

7900114

间歇煮糖自动化参考资料

轻工业部甘蔗糖业科学研究所
全国甘蔗糖业科技情报站

一九七八年十一月

W132
4-1

编辑说明

六十年代以来,间歇煮糖自动化在国外有了较快的发展,近几年来国内有关部门和生产厂也给予很大重视,相继进行了大量的试验研究工作,并取得可喜的成果。为了反映这方面的水平动向,我们编辑了这本专辑,供有关领导、科研生产单位和专业工作的同志参考。

本专辑包括国内外间歇煮糖自动化综述一篇,译文六篇,文摘三篇,《煮糖罐自动化及煮糖工段计算机控制》已刊载《甘蔗糖业》制糖分刊1978年第6期,故未再印出,请参阅该刊。

由于水平所限,文中错误之处,请同志们不吝指正。

轻工业部甘蔗糖业科学研究所

全国甘蔗糖业科技情报站

一九七八年十月

江南大学图书馆



91304401

目 录

间歇煮糖自动化.....	(1)
前 言	
第一部份 国外间歇煮糖自动化综述	
第二部份 国内甘蔗糖厂间歇煮糖自动化概况	
结 语	
糖厂高纯度糖液煮糖过程自动化.....	(25)
糖溶液的粘度及过饱和度.....	(33)
图利糖厂利用微型计算机实现煮乙、丙糖自动化.....	(41)
用微处理器控制煮糖.....	(46)
“Rhecrymat”流度仪煮糖自动化的程序流程.....	(52)
将“流度仪煮糖自动化”从常规技术转为利用微型计算机系统	(60)
煮糖罐的控制.....	(65)
煮糖罐结晶过程数学模型.....	(66)
煮糖自动化中晶粒含量的研究.....	(66)

间歇煮糖自动化

轻工业部甘蔗糖业科学研究所

梁 周

前言

煮糖工序是制糖生产工艺中为了获得结晶砂糖的重要工序之一。自制糖工业进入了机械化生产的时代开始，间歇式煮糖罐就是煮糖工序的最主要机械设备。虽然近十多年来，世界各国均企图用连续式的煮糖装置来代替间歇式煮糖罐，但由于各种技术原因，仍未能达到预期的目的。间歇式煮糖罐至今仍然在制糖生产设备中担当着主要角色。

社会的发展要求产品的产量和质量不断地提高，还要求劳动生产率迅速地增长。因此，近二十年来，在世界各国的制糖工业中，在机械化不断完善的基础上，制糖生产自动化得到了越来越快的进展。自1950年代后期至1960年代前期这十年左右的时间里，某些工业先进国家已在许多制糖生产工序中实现了具有一定水平的自动化，除了煮糖工序外，基本实现了全厂生产过程的集中控制。1960年代后期以后，煮糖工序的自动化已得到了较快的进展，到1970年代前期，在一些国家中已实现了煮糖工序的集中控制，但比起其他制糖生产工序发展晚了将近十年之久。

煮糖工序自动化发展较晚的主要原因，一方面是由于间歇煮糖工艺比较复杂，另一方面是受到测量控制技术发展的影响。间歇煮糖工艺复杂表现在各个参数（包括原料成份）随着生产过程的进行不停地改变着，而且，各参数之间的相互变化关系尚未完全掌握。测量控制技术

方面，直到目前为止，还没有发明能够可靠地测出糖液过饱和度和其他某些煮糖工艺参数的变送装置。计算技术的应用也仅处于开始阶段。虽然如此，但目前间歇煮糖的自动化水平已赶上了制糖生产中其他各工序，并且预计在采用了计算技术之后，还会获得更快的进展。

第一部份 国外间歇煮糖自动化综述

国外对间歇煮糖自动化的研究发展工作虽在1940年代已经开始，但是在1960年代以后才真正得到长足的进展。在国外所有机械化制糖工厂中，目前采用了全自动化煮糖系统的还属极少数，绝大多数是装置了一些检测仪表。

一、测量仪表的进展

与间歇煮糖过程有关的参数很多，除了原料组份和成品质量的参数外，在生产过程进行中有可能需要用到的参数计有：罐中液位，糖膏（或罐内）温度，罐内真空度，加热蒸汽压力，糖液折光浓度，糖液电导值，糖液温升值（沸点升高），糖液粘稠度（或流变度），糖液纯度，糖膏中的晶粒含量，糖膏中晶粒和晶种糖粉的粒度，糖膏中晶粒的晶形等。在以上各参数中，有一些参数的测量可以引用通用的测量仪表按生产实际情况稍加改进后得到解决，另一些参数则由于专业性质较强，必须专门研制新型的测量仪表，提供糖厂使用。

1. 电导值

利用电导值来控制煮糖的研究工作从1927年开始已由P·Honig在爪哇首先进行〔1〕,其后,许多国家均进行了探讨和试验。英国糖业公司在1930年代生产了“Cuitometer”电导仪,1940年代以后,不少国家的糖厂都曾试用。根据过去的经验和研究结果,认为电导值用于控制煮糖有如下几个特点:

(1) 在糖液纯度不太低($>77\%$)时,糖液的电度值与过饱和度有比较固定的关系,温度变化对此关系影响甚微,其误差仅为0.01饱和度/ 5°C 〔2〕。

(2) 糖液的电导值与糖液的非糖份有密切的关系,根据过去试验情况,煮低级糖膏时,其相对变化比较稳定。但煮高纯度糖膏(纯度95%以上)时,则相对变化较大,电导率随纯度的增大而急剧降低,纯糖液是不导电的。因此,用于控制精炼糖膏时,要求对原料纯度加以控制〔3〕。

(3) 糖膏中晶粒含量对电导值有影响,在饱和糖液中,晶粒含量为40%时的电导率约为没有晶粒时的一半;晶粒粒度对电导率基本没有影响〔2〕。

(4) 电导值与纯度、过饱和度及温度等的关系很复杂,不可能用已有的数据获得简单的数学表达式〔1〕。

由于电导值测量仪表比较简单粗放,而且对煮糖过程的反映也有一定的规律,因此,引

用这种仪表的厂也不少。对于以电导仪为主构成煮糖控制系统的研究和试验,大多集中在西欧甜菜糖地区,其中以丹麦进行的工作比较完整〔4〕。丹麦DDS公司宣称可以利用该公司的电导仪自动煮糖系统煮制各种糖膏。苏联东欧国家采用电导仪作煮糖控制试验的也不少〔6〕。由于甘蔗糖原料纯度变化较大,糖膏的电导值不稳定,因此,美国夏威夷和古巴等盛产甘蔗糖地区起初很少采用电导值煮糖〔5〕,只是在最近几年,夏威夷的个别糖厂才引用了丹麦DDS的电导仪自动煮糖系统。澳大利亚的昆士兰地区则在1960年代中期才开始较大量使用电导仪煮糖〔7〕、〔8〕。

据Madsen的说法,如果能按照煮糖时原料及母液的具体情况适当地改变电导给定值,并且利用工业电视装置监视各罐糖膏的情况,则可以实现用一个人集中控制整个煮糖工段(多至15~20个罐)〔4〕。

电导仪的指示控制装置一般可在通用仪表制造厂中购得,有个别使用者则自行制造这些装置。电导电极则由使用者按生产实际情况配合电导仪的特性自行设计制造。丹麦DDS公司设计制造的电导电极如图1所示。电导电极在使用时会出现积垢问题,但根据国外的使用经验,如果用较高频率的大电流通过电极,则可防止严重积垢现象,只需每星期清理一次即可〔3〕。

