

高等学校轻工专业试用教材

制糖工业分析

华南理工大学等合编

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

制 糖 工 业 分 析

华南工学院等 合编

轻工业出版社

(京)新登字034号

内 容 提 要

本书是高等学校轻工专业试用教材。内容主要包括制糖工业生产中原材料、半成品、成品和副产品的主要成分和制糖过程的主要工艺参数的测定方法、与测定方法有关的原理、所用仪器的基本结构，测定步骤及结果计算等。

本教材可作为高等院校制糖专业《制糖工业分析》课程教学用书，也可供有关科研、生产、管理部门的科技人员参考。

高等学校轻工专业试用教材

制糖工业分析

华南理工大学等 合编

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

北京市卫顺印刷厂

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：13字数：325千字

1981年1月第一版第一次印刷

1994年5月第一版第六次印刷

印数：27701—28700 定价：7.35元

ISBN7-5019-1166-5/TS·0781

编者说明

《制糖工业分析》以华南工学院、无锡轻工业学院、大连轻工业学院和齐齐哈尔轻工业学院共同拟定的编写大纲作为编写依据，由华南工学院主编，经轻工业部制糖专业教材编审委员会审定出版。

全书共十二章。主要内容包括制糖工业生产过程中原材料、半成品、成品和副产品的主要成分和制糖过程的主要工艺参数的测定方法，与测定方法有关的原理、所用仪器的基本结构、测定步骤及结果计算。

本教材绪论、样品的采集及处理、蔗糖分的测定、制糖过程的主要工艺参数的测定、制糖原料的分析等章节由黄伟干编写，水分的测定、干固物的测定和气体分析由陈屏刚编写，还原糖分的测定、清净剂的分析由潘允鸿编写，有机非糖分的测定、水的分析由许安邦编写，无机非糖分的测定、煤的分析由陶光玲编写。黄伟干、陈屏刚为主编，于是今、李墉主审。

《制糖工业分析》是实践性很强的课程。在编写过程中，我们力求做到理论联系实际，尽量反映国内外的最新成就，并注意全书的系统性。

本教材可作为高等院校制糖专业《制糖工业分析》课程教学用书，也可供有关科研、生产、管理部门的科技人员参考。

由于水平所限，书中缺点错误在所难免，希读者批评指正。

在教材编写过程中，有关单位给予热情帮助和支持，谨表谢意。

编者

一九七九年十一月

绪 论

制糖工业历史悠久。在其发展过程中,由于生产的需要,化学管理工作日趋完善。制糖工业是在生产中最早实行化学管理的工业之一。制糖工业分析本身早已形成一个比较完整的系统。它是制糖化学管理的一个重要组成部分。在制糖工业的化学管理方面,包括生产过程中物料的衡重、计量、样品的采集、样品分析的方法、最佳工艺参数的确定和有关化学管理的计算方法。我国制糖工业的有关部门分别编成了《甘蔗制糖化学管理统一分析方法》与《甜菜制糖化学管理统一分析方法》,作为糖厂化学管理的依据。在国际上,设有糖品分析统一方法国际委员会(简称ICUMSA,下同),定期(正常情况下四年一度)举行国际会议,商讨制糖工业中的有关分析问题,提出相应的建议,并推荐糖品分析的正式方法与试行方法等。

就《制糖工业分析》的性质而言,它属于定量分析的范畴。因此,定量分析的目的、方法及其基本原理、计算方法等,在原则上对《制糖工业分析》是适用的。但定量分析的一般内容,除必要情况外,本书不予列入,以免重复。

大家知道,定量分析是分析化学的重要组成部分。其任务是准确地测定样品中各种组分的含量。在一般的分析工作中,通常先做定性分析,再行定量分析。但在糖厂中,经过长期的生产实践,样品的定性组成及其大概含量一般是已知的,因而在多数情况下不作定性分析而直接进行定量分析。

