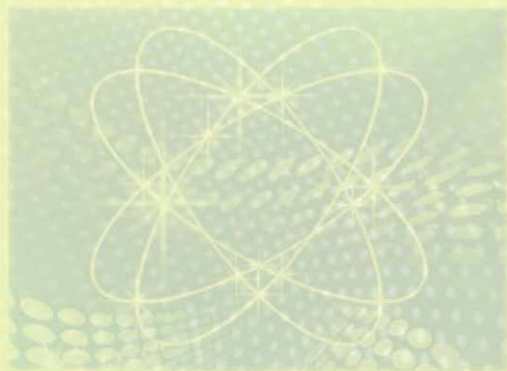


化工设备积垢 废蜜 酒精生产设备积垢探究

李德光 著



云南大学出版社

前 言

在化工生产中，凡是与流体接触的设备表面都会形成积垢，其中以设备受热表面为甚。由于积垢的形成，使设备腐蚀、管道阻塞、传热面积减小、热阻增大，能耗增加，设备生产能力降低，产量下降，甚至影响产品质量。而积垢的清除，不但造成生产停滞，且带来人、财、物力的损失。可见，化工生产设备积垢给化工企业造成的危害是巨大的。然而，化工行业五花八门，由于原料、产品、工艺及工艺条件各异、积垢的形成机制和化学成分也就各不相同，不管是对积垢的预防还是清除，都不可能找到一种共同的“普遍适用”的方法。这正是化工设备积垢问题之所以成为世界性难题的原因所在。

既然行业之间不存在共性，没有普遍适用的方法，那就必须从行业自身的实际出发，对积垢的化学成分、来源、在生产系统中的运行机制，以及形成的条件和形成的机理等做认真细致的分析和研究，找准主要矛盾，针对性的采取措施，对症下药，争取做到以防为主，以除为辅，才是解决问题最积极主动的有效方法。作为化工设备积垢的一个特殊个案，对甘蔗糖蜜酒精蒸馏设备积垢的预防和清除，正是根据这样一种辨证施治的原则而取得良好效果的。

甘蔗糖业是保山市的地方支柱产业之一，历来备受各级政府关注。糖蜜酒精随制糖业在保山的诞生而诞生，属制糖业的综合利用产物，是甘蔗糖厂第二产品。保山市有糖业公司4个、下属16个糖厂，年榨甘蔗近200万吨，产生制糖废蜜约6万吨，按

废糖蜜含可发酵性糖 50% 计算，理论上可生产 95%（容量）酒精 1.7 万吨以上，相当于一个较大型酒精生产企业。如果生产运作正常，可为企业创下丰厚利润。

由于原料、工艺等各种原因，酒精生产设备不可避免地要产生积垢，这是一个普遍现象。但是，有些糖厂的酒精生产设备积垢，特别是蒸馏系统的积垢之严重，已对生产造成严重破坏，乃至使生产处于近乎瘫痪状态。积垢速率之快，积垢量之大，积垢硬度之大，除垢周期之短是化工设备积垢中罕见的。3~5 天必须清除积垢一次，否则无法进料生产。在榨季有限的几个月生产期内，用于除垢的时间近乎占去一半。机械除垢，从塔设备、换热设备的拆卸、垢的清除到设备的重新安装，要投入全车间人力，动用吊装机械和所有可能的手工工具（锤、钻、钎、镐……），使尽一切可能的清除手段（以至于用火烧）。场面之悲壮，工人劳动强度之大是不言而喻的。这样的劳作方式，与现代企业的机械化、连续化、自动化生产是格格不入的。更为严重的是，由于除垢周期短，连续性生产遭破坏，导致糖蜜发酵不正常。时而发酵过熟，造成酒分损失；时而发酵过生，造成生醪蒸馏；时而发酵污染，造成异常发酵。这些现象的产生与设备积垢都有着内在的必然联系。它们相互影响、相互促进，形成恶性循环，最终导致生产瘫痪。常年如此，糖蜜酒精蒸馏设备的积垢问题就成了生产中的老大难问题。有的生产厂家不惜重金，多次外聘同行专家，但问题长期得不到解决。

本书作者对化工设备积垢问题颇感兴趣，曾多次亲临酒精蒸馏设备的积垢清除现场，亲眼目睹积垢清除的全过程，受一种责任心的驱使而涉足于酒精蒸馏设备积垢的探索和研究，其间做了大量工作。在对一些积垢严重的生产厂家进行大量调查研究和分析化验工作的基础上，弄清了积垢物质的化学成分，积垢物质的来源，积垢物质在生产系统中的运行机制和形成机制。并采取了

