

国家职业资格培训教程

食 糖 制 造 工 结 晶

(初级、中级、高级)

中国糖业协会组织编写

广西工业职业技术学院协作编写

套书主编 贾志忍

套书副主编 谢玉武

本书主编 张 俭

本书主审 谢玉武

 中国轻工业出版社

轻工行业国家职业资格培训教程
编审工作委员会

名誉主任：陈士能

主任委员：林小冲

委 员：(以姓氏笔画为序)：

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 尹果为 | 王凤和 | 王延才 | 石僧兰 |
| 刘升平 | 刘建平 | 孙瑞勇 | 朱念琳 |
| 闫卫民 | 齐建平 | 何 焯 | 宋昆冈 |
| 张冰冰 | 李洪宝 | 苏超英 | 邹国建 |
| 陈少军 | 单燕玲 | 孟 琪 | 姜 风 |
| 赵亚利 | 赵领素 | 徐云媛 | 莫湘筠 |
| 曹立平 | 梁 梅 | 傅维杰 | 廖正品 |
| 魏淑君 | | | |

国家职业资格培训教程
《食糖制造工》编审委员会

主任 贾志忍

副主任 蒋天圣 农 光 金长义 于淑娟 王亚明

顾问 冯祖华 何国林 管炳六 李 琳 冯 磊

委员 (以姓氏笔画为序)

于洪禄 邓明珍 宁方尧 刘汉德 刘秀兰

闫卫民 麦茂良 苏 勇 苏士亮 李永生

李克力 李国有 李复农 李晓华 杨才誉

吴新民 何惠欢 张 俭 张延明 张鲁宾

陆宝明 范家恒 欧阳铸 尚明久 罗芹秋

罗英极 图 雅 周志萍 郑 琪 郑必胜

孟 琪 胡志江 钮公藩 洪叔南 郭继强

黄冬梅 谢玉武 谢连城 蓝贤洲 蔡惠贤

廖映奇 黎锡流 霍汉镇

策 划 蒋天圣 孟 琪

序

为贯彻“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神，落实国家人才发展战略目标，全面推进技能振兴计划和高技能人才培养工程，加快培训一大批高素质的技能型人才，我们精心策划了这套与中华人民共和国人力资源和社会保障部最新颁布的食糖制造工《国家职业标准》配套的“国家职业资格培训教程”。

进入 21 世纪，随着制糖企业的改制、转型、资产重组的完成，食糖制造业得到了迅速的发展与壮大，每年的产糖量都在 1000 万吨以上，生产的技术水平要求越来越高，然而人才短缺和技术工人的技能有待进一步提高的问题已经严重阻碍了生产力的发展，制糖企业迫切需要培养和培训一批既有专业知识，又有操作技能的从业人员。据统计，我国技术工人中高级以上技工只占 3.5%，与发达国家 40% 的比例相去甚远。为此，国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”，强调各地、各企业、各职业院校等要大力开展职业技术培训，以培训促就业，全面提高技术工人的素质。

教材是人们终身教育和职业生涯的重要学习工具，顾名思义，作为职业培训的重要基础，职业培训教材当之无愧！编写出版优秀的职业培训教材，就等于为技能培训提供了一把开启就业之门的金钥匙，搭建了一座高技能人才培养的阶梯。

2000 年以来，我国相继颁布了《中华人民共和国职业分类大典》和新的《国家职业标准》，其中对我国食糖制造业的职业技术工人的工种、等级、职业的活动范围、工作内容、技能要求和知识水平等根据实际需要进行了重新界定。食糖制造工共分为甘蔗提汁、甜菜提汁、澄清、加热蒸发、结晶、分蜜与干燥、分析等 7 个职业功能，国家职业资格分为 5 个等级：初级（5 级）、中级（4 级）、高级（3 级）、技师（2 级）、高级技师（1 级）。为与新的食糖制造工《国家职业标准》配套，更好地满足当前各级职业培训和技术工人考级取证的需要，我们精心策划编写了这套食糖制造工国家职业资格培训教程。

为满足食糖制造工各级技能培训和广大读者的需要，这次共编写了《提汁》、《澄清》、《加热蒸发》、《结晶》、《分蜜与干燥》、《分析》、《基础知识》等 7 种教材。每个职业按食糖制造工《国家职业标准》规定的工作内容和技能要求编写初级、中级、高级三个级别，各等级合理衔接、步步提升，为技能人才培养搭建了科学的阶梯型培训架构。

