.1)或模型(1.2)下,若  $\mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB}$  线性可估,则下述两命题等价:

- (1)  $\mathbf{LY} + \mathbf{a} \overset{\mathbf{L}}{\underset{1}{\rightsquigarrow}} \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB};$
- (2)  $\mathbf{LY} + \mathbf{a} \overset{\mathbf{L}}{\underset{2}{\rightsquigarrow}} \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB}.$

定理 4.3 在模型(1.1)或模型(1.2)下,若  $\mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB}$  不是线性可估,则下述三条件等价:

- (1)  $\mathbf{LY} + \mathbf{a} \overset{\mathbf{L}}{\underset{1}{\rightsquigarrow}} \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB};$
- (2)  $\mathbf{LY} + \mathbf{a} \overset{\mathbf{L}}{\underset{2}{\rightsquigarrow}} \mathbf{S}\hat{\mathbf{H}} + \mathbf{QB};$
- (3)  $\mathbf{L}$  满足定理 3.1 中 3°(1)。

参考文献

1 吴启光. 随机回归系数和参数的线性估计的可容许性的几个结果. 应用数学学报. 1988. 11(1); 95—106

2 吴启光. 一般的 Gauss—Markoff 模型中回归系数的线性估计的可容许性. 应用数学学报. 1986. 9(2); 251—256

3 吴启光. 矩阵损失下回归系数的非齐次线性估计的可容许性. 应用数学学报. 1987. 10(4); 428—433

4 倪国熙. 常用的矩阵理论和方法. 上海科学技术出版社. 1984

Several Results of Admissibility for Linear

Estimates on Multivariate Random Regression

Coefficients and Parameters

Ai Mingyao

( Henan Institute of Finance and Economics)

Shi Lei

( Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** We consider the admissibility for linear estimates on regression coefficients and param eters in multivariate random effect linear model under two kinds of matrix loss functions. The necessary and sufficient conditions for admissible estimates among the classes of homoge-  
neous and nonhomogeneous linear estimates are gained respectively .

**Keywords** multivariate linearmodel; random effect; admissibility

# 节水型洗衣机设计的数学模型

贾军国 王书彬 钟燕辉 兰海洋 蒋雪根

( 郑州工业大学数力系)

**摘 要** 以节水为出发点,根据洗衣机的工作原理,经对有关指标进行分析、假设和量化,建立了两个动态规划数学模型。鉴于衣物的尘污程度和洗涤的干净程度本属模糊概念,为便于评价、识别,模型 I、II 中分别引入了两个阈值  $\alpha_0$ 、 $\beta_0$ ,从而实现对衣物在洗涤中的尘污比及尘污量进行控制。厂家可由不同要求确定阈值大小,即可由模型得相应的最佳节水洗衣程序。

**关键词** 节水型洗衣机;数学模型;动态规划;阈值

**中图分类号** O 29

## 1 问题的提出与分析

我国淡水资源有限,节约用水人人有责。洗衣服在家庭用水中占有相当大的份额,因此节约洗衣机用水十分重要。假设在放入衣物和洗涤剂后洗衣机的运行过程为:加水—漂洗—脱水;加水—漂洗—脱水;…;加水—漂洗—脱水(称“加水—漂洗—脱水”为运行一轮)。我们需要解决的问题就是在满足一定洗涤效果的条件下,确定一次洗涤衣物所需运行的轮数和每轮加水量,使总的用水量最少从而达到节水的目的。

目前,洗衣机的类型较多,但它们的工作原理基本相同:一方面靠各种机械力(包括水的上下翻滚、涡旋与器壁相撞产生的力)的作用去污;另一方面这种机械力又加强了洗涤剂对尘污的湿润、乳化、分散、增溶和脱离等基本去污功效。整个洗涤过程,我们可认为洗涤剂能和衣物上的全部尘污充分发生反应,使之乳化为可溶于水的微粒,并且在各轮清洗中,该微粒在各种机械力的作用下均匀扩散到水中。

对于衣物的洗涤效果,我们可以分别从洗涤后衣物上尘污的相对含量和绝对含量两方面进行考虑。

## 2 问题的假设

根据问题的背景和考虑问题简便起见,我们作如下几点假设:

(1) 洗涤剂一次性加入,即洗衣机的整个洗衣过程为一轮洗涤(加洗涤剂),多轮清洗(不加洗涤剂);

\* 本文系 1996 年全国大学生数学建模竞赛全国一等奖论文整理缩写而成

收稿日期:1997—05—27;修改稿返回日期:1997—09—03

第一作者 男 1962 年生 硕士学位 副教授



- ( 2 ) 洗涤剂的加入量适当,即洗涤剂能与衣物上的全部尘污发生反应,生成溶于水的乳  
化微团,但不过量,不转变成尘污;
- ( 3 ) 每一轮漂洗中,残留于衣物中的尘污成分都能均匀扩散到水中;
- ( 4 ) 衣物中所含尘污的体积和重量相对于水来说可忽略;
- ( 5 ) 每一轮漂洗后水溶液密度近似取为 1 千克/升。

3 模型的建立与求解

对于衣物的洗涤效果,我们可从衣物洗涤后所含尘污的相对含量进行评价。先给出如  
下定义:

尘污比:第*n* 轮漂洗脱水后衣物上所含尘污量 *m<sub>n</sub>* 与未洗涤前衣物上所含尘污量 *m<sub>0</sub>* 之  
比,记为 α。

即 
$$\alpha = \frac{m_n}{m_0}$$

衣物的尘污程度和洗涤的干净程度本是模糊的概念,为便于评价,我们引入尘污比阈值  
*q<sub>0</sub>*,并认为当 α ≤ *q<sub>0</sub>* 时,使达到了洗涤效果。

这里先解释一下洗衣机的一个性能参数:

脱水率 洗涤前干衣物重量与脱水后衣物重量之比值,即

$$r = \frac{W_d}{W_w}$$

式中 *r* ——洗衣机的脱水率,为常数;

*W<sub>d</sub>* ——洗涤前干衣物的重量;

*W<sub>w</sub>* ——脱水后衣物的重量。

脱水后衣物所含尘污水溶液的体积为

$$V_c = \frac{W_w - W_d}{\rho} = \frac{W_d - W_d}{\rho} = W_d(\frac{1}{r} - 1)$$

式中 *V<sub>c</sub>* ——脱水后衣物所含水溶液的体积;

*ρ* ——水溶液的容重,取 *ρ*=1kg/L。

根据假设 3 可知第*i* 轮漂洗过程中,水溶液所含的尘污量应等于(*i* - 1) 轮漂洗脱水后衣  
物中所含尘污量,于是

$$m_i = \frac{m_{i-1} \cdot V_c}{V_i + V_c}$$

递推可得 
$$m_n = \frac{m_{n-1} \cdot V_c}{V_n + V_c} = \frac{m_{n-2} \cdot V_c^2}{(V_n + V_c)(V_{n-1} + V_c)}$$
$$= \dots = \frac{m_0 \cdot V_c^n}{(V_n + V_c)(V_{n-1} + V_c) \dots (V_2 + V_c) \cdot V_1}$$

式中 *m<sub>i</sub>* ——第*i* 轮漂洗脱水后衣物中所含尘污量 (2 ≤ *i* ≤ *n*) ;

*m<sub>0</sub>* ——未洗涤前衣物所含尘污量

所以有 
$$\alpha = \frac{m_n}{m_0} = \frac{V_c^n}{V_1 \cdot (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)}$$

要达到洗涤效果,则尘污比

$$\alpha = \frac{V_c^n}{V_1 \cdot (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} \leq \alpha_0$$

洗衣机的用水量跟机器性能有关,有两个限制:

(1) 保证洗及机能正常运转的最小水量  $V_{\min}$  ;

(2) 受洗衣缸容量限制的最大水量  $V_{\max}$  ;

其中保证洗衣机正常运转的最小水量  $V_{\min}$  与需洗涤衣物的重有关,可以满足关系

$$V_{\min} = a + b \cdot W_d$$

根据以上分析,我们首先建立模型 I 如下:

目标函数 
$$min f = \sum_{i=1}^n V_i$$

约束条件 
$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max}, \quad V_{\min} + V_c \leq V_1 \leq V_{\max} + V_c$$

$$V_c = W_d \frac{1}{r} - 1$$
$$V_{\min} = a + b \cdot W_d$$
$$\frac{V_c^n}{V_1 \cdot (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} \leq \alpha_0$$

f : 总的用水量;

$V_i$  : 各轮加水量 ( $1 \leq i \leq n$ ) 。

该模型的求解需要确定洗涤轮数  $n$  和各轮加水量  $V_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) ,使总用水量  $f$  最少。我们利用求极值的思想,在固定  $n$  的情况下,求出局部最优解,再以  $n$  为变量,求出全局最优解。

对于一定的  $n$  ,根据

定理 对于  $V, x_1, x_2, \cdots, x_m \geq 0$  ,有

$$x_1, x_2, \cdots, x_m \geq m \sqrt{x_1, x_2, \cdots, x_m}$$

当且仅当  $x_1 = x_2 = \cdots = x_m$  时,取等号。

对目标函数进行变换

$$f = \sum_{i=1}^n V_i = V_1 + (V_2 + V_c) + \cdots + (V_n + V_c) - (n - 1) V_c$$