相应的预防措施，在防除积垢方面取得一些突破，将除垢周期由原来的3~5天延长至40天以上，并多次成功地为厂家实施蒸馏设备的化学清洗。通过进一步的研究，弄清了设备积垢与糖蜜发酵之间的相互影响和相互促进关系，并针对性的采取措施，对生产工艺及工艺条件进行了相应改造后，从根本上解决了酒精蒸馏设备积垢极其严重和糖蜜发酵极不正常的生产难题。

酒精生产设备积垢问题的解决，在延长设备使用寿命，降低能源动力消耗，节省人、财、物力，降低生产成本和提高酒精产品的产量和质量等方面都具有重要的技术经济价值。甘蔗糖酒精生产设备的积垢，因其自身原料、工艺及工艺条件的特殊性而有别于一般的水垢、油垢、锈垢和其他的化工设备积垢，不论是积垢的预防还是清洗，都有自身特殊的一面。将其作为特殊对象、特殊方法的特殊案例进行介绍，以期对实际生产有所指导和帮助，是作者最真诚的愿望。

本书分“概述”、“甘蔗糖蜜酒精生产设备积垢的化学成分及来源”、“积垢物质在生产系统中的存在和运行机制”、“积垢及其形成”、“积垢的预防和清除”、“化学清洗的研究和探索”等6章和部分研究论文。由于作者的能力和水平有限，书中错误和不当之处在所难免，诚望批评指正。在调查研究和实践过程中，得到昌宁柯街糖厂、昌宁卡斯糖厂、昌宁弯甸糖厂、保山怒江糖厂、保山原东风糖厂、保山罗明糖厂、保山上江糖厂和龙陵龙潭糖厂等的大力支持和配合，在此一并表示感谢。

作 者

2007年6月

“滇西学术文丛”总序

蒋永文

保山师范高等专科学校地处气候宜人、风景秀丽、历史悠久的滇西重镇保山，是一所建校近 30 年，主要为拥有 1 100 万人口的滇西 7 个州市培养中小学师资的地方师范院校。长期以来，在艰苦的条件下，为该区域培养了上万名中小学教师和各行业建设者，为祖国西部边疆少数民族地区的教育发展作出了应有的贡献。

大学肩负着创造知识和传播知识的重任。学术是支撑大学的精髓，学科是构筑大学的基石，学者是大学精神的化身。教学与科研相统一是大学的基本理念。科研和教学是彼此促进的，在教学中，可以激发灵感，开阔思路，发现研究课题。而研究成果又可以丰富教学内容，促进教学质量的提高，二者相得益彰。为了给滇西地区提供更好的高等教育资源，保山师专必须建立一支热爱教育事业，业务过硬，高水平、高质量的教师队伍，为此，学校以重点学科建设为龙头，以形成科研特色、增强科研实力、提高效益为目标。学校近几年采取了资助科研立项、奖励科研成果、出版学术论文集等措施来不断提高广大教师的教学水平和科研水平，已收到了较好的效果。为了更好地为广大教师提供出版学术论著的园地，学校决定从 2007 年起出版“滇西学术文丛”，出版学术水平较高的著作，相信“滇西学术文丛”的出版，一定会对保山师范高等专科学校科学研究的深入、学科建设和学科

带头人、骨干教师的培养产生积极的影响。

辽阔的天空，允许大鹏展翅高飞，也允许小鸟上下蓬蒿；广袤的大地，允许参天大树生长，也允许无名小草成长。我们是小鸟，我们的小草，这套丛书，远非成熟完美，作者水平也还需要不断提高。我们期待着批评和指教。我们会做得越来越好。

2007 年 5 月

目 录

第一部分 理论与实践

第 1 章 概 述	(3)
1 酒精生产	(3)
1.1 酒精生产的方法	(3)
1.2 酒精生产的原料	(3)
2 甘蔗废糖蜜酒精的生产	(4)
2.1 甘蔗废糖蜜	(4)
2.2 糖蜜原料生产酒精的理论产酒精量	(5)
3 甘蔗糖蜜酒精生产的三大危害	(6)
3.1 酒精生产设备积垢造成的危害	(6)
3.2 杂菌寄生发酵造成的危害	(7)
3.3 管理不善造成的危害	(8)
4 提高甘蔗糖蜜酒精产量和质量的途径	(9)

第 2 章 甘蔗糖蜜酒精生产设备积垢的化学成分及来源	(11)
1 积垢的化学成分分析	(11)
1.1 样品的采集	(11)
1.2 积垢分析方案	(12)

