

制糖工艺学原理

第 二 卷

上 册

〔荷〕霍 尼 編

中国財政經濟出版社

內 容 介 紹

“制糖工艺学原理”第一卷中譯本上下冊，系由原輕工业出版社分別于1958年和1960年出版的。該書的第二卷共十四章，現仍分上下冊出版。本書是上冊，共七章。主要講述有关蔗糖的結晶学，过饱和蔗糖溶液中的晶核生成作用，晶体生长的动力学，結晶过程的化学等。另外，还介紹了蔗糖結晶的控制方法及其裝置和仪器。

本書可供制糖工业技術人員、研究人員以及高等院校有关专业的師生參考。

制糖工艺学原理

第二卷

上册

〔荷〕霍 尼 編
楊 倬 吳 广 祚 譯
李 伟 强 校

中国財政經濟出版社

1962年·北京

目 录

序 言	(7)
第一章 蔗糖的結晶学	(11)
1. 导言	(11)
2. 晶体的特性	(13)
3. 結晶学的历史和导論	(14)
(1) 晶体的形态学	(14)
(2) 晶体的对称	(15)
(3) 晶面符号	(16)
4. 蔗糖的結晶学	(20)
(1) 晶带	(28)
(2) 立体投影	(31)
5. 蔗糖晶体的晶形	(37)
6. 蔗糖晶体的物理性質和内部結構	(41)
7. 蔗糖晶体中杂質的分布	(45)
8. 甘蔗粗糖和精糖結晶的評述	(48)
(1) 粗糖	(48)
(2) 精糖	(49)
9. 砂糖和粗糖的顆粒大小	(51)
10. M. A. 和C. V. 的測定	(52)
参考文献	(58)
第二章 蔗糖在不純溶液中的溶解度	(62)
1. 导言	(62)
2. 溶解度的測定	(63)
3. 三組分蔗糖溶液	(69)
4. 多組分蔗糖溶液	(74)
5. 蔗糖复合物的生成	(81)

6. 相律及相平衡图.....	(83)
7. 包含两种液相溶質的四元系統.....	(103)
参考文献.....	(106)
第三章 过飽和蔗糖溶液中的晶核生成作用.....	(110)
1. 导言.....	(110)
2. 概論: 晶核生成和晶体生长.....	(111)
3. 应用于糖溶液的晶核生成理論.....	(117)
(1) 超溶解度.....	(117)
(2) 現代的理論.....	(120)
4. 实验的方法和結果.....	(129)
(1) 晶核生成的試驗.....	(129)
(2) 雜質.....	(134)
(3) 外来的粒子.....	(137)
(4) 伪晶.....	(138)
(5) 結晶的实践.....	(142)
参考文献.....	(144)
第四章 晶体結晶生长的动力学.....	(149)
1. 导言.....	(149)
2. 方法.....	(150)
(1) 一般的.....	(150)
(2) 量度晶体所測定的生长速度.....	(151)
(3) 量度溶液所測定的生长速度.....	(152)
(4) 实验的参数.....	(154)
3. 純溶液中的生长速度.....	(155)
(1) 浓度.....	(155)
(2) 溫度.....	(166)
(3) 攪拌.....	(169)
(4) 晶体生长的机理.....	(171)
(I) 扩散171 (II) 粘度173 (III) 加入胶体175 (IV) 攪拌175	

