

现代制糖工艺理论

554

7541: 1

174

11

11

现代制糖工艺理论

陈树功 编著

轻工业出版社

内 容 简 介

本书是根据制糖科学原理，按生产过程来立论，建立工艺理论体系。

内容包括：制糖工艺理论导论、诺蒂亚-雨戈压榨理论、植物糖料渗出理论、天然糖汁提净过程的电化反应、制糖泡沫化学与物理、离子交换动力学及蔗糖溶液结晶理论。

书中各章分别作理论探讨，数理分析及实际应用的考证，为生产过程及设备设计和控制，提供工艺理论的基本知识。

本书可供制糖生产、科研及设计人员参考，亦可作研究生及培训人员学习之用。

现代制糖工艺理论

陈树功 编著

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

北京北方印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

850×1168毫米1/32印张：12⁸/3₂插页：1字数：309千字

1988年6月 第一版第一次印刷

印数：1~3,700 定价：6.10元

统一书号：ISBN7—5019—0364—6/TS·0236

序 言

制糖有悠久的历史，但制糖科学理论的形成大约始于本世纪的二十年代。在近半世纪以来制糖界先后提出许多制糖过程的科学论据，如诺蒂亚 (Noël Deerr) 的甘蔗的压榨机理，西林 (П.М. Силин) 的甜菜渗出理论，霍尼 (P.Honig) 的糖汁澄清原理，及范赫克 (A Van Hook) 的蔗糖溶液结晶动力学等论著，为现代制糖科学理论的形成起了先导作用。但是由于对制糖科学缺乏进一步系统地研究，使糖业生产技术的革新和制糖科学开发工作进展不快。因此为了开创我国糖业的新局面，必须重视制糖科学技术理论的研究和利用。

本书是根据制糖科学原理，按生产过程来立论，取材自中外文献并结合我国糖业情况加以整理和系统化，以期作为制糖工艺理论体系的基础。

本书内容包括：制糖工艺理论导论、诺蒂亚-雨戈的压榨机理、植物糖料渗出理论、天然糖汁提净过程的电化反应、制糖泡沫化学与物理、离子交换动力学及蔗糖溶液结晶理论等七章。

本书的工艺理论适合于甘蔗和甜菜制糖，如在糖料渗出法提汁方面尽量做到求大同存小异，在植物萃取的科学原理基础上统一起来；天然糖汁澄清原理方面则以电化理论为核心并串通成一个体系来进行探讨；在蔗糖溶液结晶方面则以动力学为纲，并联系连续煮糖的控制，为充实溶液结晶理论提供典型实例。此外，另辟制糖泡沫化学与物理和离子交换动力学两章，主要为精糖提纯提供论据。

书中各章分别作理论探讨、数理分析及实际应用的考证，使明确制糖过程中各阶段所处理物料的质与量变化的内在关系，找出最佳参数，制订数学模型，为生产过程及设备设计和控制提供

有关制糖工艺理论的基本知识。

本书内容涉及面较广，难免有许多不妥当和错误之处，作者诚恳地请求读者给以指正，以便再版时斧正。

本书稿由陈尊娟、蔡妙颜二同志协助绘制图表和缮稿工作，深为感激，谨此致谢！

陈树功于华南工学院

目 录

第一章 制糖工艺理论导论	(1)
一、制糖科学发展的历程.....	(1)
二、制糖工艺理论的形成.....	(3)
三、对制糖工艺理论工作的评价.....	(4)
四、制糖理论工作的推进.....	(5)
参考文献.....	(6)
第二章 诺蒂亚-雨戈的压榨机理	(7)
第一节 甘蔗压榨过程体积压缩的演变.....	(8)
一、理想的压榨量和抽出率.....	(8)
二、旁切体积的线图.....	(9)
三、压榨体积的概念.....	(9)
四、蔗渣压缩体积的演变.....	(11)
第二节 压力对体积压缩的指数关系.....	(12)
一、诺蒂亚的静态压缩过程.....	(13)
二、雨戈的动态压缩过程.....	(13)
三、压缩比与压缩指数值.....	(14)
第三节 辊压过程动作三步骤.....	(15)
一、辊压过程压缩动作的分析.....	(16)
二、三辊压缩全过程图解.....	(22)
第四节 重吸对总压力的影响.....	(23)
一、重吸因数.....	(23)
二、总压力与重吸因数的关系.....	(25)
三、前后辊所受的分压力.....	(26)
四、前后辊出计量的比较.....	(27)
第五节 多重干榨压缩过程.....	(28)