《制糖工业分析》的任务是研究制糖工业生产过程中物料(原材料、半制品、成品、副产品等)的主要成分及其含量和制

糖过程主要工艺参数的测定方法，以及这些测定方法所牵涉的基本原理和仪器设备的基本结构、测定步骤及结果的计算等。

《制糖工业分析》是一门实验性的科学。对确定制糖过程中物料的组成从而使生产过程在最佳工艺参数下进行是必不可少的的一种手段，因而在生产与科学研究上都有很大的作用。

为使生产过程保持正常，糖厂中的原材料、半成品、成品和副产品都必须加以分析。在糖厂中，主要原材料如甘蔗、甜菜、石灰石、石灰、硫磺、过磷酸钙和煤，进厂时应予检验，视其质量是否符合生产的要求，且根据其成分数字可使生产者胸中有数；生产中的半成品如糖汁、糖浆、糖膏、糖蜜等，亦应进行分析，才能掌握生产情况，了解生产效果，为改进生产（包括工艺技术与设备）提供依据；产品（各种砂糖、绵白糖等）和副产品（蔗渣、废粕、滤泥、废蜜）也要加以化验，以控制产品质量和掌握糖分损失情况，便于采取相应的措施。总之，只有经过化验分析，才能准确了解生产进行情况，改进工艺过程和设备，降低生产中的糖分损失，提高产品的产量与质量，并为糖厂制订生产计划、进行经济核算、开展劳动竞赛提供依据。

在糖业的科学研究中，分析工作也是不可缺少的。例如，新工艺、新设备的研制，用什么来鉴定其效果呢？唯一的办法就是对处理前、后的物料（选定适当的项目）分别进行分析，再将分析结果综合对比，在这一基础上整理出对新工艺、新设备使用效果的鉴定意见。

《制糖工业分析》的广度，以制糖工业的范围为限。除原料、半成品、成品、副产品的主要成分（水分、干固物、蔗糖、还原糖、非糖物）的测定外，还包括制糖过程中主要工艺参数的测定、清净剂（石灰石、石灰、硫磺、过磷酸钙、絮凝剂、离子交换树脂）、水、煤和气体（密气、二氧化硫气、烟道气）的分析。课程的系统基本上以制糖原料中的主要成分加以安排，再加上工业分析的内容。全书分成十二章。每章包括测定原理、仪器、试剂、

测定方法与结果计算等。为了适应社会主义现代化建设的要求，在内容上尽量收入一些比较先进、新颖的方法。书末附有《制糖工业分析》用表。书中提及的试剂，若无特别说明，则属分析纯等级。有关本课程的实验，由有关院校根据教学时数、具体条件与要求自行编写实验讲义。

随着制糖工业生产的发展，制糖科学研究日益深入，加以科学技术飞速进步，所以近年来制糖工业分析进展迅速，采用了不少先进的方法与技术；制成了各种专用的自动测定仪器；某些糖厂化验室还把分析测定自动线与微型处理计算机系统结合起来，记录、处理化验数据。上述改进的基本目的在于使分析工作尽量准确、灵敏、快速，为生产迅速提供可靠的分析数据，为科学研究提供准确而细致的分析结果。

1. 采用先进的方法与技术

为了采集到有代表性的样品，减小采样的工作量，消除直观误差的因素，不少糖厂已经实现自动（定时或连续）采样。例如，在甘蔗采样方面，许多地区已经使用了电子追踪装置和定时自动采样器，效果良好。

为了解决旋光法测定不纯蔗糖溶液的蔗糖分不够准确问题，不少国家和地区采用了同位素稀释法测定甘蔗、甜菜及其制品中的蔗糖分，测得了“真实的蔗糖分”。

高压液相色谱(简写HPLC)是近年发展起来的一种新方法。它具有分离效率高、速度快、应用范围广等优点。在色谱柱中装填液相色谱的固定相(担体)，它是一种吸附剂，例如粒度为一定的硅胶粉末。用高压泵(注射泵)把移动相(载液，是一种溶剂)压送通过色谱柱。与此同时，在色谱柱入口处将样液注入，利用样液中各组分对吸附剂与溶剂的亲合力有所不同而达到组分先后分离的目的。用适当的检测方法(常用的有示差折光法与紫外光谱法)测定各组分的浓度。HPLC可用于糖类(蔗糖、葡萄糖、果糖、棉实糖、蔗果三糖等)、有机酸、氨基酸、甜菜碱等的测