4. 杂质.....	(177)
(1) 概論	(177)
(2) 活度理論.....	(180)
(3) 工厂工作.....	(184)
5. 溶解作用.....	(185)
参考文献.....	(188)
第五章 结晶过程的化学.....	(195)
1. 导言.....	(195)
2. 结晶过程中蔗糖的分解.....	(195)
3. 还原糖的分解.....	(201)
4. 有机非糖物的反应.....	(211)
5. 同各类无机非糖物有关的现象.....	(215)
(1) 怎样表示商品糖中无机悬浮固体物质的存在	(217)
(2) 测定最终糖蜜和丙糖中不溶解非糖物含量的各种方法	(218)
6. 非糖物对蔗糖结晶的影响.....	(221)
7. 有关蔗糖晶体的溶解和再生长的现象.....	(226)
8. 沉淀的非糖物对分蜜后糖的纯度的影响.....	(230)
参考文献.....	(231)
第六章 蔗糖结晶的控制方法和装置.....	(233)
1. 导言.....	(233)
2. 控制方法的发展.....	(233)
3. 控制装置的重要性.....	(235)
4. 基本数据和定义.....	(237)
(1) 純蔗糖的溶解度	(237)
(2) 不純糖溶液的溶解度	(238)
(3) 飽和系数.....	(239)
(4) 沸点升高-純蔗糖溶液	(240)
(5) 沸点升高-不純糖溶液	(242)

(6) 过饱和度-純蔗糖溶液	(242)
(7) 过饱和度-不純糖溶液	(244)
5. 煮糖罐的控制装置	(244)
(1) 絕對压力的控制	(245)
(2) 沸点升高的測定	(246)
(3) 过饱和度的指示和測定	(247)
(4) 流度的測定	(252)
(5) 糖膏液面的測定	(253)
6. 自动控制装置	(254)
7. 簡結	(256)
参考文献	(256)
第七章 用电导法控制結晶过程和投种技术	(260)
1. 导言	(260)
2. 应用电导仪作为操作上的控制仪器	(262)
(1) 眞空罐操作者的判断方法	(262)
(2) 粘度和电导率	(262)
(3) 糖溶液的电导率	(264)
(4) 粘度和电导率的数学关系	(264)
(5) 过饱和度、粘度和电导率	(266)
(6) 电导率和工厂的蔗糖結晶	(269)
(7) 工厂电导控制中的电极管	(273)
(8) 工厂粗糖結晶中电导率的数值	(276)
(9) 商品电导控制装置	(277)
(10) 世界各地对电导控制法的应用	(277)
(11) 煮糖工段中电导測定法的应用	(278)
(12) 甘蔗糖厂中糖膏电导率的记录图	(284)
(13) 电导控制法的改进	(286)
3. 粗糖厂中低級糖膏的起晶	(287)
(1) 低級糖膏用糖粉起晶	(287)

(2) 必須選用哪種糖粉	(288)
(3) 應用糊糖作為低級糖膏煮制用的原始晶種	(292)
(1) 阿皮爾本法用於完全投種技術的糊糖的製備	292
(1) 對阿皮爾本製成晶種方法的述評	294
(4) 在有機溶劑中磨製晶種糊漿的標準技術	(296)
(5) 在有機溶劑中研磨糖粉的方法	(298)
(6) 各種研磨技術	(299)
(7) 丙糖膏的底料中特別投種的新方法	(306)
(8) 晶種糊漿應在什麼時候引入罐內	(311)
參考文獻	(314)

序 言

各国不同經歷的制糖技術人員互相交流經驗，正如在會議上大家对某个主題提出個人意見一样，有时某一个人由于經驗不同，在同一个專題上有些与众不同的看法，这是不可避免的。會議的結果是，参加會議者所發表的意見都是圍繞同一个概念，而且結論也是一致的，但是用以說明概念的客观事实和理論根据，以及应用工艺的闡述，却是有些不同的。

作者希望讀者能領會到本書的主要目的，即在于企图總結一下目前全世界制糖工業应用結晶方法的原理，并介紹一些与結晶有关的控制方法和理論。

为了介紹目前有关这方面最新的知識，首先要供給我們同行者一些关于制糖工艺中比較复杂的过程的參考資料。作者以組織者身分，邀請許多本行业知名的人士，也是应用技术 with 結晶理論的先进者来合作，并荣幸地达到了这个願望。