一、多重压缩和压力分布.....	(28)
二、多重压缩(干榨)的数理分析.....	(30)
第六节 单式和复式湿榨的数理分析.....	(33)
一、加渗浸水的主要作用.....	(33)
二、单式渗浸系统的数理分析.....	(34)
三、复式渗浸系统的数理分析.....	(37)
四、各种渗浸系统抽出率的比较.....	(39)
第七节 理论抽出率和实际抽出率的推算和考查.....	(42)
一、理论抽出率的计算.....	(42)
二、实际抽出率的计算.....	(45)
三、单式多重加水系统抽出率计算式修正例解.....	(46)
四、复式多重渗浸系统抽出率计算式修正例解.....	(47)
五、不同渗浸系统抽出率的对比.....	(51)
参考文献.....	(54)
第三章 植物糖料的渗出理论.....	(55)
第一节 渗出理论基础的探讨.....	(56)
一、渗出是一种传质的扩散过程.....	(56)
二、固-液界面传质现象的剖释.....	(57)
三、菲克定律的数理推演和应用.....	(57)
第二节 渗出过程的扩散系数.....	(60)
一、爱因斯坦对扩散系数的推算.....	(60)
二、布鲁尼契-奥尔逊对扩散系数的推算.....	(64)
三、非糖分的扩散系数.....	(65)
第三节 温度对糖料细胞活性和渗出汗粘度的影响.....	(66)
一、热流对细胞膜的破坏.....	(66)
二、不同温度对甘蔗细胞活性消失速度的影响.....	(67)
三、温度对渗出汗粘度的影响.....	(68)
四、连续渗出过程温度的分布.....	(69)

第四节 渗出时间方程式.....	(72)
一、渗出过程的速度变化.....	(72)
二、葛罗文渗出时间方程式.....	(73)
三、甘蔗与甜菜渗出时间的对比.....	(76)
第五节 渗出过程糖料中蔗糖浓度的变化.....	(78)
一、奥普拉特卡渗出过程浓度的变化曲线.....	(79)
二、西林对渗出过程糖料浓度变化的近似理论.....	(79)
三、“平均浓度”的假设与引证.....	(80)
四、糖料中心和表面的浓度变化.....	(81)
第六节 糖料的几何形状与质量标准.....	(81)
一、甜菜丝质量标准的造型和测定.....	(82)
二、蔗料几何形状与质量标准介绍.....	(83)
三、蔗料的内部结构和几何外形.....	(85)
四、蔗料质量标准几何系数值的引证.....	(87)
第七节 西林渗出理论的应用.....	(90)
一、连续式逆流渗出数学理论的应用.....	(90)
二、西林渗出理论的实用意义.....	(94)
三、西林渗出理论的评价和发展.....	(96)
第八节 甘蔗渗出理论的应用.....	(98)
一、甘蔗渗出理论基础的分析和探讨.....	(98)
二、甘蔗用浸浴槽浸渍方式萃取糖分的数理分 析.....	(101)
三、用移动床喷淋方式萃取甘蔗糖分的数理分 析.....	(109)
参考文献.....	(121)
第四章 天然糖汁提净过程的电化反应.....	(124)
第一节 天然糖汁溶液的构成.....	(125)
一、天然糖汁组成的电化性质.....	(125)
二、糖汁的溶剂——水的离子反应机能.....	(125)