在编写原则上，依据《国家职业标准》又不拘泥于《国家职业标准》是我们这套教材的创新，以“围绕技能等级标准，贴合糖业发展，重技能、强操作、讲实用、易接受”为主线，突出教材的合理性、科学性、严谨性、先进性及实用性，成立了《食糖制造工》国家职业资格培训教材编审委员会，确定编写人员，并于 2005 年 8 月开始，下到各个制糖企业收集了大量的基础资料，丰富、充实教材内容，2005 年 12 月形成粗稿；进一步广泛征求专家的意见，修改教材内容，2006 年 3 月形成初稿；2006 年 5 月本套教材第一次

在广西部分糖厂员工培训中试用,培训人数 2000 多人,得到培训学员和工程技术人员的广泛好评,编写人员根据培训教学中发现的问题,对书稿进行了修改,于 2006 年 11 月形成修订稿;2006 年 9 月至 2007 年 3 月本套教材用于对广西部分糖厂生产操作人员进行技能测试和技能鉴定,人数达到 3000 多人,教材编写成员在收集相关岗位技能要求的基础上,再次修订教材的部分内容,及时补充现有糖厂先进的工艺、设备方面的内容,充分体现教材的先进性,2007 年 4 月形成修订二稿;2007 年 5 月本套教材再一次在广东省湛江市制糖企业试用,培训在职员工 700 多人,反映的效果也非常好;2007 年 7 月完成修订三稿,并提交专家审阅;2007 年 10 月完成统编。

为扩大本套教材的覆盖面和体现教材的权威性,我们分别于 2005 年 12 月和 2007 年 7 月两次组织了 30 多名全国制糖行业的专家、学者、工程技术人员、教师、技师、高级技师对教材进行了审阅、修改,并参与了编写。

这套教材在编写过程中力求突出“新”字,做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”,增加实用性,重在教会读者掌握必需的专业知识和技能,是企业培训部门、各级职业技能鉴定培训机构、再就业和新员工培训的教材,也可作为技校、中职、各种短训班的教材,还可供从事食糖制造工作的有关人员参考。

在这套教材的调研、策划、编写过程中,得到了中国轻工业职业技能鉴定中心、中国糖业协会、广西工业职业技术学院、华南理工大学、昆明理工大学、广东省制糖造纸工业总公司、广西壮族自治区糖业公司、包头华资实业股份有限公司、广西贵糖(集团)股份有限公司、洋浦南华糖业集团、云南英茂集团、广东湛江农垦集团华海公司、中国糖业南宁培训中心、中国糖业广州培训中心、中国糖业昆明培训中心等单位的大力支持和帮助,在此谨向为本套教材的策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!

编写本套培训教材有相当的难度,是一项探索性工作。由于时间仓促,缺乏经验,不足之处在所难免,恳切欢迎各使用单位和个人提出宝贵意见和建议。

中国糖业协会《食糖制造工》培训教材
编审委员会

前 言

本书是依据食糖制造工《国家职业标准》(结晶)的知识要求和技能要求编写的,为食糖制造工(结晶)初级、中级、高级职业培训教材。

食糖制造工(结晶)是一个经验性较强的工种,在本书编写过程中坚持按岗位培训需要为原则,以实用、够用为宗旨,突出技能,理论为技能服务。力求做到内容精练、通俗易懂、覆盖面广、层次合理、内容丰富和实用性强,依据《国家职业标准》又不拘泥于《国家职业标准》。2006—2007年期间多次在制糖企业员工职业培训中进行试用,取得了比较好的效果,并不断地对内容进行了补充、增删、修改、完善。

本书在调研、策划、编写过程中,得到了许多在制糖行业工作的领导、专家、学者、工程技术人员、教师、技师和高级技师的大力支持和帮助,这里就不一一列出,在此谨向为本书的策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!