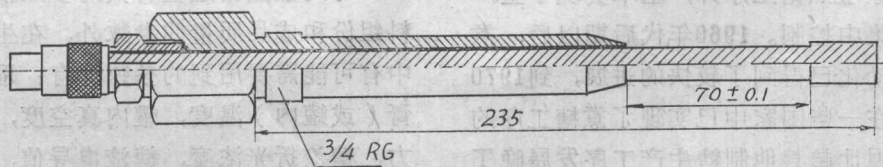


图1 DDS电导电极

2. 温升值

糖液的饱和度与沸点升高之间有着一定的关系。1940年代,美国Honeywell仪表公司已按Holven的专利制成了第一种根据温升值表示糖液过饱和度的仪表(以下均称温升仪),

首先在一间精炼糖厂中使用〔9〕,其后,该仪表公司的Brown仪表厂又在此基础上发展了另一种温升仪〔1〕。1950年代后期,其他一些仪表厂也制造了各自设计的温升仪。温升仪出现后,美国本土及夏威夷州采用来控制煮糖

的最多，与欧洲推广使用电导仪控制煮糖适成对照。

许多研究者都认为，糖液的温升值直接与糖份对水的比值成正比例，但糖份对水的比值受糖液中的非糖份所影响。最早研究温升值与过饱和度关系的是Thieme，他于1927年用蔗糖溶液测定了温升——过饱和度数据并推导出关系式〔10〕。后来，Batterham等又对Thieme的数据进行了修正。Spengler等人于1942年也发表了甜菜糖溶液的温升——过饱和度数据〔11〕。Holven〔9〕、Genie〔12〕、Nicol、Vavrinecz〔13〕等对温升值——过饱和度的关系一直进行着研究。各研究者推导出的关系式各不相同，但都表明，不纯糖液的过饱和度是压力、温升、纯度、浓度等变数的函数，受晶粒含量的影响很小，即 $S_s=f(P, \Delta t, p, C)$ 。式中： S_s ——过饱和度； P ——溶液所处压力； Δt ——溶液的沸点升高（温升）； p ——溶液纯度； C ——溶液中糖对水的比值。1950年代及此前，Brown、Foxboro〔16〕及GRW〔14〕等仪表厂都是利用常规仪表改型作温升仪，由于仪表性能的限制，未能全部反映所有变数与过饱和度的关系。

根据各使用者的经验，温升仪可用于各种不同纯度的糖溶液，但须按实际情况给定控制点。当煮制高纯度（>90%）糖液时，用温升仪作过饱和度值的测量仪表，其误差很小。

要使温升仪使用得好，关键问题在于能迅速获得平衡后的饱和温度。在温升仪的早期应用中，大多数使用者均设计一个小煮水罐，让水在工作压力下受热蒸发，测量此煮水罐中的水沸点〔1〕，如图2所示。Genie于1957年则对煮水罐作了改进〔11〕，如图3所示。在这套装置中不用热源加热水，而是直接将低压蒸汽膨胀冷却而得到工作状态下的水沸点。Dunning等人〔15〕亦曾研究过用压力参数代替水沸点来测量糖液的温升值。无论对水沸点的测量方法如何，在压力经常变化的动态情况下，糖液的温升值会产生较大的误差。故使用温升仪的一个重要条件是力求工作压力

稳定〔10〕。

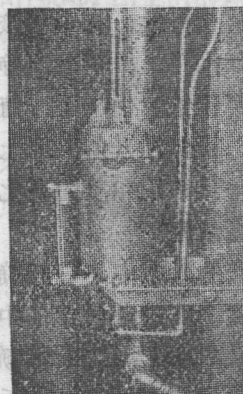


图2 温升仪的煮水罐

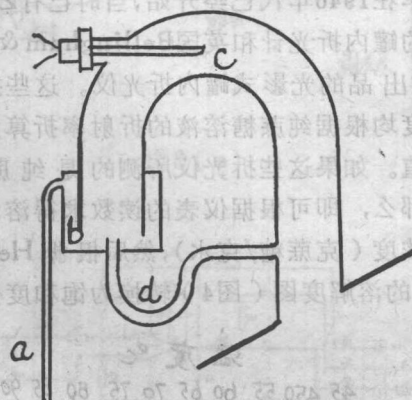


图3 Genie测量饱和水沸点的装置

a—10英尺长小铜管；b—膨胀罐；c—感温电阻；d—U形管，

煮糖罐中的糖膏液位会对糖膏温度产生静压温升影响，根据Webre〔1〕的研究，当糖膏比重约1.48，真空度在50~100mmHg绝对压力时，糖膏的静压温升约为10~11℃/米静压水柱。虽然，在一个设计良好的煮糖罐中，良好的对流会减小静压温升，但不能完全消除。在一个煮糖罐的综合测量控制系统中，也可以用差压式液位参数来补偿静压温升的影响，但除了应用电算机外，这样就使常规仪表的结构复杂化。苏联的发明家也曾试验过一种浮动装置，既用来测罐中糖膏液位，也可在液面上测量糖膏温度，希望能消除静压温升。在找到消除静压温升的可靠方法之前，温升仪的静压

温升误差问题依然存在。因此，一般认为温升仪最适宜于在间歇煮糖罐中用来控制起晶过程，因为在这个时候，罐中的液位保持在一个基本不变的低水平上，不出现静压温升问题。

由于在实际工业生产中，糖液的非糖成份经常变化着，所以温升值实际上亦只能在一定条件下间接地反映饱和度的变化。

3. 折光浓度

利用溶液的折射率可以精确地测出溶液中的固溶物浓度。在纯蔗糖溶液中，蔗糖浓度与折射率的关系数据已经过精确的测定，并于1966年由国际糖品统一分析方法委员会（ICUMSA）发表。利用糖溶液的折射率控制煮糖，早在1940年代已经开始，当时已有Zeiss厂出品的罐内折光计和英国Bellingham & Stanley厂出品的光影式罐内折光仪。这些折光仪的刻度均根据纯蔗糖溶液的折射率折算为折光锤度值。如果这些折光仪所测的是纯蔗糖溶液，那么，即可根据仪表的读数求得溶液中的蔗糖浓度（克蔗糖/克水），然后根据 Herzfeld〔1〕的溶解度图（图4）转换为饱和度值。

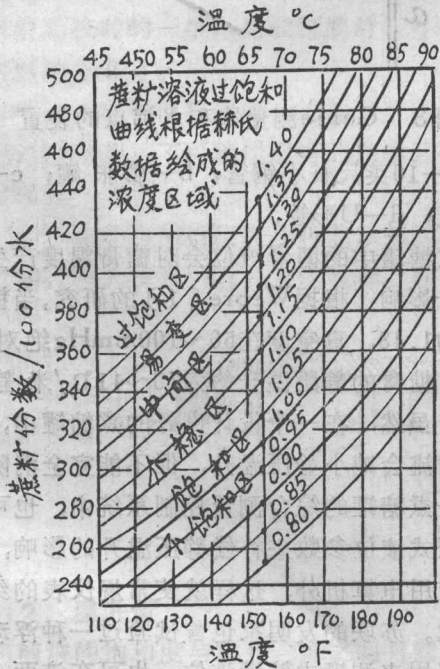


图4. 根据Herzfeld数据绘成的纯蔗糖浓度——饱和度图

1965年，Diago〔17〕发表了不同纯度的糖液的折光浓度——过饱和度数据，这些数据如表1及表2所示。

表1 温度62℃糖浆的过饱和度

折光锤度 %	真 纯 度		
	78~80	82~84	86~88
76.5	1.00	1.02	1.04
77.0	1.03	1.05	1.07
77.5	1.06	1.08	1.10
78.0	1.09	1.11	1.13
78.5	1.12	1.14	1.16
79.0	1.16	1.18	1.20
79.5	1.19	1.21	1.24
80.0	1.23	1.25	1.28
80.5	1.27	1.29	1.32
81.0	1.31	1.34	1.36
81.5	1.36	1.38	1.41
82.0	1.40	1.43	1.45