有 
$$f \geq n \sqrt{V_1 + (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} - (n - 1) V_c$$

又由约束条件

$$\frac{V_c^n}{V_1 (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} \leq \alpha_0$$

可得 
$$V_1 + (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c) \geq \frac{V_c^n}{\alpha_0}$$

所以 
$$f \geq n \sqrt{V_1 + (V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} - (n - 1) V_c$$

$$\geq n \sqrt[n]{\frac{V_c^n}{\alpha_0}} - (n - 1) V_c = n \left( \frac{1}{\sqrt[n]{\alpha_0}} - 1 \right) V_c + V_c$$

当  $V_1=V_2+V_c=\dots=V_n+V_c=\frac{V_c}{\sqrt[n]{\alpha_0}}$  时取等号,此时

$$minf=n(\frac{1}{\sqrt[n]{\alpha_0}}-1)V_c+V_c\tag{*}$$

当视  $n$  为变量时,(\*) 式对  $n$  求导

$$\begin{aligned}\frac{df}{dn}&=V_c(\frac{1}{\sqrt[n]{\alpha_0}}-1)+V_c\frac{Ln\alpha_0}{n\sqrt[n]{\alpha_0}}\\\frac{d^2f}{dn^2}&=\frac{V_c}{n^3}\frac{Ln\alpha_0}{\sqrt[n]{\alpha_0}}\\\because 0<\alpha_0<1,n>0\\\therefore \frac{d^2f}{dn^2}&>0\\\text{又 } \lim_{n\rightarrow\infty}\frac{df}{dn}&=0\\\therefore \frac{df}{dn}&<0\end{aligned}$$

可知  $f$  在  $n\in(0,+\infty)$  上单调递减。这说明在没有边界条件限制下,漂洗轮数越多,总用水量  $f$  越小。

考虑极限情况:

$$\text{当 } n\rightarrow\infty \text{ 时 } \sqrt[n]{\alpha_0}\rightarrow 1\quad (0<\alpha_0<1)$$

由罗必塔法则可求得

$$\lim_{n\rightarrow\infty}f=(1-Ln\alpha_0)V_c$$

此时  $V_1\rightarrow V_c,V_2=V_3=\dots=V_n\rightarrow 0$

事实上,用户要使用水量最小,则要求每一滴水都充分利用,即使脱去的水溶液含污量尽量大,极限情况正说明了这一点。

当有边界约束时

由 
$$V_2=V_3=\dots=V_n=\frac{V_c}{\sqrt[n]{\alpha_0}}-V_c\geqslant V_{min}$$

得 
$$n\leqslant \frac{\ln\frac{V_c}{V_c+V_{min}}}{\ln\alpha_0}$$

令 
$$n_0=\left\lfloor \frac{\ln\frac{V_c}{V_c+V_{min}}}{\ln\alpha_0}\right\rfloor$$

符号“ $[Z]$ ”表示取不大于  $Z$  的最大整数。

当  $n=n_0$  且无边界约束时最小用水量为

$$f^{[n_0]}=n(\frac{1}{\sqrt[n_0]{\alpha_0}}-1)V_c+V_c$$

当  $n=n_0+1$  时,必然有各轮加水量为  $V_{min}$ ,使总用水量最小,为

$$f^{[n_0+1]}=(n_0+1)V_{min}+V_c$$

模型的解与下面两个条件有关

- ( 1)  $V_i^{[n_0]} = \frac{V_c}{\sqrt[n_0]{\alpha_0}} \leq V_{max} \quad (2 \leq i \leq n)$
- ( 2)  $f^{[n_0]} \leq f^{[n_0+1]}$
- $V_i^{[n_0]} f^{[n_0]}$ :洗 $n_0$  轮无边界约束时第  $i$  轮加水量和总的用水量  $(2 \leq i \leq n)$  ;
- $V_i^{[n_0+1]} f^{[n_0+1]}$ :洗 $(n_0+1)$  轮第  $i$  轮加水量和总的用水量  $(2 \leq i \leq n)$  。
- 当条件 ( 1) 、( 2) 同时满足时,模型的解为:

$$n = n_0$$
$$V_1 = \frac{V_c}{\sqrt[n_0]{\alpha_0}}$$
$$V_2 = \dots = V_n = \frac{V_c}{\sqrt[n_0]{\alpha_0}} - V_c$$

可 知
$$f = n_0 \left[ \frac{1}{\sqrt[n_0]{\alpha_0}} - 1 \right] V_c + V_c$$

当条件 ( 1) ( 2) 不能同时满足时,模型的解为:

$$n = n_0 + 1$$
$$V_1 = V_{min} + V_c$$
$$V_2 = \dots = V_n = V_{min}$$
$$f = (n_0 + 1) V_{min} V_c^+$$

模型 I 的结果与实际情况有很多相同之处,但其对洗涤效果采用衣物的尘污比进行评价,有一些不妥之处。因为采用尘污比阈值进行控制,会使原来很脏的依物洗涤后不能达到用户要求的干净程序;而对较干净的衣物用相同的尘污比阈值进行控制,又没有必要。因此我们考虑采用衣物上尘污的绝对含量评价洗涤效果。

设衣物的总表面积为 $S$ ,衣物上的尘污量显然应与其表面积 $S$  成正比,也与衣物的重量 $W_d$  成正比,可设

$$m_0 = K W_d S$$

第 $n$  轮洗涤后,衣物上尘污可认为均匀分布于表面,与面积 $S$  成正比

$$m_n = \beta S$$

- 式中  $k$  ——尘污系数
- $\beta$ ——衣物的单位面积尘污量

则

$$\frac{m_n}{M_0} = \frac{\beta}{k W_d S} = \frac{\beta}{K W_d}$$
$$\beta = K W_d \frac{m_n}{m_0} = \frac{k W_d V_c^n}{V_1 (v_2 + V_c) \dots (V_n + V_c)}$$

引入衣物单位面积尘污量阈值 $\beta_0$ ,并认为当 $\beta \leq \beta_0$  时,达到洗涤效果。  
建立模型 II 如下:

目标函数  $min f = \sum_{i=1}^n V_i$

结束条件 $V_{min} \leq V_i \leq V_{max}$  ,  $V_{min} \leq V_c \leq V_1 \leq V_{max} + V_c$  (  $1 \leq i \leq n$ )

$$V_c = W_d(\frac{1}{r} - 1)$$
$$V_{min} = a + b \cdot W_d$$
$$\frac{k \cdot W_d \cdot V_c^n}{V_1(V_2 + V_c) \cdots (V_n + V_c)} \leq \beta_0$$

模型Ⅱ的求解方法与结果类同于模型Ⅰ,略。

4 模型结果的数据比较与应用

每次洗涤的衣物量,由资料统计可得如下四个期望值:

- Wd<sub>1</sub>=1kg  单身家庭一次所洗衣量
- Wd<sub>2</sub>=1.5kg  三口之家一次所洗衣量
- Wd<sub>3</sub>=2kg  五口之家一次所洗衣量
- Wd<sub>4</sub>=3kg  洗较重的衣物如毛毯等

衣物的尘污系数

K<sub>1</sub>=0.05  较脏衣物  K<sub>2</sub>=0.02  一般衣物  K<sub>3</sub>=0.01  较净衣物

衣物单位面积尘污量阈值  $\beta_0=0.0001$

洗衣机最大用水量取为  $V_{max}=50$  升

洗衣机脱水率  $r=50\%$

由数据统计,借助 Mathematica 软件包拟合得洗衣机最小用水量  $V_{min}=17.9515+6.7633W_d$  升,模型Ⅰ的求解结果见表 1

表 1  模型Ⅰ的求解结果(取整)

尘污比阈值	洗涤量			
	1kg	1.5kg	2kg	3kg
$\alpha_0=0.01$	$n=2$ $f=49L$ $v_1=25L$	$n=2$ $f=56L$ $v_1=28L$	$n=2$ $f=63L$ $v_1=31L$	$n=2$ $f=76L$ $v_1=38L$
	$n=2$ $f=49L$ $v_1=25L$	$n=2$ $f=56L$ $v_1=28L$	$n=2$ $f=63L$ $v_1=31L$	$n=2$ $f=82L$ $v_1=42L$
	$n=3$ $f=74L$ $v_1=25L$	$n=3$ $f=84L$ $v_1=28L$	$n=3$ $f=94L$ $v_1=31L$	$n=2$ $f=115L$ $v_1=38L$

用户根据自己所洗衣物的重量和尘污程度选择相应的洗衣操作程序。

模型Ⅱ求解的洗衣机运行程序结果见表 2。

表 2 模型Ⅱ 求解结果(取整)

尘污系数	洗涤量			
	1kg	1.5kg	2kg	3kg
k=0.01 (较干净)	n=2	n=2	n=2	n=2
	f=49L	f=56L	f=63L	f=76L
	v <sub>1</sub> =25L	v <sub>1</sub> =28L	v <sub>1</sub> =31L	v <sub>1</sub> =38L
k=0.02 (一般)	n=2	n=2	n=2	n=2
	f=49L	f=56L	f=63L	f=82L
	v <sub>1</sub> =25L	v <sub>1</sub> =28L	v <sub>1</sub> =31L	v <sub>1</sub> =42L
k=0.005 (较脏)	n=2	n=2	n=2	n=3
	f=49L	f=56L	f=71L	f=115L
	v <sub>1</sub> =25L	v <sub>1</sub> =28L	v <sub>1</sub> =37L	v <sub>1</sub> =38L