本书由张俭主编,谢玉武主审。

本书力求采用标准规范的科技名词,物理量和计量单位也尽量规范化。但是考虑到糖厂多年的习惯用法,个别变量、单位名称等还延用制糖行业专用术语,请读者朋友们谅解。

由于作者水平有限,书中难免存在不足和错误,诚恳希望从事职业教育的专家和广大读者不吝赐教,提出批评指正,真诚希望与您携手,共同打造职业培训教材的精品。

编 者

目 录

第一部分 初 级 工

| | |
|---------------------|--------|
| 第一章 基本概念 | (1) |
| 第一节 常用术语及意义 | (1) |
| 一、常用单位的意义及其应用 | (1) |
| 二、蔗糖结晶一般术语 | (5) |
| 第二节 蔗糖及其溶液的性质 | (7) |
| 一、一般性质 | (7) |
| 二、结晶性 | (7) |
| 三、溶解性 | (7) |
| 四、旋光性 | (8) |
| 五、折光性 | (8) |
| 六、蔗糖溶液的沸点上升 | (8) |
| 七、导电性 | (9) |
| 八、水解性 | (9) |
| 九、蔗糖溶液的分解 | (10) |
| 十、微生物对蔗糖的作用 | (10) |
| 第三节 食糖产品标准 | (10) |
| 一、白砂糖标准 | (10) |
| 二、绵白糖标准 | (11) |
| 三、赤砂糖标准 | (12) |
| 四、原糖标准 | (12) |
| 五、食糖卫生标准 | (13) |
| 第二章 煮糖基本知识 | (15) |
| 第一节 煮糖工艺要求 | (15) |
| 一、煮糖工艺流程 | (15) |
| 二、工艺要求 | (18) |
| 第二节 煮糖基本知识 | (21) |
| 一、多系煮糖 | (21) |
| 二、真空度与煮糖的关系 | (23) |
| 三、非糖分对煮糖的影响 | (24) |
| 四、煮糖的热交换 | (25) |
| 五、对蒸汽的要求 | (26) |
| 六、糖膏对流对煮糖的影响 | (26) |

| | |
|-------------------------------|--------|
| 第三章 煮糖操作 | (29) |
| 第一节 煮糖验糖板的技术操作基础 | (29) |
| 一、验糖板及使用方法 | (29) |
| 二、使用验糖板对晶体质量的鉴别 | (30) |
| 三、使用验糖板对浓度的判断 | (32) |
| 第二节 煮糖操作的基本过程 | (33) |
| 一、准备工作 | (33) |
| 二、煮糖操作过程 | (33) |
| 三、煮糖操作的注意事项 | (39) |
| 四、不正常情况的原因与处理 | (39) |
| 第三节 煮糖岗位操作技能 | (42) |
| 一、原料箱岗位操作技能 | (42) |
| 二、稀释箱岗位操作技能 | (44) |
| 三、种子箱岗位操作技能 | (45) |
| 四、结晶罐岗位操作技能 | (46) |
| 五、岗位交接班制度 | (50) |
| 六、生产记录制度 | (51) |
| 第四章 煮糖主要设备、仪表的识别 | (52) |
| 第一节 煮糖主要设备的识别 | (52) |
| 一、结晶罐 | (52) |
| 二、种子箱 | (52) |
| 三、冷凝器 | (53) |
| 第二节 常用仪表识读 | (54) |
| 一、压力表 | (54) |
| 二、温度表 | (55) |
| 三、流量计 | (56) |
| 四、电流表与电压表 | (57) |
| 五、常用仪表参数 | (57) |
| 六、仪表分析判断方法 | (59) |
| 第五章 助晶 | (61) |
| 第一节 助晶原理 | (61) |
| 一、助晶原理 | (61) |
| 二、助晶设备的识别 | (61) |
| 第二节 助晶操作 | (62) |
| 一、助晶操作 | (62) |
| 二、助晶岗位操作注意事项 | (63) |
| 三、糖膏抽蜜装置的使用方法 | (63) |
| 四、不正常情况的原因与处理 | (64) |
| 五、助晶岗位操作技能 | (64) |