沒有理由把这些文献看作是蔗糖結晶学的最后定論。在結晶学的領域里，我們只能說出目前的看法和做法。无疑，所有制糖工作者都知道，还有許多問題正待試驗和实践来解决，这就有賴于专业研究者来努力了。

我們还希望書中所介紹的經驗，能帮助澄清过去已經发表的一些有关結晶的糊涂观念，从而促进今后在这方面的深入研究。

這本書不是一本简单的文献汇编，也不是在几小时内能讀完的，而是要細致閱讀的。假如讀者对作者提的意見越多，我們就認為对于提高制糖技術水平的貢獻越大。此外，任何一个有經驗的技術人員在离开学校之后，要經常吸取同行者的經驗，来补救自己的不足。这就是本書所包含的另一种意义。

尽管作者对于修辭方面还是一个門外汉，但已尽可能引用正

确的术语和词句来如实地反映本书的意图，而且也注意到过去在结晶单元操作中所引用的名词，例如过饱和度的量的概念就是一个存在的問題。这说明在全面掌握过饱和糖液的规律以前，我們还需对物理学和化学作很大的努力。

从公式計算得到的过饱和度所給予我們的印象，并不能反映这些問題的整个实质，如蔗糖分在过饱和液中的性質，过饱和现象在起晶过程中的重要意义与结晶成长的本質等。目前采用的公式与方程式，只是客观现象的一般反映，还不能用以说明结晶过程中一切现象的本質。

从生产角度来看，结晶管理已进展到使我們采用很先进的方法来代替煮糖师慣用的凭經驗煮糖的操作方法。然而，关于全面掌握各种糖膏的结晶特性知識方面，我們感到离目标还很远。

很遺憾的是，在制糖工艺中生产操作和各种工艺的基础的研究远远落后于生产。因而許多有关制糖结晶原理的基础研究，就必须由科学研究机构承担起来。这些研究結果，不仅要用生产操作人員的語言写出，还需編成工艺操作規程付诸实施。

尽管有些論点看来对生产有实用的价值，但我們还是力图避免以复杂的理論来解释结晶过程中的各种现象。因为本书的对象主要是糖厂的技术生产人員，他們已充分掌握了化学、物理、化工等方面的基本知識。这里每篇文章都是以简单明了的語言写出的。同时还略去了数学的理論，因为这对糖厂的实际生产人員的实用意义不大。

这本书是专为制糖工业有关人員編写的，它可使讀者了解各国同行者的經驗与見解或論文等，来校正个人的意見。

我們希望，讀者在閱讀这本书时，如有意見能及时提出，尤其欢迎提供关于蔗糖结晶这个主题的最新資料和反映这方面的有关情况。

我們还在此介紹了一些先进同行者对于蔗糖晶体学的見解。事实上，不論在培养制糖人才方面，在操作管理方面，或在糖厂

結晶工序中設備的改進方面，人們都幾乎是把這門科學忘掉了。

人們會感到驚奇的是，當我們翻閱一下過去世紀的專業史時，發現了早在1885年，烏夫（Wulff）已經取得制糖工業中動態結晶的第一個專利權〔33.190號德國專利報35（1885）899頁（DRP33.190, Z. des Vereins 35（1885）899）〕。這就是制糖工業在這方面引用助晶槽的開始。這一開端，從今天的角度來看，實質上也不過是研究動態結晶的開始。

在過去七十年中，我們在發展冷卻助晶工藝方面，在掌握非純糖液中蔗糖溶解度的知識方面，在發展煮糖罐的控制儀表、生產技術等方面，在調節汽壓方面，在摸索煮糖罐的循環對流規律方面和在成晶技術方面，曾做過不少的工作，也獲得了相當的成就。

目前世界各地採用的制糖方法，還存有很大差異，其原因之一一是情報交流不夠，但也有些操作法是由于保守習慣和地方成見保留下來的。在應用科學領域內，是否容許這種人為因素的主觀作法存在，我們暫且不談。但問題實質牽涉到心理方面，這就需要通過各國各地的實踐，從分析結果來加以鑑定。