表2 温度62℃含10微米糖粒的母液的过饱和度

折光锤度 %	真 纯 度		
	68~70	72~74	76~78
77.5	1.00	1.03	1.05
78.0	1.04	1.06	1.08
78.5	1.07	1.09	1.11
79.0	1.10	1.13	1.15
79.5	1.14	1.16	1.18
80.0	1.17	1.20	1.22
80.5	1.21	1.24	1.26
81.0	1.25	1.28	1.30
81.5	1.29	1.32	1.34
82.0	1.33	1.36	1.39
82.5	1.38	1.41	1.42
83.0	1.43	1.46	1.49
83.5	1.48	1.51	1.54

Diago还指出,当温度不是 62°C 时,过饱和度的变化与温度变化成反比,约为 0.013 饱和度/ $^{\circ}\text{C}$ 。

Diago的数据是以折光锤度作为干固体含量百分数来处理的。事实上,当糖液中的非糖成份改变时,折光锤度与干固体含量百分数之间的数值会有一些差异,因此,折光锤度——过饱和度的关系数据也就有了偏差。虽然如此,利用有纯度关系的Diago数据比用 Herzfeld数据去控制煮糖会更为精确一些。

用折光仪测得的糖液折光浓度值不受糖液中晶粒含量的影响,利用这种特性, Schliephake等〔18〕和Batterham等〔19〕提出了用折光仪、同位素糖膏密度计和温度计,通过模拟计算机检测出糖膏的母液过饱和度和晶粒含量,并在糖厂中进行过试验,认为适于用较高纯度的糖膏,其原理如图5所示。

利用折光仪自动控制煮糖的试验,在许多国家都认为是满意的,折光仪反映的数值比较精确和稳定。但普遍认为折光仪存在一些缺

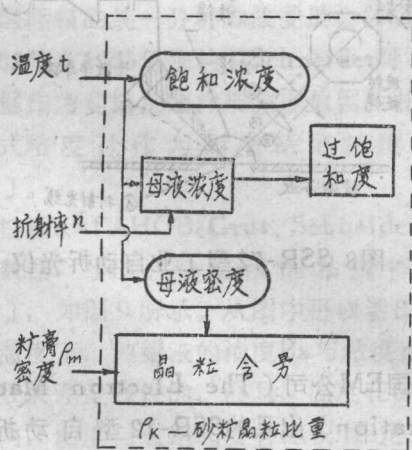


图5 利用折光浓度及糖膏密度测过饱和度和晶粒含量

点:对糖液浓度变化的反应较慢,价格较贵,需作温度补偿。

目前国外出产的曾在糖厂中应用较多的工

业自动折光仪有英国B & S公司的R23E型,法国OPEM公司的SOPELEM型和美国EM公司的SSR-72型等。

英国B & S(Bellingham and Stanley)公司的R23E型工业自动折光仪〔20〕是在该公司R23E型光影式工业折光仪的基础上加装光电转换部份而成。它的基本原理如图6所示。

图6 R23E型工业自动折光仪

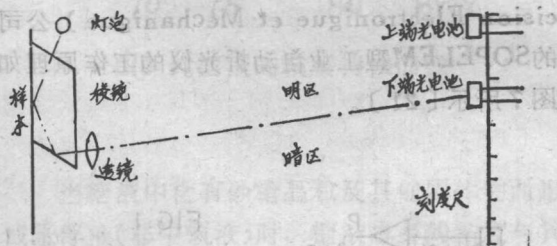


图6(a)

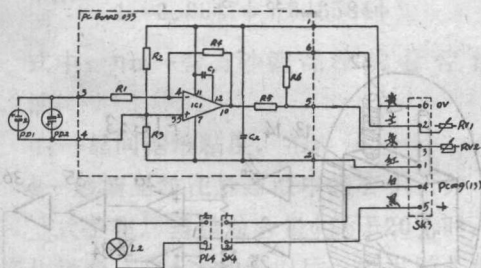
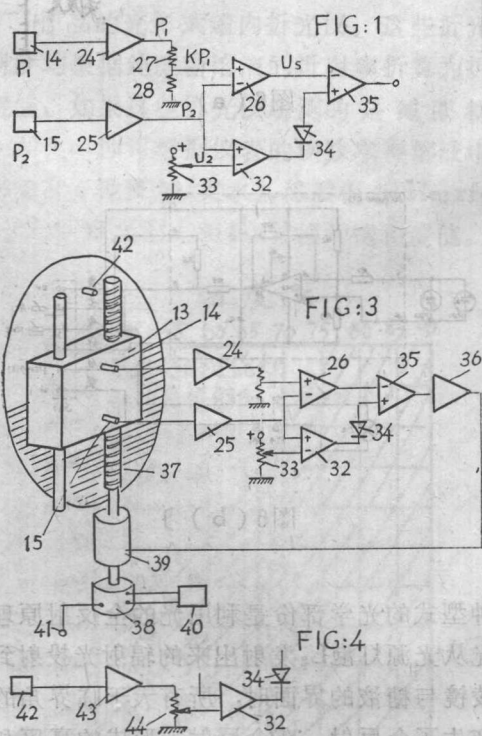


图6(b)

这种型式的光学部份是利用光的全反射原理。当光从光源灯泡 L_2 发射出来的辐射光投射到折光棱镜与糖液的界面时,所有大于临界角的光线产生了全反射。在全反射光形成的亮区和没有光线的暗区交界线上装了一片下端光电电池PD2,光电电池的位置调整在需测的折光率范围(明暗区交界线位置变动范围)内,另一片上端光电电池PD1放置在经常有光线的明亮区中。上端光电电池PD1接收到光线后产生一个随反射光线亮度和波长而变化的电信号。这个信号作为参比信号。下端光电电池PD2由于处在明暗区

范围内,只接收到部分光线,所产生的电信号随着投射到光电池PD₂表面上的明暗区面积比例而变化。两片光电池的信号经过运算放大器IC₁及另一功率放大器放大后,输出一个与糖液折射率有一定关系的电信号(0~100mv或0~5v)作控制之用。这种型号的自动折光仪结构比较简单,但存在一些缺点:(1)刻度非线性;(2)控制范围不大(最大约10Bx);(3)没有温度补偿;(4)不能避免光学干扰。

法国OPEM (Societe d'Optique, Precision Electronique et Mechanique) 公司的SOPELEM型工业自动折光仪的工作原理如图7所示〔21〕。



13—光电池拖架; 14、15—光电池;
33—电位器; 24、25、26、32、35、36—放大器;
34—二极管; 37—丝杆; 39—电动机;
38—电位器; 40—恒稳电源; 41—输出端;
42—阈值光电池。