第二部分 中 级 工

| | |
|----------------------------|---------|
| 第六章 蔗糖结晶原理 | (67) |
| 第一节 蔗糖的结晶形态 | (67) |
| (01) 一、正常的蔗糖结晶形状 | (67) |
| (01) 二、不正常的蔗糖结晶形状 | (68) |
| 第二节 蔗糖的溶解度与过饱和系数 | (69) |
| (11) 一、饱和溶液与蔗糖的溶解度 | (69) |
| (11) 二、过饱和溶液和过饱和系数 | (70) |
| 第三节 蔗糖溶液中晶核的形成与长大 | (77) |
| (01) 一、蔗糖溶液中晶核的形成 | (77) |
| (01) 二、蔗糖结晶的长大 | (78) |
| (01) 三、结晶速度 | (78) |
| (01) 四、影响蔗糖结晶的主要因素 | (79) |
| 第七章 煮糖配料计算 | (82) |
| 第一节 基础计算 | (82) |
| (71) 一、糖液质量与体积的关系 | (82) |
| (81) 二、糖液中固溶物质量的计算 | (82) |
| (01) 三、糖液中含糖质量的计算 | (83) |
| 第二节 煮糖配料计算 | (83) |
| (11) 一、代数法 | (83) |
| (01) 二、交叉法 | (85) |
| (01) 三、图解法 | (87) |
| 第八章 各种糖膏的煮炼技能 | (90) |
| 第一节 煮糖操作原则 | (90) |
| (01) 一、控制适当的晶粒数目 | (90) |
| (01) 二、争取最大的结晶速度 | (90) |
| (01) 三、晶体均匀整齐 | (91) |
| 第二节 种子的煮炼技能 | (91) |
| (01) 一、种子制备 | (91) |
| (01) 二、种子煮制技术要求 | (93) |
| (11) 三、种子煮制方法要点 | (94) |
| 第三节 甲糖膏的煮炼技能 | (97) |
| (01) 一、甲糖膏特点与煮制技术要求 | (97) |
| (01) 二、甲糖膏煮制方法要点 | (99) |
| (01) 三、绵糖甲糖膏的煮制方法要点 | (103) |
| 第四节 乙糖膏的煮炼技能 | (103) |
| (01) 一、乙糖膏的特点与煮制技术要求 | (103) |
| (01) 二、乙糖膏煮制方法要点 | (104) |