我們在本書內尽可能詳盡地介紹許多國家專家的各種見解，這不只是為了尋求問題的解答；而且也是為了教育我們自己。我們對本書中所談到的問題感到興趣，大部分原因是由于我們受了過去教育的關係，同時也是老師們授給我們產生這些興趣的知識泉源的結果。後來，我們又在工作崗位中，凭借有利的條件，進行不懈地研究，因而得到了這些收穫。時代的進展，正趨向於使我們有更廣泛地交流經驗與知識的場地。為此，作者特請協助編寫本書的合作者，尽可能避免以狹隘的或個人的偏見來闡述結晶現象中的一切論點。

同行們給我的支持和合作，使我受到不少的教益，並使我能實現畢生事業上的理想，也就是分享他們的經驗成果。對此，我非常感激。我希望人們以這種方式來加強彼此間的互助，從而有

利于整个工业水平的提高。

在我执行职务期间，西印度糖业公司总经理基尔堡先生给我一切有利条件，让我专力于这本书的写作，我在此表示衷心谢意。

我的秘书樊·华阿斯貝根女士帮助我整理稿件和办理一切有关完成本书的工作，我也在此表示谢意。

P·霍 尼

紐約州紐約市 1958年12月

第一章 蔗糖的結晶学

鮑尔斯 (H. E. C. Powers) 著

(英国, 泰特-頓尔公司总化学師)

1. 导 言

根据牛津英語辞典的解释, “晶体” (crystal) 一辞是从希腊文中具有透明的冰或水晶意义的 Krystallos 一辞派生来的。它的原始意义包含着习惯上用作形容词的辞, 如透明的 (crystal clear) 或水晶的 (crystal like)。“晶体”一辞的确切含意及科学上的应用是: “由許多简单元素构成的分子及其天然化合物, 因分子亲和力的作用而有規則地聚集的一种物态。它具有一定的内部结构, 外部形式为被許多对称排列的平面所包围的固体, 具有从简单的正方体到较为复杂的几何学体的种种形状”。

对于精炼糖工作者来说, “晶体”一辞的使用如下: “砂糖 (crystals) ——一种特殊質量的精制結晶的蔗糖”, 或者“在这个国家中有三类精炼糖厂, 其主要的产品为 (1) 塔糖, (2) 砂糖 (大粒的、晶形完好的、洁白干燥的結晶蔗糖), (3) 粉糖 (crushed sugar)。”

在接触了晶体一辞的語源历史之后, 当然应该提及人类最早認識的蔗糖晶体。馮·李普曼 (E. O. von Lippmann) 在他的“糖的历史”一書中对蔗糖的历史可能作了最有权威的及最詳尽的介紹。从这本书的資料中, 糖这一字在許多語言的字干上似乎与原始的印度古阿利安語 Sarkara 一辞相类似。就我們所知道波斯人是最初发展特殊制糖技术和制出砂糖者之一。大約在公元500年, 在波斯的紀事中 kandi-sefid 一辞意为白糖, 它包含某些用結晶方法获得提純状态的糖的技能。更早的用来表示糖的印度語 shekar

或shakey，可能指蒸濃的糖漿即現在俗稱的gur。可以推論，在公元的早期，“砂糖”已成為熱心的人們的特殊研究課題，因為他們曾經簡單地借重力的作用漏去母液而將砂糖與母液分離。這種方法誘導人們製造粗的砂糖。可以推論，糖果砂糖技術的增長促進了早期需要的粗粒砂糖的生產。