图7 Sopelem型工业自动折光仪原理图

这种形式的光学部份和其他型号一样,是利用全反射原理,光电转换部份则和B&S的产品不同,是利用随动系统。当糖液折光浓度改变而使图7中所示的光线明暗区界线位置改变时,光电池组(14和15)接受的光通量有变化,经过放大器(24、25、26、32、35、36)放大后,推动了电动机39,使丝杆37转动,移动了光电池拖架,使光电池组追随明暗区界线而移动至平衡位置为止。在丝杆37转动的同时,电动机39亦一并带动电位器38。此电位器由一个高精度恒稳电源供电,在端子41输出控制信号。光电池42是用来自动补偿光线强度的变化以提高测量精度,它的光电流经另一放大器放大后,其输出接到电位器33的“+”端。这种型号的折光仪也没有温度补偿,也不能完全消除光的干扰。

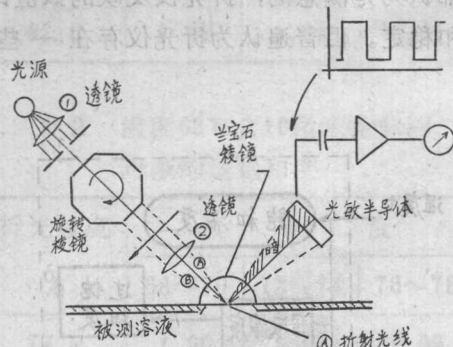


图8 SSR-72型工业自动折光仪

美国EM公司 (The Electron Machine Corporation) 出品的SSR-72型自动折光仪〔22〕与上述两种型式不同,其原理如图8所示。光源的光线经透镜①形成平行光后,再经窄缝形成狭缝光线。以同步转速转动的正八角柱棱镜将此狭缝光线折射而产生一扫描光线,从一边界向另一边界反复扫描,扫描频率等于同步频率的八倍。扫描光线再经聚焦透镜②形成了从A到B的不同投射角度,当这

些不同角度的光线顺序地反复射入蓝宝石棱镜后,即依全反射原理而反射,所有大于临界角(与糖液折射率有关)的投射光线均被反射而为光敏半导体所接收。当光线不断地扫描,光敏半导体发出的光电流即如图8右上角所示的波形,在一个周期(IT)内, t_1 的一段时间没有光电流(光线投射角小于临界角), t_2 的一段时间有光电流,其中 $t_1+t_2=T$, 比值 $K=\frac{t_1}{t_2}$ 即代

表了糖液的折射率。光敏半导体的光电流经放大后,即输出一个正比于糖液折射率的信号到控制仪表中。光的干扰对这种型式的折光仪影响较小,也完全不受光强变化的影响。

4. 粘稠度(或流变度)

糖液具有明显的粘度特性。早在本世纪初,已有不少研究者对糖液粘度进行了研究。Micheli〔23〕于1938年把过去关于糖液粘度——过饱和度关系的研究进行了总结,提出了一系列图表和数据。其后,对糖液粘度进行研究的人员逐渐增多。1937年以后,有一些研究人员也开始对粘度的连续指示和纪录进行了研究〔24〕〔25〕。

国际糖品统一分析方法委员会(ICUMSA)于1962年和1966年采纳了Schneider等人的研究数据作为纯糖液的标准粘度数据,并建议用旋转式粘度计作为测量糖液粘度的仪器〔26〕。

根据КАГАНОВ、Grut、Schneider等人的研究数据,绘出了纯糖液的粘度特性曲线〔27〕,如图9所示。从图中可以看出,在一定的温度下,纯糖液的浓度Bx与粘度 η 之间的双对数关系是线性的,而且,温度在50~80℃范围内,粘度与过饱和度有比较固定的关系(同一过饱和度差不多对应于同一粘度值)。

糖液的纯度对粘度有影响,有些学者过去虽然对这个关系有过一些研究,但未能获得较可靠的数据。但研究结果初步表明,在同一粘度下,糖液的纯度越高则过饱和度越高〔27〕。根据ICUMSA的建议〔26〕,这个关系仍须作进一步的研究。

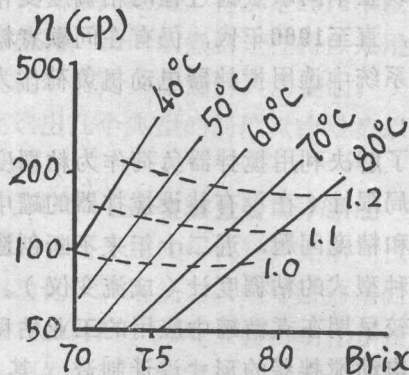


图9 纯糖液的粘度特性曲线

当糖液中含有砂糖晶粒及其他固体物而形成悬浮液(非牛顿液)时,糖液本身的粘度与其悬浮液的粘度有显著的差异。根据СИЛИНА〔28〕的研究,有如下的关系式:

$$\eta_m = \frac{\eta_1}{1 - 3.8047\phi + 3.6584\phi^2}$$

式中: η_m —含有砂糖晶粒的悬浮液粘度,泊;

η_1 —晶间糖液粘度,泊;

ϕ —砂糖晶粒在悬浮液中的容积百分数。

上式表明,当晶粒含量 ϕ 低于20%时,粘度变化缓慢,当 $\phi > 20\%$ 以后,粘度随 ϕ 值的增大而迅速增加。按СИЛИНА的意见,晶粒粒度在0.25~2.25毫米之间时,此式都适用。

由于粘度与糖液的过饱和度及糖液中晶粒含量都有关系,而过饱和度及晶粒含量恰恰是控制间歇煮糖过程的最重要的两个参数,因此,它能够被用来反映整个间歇煮糖过程中的在煮物料状态。

1950年代以前,当时还没有发明适用于煮糖过程的工业粘稠度计(或工业流变仪),在煮糖罐中测量在煮物料的粘稠度只能利用装在罐中的搅拌器的电动机负荷〔29〕。但是由于搅拌器是一个动力装置,它的电动机负荷对粘稠度变化的敏感性不高,只适于测量几千厘泊以上的物料,故实际上只能利用来测量煮糖过

程行将终结时的糖膏密度（或稠度），而不能精确反映整个间歇煮糖过程的粘稠度变化。虽然如此，直至1960年代，仍有在间歇煮糖过程自动化系统中选用搅拌器电动机负荷作为控制参数。

为了解决利用搅拌器负荷作为粘稠度控制参数的局限性（在没有装设搅拌器的罐中不能采用）和精度问题，近二十年来不断创造和引用了各种型式的粘稠度计（或流变仪）。

比较早期在煮糖罐中应用的工业粘稠度计是仿照电动搅拌器的形式设计制造，其中有Baikow—Nilson仪表厂〔30〕Taylor仪表厂〔31〕、Electronik仪表厂和Honeywell仪表厂〔32〕、以及日本CMT—1型〔33〕的产品。这类产品是用一个小马达带动转盘或叶片使之在溶液中转动，当转盘或叶片因溶液的粘度改变而受到不同的力矩时，利用小马达负荷电流的变化发出控制信号。仪表对工业设备（容器及管道）的密封采用空气或水。这种型式的优点是结构简单轻便，但在低粘度时，仪表的响应仍不够灵敏。