| | |
|--------------------------------|-------|
| 第五节 丙糖膏的煮炼技能 | (106) |
| 一、丙糖膏的特点与煮制技术要求 | (106) |
| 二、丙糖膏煮制方法要点 | (107) |
| 第六节 煮糖过程故障原因与处理 | (110) |
| 一、煮糖跑糖, 冷却水含糖分过高 | (110) |
| 二、汽凝水含糖分超过规定值 | (110) |
| 三、糖膏浓度过高, 卸放困难 | (111) |
| 四、不能抽真空或真空度不能升高 | (111) |
| 五、稀释箱原料加热受焦 | (111) |
| 六、物料管路法兰垫片爆裂 | (111) |
| 第七节 结晶助剂的应用技术 | (112) |
| 一、煮糖用表面活性剂的作用和功能 | (112) |
| 二、表面活性剂的选择和使用 | (114) |
| 三、煮炼用表面活性剂的经济效益 | (115) |
| 第九章 结晶罐及附属设备 | (116) |
| 第一节 概述 | (116) |
| 第二节 结晶罐内的糖膏循环 | (117) |
| 第三节 间歇式结晶罐的类型和构造 | (118) |
| 一、中心降液循环列管式结晶罐 | (119) |
| 二、吊鼓式结晶罐 | (119) |
| 三、阶梯型汽鼓式结晶罐 | (121) |
| 四、环板式结晶罐 | (122) |
| 五、卧式平板型结晶罐 | (123) |
| 第四节 强制循环结晶罐 | (124) |
| 一、强制循环的优缺点 | (124) |
| 二、结晶罐中安装搅拌器的几种基本形式 | (126) |
| 三、几种典型的搅拌式结晶罐 | (127) |
| 第五节 结晶罐的其它构件 | (129) |
| 一、入料管 | (129) |
| 二、卸糖阀 | (129) |
| 三、糖膏采样器 | (130) |
| 四、投粉斗 | (131) |
| 五、视镜 | (131) |
| 第六节 连续结晶罐 | (132) |
| 一、单侧降液循环列管连续结晶罐 | (132) |
| 二、中心降液循环列管连续结晶罐 | (133) |
| 三、板式连续结晶罐 | (134) |
| 四、Tully 式外循环列管式加热元件连续结晶罐 | (135) |
| 五、BMA 塔式四层连续结晶罐 | (136) |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 六、间歇式结晶罐串联的连续结晶过程 | (138) |
| 七、连续结晶罐的优缺点 | (138) |
| 第七节 结晶罐的附属设备 | (139) |
| 一、原料箱 | (140) |
| 二、种子箱 | (140) |
| 三、冷凝器 | (141) |
| 四、捕汁器 | (144) |
| 五、汽凝水分离器 | (146) |
| 第十章 助晶 | (148) |
| 第一节 影响糖膏助晶的因素 | (148) |
| 一、降温的速度 | (148) |
| 二、糖膏冷却的最低温度 | (149) |
| 三、糖膏母液的锤度 | (150) |
| 四、糖膏母液的浓度与纯度的关系 | (150) |
| 五、糖膏中结晶的含量 | (151) |
| 六、搅拌速度 | (151) |
| 第二节 助晶过程糖膏温度和浓度的控制技能 | (152) |
| 一、测定糖膏浓度的主要设备及使用方法 | (152) |
| 二、助晶过程中糖膏温度和浓度的控制技能 | (154) |
| 三、助晶过程故障的原因与处理 | (155) |
| 第三节 助晶设备 | (156) |
| 一、助晶设备的工艺要求 | (156) |
| 二、助晶机的类型与结构 | (157) |
| 第十一章 结晶设备检修规程 | (170) |
| 第一节 通用管路、管件、阀门检修规程 | (170) |
| 一、管路检修规程 | (170) |
| 二、管路的保温 | (171) |
| 三、法兰盘检修规程 | (172) |
| 四、垫片(挣口)检修规程 | (172) |
| 五、支架检修规程 | (172) |
| 六、阀门检修规程 | (173) |
| 七、安全阀检修规程 | (173) |
| 第二节 冷凝器、物料箱、种子箱、助晶机、结晶罐检修规程 | (174) |
| 一、淋洒式冷凝器检修规程 | (174) |
| 二、喷射式冷凝器检修规程 | (174) |
| 三、各种物料箱检修规程 | (175) |
| 四、助晶机、种子箱检修规程 | (176) |
| 五、结晶罐检修规程 | (177) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 三、煮糖制度的编制方法 | (214) |
| 第二节 常用各种类型的煮糖制度 | (221) |
| 一、全产赤砂糖的煮糖制度 | (222) |
| 二、产白砂糖为主,兼产赤砂糖的煮糖制度 | (223) |
| 三、产优级白砂糖的煮糖制度 | (226) |
| 四、产精糖兼产赤砂糖的煮糖制度 | (228) |
| 五、全产白砂糖的煮糖制度 | (229) |
| 六、生产原糖的煮糖制度 | (231) |
| 第十五章 罐时平衡与煮糖用汽计算 | (233) |
| 第一节 煮糖罐时平衡计算 | (233) |
| 第二节 煮糖用汽计算与节能知识 | (235) |
| 一、煮糖用汽的计算 | (235) |
| 二、煮糖系统的节能措施 | (237) |
| 第十六章 结晶罐的工艺计算 | (240) |
| 第一节 间歇式结晶罐的改进 | (240) |
| 一、结晶罐的主要技术参数 | (240) |
| 二、间歇式结晶罐的改进 | (242) |
| 第二节 结晶罐的工艺计算 | (245) |
| 一、所需罐数的计算 | (245) |
| 二、结晶罐所需的加热面积 | (246) |
| 三、加热管的管径、管长与管数 | (246) |
| 四、降液管尺寸 | (248) |
| 五、结晶罐直径、高度及总容积 | (248) |
| 六、吊鼓式结晶罐的主要尺寸计算 | (250) |
| 第三节 强制循环结晶罐的主要参数 | (253) |
| 一、中心降液管的直径 | (253) |
| 二、搅拌叶直径与降液管直径之比 | (253) |
| 三、搅拌器的转速和安装位置 | (253) |
| 四、搅拌器所需功率的估计 | (254) |
| 第十七章 助晶 | (257) |
| 第一节 糖膏助晶管理与操作 | (257) |
| 一、糖膏助晶管理 | (257) |
| 二、助晶降温操作 | (261) |
| 三、助晶效果查定 | (262) |
| 四、事故原因分析与处理 | (262) |
| 第二节 助晶机的技术参数与计算 | (263) |
| 一、助晶机的技术参数 | (263) |
| 二、助晶机的计算 | (263) |