从表中数据来看,随衣物的尘污程度和洗衣量的增加,用水量呈增大趋势,这与实际相符。

以下为两种不同型号洗衣机的洗衣程序:

表 3 三洋牌全自动洗衣机洗衣程序

洗 涤 量	每轮用水量	轮 数	总用水量
5kg	52L	3	156L
3kg	41L	3	123L
1.8kg	30L	3	90L
0.5kg	22L	3	66L

表 4 小天鹅牌全自动洗衣机洗衣程序

洗 涤 量	每轮用水量	轮 数	总用水量
3kg	35L	3	105L
2kg	32L	3	96L
1.5kg	28L	3	84L
1kg	24L	3	72L

模型的求解结果与目前常用洗衣机相比,总的用水量少,表明了模型的优越性。  
厂家可在洗衣机的操作板上,按衣物的重量 W<sub>d</sub> 和尘污程序(k) 设置按钮如下表。

表 5  按衣物重量和尘污程序设置按钮

	少  量	适  量	大  量
一    般	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>
较    脏	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>

$C_{ij}$ :对应于衣物的尘污程度和重量组合( $K_i, W_j$ ) 由模型Ⅱ 所得运行程序的开关按钮  
用户根据具体情况,按一下相应的按钮,洗衣机就按相关程序运行。  
对于手工洗涤衣物,模型也具指导意义,那就是每轮用水尽量少,每轮把衣物中的水尽量拧干,多漂洗几轮,可使达到相同干净程度的洗涤总用水量减少。

参考文献

1  盛福·身边的科学:轻工业出版社·1987 年第一版  
2  中国青年出版社·青年家用机械电器手册:中国青年出版社·1985 年第一版  
3  机械工程手册·电机工程手册编辑委员会·电机工程手册:机械工业出版社·1982 年第一版  
4  福建科学技术出版社·家用机械电器手册:福建科学技术出版社·1982 年第一版  
5  自主,东放,邵军,无一·新编家用电器 800 问:兵器工业出版社·1991 年第一版

Mathematic Models Designed in Water-saving Washers

Jia Junguo      Wang Shubin      Zhong Yanhui      Lan Haiyang      Jiang Xuegen  
( Zhengzhou University of Techuology )

**Abstract** From the viewpoint of saving water ,two dynamic programming mathematic models are developed after analysizing ,assuming and quantifying some related indexes ,based on the working principle of washers .Because the dirt degree of clothes and neat degree for washing are fuzzy conceptions ,threshold value  $x_0$ is introduced in model I and threshold value  $\beta_0$  in model II to simplify the evaluating and identifying process ,therefore control of dirt ratio and dirt quantity in washing colthes can be carried out .The washer factories can determine the threshold values  $\alpha_0$  and  $\beta_0$  and then the models will give the corresponding optimal water-saving programs .  
**Keywords** water-saving washer ;mathematic model ;dynamic programming ;threshold value

# 微型计算机系统总线技术

陈勇孝 段世霞 郎 洪 苏文霞

(郑州工业大学计算中心)

**摘 要** 总线结构技术是微型机系统中最关键的技术之一。本文试图通过对十几年来总线技术发展史的回顾,及各总线性能的分析比较,使读者对总线技术有一个较全面的了解。

**关键词** 微型机;总线;外设;信息

**中图分类号** TP368.3

## 0 前言

目前普遍使用的个人计算机—PC(Personal Computer)机及各种兼容机,由于使用了不同类型的 CPU,则采用了不同的总线技术。虽说这些系统的功能各不相同,主频速度有低有高,位数从 8 位到 16 位、32 位、64 位,寻址空间从 1MB 到 16MB、4GB,但是它们有一个共同的特点,那就是系统的扩充相当方便,不需重新设计系统,只要在主板的扩展槽上插上不同功能的硬件印刷电路板插件便可,实现“即插即用”(Plug & Play)。正是有了总线结构,才能使上述扩充易于反掌。

但是,随着微型机性能的不断提高,为了能够充分发挥系统的特点,对总线的要求也越来越苛刻。既要求利用 CPU 的高速功能,又要求相对低速的外设在与主机交换数据信息时不浪费 CPU 的机器周期,即不能让 CPU 处于等待时钟周期的状态。解决这一问题的方案就是使用一种新的总线。这种新的总线应能协调地组织 CPU 与外设进行的数据信息传输。

最近一种新的与外围设备进行数据信息交流的方式正广为流行,那就是“局域”总线—Local BUS,例如目前在高档微型机上普遍采用 PCI(Peripheral Component Interconnect)总线和 VESA BUS(Video Electronic Standard Association)总线,又称 VL—BUS 总线。局域总线在设计上克服了其它总线存在的速度局限。局域总线是以微处理器的速度来传送 32 位甚至 64 位数据的,为了与目前普遍使用的其它种类的总线兼容使用,在系统设计时,局域总线一般只限定在两个或三个插槽上。这些插槽可用于图形显示适配卡、软硬盘控制卡(也即是通常所说的套卡)以及网络适配器。对于其它的外设,如打印机、绘图仪、键盘等,由于这些部件对速度的要求不象磁盘控制器那么高,因此仍使用原来的总线,如 ISA BUS、EISA BUS。

## 1 总线的发展历史

与微型机中 CPU 的发展经历了 8 位、16 位、32 位、64 位一样,总线的发展也经历了若

收稿日期:1997—10—14

第一作者 男 1963 年 5 月生 学士学位 工程师



干阶段,从八十年代初期的 8 位 XT 总线,八十年代中期的 16 位 AT 总线,八十年代后期的 32 位 EISA 总线,及 IBM 公司内部使用的 MCA 总线,到九十年代初期的 32 位或 64 位 VESA 总线和 PCI 总线。它们都是根据特定的微型机系统发展起来的,以最大限度地发挥各个部分的功能,适应系统的要求。

### 1.1 各种总线标准的制订时间

1981 年,美国“蓝色巨人”IBM 公司生产出世界上第一台个人计算机 IBM PC/XT,在该 PC 机中首次使用了 XT 总线。在 PC/XT 机中,采用了 INTEL 8088 CPU,其时钟频率为 4.77MHz,虽说其内部的数据总线为 16 位,但由于对外仍按 8 位数据进行操作,因此它是一准 16 位机。

1984 年,在 IBM PC/AT 机中使用了 AT 总线。在 AT 机中,由于 CPU 的主频时钟速度和字长与 XT 机相比均有了提高,CPU 采用 INTEL 80286,其时钟频率为 8MHz,成为真正的 16 位机。后来,兼容机制造商迅速将 CPU 的时钟频率提高到 10MHz,甚至 16MHz、20MHz。

1988 年将这种非标准设计的 XT 总线和 AT 总线统称为 ISA(Industrial Standard Architecture)总线,即工业标准结构总线。AT 总线在性能上对 XT 总线的结构标准进行了扩充。

1987 年,IBM 公司推出 IBM PS/2 电脑,并在 IBM PS/2 中采用了一种新的总线标准,那就是微通道结构 MCA(Micro Channel Architecture)总线。

1989 年,诞生了扩展的工业标准总线结构,定义了扩展工业标准总线 EISA(Extended Industrial Standard Architecture)。这种总线被广泛地应用在 IBM PC Server<sup>320</sup> 服务器里。

与 MCA 不同的是,EISA 总线与以前的 ISA 总线兼容,采用了一槽多用的总线插槽设计。

1991 年末,视频电子标准协会 VESA(Vedio Electronic Standard Association)发表了 VL-BUS 总线标准,有时我们又称其为 VESA 总线。该标准与 EISA 一样也兼容于 ISA 总线操作。1992 年 7 月,该标准的第一版被正式认可,在计算机厂家中得到普遍采用。

1993 年,当 INTEL 公司推出奔腾(Pentium)CPU 芯片 P5 后,VESA 发表了 VL-BUS 的 2.0 版。得到了包括 IBM 公在内的大多数计算机厂家的支持,都以它作为局部总线的标准。如 IBM PC350 486DX2 等机型上就采用了 VESA 总线结构。

1992 年 7 月,VESA 刚推出 VL-BUS 总线不久,INTEL(英特尔)公司与其它计算机公司如 HP(惠普)和 IBM(通用商业机器)等公司成立了特别研究组织 SIG 集团,定义了外部设备互联局部总线标准—PCI(Peripheral Component Interconnect)总线。

1993 年 5 月,INTEL 公司公布了 PCI 的修订版,对原始的 PCI 版本进行了修订,增加了数据位数。HP 公司使用奔腾微处理的 HP Vectra XP 选用了 PCI 总线,它是第一个把 PCI 局部总线和 Pentium 60 及 Pentium 66 微处理器加入台式的微机。

### 1.2 总线结构技术的发展

在最初的个人微型计算机问世后,XT 总线是作为它的一个配件存在的。在当时的计算机主板上共有 8 个这种总线的插槽,在将各种硬件适配卡插到总线插槽上时,与直接接到微处理器上是相同的。