1968年Ahari等〔27〕发表了他们的研究成果。他们在法国的糖厂试验了Bendix厂出品的超声波粘度计。这种粘度计的感测部份是一块用磁致伸缩金属制造的金属振动片，此振动片固定在一块隔膜上，插入煮糖罐中。当电磁脉冲激励了振动片后，振动片即产生共振，其频率与振动片所处的周围环境有关，亦即与煮糖罐的糖液性质及温度有关。测出共振阻尼的变化即可代表糖液粘度的变化。这种型式的粘度计可以在整个煮糖过程中使用，当糖液中含有晶粒时，测出的数值代表了糖膏的稠度。仪表的精度约为2%。在试验中发现的缺点是振动片在过饱和溶液中振动时会在片本身表面上产生晶体积聚，严重时会影响测量精度。

1960年代后期和1970年代前期这一段时间，西德的Siemens公司和Fischer & Porter公司分别研制了粘稠度计和流变仪，并在糖厂中试用。据许多国家试用后反映，这两种仪表都能在煮糖过程中使用，但公F&P司的流变仪

使用量较多。

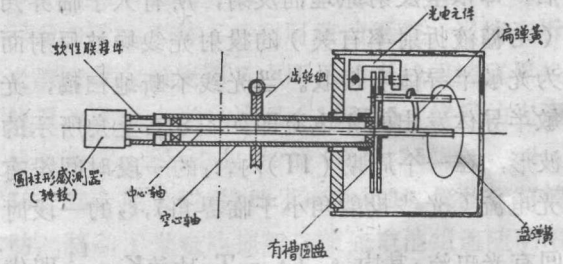


图10 西德Siemens公司的旋转式粘稠度计结构示意图

这两种仪表的工作原理〔34〕简述如下。

Siemens公司的粘稠度计的工作原理简图如图10所示。感测装置是一个圆柱体，插入煮糖罐中。同步电动机（图中没有绘出）经过齿轮组带动空心轴，空心轴经扭矩弹簧（盘形圆弹簧及扁弹簧）带动中心轴，中心轴与圆柱体相连。空心轴与中心轴之间用弹性橡胶套（软性联接件）联结。空心轴与中心轴的右端各连有一个有槽的圆盘。当感测器受物料粘度影响而产生剪切力作用时，扭矩弹簧受到的扭力改变，空心轴与中心轴之间即有相对角位移，因而两轴右端的圆盘槽的位置也有相对位移。在圆盘槽的相对两侧放置光电感测元件，经过电子放大装置即可送出正比于粘稠度的信号。

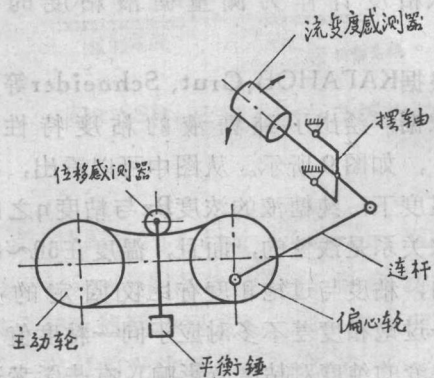


图11 西德F&S公司的流变仪结构示意图

西德Fischer & Porter公司出品的流变仪的工作原理简图如图11所示。用一只电动机经减速齿轮组（两者在图中均没有绘出）带动主

动轮，主动轮经链条带动一只偏心轮，再经连杆、摆轴和特制的密封装置带动一个插入煮糖罐中的圆柱筒感测器。电动机转动时，圆柱筒即作弧形来复摆动。当物料流变特性改变，圆柱筒摆动时受的阻力也改变，因而链条的传动张力也改变。在链条上面放置一个用重锤加以平衡的位移感测器（气动或电动），通过位移感测变换及数值转换〔36〕，即可发出适应于煮糖过程流变度变化的信号。

上述两种仪表都是测量粘度对运动物体产生的力矩的。其他既适于测量牛顿液也适于测量非牛顿液的工业粘稠度计（流变仪）还有一种是测量粘度对电动机转速的关系的〔35〕，其感测部份有转盘、锥体、柱体等形式，1975年在日本精炼糖工业中曾经采用〔37〕。

5. 其他常规测量仪表

经过近二十年的研究发展后，在间歇煮糖过程中须要测量的通用参数一般都可应用常规仪表测出。综合国外各项报导，大致情况如下：液位方面，广泛采用单法兰式或双法兰式差压变送器；糖膏温度方面，利用通用的电阻温度变送器；蒸汽及水的压力和流量都是采用常规的压力和差压流量变送器；各种糖液的流量采用电磁流量计；真空度采用绝对压力（或真空度）变送器；糖液浓度方面采用 γ -射线浓度计等。这些常规仪表的应用比较成熟，因此运行安全性和可靠性都比较高。

二、间歇煮糖自动控制系统的进展

控制系统的进展是与测量技术和控制理论的进展密切相关的。在1950年代，由于对电导仪、温升仪、搅拌器负荷变送装置、继电器逻辑系统等的应用和发展，间歇煮糖过程开始踏上全自动化的发展道路，而在此之前，仅能实现半自动化或个别控制环节的自动化。1960年代，粘稠度（流变度）仪表及半导体技术的应用和发展，又使间歇煮糖系统的自动化提高到

集中控制的水平。及至1970年代，电算机已在工业上开始推广应用，特别是1974年以后微处理机的出现，使间歇煮糖过程得以采用计算技术实现比以前更为理想的自动控制。

现选出几个典型的间歇煮糖自控系统作简要的介绍。

1. DDS（丹麦糖业公司）系统

DDS公司于1950年代已开始研究试验间歇煮糖自动化，其系统是以电导法为基础。经过廿年左右的时间，DDS煮糖自动化系统从最简单的Ⅰ型发展到比较完整的Ⅲ型。DDS-Ⅰ型系统只能在养晶阶段自动控制入料；DDS-Ⅱ在Ⅰ型基础上增加自动投粉操作；DDS-Ⅲ型包括整个煮糖过程的自动控制。

DDS-Ⅲ型控制系统〔38〕包括28个操作顺序，如图12所示：①准备；②入料；③浓缩

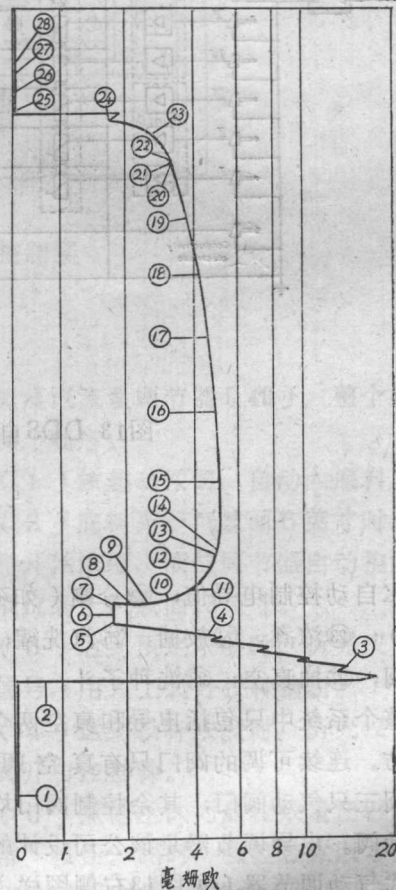


图12. DDS自动煮糖系统电导曲线图

并继续入料；用液位电极控制底料液位；④继续浓缩，电导仪接入系统；⑤投粉，自动控制低真空度；⑥止晶，入料或入水，将电导值自动控制在投粉点附近一定时间（煮高纯度糖为0.5~5分钟，煮低纯度糖为2~20分钟）；⑦~⑫固晶，入料或入水，按给定时间分六级将电导值逐步提高，这一段曲线实际上是阶梯