| | |
|-----------------------------|-------|
| 第十八章 产品质量和煮炼收回 | (267) |
| 第一节 产品质量问题分析 | (267) |
| 一、产品色值高的原因分析及处理 | (267) |
| 二、产品不溶于水杂质含量高的原因分析及处理 | (268) |
| 三、产品混浊度高的原因及处理 | (269) |
| 四、产品含二氧化硫偏高的分析及对策 | (269) |
| 五、产品灰分偏高 | (271) |
| 六、产品水分偏高 | (271) |
| 七、产品蔗糖分偏低 | (271) |
| 八、赤砂糖质量 | (272) |
| 九、绵白糖质量问题的分析与处理 | (272) |
| 第二节 煮炼收回率 | (274) |
| 一、煮炼收回率的计算 | (274) |
| 二、减少糖分损失与提高煮炼收回率的途径 | (276) |
| 第十九章 结晶设备的修理技能 | (279) |
| 第一节 承压部件挖补修理 | (279) |
| 一、承压部件挖补修理知识 | (279) |
| 二、补板修理的操作 | (281) |
| 第二节 堆焊修理 | (282) |
| 一、堆焊修理知识 | (282) |
| 二、堆焊操作步骤 | (282) |
| 第三节 裂纹修理 | (283) |
| 一、裂纹修理知识 | (283) |
| 二、裂纹修理操作步骤 | (284) |
| 第四节 加热管修理 | (285) |
| 一、加热管的修理知识 | (285) |
| 二、加热管修理操作 | (288) |
| 第五节 阀门修理 | (288) |
| 一、阀门修理知识 | (288) |
| 二、阀门修理操作 | (289) |
| 第六节 结晶罐汽鼓水压试验 | (290) |
| 一、水压试验技术要求 | (290) |
| 二、结晶罐汽鼓水压试验操作 | (291) |
| 参考文献 | (293) |

第一部分 初 级 工

第一章 基本概念

第一节 常用术语及意义

一、常用单位的意义及其应用

(一) 密度

某种物质单位体积的质量称为这种物质的密度，因此糖液的密度就是该糖液单位体积的质量，即：

$$\text{糖液的密度} = \frac{\text{该糖液的质量}}{\text{该糖液的体积}} \quad (1-1)$$

密度的单位是 kg/m^3 (千克/米³) 或 g/cm^3 (克/厘米³)，式 1-1 也是糖液的质量计算公式，由两个已知数可求得另一个未知数。例如，已知糖膏的体积为 2m^3 ，其密度为 1500kg/m^3 ，就可求出该糖膏的质量为 3000kg 。

因为物质单位体积的质量是随温度而变化的，温度高，体积膨胀，单位体积内的物质含量相对减少，密度减小；温度低，体积收缩，单位体积内的物质含量相对增加，密度亦增大。但制糖生产上并不需要十分精确的数据，故一般采用 20°C 时的视密度，而温度的影响可忽略不计，各种糖液在 20°C 的视密度见表 1-1。

表 1-1 糖液在 20°C 时锤度、视密度、波美度对照表

| 锤度/ $^\circ\text{Bx}$ | 视密度 (20°C)/(t/m^3) | 波美度/ $^\circ\text{Bé}$ | 锤度/ $^\circ\text{Bx}$ | 视密度 (20°C)/(t/m^3) | 波美度/ $^\circ\text{Bé}$ | 锤度/ $^\circ\text{Bx}$ | 视密度 (20°C)/(t/m^3) | 波美度/ $^\circ\text{Bé}$ |
|-----------------------|--|------------------------|-----------------------|--|------------------------|-----------------------|--|------------------------|
| 1 | 1.00106 | 0.56 | 19 | 1.07549 | 10.55 | 37 | 1.16020 | 20.35 |
| 3 | 1.00887 | 1.68 | 21 | 1.08436 | 11.65 | 39 | 1.17030 | 21.43 |
| 5 | 1.01680 | 2.79 | 23 | 1.09337 | 12.74 | 40 | 1.17541 | 21.97 |
| 7 | 1.02483 | 3.91 | 25 | 1.10251 | 13.84 | 41 | 1.18056 | 22.50 |
| 9 | 1.03297 | 5.02 | 27 | 1.11178 | 14.93 | 42 | 1.18574 | 23.04 |
| 11 | 1.04123 | 6.13 | 29 | 1.12119 | 16.02 | 43 | 1.19096 | 23.57 |
| 13 | 1.04961 | 7.24 | 31 | 1.13073 | 17.11 | 44 | 1.19622 | 24.10 |
| 15 | 1.05811 | 8.34 | 33 | 1.14041 | 18.19 | 45 | 1.20151 | 24.63 |
| 17 | 1.06674 | 9.45 | 35 | 1.15024 | 19.28 | 46 | 1.20684 | 25.17 |