三、糖汁中蔗糖的弱酸反应和络合·····	(129)
第二节 天然糖汁的胶体结构和凝聚作用·····	(132)
一、糖汁胶体的带电性和粒构的观察·····	(132)
二、糖汁中胶体含量和性质测定的探讨·····	(135)
三、糖汁中胶体凝聚的影响因素·····	(142)
四、重新组织胶体结构的机理·····	(145)
第三节 糖汁中酸、碱及盐类的电离和沉淀作用·····	(153)
一、糖汁中电解质电离过程的特性·····	(154)
二、电解质电离与离子平衡·····	(158)
三、盐类在溶液中的加水分解·····	(165)
四、沉淀的生成及其溶解·····	(171)
第四节 天然糖汁提净的电动现象·····	(179)
一、糖汁提净中化学变化的主要标志——pH值 ·····	(180)
二、糖汁提净过程中双电层结构的出现·····	(183)
三、外加电场对双电层的影响·····	(188)
四、电解过程的澄清作用·····	(191)
五、糖汁添加电解质对电动电位的影响·····	(193)
参考文献·····	(198)
第五章 制糖的泡沫化学与物理·····	(202)
第一节 起泡的溶液和气体·····	(203)
一、起泡的溶液和溶质的表面活性·····	(203)
二、起泡气体的活动·····	(206)
第二节 泡沫的形成方法和现象·····	(209)
一、气动鼓泡·····	(209)
二、机械起泡·····	(210)
三、加热起泡·····	(211)
四、变压起泡·····	(212)
五、化学起泡·····	(212)

六、电解起泡	(213)
七、发酵起泡	(213)
第三节 作用在气泡上各种力的分析	(214)
一、泡底粘附力	(215)
二、气泡的脱离力	(218)
三、液体对气泡的浮力	(220)
四、气泡上各种力的平衡	(222)
第四节 气泡形成的能量变化	(222)
一、克服表面张力生成气泡所需的功	(222)
二、生成气泡的总自由能量	(223)
三、起泡必需的最小能量	(224)
第五节 泡沫的结构和物理性质	(226)
一、泡沫的结构	(226)
二、泡沫的物理性质	(229)
第六节 糖泡的化学组分和构成	(231)
一、糖泡成分分析	(231)
二、蔗糖与表面活性物质生成的吸附物	(232)
三、蔗糖与表面活性物质生成的络合物	(236)
第七节 糖泡的防除及利用	(239)
一、糖泡的防除	(239)
二、糖泡的利用	(240)
参考文献	(246)
第六章 离子交换过程动力学	(250)
第一节 离子交换法在制糖工业中的应用	(250)
一、除灰脱色以精制糖汁	(251)
二、从糖蜜中回收副产品	(257)
三、树脂作为催化剂以转化蔗糖	(257)
四、制糖过程用水的处理	(259)
五、离子交换树脂在分析化学上的应用	(259)

六、离子交换技术的新发展·····	(259)
第二节 离子交换树脂的结构和性能·····	(260)
一、离子交换树脂的物理结构和性能·····	(261)
二、离子交换树脂的化学结构和性质·····	(266)
第三节 离子交换理论·····	(278)
一、离子交换的晶格理论·····	(278)
二、离子交换的双电层理论·····	(280)
三、离子交换的薄膜理论·····	(280)
四、评各种离子交换理论·····	(281)
第四节 离子交换过程的质量平衡·····	(282)
一、离子交换的吸附关系·····	(282)
二、离子交换的质量作用·····	(283)
第五节 离子交换动力学·····	(287)
一、离子交换速度方程·····	(288)
二、离子交换过程影响速度的因素·····	(290)
第六节 离子交换树脂结构和使用技术改革·····	(296)
一、离子交换树脂的研制·····	(296)
二、工业离子交换技术的改进·····	(298)
参考文献·····	(300)
第七章 蔗糖从溶液中结晶的理论·····	(302)
第一节 蔗糖溶液起晶成核过程·····	(303)
一、一次成核起晶过程的量变·····	(304)
二、成核过程系统能量的衡算·····	(307)
三、质点成核在液相中固晶·····	(309)
四、二次成核诱发起晶·····	(312)
第二节 蔗糖晶体的培养长大·····	(316)
一、晶体长大的动力学·····	(316)
二、晶体培养条件的探讨·····	(320)
三、晶体生长过程的速度演变·····	(330)