形的，即每隔一定时间提高一次电导值，并控制稳定一短时间（利用图13所示的程控单元回路），六级共需时2~15分钟；⑬续料煮上；⑭养晶，恢复正常真空度；⑮~⑯养晶，用液位电极分四级逐步降低电导值；⑰~⑳养晶，由第五个液位电极给定电导值，自动控制高真空度；㉑煮满停料，由最后一只液位电极控

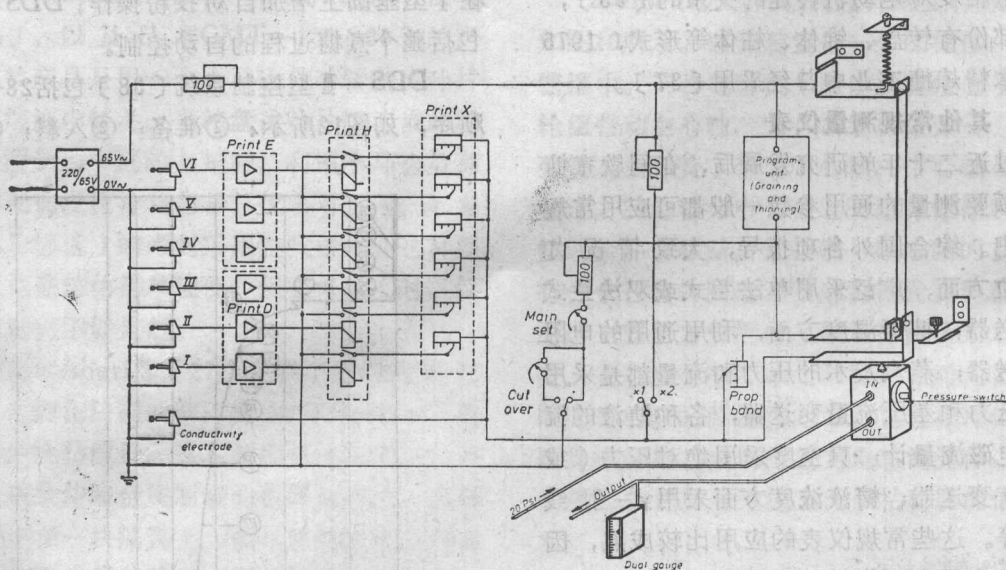


图13 DDS自动煮糖系统的电导控制原理图

制；入水自动控制电导值；㉒分割（如不分割则转㉓）；㉓浓煮；㉔放糖；㉕汽洗罐；㉖关卸糖底阀；㉗抽真空；㉘洗种子斗。

在整个系统中只包括电导和真空两个自动调节环节。连续可调的阀门只有真空阀、水阀、料阀三只气动阀门，其余控制阀门均为两位式气动阀。电导调节器是该公司设计的双热线比较式气动调节器（见图13右侧图样）。时间顺控装置采用时间继电器系统。

DDS-Ⅱ型自动煮糖控制屏的屏面布置如图14所示。在整个系统中还包括有装在罐壁上的晶粒显微镜（最近发展工业电视装置）。

该系统的特点是系统比较简单。整套设备（包括料和水两只自动阀门，不包括运费和人工）价格约7,500美元。据DDS公司宣称，该系统适于煮各种糖，但煮高纯度糖则以采用粘稠度仪表较好。

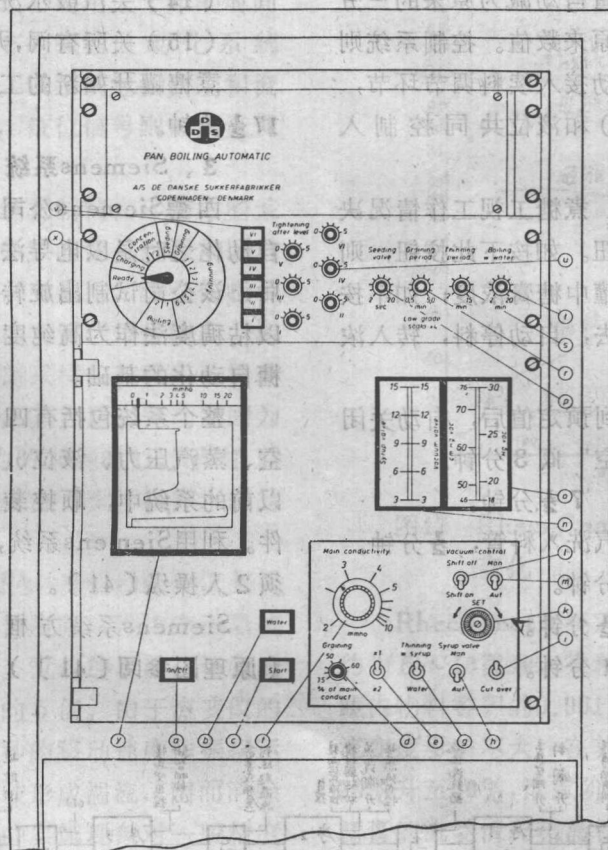


图14 DDS-Ⅱ型自动煮糖控制屏

2、Honeywell系统

美国Honeywell仪表公司于1955年已经开始供应整套间歇煮糖自动控制装置〔39〕。Honeywell系统的原理如图15（参看本专辑第62页图3）。它包括五个相关的调节环节：绝对压力、入汽压力、液位、过饱和度（温升）、流变度（搅拌器负荷）。温升值主要用来控制投种起晶和固晶，煮糖过程中的其余各阶段，如养晶及浓煮阶段等，均用流变度和液位进行控制。整个煮糖过程先由人工进行试煮，确定了煮糖过程中各阶段的时间和参数给定值后，用时间程序凸轮机构进行顺控。

1973年，Honeywell将系统进行了修改，用EM公司出品的自动折光仪代替温升仪

并增加蒸汽流量调节器〔40〕。整个控制过程共分15个顺序：

- （1）按起动按钮，自动入底料。
- （2）底料高于汽鼓面6英寸时送入定量蒸汽，开始浓缩，液位调节器自动控制续料，保持液位高于汽鼓面13英寸。
- （3）达到预定浓度时，折光仪发出“预备”信号，用人工装好投种糖粉。
- （4）达到投种浓度时，折光仪自动控制投种阀开启12秒钟。
- （5）煮糖工认为晶粒数量已够，则按下“正常”按钮。此时，程控装置以4分钟时间自动将绝对压力从5.5英寸汞柱提高到8.2英寸汞柱，用高温“止晶”，保持11分钟后，以

31分钟时间将绝对压力回复原来数值。与“止晶”开始同时，蒸汽流量自动减为原来的三分之一，经18分钟后回复原来数值。控制系统则于“止晶”开始时即自动接入续料调节环节，由流变度（搅拌器负荷）和液位共同控制入料。