续表

| 锤度/°Bx | 视密度 (20℃)/(t/m ³) | | 锤度/°Bx | 视密度 (20℃)/(t/m ³) | | 锤度/°Bx | 视密度 (20℃)/(t/m ³) | |
|--------|----------------------------------|-------|--------|----------------------------------|-------|--------|----------------------------------|-------|
| | 波美度/°Bé | | | 波美度/°Bé | | | 波美度/°Bé | |
| 47 | 1.21221 | 25.70 | 65 | 1.31533 | 35.04 | 83 | 1.43081 | 43.91 |
| 48 | 1.21761 | 26.23 | 66 | 1.32142 | 35.55 | 84 | 1.43758 | 44.38 |
| 49 | 1.22306 | 26.75 | 67 | 1.32754 | 36.05 | 85 | 1.44439 | 44.86 |
| 50 | 1.22854 | 27.28 | 68 | 1.33371 | 36.55 | 86 | 1.45124 | 45.33 |
| 51 | 1.23406 | 27.81 | 69 | 1.33992 | 37.06 | 87 | 1.45812 | 45.80 |
| 52 | 1.23962 | 28.33 | 70 | 1.34616 | 37.56 | 88 | 1.46504 | 46.27 |
| 53 | 1.24521 | 28.86 | 71 | 1.35245 | 38.06 | 89 | 1.47199 | 46.73 |
| 54 | 1.25084 | 29.38 | 72 | 1.35877 | 38.55 | 90 | 1.47898 | 47.20 |
| 55 | 1.25651 | 29.90 | 73 | 1.36514 | 39.05 | 91 | 1.48601 | 47.66 |
| 56 | 1.26222 | 30.42 | 74 | 1.37153 | 39.54 | 92 | 1.49307 | 48.12 |
| 57 | 1.26797 | 30.94 | 75 | 1.37797 | 40.03 | 93 | 1.50017 | 48.58 |
| 58 | 1.27375 | 31.46 | 76 | 1.38444 | 40.53 | 94 | 1.50730 | 49.03 |
| 59 | 1.27958 | 31.97 | 77 | 1.39096 | 41.01 | 95 | 1.51447 | 49.49 |
| 60 | 1.28544 | 32.49 | 78 | 1.39751 | 41.50 | 96 | 1.52535 | 49.94 |
| 61 | 1.29133 | 33.00 | 79 | 1.40409 | 41.99 | 97 | 1.53260 | 50.39 |
| 62 | 1.29726 | 33.51 | 80 | 1.41072 | 42.47 | 98 | 1.53988 | 50.84 |
| 63 | 1.30325 | 34.02 | 81 | 1.41737 | 42.95 | 99 | 1.54719 | 51.28 |
| 64 | 1.30927 | 34.53 | 82 | 1.42407 | 43.43 | 100 | 1.55454 | 51.73 |

注：锤度、波美度都是浓度单位，但糖厂习惯直接用此单位名称来表示糖汁浓度。本书也采用这种表述法。

(二) 黏度

黏度是液体中物质分子间相对运动的阻力，也就是液体流动性大小的程度。黏度的单位以 Pa·s (帕·秒) 表示，旧单位制用 P (泊) 或 cP (厘泊) 表示。1Pa·s = 10P = 1000cP，纯水在 20℃ 及 1atm (大气压) 下的黏度为 1cP，一般用黏度计测出被测样品与水的相对黏度来表示。

纯糖液的黏度随浓度升高而增大，随温度升高而减小。不纯糖液因所含杂质不同，有的杂质黏度大，有的杂质黏度小，所以黏度变化很大，要根据所含杂质的浓度和性质而定。另外，溶液的酸碱度对黏度也有影响，碱性溶液黏度大，酸性溶液黏度小，当 pH 超过 11 时，黏度就会大大增加 (见表 1-2)。