第三节 蔗糖晶体的结构和外形	(332)
一、蔗糖结晶的显微观察	(332)
二、蔗糖的分子结构与晶形	(334)
三、蔗糖的异形结晶	(337)
四、蔗糖晶粒的结块与挂壁	(339)
第四节 蔗糖结晶过程的数理分析	(340)
一、结晶糖量与结晶表面积的数量关系	(341)
二、结晶糖量与结晶速度的数理关系	(344)
三、结晶糖量与结晶时间的数理关系	(345)
第五节 连续煮糖结晶	(347)
一、控制连续煮糖结晶程序	(347)
二、晶体等速长大与质量变异系数	(350)
三、连续煮糖的物料和热量衡算	(356)
四、连续煮糖的经济技术指标	(361)
第六节 自蒸发冷却结晶	(361)
一、冷却结晶的理论根据	(361)
二、简化流程和工艺条件	(362)
第七节 糖蜜的形成和结晶	(364)
一、研究糖蜜形成的各种观点	(364)
二、非糖分的造蜜系数	(366)
三、由原料糖分析预测糖蜜的组成	(369)
四、最终糖蜜的纯度标准	(370)
第八节 结晶理论的应用和发展方向	(372)
一、改变结晶时的溶液浓度	(372)
二、促进晶体长大的新因素	(373)
三、外加促进剂加速糖液结晶	(374)
四、煮糖过程物质交换和热交换的综合研究	(375)
参考文献	(376)
附录	(379)

第一章 制糖工艺理论导论

制糖科学原来是应用科学中的一门比较古老的学科，但是由于新兴科学（如人工合成制糖的新方法）的开发和研究，很有可能促使制糖科学又变成新兴的学科。因此，为了适应生产发展的需要，我们必须对制糖工艺理论作更加深入的研究。

制糖工艺理论是从生产实践中不断总结提高而发展起来的，由于制糖技术不断更新，制糖工艺理论也在不停地向纵深发展。制糖工艺理论除了本身固有的特点外，还存在着一些研究工作中存在的问题，需要深入探讨和分别解决。从中也提出了不少新的研究课题。

让我们从制糖科学发展的历程来考查制糖工艺理论的形成，并对过去制糖理论工作提出评价，克服理论工作中存在的问题，从而揭开制糖科学新的一页。

一、制糖科学发展的历程

制糖科学技术的发展有着悠久的历史，其推进历程大致可分为三个级段：

第一阶段：天然合成

第二阶段：自植物中提炼

第三阶段：人工合成

现阶段制糖科学技术是处于第二阶段历程和为转到第三阶段历程创造条件的时期。

天然合成是“天工造物”在地球上产生糖的最初手段，已有亿万年的历史，即在地球上出现生物体时就有糖的存在。糖的合

成完全借助于自然界的光合作用。

在自然界,首先从植物中取糖者是蜜蜂。据考古学家从化石中发现,远古的冰河时代就有蜜蜂,由此推知蜜蜂酿蜜的历史(“即生物制糖”的历史)远在冰河时代之前就开始了。^[2]

人类懂得制糖之术,以中国和印度最古。^[3]传说在 2200 年前的周朝末年,中国人已知取饮蔗浆。在第四世纪(约在 1400 多年前)晋朝时,制糖术已初步形成。至唐宋时代(约在 1200 多年前),我国手工制糖业已很兴盛,“糖坊”林立,制糖技术遍传华南和西南各省,宋朝王灼撰“糖霜谱”一书为我国出现的



王灼

图 1-1 中国制糖的第一本书《糖霜谱》的作者——王灼

第一本制糖专著，可视为我国制糖术最早的经典著作。用石灰法制造含蜜糖（片糖、粉糖等）和用糖漏分离赤砂糖及利用保温制冰糖法在我国民间已流传千百年之久。^[4]

十九世纪开始用甜菜制糖，从而扩大了糖源。于本世纪精糖业才勃兴，此外新糖源的开发也在研究中。

近几年来出现了生化法制糖，即以淀粉为原料，先用酶法水解制成高果葡萄糖，再用磷酸酶法制成蔗糖。^[5]但人工模拟光合作用，把来自空气中的二氧化碳和水合成为碳水化合物——糖类，迄今仍在研究中，现在制糖科学技术界正朝着这个新的领域开展工作。

二、制糖工艺理论的形成

制糖工艺理论是在制糖科学技术发展历程中，通过科学实验和生产实践形成的。它沿着下列三个方面演进：

第一方面：自糖料植物中直接提炼蔗糖；

第二方面：自多糖类水解制糖；

第三方面：人工合成法制糖。

现在的制糖工艺理论，一般是指自糖料植物——甘蔗和甜菜中提炼蔗糖方面的理论，这也是我们现在要探讨的范畴。

制糖原理最基本的就是提出如何运用机械的、物理的和化学的方法，把糖料植物中的蔗糖分提炼出来的科学根据。虽然蔗糖是天然产物，但由于蔗糖在植物中形成过程不是孤立的，它与糖料植物中的有机和无机组分有着极其密切的关系。蔗糖主要积聚在植物纤维的细胞之中，因此很难用简单的机械的或物理的方法直接把它完全自植物中顺利地取出来，而必须采取较复杂的措施，才能达到把蔗糖充分提炼出来的目的。