当个人电脑发展到 IBM PC AT 时,因为数据线、地址线、以及时钟频率扩充了,所以也要求对总线标准进行扩充,这样定义了 AT 总线,它的数据线和地址线与 286 完全相同。

当 386、486 的 32 位个人电脑出现后,地址、数据、和时钟频率进一步得到提高,这时的 ISA 总线已不能适应新的微处理器与某些外设实现数据交换的要求,为此又定义了新一代总线产品 EISA BUS。它的数据线和地址线与 386 和 486 相一致。由于 EISA 是 ISA 的延

伸,所以原有的所有 ISA 插件都可以在 EISA 扩展槽上继续使用。

而 MCA 总线结构由于同以前大不相同,是 IBM 自己发展的,不能兼容原来的 ISA 总线。虽说它很好地解决了数据的高速传输问题,性能优于 ISA 总线,正好发挥当时流行的  $640 \times 480 \times 16$  的 VGA 显示卡的功能,和 EISA 同样具有 32 位的通道,并在某些 386、486 机上也装置了一些,但并没有得到其它计算机厂家的认可,难以独霸电脑市场。

局域总线的出现,解决了一个在短时间内处理大量数据的问题,如硬盘和屏幕。它可以使计算机的图形处理速度提高好几倍,颇受市场欢迎。CPU 局域总线提供一个高速数据传输通道,其目的是为 CPU、超高速缓冲存储器、主存储器子系统服务,扩充总线,提供相对较低的数据路径和物理连接(所有外设及 CPU 总线)。

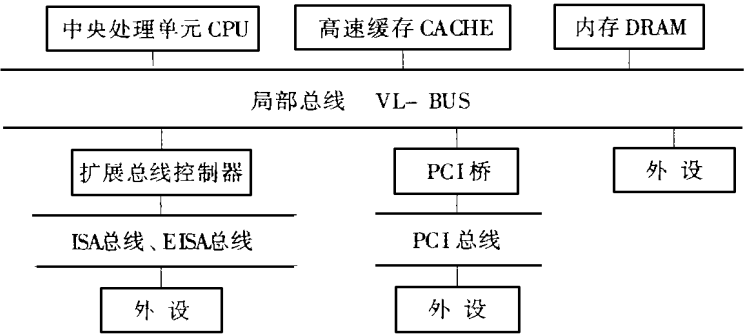


图 1 微机总线系统结构示意图

INTEL 公司设计实验室设计的 PCI 总线是另一个高性能的局域总线,它在微处理器 CPU 和高速外设之间充当一桥梁作用,在各总线之间充当交通管理员的作用,因此在短时间内显示出卓越的性能。

而 PCI 总线被设计成与 CPU 无关,因此它适合各种类型的 CPU,既可用于现在的 486 机,也可用于 586 机(奔腾 P5),还可用于最新的 P6 机(高能奔腾),甚至将来的 P7。

2 微机总线的特点

2.1 微机总线系统结构

从以上微机系统总线的发展过程可知,各种总线的结构并不是互相对立的,在同一个微机系统中可以存在多种总线结构,既可有局域总线,又可有(扩充的)工业标准结构总线。下面给出一般的微机系统总线结构示意图(见图 1)。

2.2 各总线的主要特点

(1)ISA XT BUS 的主要特点:

最早发展起来的 XT 总线 XT BUS,又称 ISA XT BUS,其数据位数、地址线数等与当时的 IBM PC/XT 微型机采用的微处理器 INTEL 8088 CPU 是一样的。

- 数据线为 8 位
- 地址线为 20 位
- 工作频率为 4.77MHZ
- 利用 20 条地址线,可寻址 IBM 的地址空间。

·数据传输率为 5MB/S

(2)ISA AT BUS 即 AT BUS 的主要特点:

- 数据线为 16 位
- 地址线为 24 位
- 工作频率为 8MHZ
- 数据传输率为 6.5MB/S
- 在使用 AT BUS 的微机上,同时也设置有 XT BUS,两种总线的接口均可使用。

在 32 位的微处理器 80386、80486 出现后,由于 ISA BUS 的数据位窄,工作频率低,微处理器的性能不能全部发挥。

ISA 总线结构逻辑示意图如图 2 所示。

(3)EISA BUS 的主要特点:

- 数据线为 32 位
- 地址线为 32 位
- 工作频率 8.33MH1Z
- 数据传输率可达 33MHZ
- 支持突发方式
- 支持多处理器和自动配置
- 后来的 EISA BUS 为提供给 386、486 用,对标准进行了修订,数据传输率达 133MB/S
- 由于 EISA 为 ISA 的延伸,故所有的 ISA 接口均可继续在 EISA BUS 扩展槽中使用
- EISA BUS 的扩展槽分为两个区,第一区为 ISA AT BUS 信号区,第二区为 EISA 特有的。在原 ISA 插座下部又引出新的插针。在使用 EISA 接口时,必须同时插入第一区和第二区

·EISA BUS 结构比较复杂,成本高

·数据传输率虽比 ISA 高,但仍不能够满足图形用户界面(GUI)及多媒体技术的要求。EISA 总线结构逻辑示意图如图 3 所示

(4)MCA 微通道的主要特点:

- 与 EISA 一样数据位为 32 位
- 地址线为 32 位
- MCA 的峰值理论吞吐率可达 20MB/S
- 与主机板的数据传输率可达 32MB/S
- 与其它接口互传数据速率达 10MB/S
- 具有一个和现行处理器不同步的系统周期波,其频率可达 10MHZ
- 当周期波的频率太高时,在不同步的 MCA 通道传输数据时会产生错乱
- MCA 与原先的 ISA 不能兼容

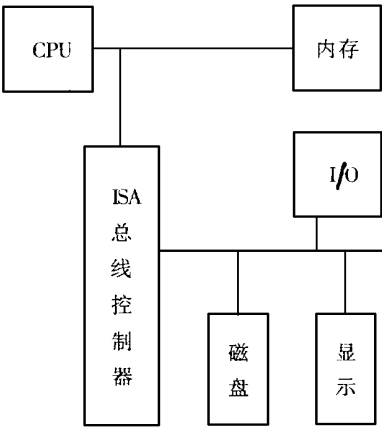


图 2 ISA 总线结构逻辑示意图

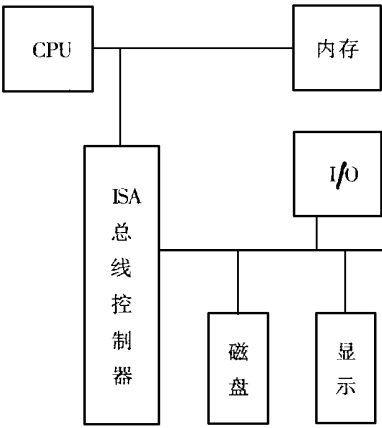


图 3 EISA 总线结构示意图

- MCA 的结构复杂、成本高
- (5)VL-BUS 即 VESA BUS 局域总线 (Local BUS)的主要特点:
  - 数据位为 32 位,可扩充到 64 位
  - 工作频率与主机板上的系统频率完全相同,即 33MHZ
  - 对内部为 66MHZ 的 486DX2 33MHZ 的主机,总线的工作频率只取 33MHZ
  - 具有很高的数据传输率,在 33MHZ 下可达 132MB/S
  - VL-BUS 的最高频率可达 40MHZ,最大数据传输率为 160MB/S
  - 能够满足图形用户界面和多媒体技术应用的需求
  - 外设与 CPU 同步工作,理论上的最高频率和传输率为 60MHZ、264MB/S

- 支持 VL-BUS 设备的总线主控方式
- 因它是 486 CPU 各类信号的延伸,故与 486 匹配最佳
- 扩展槽采用 MC(Micro Channel)类型的插座
- 因 VL-BUS 设备直接挂接在 CPU 的信号线上,故负载能力差,最多可管理三个总线。
- 当再提高其工作频率时,硬件设计较难,价格昂贵
- 各厂家的 VL-BUS 不能互换使用

VESA 总线结构逻辑示意图如图 4 所示。

- (6)PCI 局域总线的主要特点:
  - 数据位数与 VL-BUS 一样,为 32 位,但可扩充到 64 位
  - 工作频率为 33MHZ
  - 数据传输率为 66MB/S
  - 支持自动配置,扩展卡上不需要开关和跳线设置,实现“即插即用”(Plug&Play)。即解决系统资源(IRQ、DMA、I/O 地址)、存储器地址间的冲突时,用户不需要选择 DIP 开关或跳线,扩充卡的系统资源设置将完全是自动的
  - 支持线性突发方式的数据传输,这点对于使用高性能图形加速器尤为重要
  - 能提供比 VL-BUS 更高的数据传输率
  - 支持将来的新一代 CPU 和外设