1.3	积垢的化学成分分析结果	(14)
2	积垢成分的来源	(15)
2.1	来自生产原料——废糖蜜	(15)
2.2	来自发酵生产用水	(24)
第3章	积垢物质在生产系统中的存在和运行机制	(32)
1	糖蜜的稀释和酸化阶段	(32)
2	糖蜜的发酵阶段	(33)
3	蒸馏阶段	(40)
3.1	由于温度改变而引起的变化	(40)
3.2	浓缩过程而引起的变化	(41)
第4章	积垢及其形成	(44)
1	不同设备区域积垢的形成	(44)
1.1	发酵罐积垢	(44)
1.2	成熟醪预热器积垢	(45)
1.3	粗馏塔积垢	(46)
2	积垢的形成规律及影响因素	(47)
2.1	积垢的化学组成变化规律	(48)
2.2	造成积垢的各种影响因素	(51)
第5章	积垢的预防和清除	(54)
1	积垢的预防	(54)
1.1	高酸发酵法	(54)
1.2	阻垢剂法	(58)
1.3	防止发酵污染	(63)
2	积垢的清除	(66)

2.1 机械方法除垢	(67)
2.2 化学清洗除垢	(68)
第6章 化学清洗的研究和探索	(78)
1 化学清洗的理论依据	(78)
2 清洗剂配方试验	(82)
2.1 溶垢试验	(82)
2.2 助剂的选择	(85)
2.3 缓蚀剂的选择	(86)
第二部分 研究成果	
甘蔗糖蜜酒精蒸馏设备积垢问题	(93)
甘蔗糖蜜酒精蒸馏设备的积垢	(101)
对一种阴离子型表面活性剂阻垢作用的探讨	(111)
甘蔗糖蜜酒精发酵污染问题	(119)
对一种特殊复合重硬垢的化学清洗对策	(126)
保山市酒精产品质量问题思考	(135)
主要参考文献	(142)

第一部分 理论与实践

第 1 章 概 述

1 酒精生产

1.1 酒精生产的方法

酒精生产的方法有发酵法和合成法。

发酵法是利用微生物——酵母菌在无氧条件下将糖转化为酒精的方法。它是一种传统而古老的酒精生产方法。其间又分固体发酵法、半固体发酵法和液体发酵法三种。其中液体发酵法因其生产成本低，生产周期短，便于生产过程的连续化和设备的自动化，可以大大降低劳动强度和实现大规模生产而得以迅速发展。甘蔗糖蜜酒精生产就是采用液体发酵法生产的。

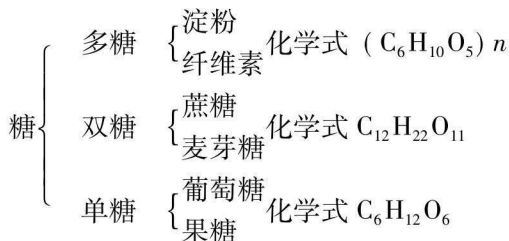
合成法是随着近代化学工业的发展而产生的一种方法，多以乙烯为原料，通过化学合成而得酒精，其法又分直接水合法和间接水合法。

比较两种酒精生产方法，以发酵法较合成法的成本低效益好，原料来源丰富，工艺简单，设备投资小。因此，迄今为止，发酵法生产酒精仍是国际国内普遍采用的方法，我国 90% 以上的酒精产品是利用发酵法生产的。

1.2 酒精生产的原料

酒精生产的原料依生产方法的不同而有很大区别。

发酵法生产酒精的原料是碳水化合物。碳水化合物中属于糖类物质的有：淀粉、纤维素、蔗糖、麦芽糖、葡萄糖、果糖。它们分属多糖、双糖和果糖，可概括如下：



可用于酒精生产的糖，统称为可发酵性糖，如蔗糖、麦芽糖、葡萄糖和果糖等。淀粉和纤维素在淀粉水解酶和纤维水解酶的作用下，也可分解为可发酵性糖。因此，凡是含淀粉类物质、含纤维素类物质都可以作为酒精生产的原料。

合成法生产酒精的原料依据合成方法的不同而不同。例如，以碳化钙（ CaC_2 ）与水作用生成乙炔（ C_2H_2 ），乙炔水化得乙醛，乙醛经氧化即得酒精。以炽热的碳与水蒸气作用得一氧化碳（CO）和氢气（ H_2 ），从两种气体出发经高压合成可得酒精。更为普遍的是以石油裂解尾气、炼焦炉尾气（它们中都含有一定比例的乙烯气体）为原料，采用直接或间接水合制得乙醇。