定。但糖厂制品中各种组分测定方法的细节仍在试验研究中。

气液色谱 (GLC) 亦是一种有效的分离测定方法, 适应性很强。在糖厂及有关科研单位中, 可用于测定水分、糖类、有机酸和甜菜碱等。

酶法在制糖分析中由于其专一性而获得相当多的应用。主要用于蔗糖、还原糖、有机酸 (乳酸、柠檬酸等) 的测定。

原子吸收分光光度法可用于测定糖品中的金属元素, 灵敏度高, 可测定痕量的金属, 分析快速, 最适于分析同样成分的大量样品。

2. 分析测定仪器化

为了测定的准确、灵敏、快速, 已制成各种专用的自动测定仪器。在水分测定方面, 有卡尔-费歇尔 (简称卡-费, 下同) 水分自动滴定仪 (例如德意志联邦共和国的Metrohm E452, E547等); 蔗糖分测定方面, 有各种各样的显示数字并记录的光电自动旋光检糖计 (例如Saccharomat、Sucromat等); 在甜菜质量检查方面, 已有专门的检测仪器——Betalyser, 这是由计算机控制的一种自动分析甜菜质量的系统。此外, 在酶法测蔗糖、定氮、氨基酸测定等方面, 亦有相应的自动分析仪器。

3. 使用微型处理计算机, 实现糖厂化验室自动化

这是制糖工业分析的最新发展趋势。目前在荷兰中央糖业公司 (C. S. M.) 所属糖厂的化验室及奥地利 Enns 糖厂化验室都已建立日常分析 (如转光度、锤度、钾、钠、灰分、pH、色值等) 的自动线, 并使用微型处理计算机记录和处理分析数据 (包括编制班报、日报和周报表等等)。

总之, 由于科学技术发展突飞猛进, 制糖生产水平不断提高, 制糖工业分析必有更大的进展。在准确、灵敏、快速的前提下, 朝着自动化、连续化方向不断前进。

目 录

绪论

第一章 样品的采集与处理	(1)
第一节 样品的采集与防腐	(1)
一、样品的采集	(1)
二、样品的防腐	(3)
第二节 样品的稀释与澄清	(3)
一、样品的稀释	(3)
二、样液的澄清	(4)
三、样液除铅、除钙	(6)
第二章 水分的测定	(10)
第一节 干燥法	(11)
一、常压法	(11)
二、真空干燥法	(13)
三、红外线干燥法	(13)
第二节 卡-费法	(15)
第三节 蒸馏法	(22)
第三章 视干固物(固形物)的测定	(24)
第一节 比重法	(24)
第二节 折光法	(32)
第四章 蔗糖分的测定	(53)
第一节 旋光法	(53)
第二节 同位素稀释法	(84)
第三节 气相色谱法	(87)
第四节 酶法	(99)
第五节 化学法	(105)

第五章 还原糖分的测定	(113)
第一节 兰-艾农 (Lane-Eynon)法.....	(114)
第二节 兰-艾农恒容法	(123)
第三节 奥夫奈尔 (Ofner) 法.....	(126)
第四节 克奈特-阿连 (Knight-Allen) 法.....	(132)
第五节 埃默利希 (Emmerich) 法.....	(134)
第六节 酶法.....	(137)
第六章 有机非糖分的测定	(140)
第一节 总氮量的测定.....	(140)
第二节 蛋白质态氮的测定.....	(145)
第三节 铵态氮及酰胺态氮的测定.....	(148)
第四节 氨基酸与焦性谷氨酸的测定.....	(151)
第五节 总胶体的测定.....	(156)
一、酒精凝聚法.....	(156)
二、电泳法.....	(158)
第六节 果胶的测定.....	(159)
一、多缩戊糖法.....	(160)
二、吡啶比色法.....	(164)
第七节 棉实糖及蔗果三糖的测定.....	(166)
第八节 乳酸的测定.....	(170)
一、酶法.....	(170)
二、比色法.....	(173)
第九节 乌头酸的测定.....	(175)
一、高锰酸钾法.....	(176)
二、比色法.....	(176)
三、气液色谱法.....	(177)
第十节 总阴离子的测定.....	(178)
第七章 无机非糖分的测定	(182)
第一节 灰分的测定.....	(182)