· PCI 最突出优点是独立于 CPU,386、586 微

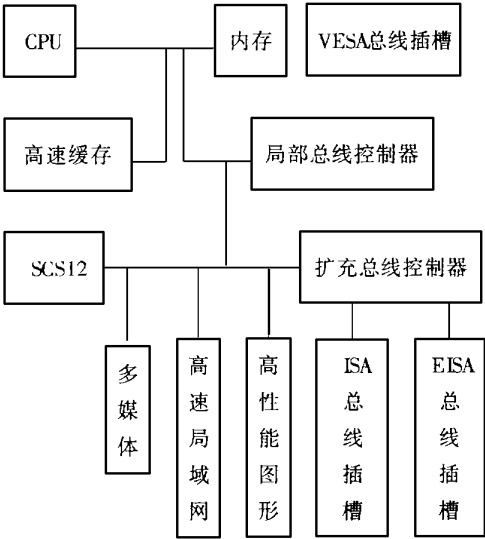


图 4 VESA 总线结构逻辑示意图

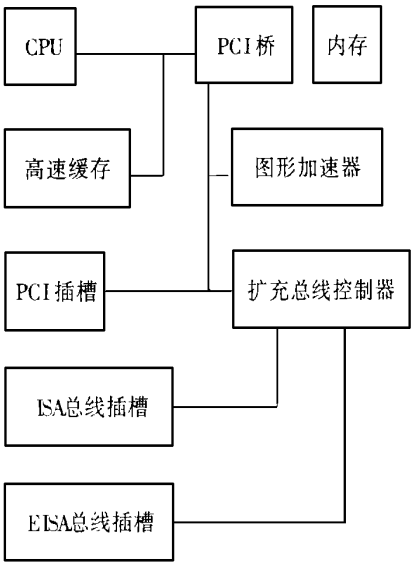


图 5 PCI 总线结构逻辑示意图

处理器均可使用

·PCI 与 VL-BUS 总线的最大区别在于 PCI 不是直接接在 CPU 的总线上,而是通过 PCI 桥(Bridge)与 CPU 的信号线相连,故负载能力比 VL-BUS 强。PCI 可连 10 个负载(主板上一个设备算一个负载,扩展卡上一个设备算两个负载)

·PCI 标准规定的比 VL-BUS 严格,接口具有通用性

·PCI 与 CPU 异步工作,这样 CPU 的运行速度不受 PCI 局域总线设备操作的限制

·PCI 局域总线是通过 PCI 桥与 CPU 联系的

·PCI 支持两种电压标准,5V 和 3.3V (用于便携机和绿色电脑)

·修订的 PCI 标准工作频率可达 66MHZ,数据位数为 64 位,最高数据传输率为 528MB/S

·PCI 具有多重缓冲器,例如 CPU 向外设执行写操作时,只需将数据写入数据缓冲器即可,数据从缓冲器转移到 PCI 外围设备的过程就完全由 PCI 控制自动完成,而不需 CPU 的任何操作。PCI 总线结构逻辑示意图如图 5 所示

### 2.3 主机板各种总线扩展槽

在主机板上一般都配有多种总线的扩充槽,以适应不同总线的扩充卡。如目前常见的 486 主板,既有适应 ISA 扩充卡使用的 ISA 总线扩充槽,又有适应 EISA 扩充卡使用的 EISA 总线扩充槽,有的还有适应高速数据传输的 VESA 总线扩充槽或 PCI 总线扩充槽。而 586 主板上也有 ISA 总线扩充槽和 PCI 总线扩充槽。

ISA AT 总线是在 ISA XT 总线的基础上增加了 36 条扩展信号线,该部分的扩充槽位于原来 XT BUS 扩充槽的延长线上。ISA XT 总线共有 62 根,ISA AT 总线共有 98 根。在 ISA AT 总线扩充槽上使用 ISA XT 总线的扩充卡时,只能插入 ISA XT 部分(62 根信号线),一般扩充卡在设计上已采取了措施。

EISA 总线在 ISA AT 总线的下部原来的引线之间加了 100 根新的扩展信号线,信号线数目几乎是 ISA AT 总线的两倍。EISA 总线扩充槽是为以前的 ISA 总线扩充卡(8 位、16 位)和 EISA 扩充卡(32 位)设计的,在机械结构上采取了相应措施,有挡板阻止以前的 ISA 总线扩充卡插入专为 EISA 扩充卡设计的插槽中。因此为 EISA 总线设计的扩充卡只能使用 EISA 扩充槽,且在 EISA 总线系统下工作。对 EISA 总线的扩充槽,没有在原来的 ISA AT BUS 的扩充槽的延长线上增加新的部分,扩充槽的长短与 ISA AT 总线的扩充槽一样,只不过槽中的插针结构不同而已。

但是,为了兼容 ISA 总线的扩充卡使用,除在主板上设计有 ISA 扩充槽外,有些 EISA 扩充槽也可以插入 ISA 总线的扩充卡,不过 ISA 卡的引脚无法接触专为 EISA 卡设计的引脚。

在 VESA 总线的主板上,除 VESA 总线的插槽外,一般也设计有 ISA 总线或 EISA 总线的专用插槽。

VESA 总线是在原有的 ISA AT 总线的基础上增加了 112 根信号线,专门设计成一个插槽,在原来的 ISA 插槽的延长线上。因此在 VESA 总线的扩充槽上,同样也可插入 ISA 总线的扩充卡,只不过用不到 VESA 总线新增加的引脚。

而在“奔腾”机 586 CPU 的主板上,一般都设计有 PCI 总线的扩充槽,与 VL-BUS 不同的是,PCI 总线的扩充槽是独立的,不与 ISA 总线或 EISA 总线的扩充槽合用部分插座。PCI 总线的插槽共有 100 根针,也是采用 MC 插座。

因此,根据主板上扩充槽的长短以及插针的数目,用户即刻快速地判断出系统所使用的总线类型,是否有 PCI 总线、VESA 总线以及 ISA 总线和 EISA 总线。从外观上看,VESA

总线的扩充槽最长,它包括 ISA AT 总线的扩充槽和其延长线上的新增部分,新增的插槽一般用棕色 MC 插槽。而 PCI 总线的扩充槽最短,它单独占一行,一般用白色的 MC 插槽。

2.4 总线主要性能比较

通过上述介绍,我们对各种总线的特点已有了一个面的了解,见表 1。

表 1 各种总线特点比较表

总线	ISA BUS		EISA BUS	MCA	VL—BUS	PCI
	XT BUS	AT BUS				
数据宽度	8 位	16 位	32 位	16/32 位	32/64 位	32/64 位
寻址空间	1MB	16MB	4GB	16MB/4GB	4GB	4GB
工作频率	4.77MHZ	8MHZ	8.3MHZ	10MHZ	33MHZ	33MHZ
稳态传输率	5MB/S	6.5MB/S	33MB/S	10MB/S	120MB/S	132MB/S
最大传输率		16MB/S		40MB/S	160MB/S	264MB/S
					264MB/S	528MB/S
负载能力		>12	>12	>12	3	10
兼容总线		XT BUS	ISA BUS		ISA, EISA MCA	ISA, EISA MCA

3 结束语

最近,IBM 公司为解决因主板上总线扩充槽的不同而限制使用一些总线扩充卡,独家开发出了一种新的总线技术,那就是可选择总线—Select a Bus,它的用途是可为用户提供一种总线转接卡,将这种总线转接卡插入总线扩充槽内,用户即可使用已有的与主板上总线不同的扩充卡了。例如,对用户的台式 486 微机系统,虽说 VL—BUS 总线下已能很好地工作,但是如果升级到奔腾(Pentium)时现有的硬件资源怎么办? 易用 MCA 总线的老用户如何利用现有的硬件资源(如驱动卡)? 所有这些问题,现在 IBM 公司已能为用户解决。

使用可选择总线,就能实现 VL—BUS 到 PCI 的转换,或者 MCA 到 PCI 的转换,以及 PCI 到 MCA 的转换。

参考文献

1 洪逸祥. 386、486、Pentium 系统剖析:学苑出版社  
2 485—PVT. Main Board Manual  
3 586 Main Board Manual  
4 中国电脑教育报. 94 年合订本. 电子工业出版社  
5 中国计算机 . 1995. 8. 15

Bus Technology of the Microcomputer System

Chen Yongxiao    Duan Shixia    Lang hong    Su Wenxia  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Bus structure technology is the most important part in the microcomputer system. In this paper, We look back on bus technology in the past over 10 years, and analyse the Bus performance, and provide overall summing-up to other readers.