十九世紀初期，由於真空罐的問世和以後大約在1837年由於离心機的發展，使商品糖生產技術的革新有了進展的可能。真空罐的問世使煮糖工能夠迅速地煮出較平整的砂糖，同時可以避免發生嚴重的分解作用從而避免了色素的生成。可是，生產出晶形優良的均一的砂糖仍然是一個相當誘人的課題，這樣才可以達成在正常的重力作用下或在初期功率小的离心機分蜜的條件下，來改善砂糖與母液的分離。這種刺激依然是存在的，儘管目前有了強力的現代化的离心機，不少的人覺得對砂糖與母液的進一步的改善，可能生產出真正優良的砂粒。

值得指出的是，蔗糖和食鹽分享了較為獨特的地位，這兩者不但列入我們最重要的食品之中，而且它們還是用化學工業的一般方法而制成的最純的藥品。純度極高的藥品，能夠買到的為數不多，而這樣純度的精制糖每年卻可以出產幾百萬噸。可以公正地說，如果沒有世世代代煮糖工的努力，要想制成這樣高純度的糖是不可能的。不管人們是否意識到，他們卻是結晶學的實踐者。

在這導言中，我們不擬概述更多的結晶學的科學原理，希望讀者原諒。如果我安排的內容形式對制糖工業的讀者們及同事們還有興趣的話，那我就很滿意了。

結晶學的自然規律應用到各種物質例如非極性的有機化合物如蔗糖，離子化的可溶性鹽類如氯化鈉，幾乎不溶性的物質如溴化銀及自熔融狀態結晶出來的金屬等，是有差別的。相類似現象的差異，開始時可能會引起混亂，但是，在我們的知識充實之後，混亂就會消除。在制糖工業中，我們可利用其他工業部門科學工

作者的合作及利用那些有机会去研究任何不平常的或有关的现象的同事们的合作，请求他们把结晶规律的知識推前一步，因为他们的不断努力和关心，是会有很大帮助的。

2. 晶体的特性

在一系列我們称为结晶的物质中，其中有很大的一部分必須經结晶学家的分类才能列为结晶物质。例如精制的糖可以制成那样的状态，就是即使不苛求的观察者也没法証实而称之为结晶的，但亦可以制成我們熟知的结晶状态。凡熟知有关文献者都知道沃尔夫 (Wolf)⁽¹⁾，武尔夫 (Wulff)⁽²⁾，格罗士 (Groth)⁽³⁾，普聶尔佩斯 (Pheips)⁽⁴⁾，山德拉 (Sandra)⁽⁵⁾，华夫里涅茲 (Vavrinecz)⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾及霍尼 (Honig)⁽¹¹⁾等等所发表的极不相同的蔗糖晶体形态的卓越的資料。蔗糖是以一系列的固体形态存在的。这些形态还没有得到普遍的注意。我們可以制成粉碎状态的糖 (pulverised form)，糊糖 (fondant sugar)，噴霧干燥的糖，它們实际上都是具有同一成分的高度精制的糖，但是却具有不同的物理性質。

許多学者在不同領域中的不断研究，使我們能够把我們的想法系統化。以下各节我們將介紹一些有关固体蔗糖知識的目前情况。

结晶物质的主要特点是：在某一特定的物质中，分子的结构是有次序地在特殊的晶格內排列。科学家怎样去确定某一特定的物质具有按次序排列的分子结构呢？X光分析是达到这个目的的一种准确和优异的工具。

噴霧干燥的糖是非结晶形的。巴尔墨 (Palmer)⁽¹²⁾和麦柯华 (Makower)、达依 (Dye)⁽²⁰⁾曾經証实了这种糖的吸湿性是极大的，同时在低湿度条件下贮存时，需要数月甚至数年才能结晶。在显微镜之下，这种糖的粒子是微小的球体，虽然我們通常称之为无定形的糖，但是也可以把它当作一种过冷的液体。