一、重量法	(182)
二、电导法	(183)
第二节 阳离子的测定	(186)
一、化学法	(187)
二、火焰光度法	(191)
三、原子吸收分光光度法	(193)
第三节 阴离子的测定	(196)
第四节 成品糖中微量成分的测定	(199)
第八章 制糖过程主要工艺参数的测定	(211)
第一节 甘蔗破碎度的测定	(211)
第二节 甜菜丝长度、人字形菜丝和碎量的测定	(218)
第三节 蔗汁磷酸值的测定	(219)
一、钼酸铵比色法	(219)
二、醋酸铀酰滴定法	(222)
第四节 糖汁自然碱度的测定	(223)
第五节 最佳碱度的测定	(225)
第六节 沉降速度的测定	(228)
第七节 糖汁过滤阻力系数的测定	(230)
第八节 色值的测定	(232)
第九节 糖液粘度的测定	(236)
第九章 制糖原料与清净剂的分析	(243)
第一节 甘蔗的分析	(244)
第二节 甜菜的分析	(246)
第三节 石灰石的分析	(249)
第四节 石灰有效氧化钙的测定	(256)
第五节 硫磺的分析	(257)
第六节 过磷酸钙的分析	(263)
第七节 絮凝剂水解度的测定	(271)
一、方法一	(272)

二、方法二·····	(273)
第八节 离子交换树脂交换容量的测定 ·····	(274)
一、静态法测定阳离子交换树脂的交换容量·····	(274)
二、动态法测定阳离子交换树脂的交换容量·····	(276)
三、莫尔定量法测定阴离子交换树脂的交换容量·····	(277)
第十章 气体分析 ·····	(281)
第一节 气体分析法 ·····	(282)
一、吸收法·····	(282)
二、燃烧法·····	(283)
三、热传导法·····	(284)
四、气体及其吸收剂·····	(285)
五、气体方程式的应用·····	(287)
第二节 气体分析仪器及分析举例 ·····	(290)
一、奥氏气体分析器·····	(291)
二、二氧化硫分析装置·····	(295)
三、自动指示和记录的二氧化碳分析器·····	(299)
第十一章 水的分析 ·····	(301)
第一节 氨氮的测定 ·····	(301)
一、蒸馏法·····	(301)
二、酚盐法·····	(304)
第二节 pH 值的测定 ·····	(305)
第三节 碱度的测定 ·····	(309)
第四节 总硬度的测定 ·····	(311)
第五节 氯离子的测定 ·····	(314)
第六节 磷酸根的测定 ·····	(316)
第七节 油的测定 ·····	(318)
第八节 微量糖分的测定 ·····	(319)
一、钼酸铵法·····	(319)