**Keywords** microcomputer; bus; peripheral device; information

语音识别技术研究\*

刘德平 李欣生 刘红霞 刘武发

(郑州工业大学机电一体化研究所)

**摘 要** 介绍一种实时语音识别系统,对语音识别系统的硬件组成及软件技术进行了论述,所开发的系统具有较高的识别精度,有较为广阔的应用前景。

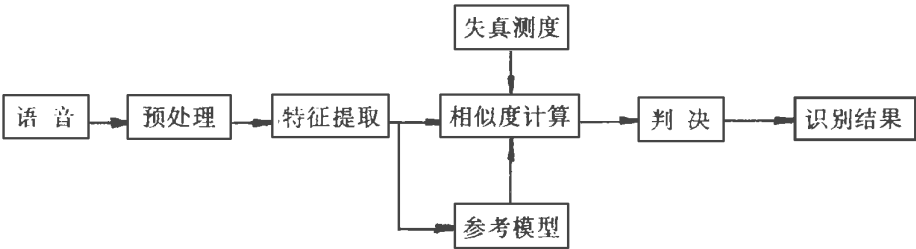
**关键词** 语音数据处理;语音基频识别;语言处理

**中图分类号** TP387

语音识别的根本目的是让机器(一般指某种计算机系统)听懂人的语音,从而根据人的意图去执行某种操作。由于语音是人类交流信息最自然和方便的手段,因而也是最理想的人机通信手段,所以语音识别的研究受到人们的极大重视。从计算机学科角度来看,语音识别可视为智能计算机的智能接口技术;从信息处理学科来看,语音识别属于语音信号处理的一个重要分支;从自动控制学科来看,语音识别属于模式识别的一个重要部分。语音识别技术有着重要的实用价值,随着计算机技术、微电子技术、信号处理、模式识别等技术的飞速发展,语音识别及理解技术向人们展示了广阔的应用前景。

1 语音识别系统概述

语音识别按其讲话人可以分为特定人和非特定人语音识别;按发音方式可以分为孤立词、连续词和连续语音识别。语音识别系统一般由以下几部分构成:



- 1.1 预处理 包括反混叠带通滤波、A/D 变换、语音端点检测等。
- 1.2 特征提取 特征提取是对输入的语音信号运用某些语音分析方法得到一个矢量序列，

\* 河南省自然科学基金资助项目(954060600)  
收稿日期:1997—09—05  
第一作者 男 1966 年 10 月生 硕士学位 讲师

用这个矢量序列去代表原始语音信号所携带的信息。常用的参数有:短时能量、短时过零率、频谱参数、共振峰参数、LPC 系数、倒谱参数等。

1.3 失真测度 失真测度是衡量相似性的基本准则,选择什么样的失真测度对识别系统的性能好坏有重要影响。常用的失真测度有:欧式距离及其多种变形、加权的倒谱距离等。

1.4 参考模型 参考模型是与词表中的词相对应的统计模型,对于模板匹配来说它是一个词对应一个或多个平均模板。

1.5 相似度计算 也称匹配计算,常用的方法有:矢量量化、动态时间规整(DTW)、隐马尔可夫模型(HMM)、神经网络等方法。

1.6 判决 指选用最佳准则及专家系统知识(构词规则、语法规则等),对各层次上的识别侯选者进行最后判决,从而得出最好的识别结果。

## 2 语音识别系统的硬件组成

汉语全音节实时识别系统要求实时实现汉语语音识别,由于一般计算机速度慢,故把数字信号处理器 TMS320C30 的高速运算能力和微机结合起来建立语音识别系统。高速语音数字信号处理板结构如下页图 1 所示。

2.1 TMS320C30 高速信号处理板充分考虑了语音信号处理的特点,又兼顾了其它数字信号处理场合的应用。

2.2 处理板设计成 IBM~PC 的一块插件板,适合 ISA 总线,它与微机构成主从系统,微机为主机,处理板为从机构成语音识别的硬件环境。

2.3 处理板以 TMS320C30 芯片为主处理器,具有 33.3MFLOPS 和 16.7MIPS 的处理能力,该芯片是美国 Texas instruments(TI)公司的浮点数据信号处理器,它是全 32 位芯片,其指令周期为 60ns,特别适合于数字信号处理及其它数值计算密集型应用,能够满足语音识别系统的实时性要求。

2.4 处理板上配有 512K 字节 0 等待高速存储器与主机 IBMPC486 构成 128 \* 32 位双寻址存储器

2.5 主机与(TMS320C30)之间配置了 8k 字节的双口 RAM 和相互中断电路,这样就大大增加了主/从机之间的通讯能力。

2.6 该板还配置了一片可编程音频信号接口芯片 TLC32044,它带有防混输入滤波器、14 位 A/D、D/A 转换器和一个重构滤波器,其采样速率为 7.2KHz——19.2KHz 可调。

2.7 处理板上有语音信号输入前置放大器和输入功效,前者可将话筒信号无失真的放大到  $\pm 3V$  内,功放可直接驱动 2W 的喇叭,这大大方便了语音信号的处理。

2.8 板上译码逻辑由一片 GAL16V8 和 4 片 GAL20V8 组成,这减少了处理机的面积同时也增加了可靠性和灵活性。



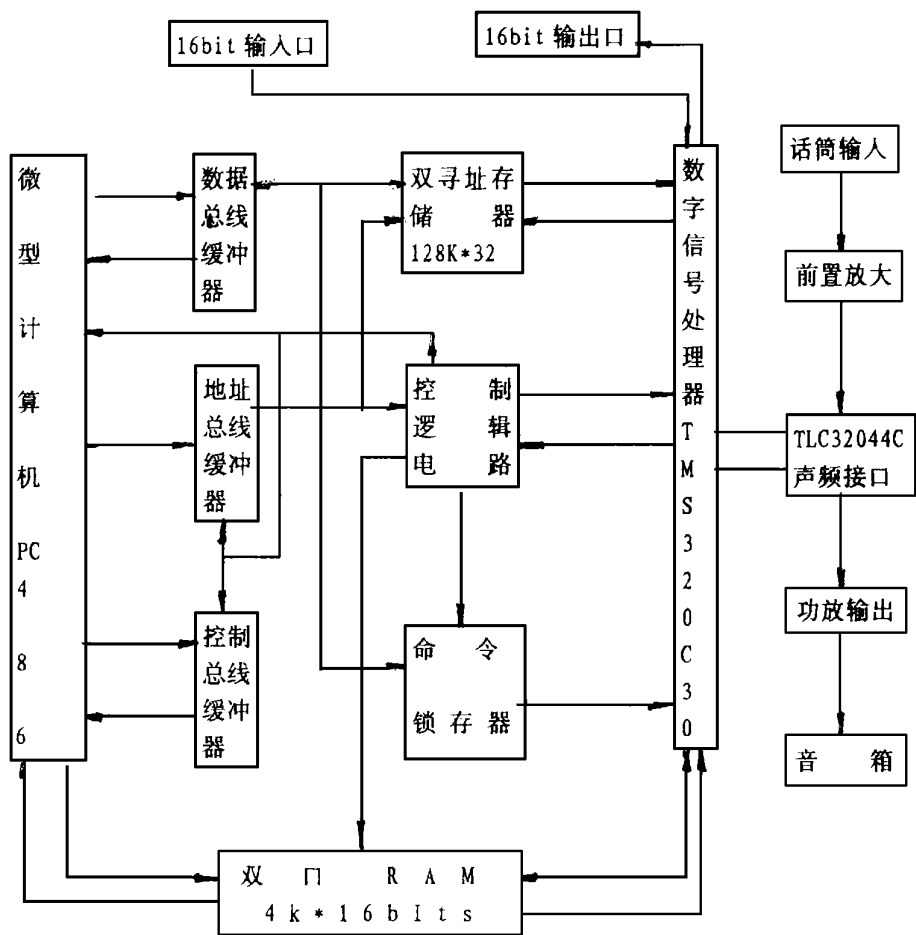


图 1 数字信号处理板结构

3 软件算法概述

我们所开发的系统,其识别过程分成四个部分:预处理,特征提取,匹配识别,决策输出,过程如下页图 2 所示.

预处理包括音频信号的预放大,低通滤波,模/数转换等.语音信号经话筒进入,由前置放大器放大为-3~+3 的电信号,经过 4.5KHz 的低通抗混叠滤波,做采样率为 10KHz、精度为 14 位的 A/D 转换,然后通过串行口进入 TMS320C30 处理器.端点检测中利用的是过零率和能量两参数来进行判决,声韵分割部分利用了语音的帧能量和帧间距离等一系列参数,其性能有明显改善.

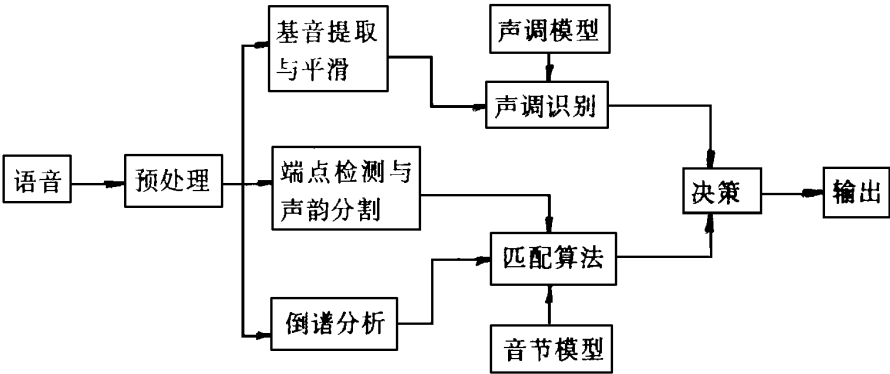


图 2 软件算法识别过程

综合性能和复杂度等多方考虑,选用中心削波自相关函数法提取基音周期,利用中心削波进行谱平整,抑制信号其它方面带来的干扰,突出了周期性。采用中值平滑对提取的基音数据进行处理,利用基音的相对稳定性来消除零点及奇异点。

模/数转换后的语音数据经过预加重进行高频提升后分帧,一帧 256 个点,帧间位移 100 点。对每帧加 Hamming 窗后,求出其自相关系数,然后用 Levinson-Durbin 算法求出 12 阶 LPC 参数,进而求出倒谱参数。

本系统中,语音信号预处理,特征参数提取,模板匹配等一系列工作全在 TMS320C30 高速数字信号处理板上完成。其中预处理、特征参数提取是实时完成的,PC 机仅起一个系统管理作用,系统启动时对处理板加载程序,识别后显示识别结果。

随着计算机技术、模式识别技术、神经网络等相关技术的发展,语音识别技术也必将走向成熟、进入实际应用。更自然、更高难度的语音识别系统上相信会在移动计算、工业、军事、医疗、出版及文字处理等领域广泛应用,其前景异常广阔。

参考文献

1 樊来耀. TMS320C25. C30 数字信号处理器;西安电子科技大学出版社  
2 刘丰. 语音处理新技术研究.[学位论文];西安电子科技大学出版社  
3 樊来耀. 32 位数字信号处理器软件硬件;西安电子科技大学出版社

Research on Rpeech Recognition Technology

Liu Deping Li Xinsheng Liu Hongxia Liu Wufa  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** A real-time speech recognition system is introduced, the composition of hardware and software technology is discussed. The system has higher recognition accuracy and wider application prospect.