除了噴霧干燥的糖之外，其余上述形态的蔗糖都是結晶的。单凭眼睛观察或用手触摸时，它們似乎是微細的粉末，但是，用X光分析可以証明它們都是晶狀的。

3. 結晶学的历史和导論

西格尔博士 (Dr. A. F. Seager) 著

在未談及蔗糖的結晶学之前，略述涉及晶体的形态（形态学）和晶体的对称方面的結晶学科学，是有好处的。

(1) 晶体的形态学

十分明显，人类眼睛最初所接触的天然存在的晶体的特点，是由平的晶面或由有規則的角的晶面及由許多这些晶面所构成的具有光泽反射的表面所形成的。約在公元77年，老浦里尼 (Pliny) 在他的“自然界的歷史”一書中最早的作了晶体观察的記錄，在这書中他注释了石英晶体的正六方形的形态及在这些晶面上可看見的显著的天然磨光。

希腊語 Krystallos 一辞的意义为冰，在中世紀用来表示水晶——一种透亮的石英。1250年麦紐斯 (Albertus Magnus) 在这样的意义上采用这个辞，認為它是阿尔卑斯山特有的低温而冻结硬化的冰。目前晶体一辞已具有較为广泛的意义，可以应用于所有内部原子有規則結構的物質，不論这些物質是否有天然的刻面。

1669年，斯丹諾 (Nicolaus Steno) 近似地測量水晶結構之后，第一次宣告关于晶体的固定晶面角定律。他是一位渊博的科学家，他的公务职位是哥本哈根大学的解剖学教授，但是，他又是一位地質学家。斯丹諾从石英結構所得的推論已被古格里米尼 (Guglielmini) 証实而作为自然界中的一个普遍規律，后者于1688及1705年发表了两篇关于这个問題的論文。

艾瑟尔 (Romé de l'Isle) 的助手卡連其奧特 (Carangcot) 于1780年发明了接触式晶体测角器。这是一种具有刻度的半圓分度

仪，在标尺的中央装一回旋臂。将分度仪的刃及回旋臂沿着晶体的两个晶面放准，便可从标尺上讀出这些晶面之間的角度。用接触式分度仪作了无数次的測量，艾瑟尔才有可能于1783年比以往更准确地証实了固定晶面角定律。

海依(Abbé René Just Haiiy)对于結晶学的初期发展作出了最大的貢獻，他往往被称为結晶学之父。有一段时间他是巴黎自然历史博物館的矿物学教授，并且是Notre Dame学会的名誉会员。海依的研究从晶体形态学跨到晶体結構的領域，并給予后来的工作以极大的鼓舞。海依根据晶体裂开及晶体平面折断的研究，于1784年发表了一篇关于晶体結構理論的論文。他借助于这个理論指出了在晶体上所呈現的所有晶面，对于晶体結構及晶面彼此之間來說，都是以简单的方式联系着。他曾証明，若在晶体內选取一組适当的軸（一般为三条軸），則这些軸可作为座标来規定所有晶面的定向。一个晶面与各座标相交的截距，其长度比率与其他晶面截距的比率是成简单的关系的。若选用适当的单位时，一个晶面各截距的比率将是小的有理整数。这种关系通常被称为晶面的有理指数定律，其理由待晶面符号一节叙述之后将会明了。从上述可知晶体是具有高度的秩序。海依还提出：每个結晶的物質都有它自己的結晶形态。这些都是年輕的結晶学科学成长中的伟大的及重要的发展。

(2) 晶体的对称

在1830至1867年的期間內，晶体外形的对称問題受到广泛的注意，这方面的工作总是同黑瑟尔(Hessel)、加多林(Gadolin)和馮·兰格(Von Lang)等的名字联系着的。晶体具有三种类型的对称：面、綫及点，分別称为对称面，对称軸及对称中心。当对称面通过一个几何形状完整的晶体的中心时，晶体被分为大小相等和形状相似、彼此成反射鏡的象的两个部分。当晶体围绕对称軸旋轉 360° 角时，晶体可以二次、三次或四次甚至六次地在观察者