二、 α -萘酚法	(320)
第九节 溶解氧的测定	(322)
第十节 耗氧量的测定	(324)
第十二章 煤的分析	(331)
第一节 水分的测定	(331)
第二节 灰分的测定	(333)
第三节 挥发分的测定	(334)
第四节 固定炭与氢值的计算	(335)
第五节 发热量的测定	(336)
一、氧弹式热量计法	(337)
二、经验公式计算法	(350)
第六节 全硫量的测定	(352)
附表	(357)
附表 1 糖液锤度、视密度、视比重、每 100 毫升 含蔗糖克数及波美度对照表	(357)
附表 2 观测锤度温度改正表 (0~40℃)	(370)
附表 3 蔗糖溶液折射率与浓度对照表	(374)
附表 4 糖液折光锤度温度改正表 (20℃)	(385)
附表 5 糖液折光锤度温度改正表 (30~95℃)	(386)
附表 6 转光度 (蔗糖分) 因数检索表	(387)
附表 7 蔗汁克来杰除数检索表 (20℃)	(394)
附表 8 克来杰除数温度改正表 (4~35℃)	(395)
附表 9 还原糖因数表 (适用于兰-艾农法)	(396)
附表 10 纯蔗糖水溶液粘度表	(398)
附表 11 水的粘度表	(400)
附表 12 水的饱和蒸汽压力表	(400)

第一章 样品的采集与处理

在糖厂生产过程中，有各种各样的物料。怎样从大量的物料中取得适当的待分析的样品，使样品能够代表大量的物料？在样品分析之前，应该作何处理，使测定工作能够顺利进行，并尽量减小测定误差？这是本章需要研究的基本内容。

第一节 样品的采集与防腐

一、样品的采集

在糖厂中，待分析的物料是各式各样的。其中有些数量极大而组成又很不均匀，例如甘蔗、甜菜、绵白糖、蔗渣、废粕、石灰石、煤等等。在此情况下，要为生产提供可靠而有效的分析数据，除了要有适当的分析方法和正确的分析操作外，还需要正确的采样工作与之配合，为分析工作提供有代表性的样品。所谓有代表性是指少量样品能充分代表大量物料的平均组成。如果所采集的样品不具代表性，则分析工作虽然十分认真，分析结果虽然十分准确，也会变成毫无意义，甚至导致错误的判断。由此可见，采样工作是化验分析中的极为关键的环节，应该认真对待。在有条件的地方，要尽量采用自动（定时的或连续的）采样，以期取得有代表性的样品。

制糖工业中的物料，种类繁多。但不外液体、固体、气体三类，其中液体物料占多数。

（一）液体及气体样品的采集

液体及气体物料的组成较为均匀，流动性好，一般可用连续

采样法进行采集。流动液体连续采样装置如图1-1所示。糖厂中糖汁、糖浆等浓度不高而含悬浮物不多的液体物料，都可使用这种

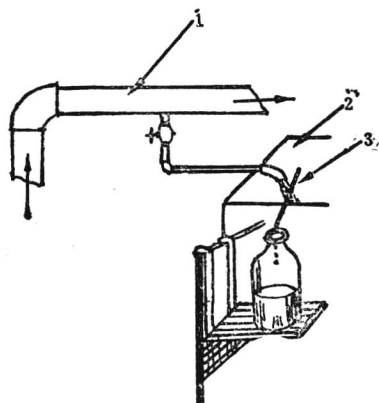


图1-1 流动液体连续采样装置

1—汁管 2—汁箱 3—铜线

采样方法。对于浓度高的物料（如废蜜、糖膏）或浓度虽不高但悬浮物较多的物料（如石灰乳、一、二碳饱充汁），则可用间歇采样法，亦即用人工（或自动）定时采集定量的样品。

在规定时间内所采集的样品，经充分混和后，取其中一部分进行分析。

至于气体，则只要用小管从贮气箱或管道将之引入气体分析器即可。

（二）固体样品的采集

由于固体物料的组成没有气体或液体那样均匀，怎样才能取得有代表性的固体样品一直是难于满意地解决的一个问题。其中原料甘蔗和甜菜的采集尤其是这样。蔗渣、滤泥则是采用五点采样法。蔗渣是按压榨辊长度均分的五点（中小型糖厂压榨机是三点）采样；滤泥可以在滤泥斗车的四角及中央五点采样，也可在螺旋输送机出口处定时定量采样。如糖厂使用真空吸滤机，则可按转鼓长度分三点采样。至于成品砂糖、绵白糖、干粕等，则是在装包称重时每包取定量样品。