（6）煮满后发讯，煮糖工视工作情况决定是否按下“保持”按钮。如按下此按钮，则由流变度控制入水保持罐中糖膏浓度；如不按此按钮，则程序继续下去，自动停料，转入浓煮。

（7）当流变度达到预定值后，自动关闭所有阀门，打开“放真空”阀3分钟。

（8）开底阀放糖，7 $\frac{1}{2}$ 分钟。

（9）汽洗底阀及汽洗入料管， $\frac{1}{2}$ 分钟。

（10）关底阀，1分钟。

（11）汽洗罐壁， $\frac{1}{2}$ 分钟。

（12）水洗罐顶，1分钟。

（13）开汽鼓水洗阀，1分钟。

（14）关汽鼓水洗阀，1分钟。

（15）关所有阀，开真空抽射器，2分钟。

煮糖罐开始新的工作程序。辅助时间合共17 $\frac{1}{2}$ 分钟。

3、Siemens系统

西德Siemens公司开始研究发展间歇煮糖自动化之时是以电导法为基础的。1965年以后，该公司试制出旋转力矩式粘稠度计后，即以粘稠度法作为高纯度（>90%）糖的间歇煮糖自动化的基础。

整个系统包括有四个自动调节环节：真空、蒸汽压力、液位、粘稠度（或电导）。在以前的系统中，顺控装置采用电动时间继电器元件。利用Siemens系统，整个煮糖工段最多只须2人操纵〔41〕。

Siemens系统方框图〔42〕如图16所示（原理图参阅〔41〕）。

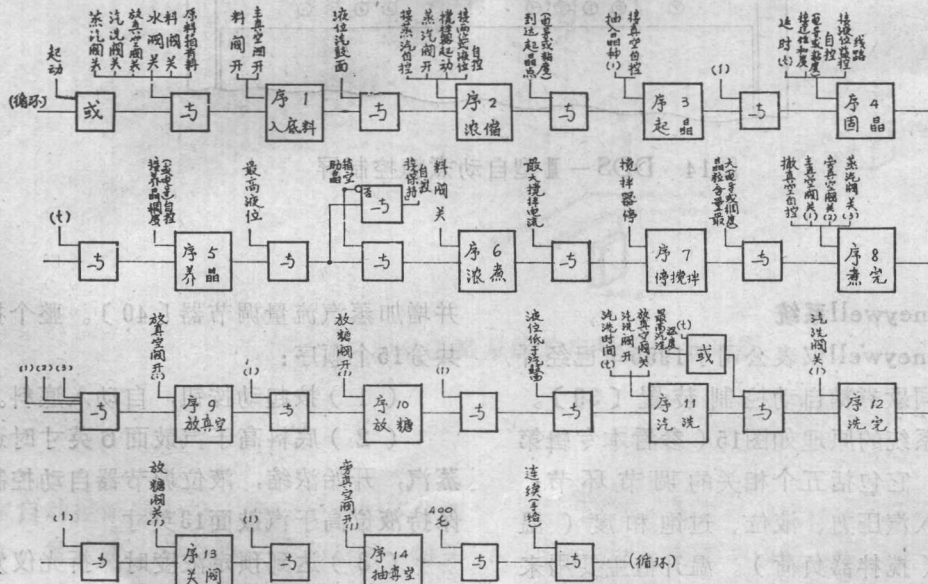


图16. Siemens间歇煮糖自动化系统方框图

根据Siemens公司的资料，煮制纯度90%以上的糖膏时，该公司的粘稠度计测得的糖膏对感测转鼓的转矩为：在起晶及固晶阶段0~20牛顿·厘米，在养晶及浓煮阶段20~200牛

顿·厘米。在养晶阶段控制的稠度随罐中糖膏液位而变，其变化率可按实际生产情况由人工给定〔41〕。

4、Fischer & Porter系统

自1964年开始, F&P公司出品了流变仪 (Rheometer) 以后, 该公司用了十年的时间以此仪表为基础发展了它的煮糖自动化系统——Rhecrymat [43]。该系统包括真空和流变度两个自动调节环节, 液位信号则加到流变度自动调节环节中。

利用Rhecrymat系统煮制精白砂糖 (糖浆纯度 $>90\%$) 时, 有关参数的变化过程如图17所示。在图中绘出的六个参数中, 流变仪指示值、液位、温度是在罐内实测, 母液浓度、流变特性、过饱和度则定时采样由化验室分析确定。在整个煮糖过程中, 蒸汽压力变动范围为0.3~6巴, 糖膏温度为 $67.5\sim84^{\circ}\text{C}$ 。采样后在化验室用离心机分出母液 (大于10微米的晶粒被分掉) 进行分析。

在煮糖过程中, 用Rheometer流变仪测得的糖膏流变特性表明流变度随母液浓度和晶粒含量的增加而逐渐增大。煮炼终了时, 糖膏的流变度约为投粉起晶时的5倍。由于流变仪的感测柱是以约300毫米/秒的移动速度作振摆运动, 使感测柱附近的糖液形成湍流, 因而消除了在高浓度糖膏中产生的层流现象对一般粘度计测量值的影响。

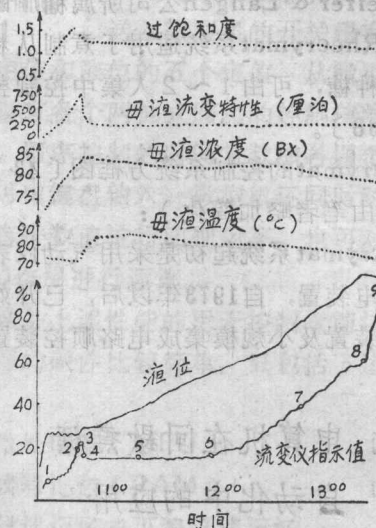


图17 Rhecrynat自动煮糖过程的参数变化

Rhecrymat系统采用投粉起晶, 糖粉粒度约为5~10微米。投种后, 晶粒容积含量约为罐内物料容积的0.001%, 此时的晶粒含量对流变度影响不大。在养晶阶段, 晶粒含量约从20%升至40%, 浓煮阶段则约从40%升至48%。糖膏的流动情况和晶粒粒度对流变度影响甚小 [44]。

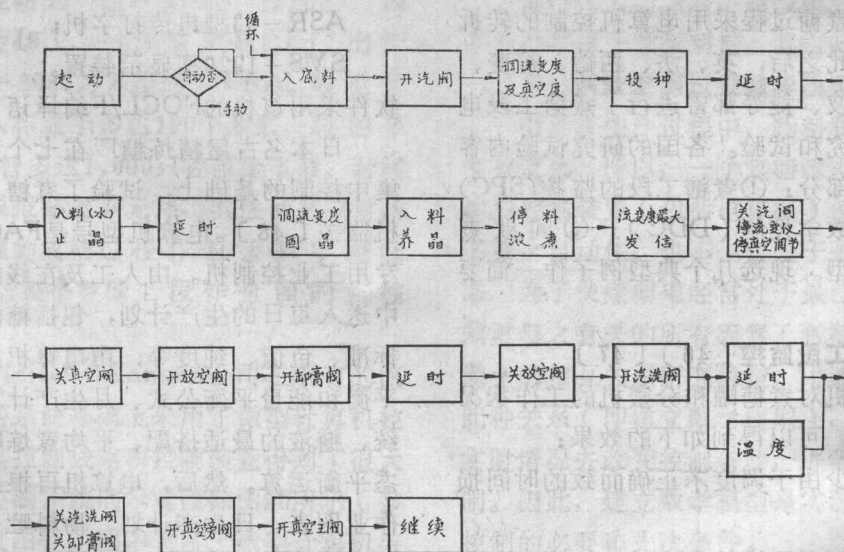


图18 Rhecrymat 控制系统方框图

据Pfeifer & Langen公司所属糖厂的使用经验认为RheCrymat系统适用于煮制从粗糖至精糖的各种糖,可由1~2人集中控制整个煮糖工段〔36〕。

RheCrymat的控制系统方框图〔43〕如图18所示(由笔者略加简化):