表 1-2 不同温度、纯度、浓度对糖液黏度的影响

| 黏度/cP 温度/℃ | 锤度/°Bx | | 纯度 60% | | | 纯度 70% | | | 纯度 80% | | | 纯度 100% | | |
|---------------|--------|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|--------|-----|-----|---------|--|--|
| | 70 | 75 | 80 | 70 | 75 | 80 | 70 | 75 | 80 | 70 | 75 | 80 | | |
| 40 | 77 | 290 | 1520 | 82 | 300 | 1600 | 89 | 310 | 1750 | 111 | 381 | 2160 | | |
| 50 | 60 | 150 | 640 | 53 | 160 | 720 | 57 | 170 | 760 | 63 | 190 | 832 | | |
| 60 | 34 | 88 | 325 | 35 | 92 | 335 | 36 | 96 | 345 | 39 | 105 | 394 | | |
| 70 | 24 | 55 | 170 | 24 | 57 | 176 | 24 | 59 | 180 | 25 | 62 | 204 | | |
| 80 | 17 | 36 | 105 | 17 | 36 | 107 | 17 | 37 | 110 | 17 | 38 | 115 | | |

从表中可以看出,温度升高,则糖液黏度减小。如纯度为80%、浓度为80°Bx的不纯糖溶液,当温度由40℃升高到80℃时,其黏度由1.75Pa·s减小至0.11Pa·s,这是因为温度升高时,分子运动速度加快,密度减小和内滞力减小的缘故。另外,在低浓度时,糖液黏度随着浓度增大而缓慢地增大,但随着浓度的不断升高,黏度增大也逐渐加快。如纯度为80%的糖液在40℃时,浓度由70°Bx上升到75°Bx,黏度只增加0.221(即0.310-0.089)Pa·s,即浓度每升高1°Bx,黏度平均增加0.0442Pa·s;但当浓度由75°Bx升高到80°Bx时,黏度增加1.440(即1.750-0.310)Pa·s,这时浓度每升高1°Bx,黏度平均增加0.288Pa·s。

(三) 浓度

浓度是指溶液中含溶质的质量分数,即表示溶液中溶剂和溶质存在相对量的一种方式。纯糖溶液的浓度就是溶液中所含溶质(蔗糖)对糖溶液的质量分数。例如10%的纯糖溶液,就表示100t该溶液中有10t是蔗糖,而另外90t是水。糖厂测定浓度的方法有以下几种。

1. 糖锤度

利用纯糖溶液密度关系制成的锤度计测出的糖液浓度,称为糖锤度,简称锤度,符号为°Bx。对纯蔗糖溶液为蔗糖质量分数,对不纯蔗糖溶液则表示溶液中固溶物的质量分数。例如65°Bx糖浆,即表示100t该糖浆中有65t是固溶物(蔗糖及溶于水的杂质),而另外35t是水。因锤度计是根据纯糖溶液的标定制成的,而用于不纯糖液时,因糖液中所含各种杂质的密度与蔗糖不同,或大于蔗糖,或小于蔗糖,一般来说比蔗糖稍大,就导致糖液的糖锤度值与实际含糖量有一定的误差,这就是为什么我们常见丙糖膏锤度有超出100°Bx的原因。另外,糖锤度亦受温度变化的影响,故化验分析时都要校正为20℃时的糖锤度,以便比较。

2. 折光锤度

在20℃时用糖用折射仪测得的读数。蔗糖具有折光的特性,不同浓度的糖溶液,有不同的折射率,用折光原理制成的折光镜所测出的糖液浓度称为折光度。糖液中的杂质所产生的折光率与纯糖液的折射率有所不同,故用这种方法测得的糖溶液折光锤度就近似于糖液中所含固溶物的质量分数,由于折光锤度的精确性比糖锤度高,测定方法也比较简单,已被越来越多的糖厂采用。

3. 波美度

波美度或译作婆梅度,符号为°Bé,是用波美计直接测得的浓度单位。它与糖锤度的关系是:

$$\text{糖锤度}(\text{°Bx}) \approx \text{波美度}(\text{°Bé}) \times 1.8$$

例如:测得糖液波美度为30°Bé,则糖锤度 $\approx 30 \times 1.8 \approx 54\text{°Bx}$

实测的波美度需要校正温度,由于波美计不是用糖液标定的,因此用波美计测定糖液的浓度只能是一个近似的数值。糖液在20℃时,波美度与糖锤度的关系见表1-1。

4. 真干固物

称取一定质量的糖液,在真空下低温干燥,除去水分,留下固溶物称重,计算出的干固物质量分数称为真干固物。这种测定浓度的方法最准确,但手续麻烦,检测时间较长,