所采集的固体样品（除甘蔗、甜菜外）用“四分法”缩减其数量。即是将固体样品堆成圆锥形，略为压平后划分成四等份，取其对角的两份。如仍嫌过多，可再用“四分法”缩减，直至样品适量为止。

采样后，应防止样品变质，也要避免样品水分蒸发或从空气

中吸收水分。所以，样品桶一般要加盖，并在样品中加入适当的防腐剂。

二、样品的防腐

糖厂样品多含糖分，是微生物的良好营养物。在温度和 pH 适宜时，微生物就会繁殖。在微生物的作用下，样品中原来的糖分减少，产生新的成分。这样就不能代表样品原来的情况了。因此在糖厂中，对于容易繁殖微生物的样品（如甘蔗糖厂中的蔗汁和蔗渣等），一般加入防腐剂。

糖厂常用的防腐剂有二氯化汞（升汞）和甲醛。

二氯化汞是重金属盐类，能凝固蛋白质，有剧毒，具有强烈的杀菌作用。配制方法是将化学纯 HgCl_2 35 克溶于 95% 的乙醇 100 毫升中。使用量为每升液体样品 0.5 毫升。因 HgCl_2 为重金属盐，且水解后溶液呈酸性，故测样品灰分和 pH 时不能以之作防腐剂。

甲醛的渗透性强，易渗入菌体中使蛋白质变性，故有抑制微生物繁殖作用而达防腐的目的。一般使用工业用甲醛溶液（含甲醛 30~40%），用量为每升样品溶液 0.5~1 毫升。甘蔗糖厂常用之作蔗渣的防腐剂。由于甲醛溶液具有酸性与还原性，故对拟测定 pH、还原糖的样品不适用。

第二节 样品的稀释与澄清

一、样品的稀释

若样品浓度过高或属固体，不宜于直接进行分析，则需经适当稀释再行测定。糖厂中通常采用下列稀释法：

（一）倍数稀释法

糖厂样品多用四倍稀释（样品 100 克加水 300 克）或六倍稀释（样品 100 克加水 500 克）。稀释倍数视样品浓度和所用分析方法而

定。甘蔗糖厂中的糖浆测锤度及蔗糖分用四倍稀释，而糖膏、糖蜜测锤度及转光度则用六倍稀释。

(二)规定量稀释法

甜菜糖厂样品多数采用此种稀释法。甘蔗糖厂中糖膏（测蔗糖分）、原糖、成品糖（白砂糖、赤砂糖）、滤泥也用这种方法。即是把样品26克加水配成100毫升。此外，也有采用半规定量稀释（样品13克配成100毫升）或1/3规定量稀释（废蜜蔗糖分测定）的。

(三)任意稀释法

在生产中，有时要求迅速提供样品纯度的数字，以应需要。例如煮糖配料即属此种情况。此时可采用任意稀释法。在样品中加入适量（不必称量）的水，充分混和后分别测稀释液的锤度及转光度即可。由于稀释倍数相等，故稀释液纯度与原样品相同。

二、样液的澄清

待分析的样液，大多数带有颜色，常呈混浊状态，而且在不同程度上含有影响测定的杂质。为使样液的分析能够顺利进行，有必要将之澄清。例如，大多数样品都要用旋光法测定蔗糖分（或转光度），而旋光观测要求样液色浅、透明，故在旋光观测之前要先行澄清处理。

(一)澄清剂的种类

在有关文献中介绍的澄清剂种类不少。但最常用的是铅盐。因铅离子可与很多阴离子（如 Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、酒石酸根等）结合，生成难溶的沉淀物，同时吸附除去部分杂质。

1. 碱性醋酸铅（又称低醋酸铅或盐基性醋酸铅）

它是4份 $3\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{PbO}$ 与3份 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{PbO}$ 的混合物。近似的分子式为 $3\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{PbO}$ 。它的澄清能力较强，除因所形成的沉淀物能吸附除去部分的还原糖分解产