制糖工艺理论是一门包含较多方面的物理化学理论的应用科学，如糖料萃取提汁过程中的扩散、渗透、渗析、滤洗理论；糖

汁提净过程中的电离、絮凝、吸附、离子交换理论；浓缩结晶过程中的溶解、结晶及废蜜形成理论等，这些内容构成制糖工艺理论的基础。

三、对制糖工艺理论工作的评价

在制糖工艺的发展史上，制糖技术曾经长时间在很大程度上是以介绍和传授经验为主，如中国古代第一部甘蔗制糖专著《糖霜谱》沿用了千百年，就是属于这类的著作。到了本世纪初叶，还是采用最原始的以石灰为主的土法，制糖工艺仍未提高到理论上认识。国外于十九世纪初期，先后出现碳酸法和亚硫酸法，虽然对制糖处理手段和过程有所改进，但往后一百年来工艺理论的进展仍不大。

到本世纪三十年代以后，才真正开始在制糖工艺上运用物理化学的知识，从而给制糖工艺原理奠以现代理论的基石。但以现代科学水平来衡量，制糖工艺理论这门应用学科显得比较落后，当然亦不至于如雅罗斯拉夫·狄狄克 (Jaroslav Dědek) 教授在德国《制糖工业杂志》(Zeitschrift für die Zuckerindustrie) 上所作的评价那样，说什么“时至本世纪的五十年代制糖工艺方面所存在的问题，几乎还没有开始从科学的观点加以解决。”^[5]其实自本世纪三十年代以后，制糖工艺中有关压榨机理、渗出理论、胶体凝聚与分离、结晶动力学及废蜜形成理论等方面，都做了不少系统的理论研究工作，这些理论应用在生产上也经得起考验。

七十年代以后，制糖工艺理论研究工作有了很大的进步，对过程的认识由现象解释提高到数理分析，控制范畴由静态的发展到制定动态方程，研究对象由宏观领域深入到微观领域，生产作业由间歇式到连续化、自动化。总的来说，理论工作已达到新的水平。

到了八十年代,制糖工艺突出的表现是采用微电子控制技术,对提高产品质量和产量起了很大的作用,同时出现产品多样化的新工艺,丰富了人类生活要求。另外新兴的生物工程为蔗糖衍生物研制、新糖源和高甜物的开发、制糖副产品综合利用以及蔗糖的人工合成开辟了新的途径,同时对蔗糖工艺理论提出了更高的要求。

四、制糖理论工作的推进

由于制糖工艺理论的研究对象——天然糖汁的组分差异较大,糖汁本身又易变质,且又受季节性、地区性的影响,故糖汁呈现不稳定性。此外在进行科学实验时,取样代表性差也是一个问题。在非生产季节,采用模拟的天然糖汁为试样,固然很难做到近似性,就是生产季节也很难采得均质的样品,因为糖料中的组分和生产过程的糖汁成分经常在变化。若以纯糖溶液作试样,所得结果则更加脱离生产实际。由此所得科学实验数据和结论必然具有较大的局限性。所有这些都为制糖理论研究工作带来了特有的困难。

如今在制糖界还存在一种倾向,正如霍尼(P. Honig)于二十多年前在《制糖工艺原理》一书的绪言中所说的,^[6]时至现在,还有很多含糊的论述却被许多的实际制糖技术工作者看作是自然的规律而接受下来。他还提出现代制糖工业的一个值得批评的现象,即缺乏进行系统研究工作的制糖理论研究中心。此外,在采用和推广一些新方法的时候,并没有对这些新技术和新方法所依据的原理作过任何充分的研究和解释,而把某些权威人士的论述看成科学的经验。这种作法必然影响到制糖技术的健康发展,它是当前制糖理论工作存在的要害问题,也是学术工作中的不正之风,即还是以经验主义占主导地位,这表明了理论工作没有深入发展和走在生产的前面,也是制糖科学出现薄弱环节的原