**Keywords** voice data processing; language fundamental frequency recognition; speech processing

# 反应过程中升华型催化剂的物性变化 (Ⅲ) $\text{Zn}(\text{Ac})_2$ 的程序升温脱附测定

赵建宏 宋成盈 王留成 万晓宇 刘大壮

(郑州工业大学化工系)

**摘 要** 用程序升温脱附法测定了乙炔在衰化程度不同的醋酸锌催化剂上的脱附峰面积。发现乙炔在纯载体活性炭上的脱附峰面积为零,证明所得峰面积表征了乙炔在醋酸锌上的化学吸附量。衰化程度不同的催化剂上乙炔的程序升温脱附峰面积与其残留量呈线性关系,证明该催化剂失活的主要原因是活性组分醋酸锌的升华流失造成的。

**关键词** 程序升温脱附;醋酸锌;失活;升华

**中图分类号** O643.322

在反应过程中,活性组分不断升华流失,导致催化剂失活,是工业催化剂中常见的一种现象。如乙炔法合成醋酸乙烯、合成氯乙烯,都是典型的工艺实例。为了研究问题的方便,我们把这类催化剂称为升华型催化剂。近年来,我们测定了醋酸锌<sup>[1]</sup>氧化钼<sup>[2]</sup>等活性组分的升华流失机理;氯化汞在活性炭上的脱附等温线<sup>[3]</sup>以及氯化汞<sup>[4]</sup>、氧化钼的流失动力学,为工艺设计和环境保护提供了一些有用的数据。

为了进一步积累这类催化剂使用的基础数据,我们从生产厂搜集了一些正在使用的、衰化程度不同的催化剂样品,进行其物性数据的测定。报导了比表面变化、吸附热变化<sup>[5]</sup>、X光衍射<sup>[6]</sup>的一些数据和结果。

乙炔法合成醋酸乙烯的过程中,乙炔在催化剂上的吸附要比醋酸弱,它的吸附是反应的控制步骤<sup>[7]</sup>。为了研究乙炔在衰化程度不同的醋酸锌催化剂上吸附情况的变化,我们测定了乙炔在衰化系列催化剂上的吸附热变化。实验是色谱法测定的。由于载体活性炭和活性组分醋酸锌对乙炔都有一定的吸附能力,因此无法区分活性炭和醋酸锌各自对乙炔吸附的贡献。这样,此催化剂失活的主要原因是活性组分流失仍属推理给出的结论,未有直接的证据。为了直接找出活性组分醋酸锌流失对乙炔吸附能力的影响,本文采用了程序升温脱附法进行研究,找出了  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  升华流与乙炔吸附的定量关系。

## 1 实验部分

1.1 催化剂样品 样品来自工厂生产中正在使用的衰化程度不同的生产装置,与本文第 I 报<sup>[5]</sup>使用的样品相同。其  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  含量和比表面见表 1,各样品的孔径分布和 X-光衍射结果已作报导<sup>[5]</sup>。

收稿日期:1997-08-28

第一作者 男 1963 年 12 月生 硕士学位 工程师

表 1 催化剂样品的含量和比表面

	纯载体	新催化剂	使用一定时间的催化剂			自制对照样品
	活性炭	(工厂)	I 号	II 号	III 号	IV 号
$\frac{\text{Zn}(\text{Ac})_2, \text{Kg}}{100\text{Kg 催化剂}}$	0	31.10	25.69	18.22	10.2	16.67
比表面 $\text{m}^2/\text{g}$	145.9	375	19.4	13.4	7.4	1208

表 1 中Ⅳ号是在实验中用浸渍法自制的新催化剂,由于没有经过反应使用,表面未被反应积炭所污染,因而比表面很高。主要目的是与工厂实际使用的样品进行对照测定。

1.2 程序升温脱附实验手续 准确称取催化剂 100mg,装入脱附管中,两边装填少量石英砂,于外气路下 200℃下活化 1.0h,降至室温(25℃),使脱附管中载气流量为零。在脱附管中注入过量的精制乙炔气体,吸附 15 分钟使催化剂吸附饱和。开启载气流量至 45ml/min,吹扫掉多余的未被吸附的乙炔气体。待热导池基线成直线时,以 12℃/min 的升温速率程序升温至 230℃,记录仪上记录出信号即得此催化剂的程序升温脱附谱图(TPD 谱图)。

实验得到的各 TPD 谱图的峰巅温度  $T_m$  值可直接从谱图上测出,各催化剂吸附的乙炔的量根据 TPD 谱图的面积使用外标法得到。

2 结果与讨论

2.1 纯载体活性炭的程序升温脱附实验结果

纯载体活性炭在室温下进行乙炔吸取附后,再用氮气吹扫,最后进行程序升温脱附。自室温升到 230℃,未见程脱峰出现。说明室温下吸附的乙炔,在氮气吹扫时已经全部脱附。乙炔在活性炭上只有物理吸附,没有化学吸附。

2.2 催化剂样品程序升温脱附峰的  $T_m$  值

用同样方法分别进行表 1 中五种催化剂样品的乙炔吸附的程序升温脱附测定,发现这些催化剂样品,不论是工厂制的还是实验室自制的,不论是新的还是因使用而活性衰化的,都有一个基本对称的唯一的程脱峰。图 1 是新催化剂(工厂制)的程序升温脱附峰形状,其它各样品的脱附峰形状类似。

五个样品的程脱峰,峰值极大时对应的温度  $T_m$  都在 94℃左右,说明诸样品对乙炔吸附的吸附态是相同的。按照程序升温脱附  $T_m$  值的一般比较,这是一个化学吸附强度较弱的吸附态,与动力学分析是一致的。由于纯载体无程脱峰,这组程脱峰反映的是乙炔在活性组分醋酸锌上的吸附。在催化剂活性组分衰化的过程中,只有吸附量的量度,没有吸附态的质变。

2.3 程序升温脱附峰面积和活性组分含量的关系

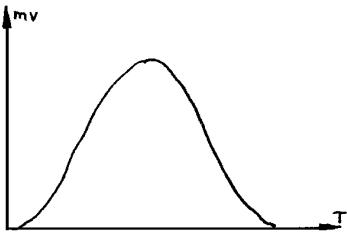


图 1 新催化剂(工厂制)乙炔吸附的程序升温脱附谱图

按照表 1 中的排列顺序,以新催化剂(工厂制)的程脱峰面积为 1,各样品的相对程脱峰面积依次是 0,1,0.81,0.60,0.34 和 0.59。它们和样品中活性组分醋酸锌含量呈良好的线性关系,直线通过原点。也就是说,纯载体的结果也落在线上(见图 2)。

程脱峰的相对面积直接表示该催化剂对乙炔的相对吸附量。由此证明,在乙炔法合成醋酸乙烯中,尽管存在着活性组分流失、表面被积炭所污染以及杂质引起催化剂中毒等三种原因所引起的催化剂失活,但活性组分升华流失是引起催化剂失活的决定性原因。自制的Ⅳ号催化剂表面并未被积炭等所污染,但它对乙炔的化学吸附量仍然由  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  含量决定,就是一个很好的说明。

Ⅳ号催化剂是在实验室制造的,和工业催化剂成批制造的过程相比, $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  在活性炭表面上分散程度可能更好一些。因此,它的相对程序升温脱附峰面积比用工业催化剂预期的值略大,这可能是该点落在直线上方原因。

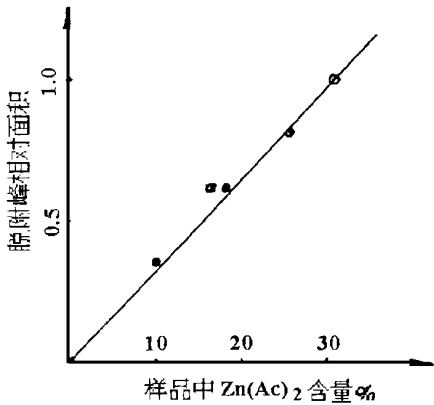


图 2 乙炔脱附峰相对面积与活性组分  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  含量关系

参考文献

1 刘大壮,赵振兴.程爱珠等.化学反应工程与工艺.Vol.3.No.1.1987;85  
2 刘大壮,李焦峰.化学反应工程与工艺.Vol.5.No.3.1989;19  
3 刘大壮,杨碧光.赵振兴等.化学工程.Vol.20.No.1.1992.56  
4 刘大壮,赵振兴.化工环保.No.4.1988;194  
5 杨碧光,刘大壮.化学反应工程与工艺.Vol.3.No.3.1987.89  
6 杨碧光,刘大壮.张润吉.化学反应工程与工艺.Vol.5.No.1.1989;99  
7 李国英,陈曙.王玉庆等.石油化工.Vol.13.No.10.1984;649

Variation of Physical Properties of Sublimable Catalysts in the Process of Chemical Reaction(Ⅲ) Determination of Temperature-Programmed Desorption on  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  Catalyst

Zhao Jianhong Song Chengying Wang Liucheng Wan Xiaoyu Liu Dazhuang  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** The Temperature-Programmed-Desorption(TPD) method is applied to research the series deactivation catalysts of  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$ .The catalyst samples was obtained from chemical factory. It is found that the TPD peak area of acetylene is proportional to the remnant  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  content in catalyst and the TPD peak area is zero on the pure support (activated). Therefore, It is proved that the deactivation of  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  catalyst results from the loss by sublimation of active species  $\text{Zn}(\text{Ac})_2$  in the process of chemical reaction.