RheCrymat系统起初是采用气动仪表装置和时间继电装置,自1973年以后,已开始配置电动仪表装置及小规模集成电路顺控装置。

三、电算机在间歇煮糖自动化中的应用

间歇煮糖自动化系统既包括有闭环的自动调节环节,也包括有开环的顺序控制,其中一些参数也需要进行运算,并且,为了使煮糖过程处于最佳状态,还必须随时按物料和汽源的变化依一定的规律去整定系统的给定值。因此,在间歇煮糖过程自动化中采用电算机控制是比较理想的。

1966年英国糖业公司召开了年会,邀请了许多国家的专家参加,会上总结和讨论了煮糖过程自动化,提出了采用电算机控制的问题,这个会议成为煮糖过程采用电算机控制的转折点〔45〕。自此之后,英、法、西德、丹麦、澳、以及苏、波、捷等都曾进行了煮糖工段电算机应用的研究和试验。各国的研究试验内容可以分为两大部分:①煮糖工段的监控(SPC)和煮糖罐直接数字控制(DDC);②间歇煮糖过程数学模型。现选几个典型例子作一简要介绍。

1、煮糖工段监控〔46〕〔47〕

利用电算机对煮糖罐和分蜜机的工作状况进行监控调度,可以得到如下的效果:

(1)减少由于调度不正确而致的时间损失;

(2)缩短煮糖罐的停罐时间,可以因此提高砂糖产量和质量,及因蒸汽得到均匀而合理的利用,从而节约了蒸汽;

(3)煮糖罐和分蜜机超载可以得到较早的警报。

按目前所达到的水平,煮糖工段监控只能作计算和显示,还未能做到与煮糖罐控制系统或分蜜机顺控系统连结起来,仍需要由操作人员根据电算机的显示去调整各个控制系统。

根据Burianek〔47〕的研究,在煮糖工段监控系统中,用15个方程式描述整个煮糖工段的物料平衡。把各个物料贮箱的液位、煮糖罐当时的工作状态等测出并输入TESLA-200型电算机(捷克产小型机)中,按煮糖系统计算各种物料的出入量,定时将结果打印出来及作数字显示。软件采用FORTRAN语言。

Frew等〔46〕的研究是将煮糖工段中的各物料容器和煮糖罐的液位、各阀门的开关情况、各煮糖罐的蒸汽用量等信号输入电算机中,按照煮糖系统计算各种物料的平衡,并由电算机输出计算结果及显示煮糖罐和分蜜机应当执行的工作状态。这种计算和显示每隔2分钟进行一次。所用的电算机硬件有:

PDP-8型电算机,12K内存;
ADO 1 A型64路多工模数转换器;
DR 8-EA型12位输入/输出器;
PCO-3型50字/秒纸带穿孔机;
ASR-33型电传打字机;
SMS-1920型显示装置。

软件采用该机的FOCL/F编译语言。

日本名古屋精炼糖厂在七个煮糖罐实现了集中控制的基础上,试验了煮糖工段中央电算机监控〔48〕。电算机型号是FACOM-331型专用工业控制机。由人工及在线检测装置往机中送入每日的生产计划,包括糖的品种、操作标准、色值、纯度等,由电算机按预定的物料平衡和能量平衡公式、月生产计划、煮炼系统、糖液的最适搭配、平均煮炼时间等进行静态平衡运算。然后,电算机再根据计得的静态作业图表、日生产计划、物料贮量等进行动态平衡运算,定出动态作业图表,包括煮制的产品种类数量、各煮糖罐开煮时间、应该进入煮炼工段的糖浆量及物料的配比等。电算机根据



91304401

此图表输出改正生产过程的信号。

控职能如图19所示。采用了电算机

品的质量比较均匀,生产进行比较平稳,可以大大减省人力(一个人控制整个煮糖工段)。

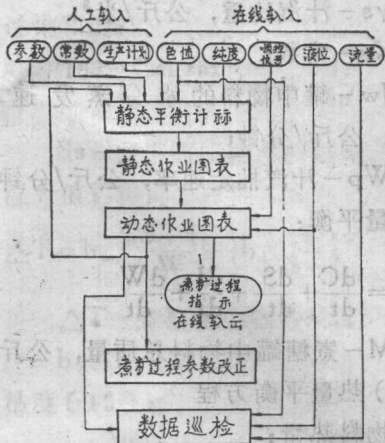


图19 名古屋精炼糖厂煮糖工段电算机
监控职能示意框图

2、煮糖罐的直接数字控制

利用电算机控制间歇煮糖罐的煮糖过程有很多的优点,特别是微型计算机出现以后,其优点更为显著。在已设置常规控制系统的煮糖罐中,可以很简便地将系统接入电算机。根据法国制糖工业研究所在Tourey糖厂作的乙、丙糖煮制试验〔49〕,一法国R2E厂出产的、以Intel-8080为基型的MICRAL微型计算机可以输入和显示多达100个参数,监控8个调节器,代替多达1,000只控制继电器、时间继电器、极限报警器等元件,其性能足以对两个以上煮糖罐的煮糖过程作直接数字控制(DDC)或对整个煮糖工段作全面的监控(SPC)。

西德的Pfeifer & Langen公司在原有的流变仪自动煮糖系统基础上采用了微型计算机控制〔50〕,其控制线路和控制装置得到了很大的简化。该控制系统的示意图如图20所示(参看本专辑62页图),图中表示了微型计算机与煮糖过程各参数的输入——输出关系。送入微型机中的模拟量有流变度、液位、真空三个参

机输出的模拟控制有真空、糖浆、送入微型机的开关量有流变度的三个定值和液位的五个定值,从微型机输出的开关量有各个两位式阀门的控制信号及报警信号等。顺序控制的时间常数和各调节环节的给定均可由键盘输入。微型机还同时对煮糖过程中的有关数值进行四则运算,也可对调节环节的PID作用进行运算。

具备上述性能的用于控制煮糖过程的微型机所需的硬件比较简单,只包括下述必要的部件:

微处理器(MPU)	1片
读写记忆(RAM)	1片
只读记忆或可编只读记忆(ROM或PROM)	1片
输入/输出(I/O)	4片
模/数转换(A/D)	1片
数/模转换(D/A)	1片
手/自切换(M/A)	1片
固定程序(Program)	1片
电源	1片
键盘(带显示器)装置	1只

当需要作分级监控时,微型机还可与监控电算机、电传打字机和打印装置等连接。

据P&L公司经验,微型机比较可靠,1976年生产季用于煮制精糖,其可靠性达100%。

3、间歇煮糖过程数学模型的研究

由于在生产过程中,物料和能量条件随时会有变化,所以,一个煮糖罐即使配备了各种检测控制装置(包括电算机)使它的煮糖过程实现全自动化,也不一定处于最佳的工作状态。为了使煮糖罐经常处于最佳工作状态,必须对与之有关的所有因素(包括自变量和因变量)的相互关系研究清楚,用数学方法表示出此种关系(即建立数学模型),按照各因素的实时情况去改变控制条件,进行“动态”的控制。因此,建立数学模型是实现煮糖过程最优控制的必要和先决条件。

国外对煮糖过程数学模型的研究是随着电算机的应用而开展起来的,至今已经历了十多