**Keywords** temperature-programmed-desorption; $\text{Zn}(\text{Ac})_2$ ;deactivation;sublimation

# 回归分析在生产实践中的应用

陆宜清

张新育 杨松华

张建国

(郑州牧业工程高等专科学校)

(郑州工业大学数理力学系)

(开封师专, 475001)

**摘 要** 通过对模型线性化, 利用线性回归分析方法确定了母猪产仔量随季节变化的规律, 这一规律对工厂化养猪的生产安排和经营决策具有实际的应用价值。

**关键词** 回归分析; 模型; 线性化

**中图分类号** O212.1

## 0 引言

在工厂化养猪中提高母猪的活产仔量, 减少种母猪的饲养量是提高养猪经济效益的重要途径之一。因为一头母猪一年按两个妊娠期, 大体需消耗 600 公斤饲料, 以每胎平均产活仔(除死胎和木乃尹外)9.2703 头算(本文试验数据), 每头活仔在出生时已耗料 37.36 公斤(试验数据), 还要加上其它费用, 所以多产一头活仔就等于节约了 37.36 公斤饲料和相应的管理费用。这一问题中首先需要研究一个重要规律, 就是母猪单窝产仔量随季节变化的规律。掌握了这一规律才能合理安排生产, 提高活产仔量。本文暂不涉及其它提高产仔量的技术性问题。

## 1 数据收集与模型分析

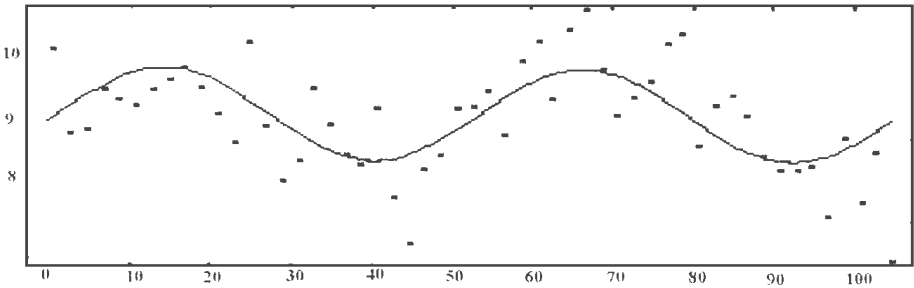


图 1 随  $t$  的变化可能构成的正弦曲线

下面表 1 中列出了河南省浚县农场工厂化养猪 94, 95 两年双周平均单窝活产仔数量, 如周数 7 对应的是 7~8 周平均单窝活产仔量, 周数 19 对应的是 19~20 周平均单窝活产仔量。图 1 中散点是用表中的数描出的。

从图 1 中点的分布看出  $t$  时刻单窝产仔量  $y(t)$  随  $t$  变化可能构成正弦函数, 一年一个周期。因此我们可先设  $y(t) = \beta_0 + \beta_1 \sin(\omega t + t_0)$ , 其中  $\omega = 2\pi/52.1429 = 0.1205$  (一年按

52.1429 周算),至于所选模型的合理性最后将给出可靠的检验。

2 模型线性化与回归分析

2.1 非线性模型  $y(t)=\beta_0+\beta_1\sin(\omega t+t_0)$  的线性化

$$y(t)=\beta_0+\beta_1\sin(\omega t+t_0)=\beta_0+(\beta_1\cos t_0)\sin\omega t+(\beta_1\sin t_0)\cos\omega t$$

令  $b_0=\beta_0, b_1=\beta_1\cos t_0, b_2=\beta_1\sin t_0$

$$x_1=\sin\omega t, x_2=\cos\omega t$$

表 1 某农场工厂化养猪平均单窝活产仔量

$t$ (周)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
$y$ (头)	10.029	9.019	9.068	9.553	9.437	9.349	9.553	9.684	9.824	9.575	9.270
	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
	8.920	10.145	9.125	8.465	8.692	9.564	9.142	8.773	8.646	9.342	8.257
	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65
	7.714	8.60	8.780	9.325	9.350	9.556	9.019	9.921	10.164	9.451	10.310
	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87
	10.537	9.824	9.250	9.467	9.683	10.145	10.246	8.899	9.389	9.509	9.271
	89	91	93	95	97	99	101	103	105		
	8.783	8.596	8.612	8.646	8.056	9.00	8.211	8.836	7.517		

原模型线性化为  $y=b_0+b_1x_1+b_2x_2$ 。

2.2 线性回归分析

对附表中的数据我们作了个别异常值的处理,如(45,7.714)等。然后为进一步消除随机因素的影响,突出主要规律,我们把 94,95 两年同时期的数据再作平均,共产生 26 组数据  $(i,y_i) i=1,3,5,\cdots,51$ ,并转化为  $(x_{i1},x_{i2},y_i), i=1,3,\cdots,51$ 。

对 
$$\begin{cases} y_i=b_0+b_1x_{i1}+b_2x_{i2}+\epsilon_i \\ \epsilon_i iid \sim N(0,\sigma^2) \end{cases} i=1,3,\cdots,51$$
 容许

作回归分析,计算结果如下:  $n=26, m=2$

$b_0=9.2703, b_1=0.5379, b_2=-0.1441$ ,故  $y=9.2703+0.5379x_1-0.1441x_2$

2.3 模型的显著性检验

$$U=b_1L_{1y}+b_2L_{2y}=4.0406$$

$$Q=L_{yy}-U=6.2778$$

$$F=\frac{U/m}{Q/(n-m-1)}=\frac{U/2}{Q/23}=7.4014$$

$$F_{0.01}(m,n-m-1)=F_{0.01}(2,23)<5.84$$

$$\therefore F>F_{0.01}(2,23)$$

故模型在  $\alpha=0.01$  水平下显著。

2.4  $b_1, b_2$  的显著性检验

经计算  $C_{11}=0.0158, C_{22}=0.0159, S_e=4.4122, b_1=0.5379, b_2=-0.1441$ 。

$$F_1=b_1^2(n-m-1)/(SeC_{11})=95.4594,$$

$F_2=b_1^2(n-m-1)/(SeC_{22})=6.7992,$   
查表  $F_{0.05}(1,n-m-1)=F_{0.05}(1,23)=4.28$   
故  $F_1>4.28, F_2>4.28$   
即  $b_1, b_2$  以  $\alpha=0.05$  水平下显著。

3 最终的模型

我们把线性模型再化为原模型的形式。  
 $y(t)=9.2703+0.5379x_1-0.1441x_2$   
 $=9.2703+0.5379sin\omega t-0.1441cos\omega t$   
 $=9.2703+0.5569sin(0.1205t-0.1446)$   
 $=9.2703+0.5569sin[0.1205(t-1.2)]$   
 $y(t)=9.2703+0.5569sin[0.1205(t-1.2)]$

4 简单应用

上述模型所揭示的规律在实际管理中具有重要意义。首先我们可以知道一年中的第 14~15 周母猪活产仔量最高,平均每窝 9.8272 头。40~41 周母猪活产仔量最低,平均每窝 8.7134 头,相差 1.1138 头。一年中 1.2~27.2 周内产仔是一般在 9.2703 头以上,其它时间一般在 9.2703 头以下。这些结果很容易在生产安排上得到应用,从而产生更高的经济效益。至于其它方面的应用我们将另文介绍。

参考文献

1 赵香学等.种猪饲养管理技术;黑龙江人民出版社  
2 江炳麟.现代管理中的数理统计方法;人民邮电出版社

The Application of Regression  
Analysis to Production Practice

Lu Yiqing  
(Zhenzhou College of Animal Husbandry)  
Zhang Xinyu    Yang Songhua                      Zhang Jianguo  
(Zhenzhou College of Animal Husbandry)    (Kaifeng Teachers' College)

**Abstract** Based on linearization of established model and linear regression analysis, this paper persents a law describing pig production with variation of seasons. This law has practical value to production assignment and decision-making for industrialization of pig-feeding.  
**Keywords** Linear regression analysis; model;linearization; test of significance