2 甘蔗废糖蜜酒精的生产

2.1 甘蔗废糖蜜

甘蔗废糖蜜是甘蔗糖厂的副产物，虽然其中含有用成分较多，都有较好的综合利用价值，但从目前的技术水平来说，仍以回收糖分生产酒精较为现实。因此，几乎所有的甘蔗糖厂都附设酒精车间。

甘蔗糖蜜中含有大量的蔗糖和转化糖，总糖分一般都在 50% 以上。尽管制糖技术不断提高，糖回收率也有相应提高，但废糖蜜中全糖分仍不低于 50%，下表是作者对三家糖厂废糖蜜含糖分的分析结果。

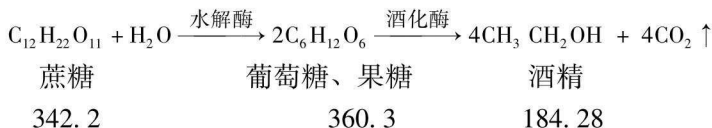
表 1-1 几家糖厂废蜜含糖分比较（亚硫酸法）

项目 厂名	Bx	蔗 糖	还原糖	总 糖
柯街糖厂	84. 80	34. 44%	21. 17%	55. 16%
东风糖厂	85. 14	32. 00%	24. 40%	56. 40%
罗明糖厂	83. 98	33. 48%	20. 78%	54. 26%

甘蔗糖蜜因其含糖高而成为酒精生产的好原料。与其他原料生产酒精相比，可以省去原料的破碎、蒸煮、制曲、糖化等工序，而只要经过稀释、酸化灭菌，添加适量的氮源、磷源后，便可投入发酵生产酒精。因此是一种成本低、工艺设备简单的生产酒精方法。

2.2 糖蜜原料生产酒精的理论产酒精量

甘蔗糖蜜中的蔗糖在蔗糖水解酶的作用下，水解生成葡萄糖和果糖，葡萄糖和果糖经酵母细胞内酒化酶的作用生成酒精和二氧化碳。这一过程是一个相当复杂的生物化学过程，为了方便表达和计算，可用下列化学方程式计量表达：



上式表明：342.2 份的蔗糖，水解后可得 360.3 份的单糖，

经酒化酶作用后可得到 184.28 份酒精（同时放出 176 份的二氧化碳）。也就是说，在不考虑酵母耗糖的情况下，每 100kg 蔗糖，理论上生产酒精 53.85kg。照此一年年榨甘蔗量 10 万吨的中小型糖厂，以原料甘蔗 3% 的废糖蜜量和废糖蜜含全糖 50% 计算，每年的糖蜜总糖量为：

$$\text{总糖量} = 100\,000 \times 3\% \times 50\% = 1\,500 \text{ 吨}$$

可产 100% 酒精量为

$$\text{酒精量} = 1\,500 \times 53.85 / 100 = 807.75 \text{ 吨}$$

稀释成 95%（容量）酒量为

$$95\% \text{（容量）酒精} = 807.75 \div 0.924\,1 = 874 \text{ 吨}$$

这是一个很保守的数字。事实上，由于制糖技术水平的限制，废蜜量不止原料甘蔗的 3%，废蜜含糖也不止 50%。酒精正常生产的实践证明，每万吨甘蔗产酒精已突破 90 吨。这是一个很可观的数字，如果回收利用得好，经济效益非常可观。遗憾的是，在过去的多年乃至今天，一些糖厂的酒精生产并不乐观。

3 甘蔗糖蜜酒精生产的三大危害

废糖蜜回收利用生产酒精，成本低廉，市场看好时，比生产白糖合算。然而，一些糖厂的酒精生产不景气，长期甚至几年生产不正常，造成不可估量的人、财、物力和原材料的浪费，这样的生产也就谈不上效益了。造成酒精生产不正常的因素很多，但据笔者多年来对多家糖厂的酒精生产进行考察实践的结果，认为最大的危害来自三个方面，即酒精生产设备积垢、杂菌寄生发酵和管理落后。

3.1 酒精生产设备积垢造成的危害

酒精生产设备积垢问题在所有糖厂的酒精生产中都是存在

的，只是程度不同而已。生产正常的厂在一个榨季处理积垢 1 ~ 2 次，生产不正常的厂每榨季处理数次不等，生产严重不正常的厂 3 ~ 5 天必须处理一次，否则无法生产。设备积垢严重到如此地步，事实上生产已处于半瘫痪状态。以昌宁县柯街糖厂为例，该厂在 1994 ~ 1995 年榨季以前，酒精蒸馏设备（主要是精馏塔、成熟醪预热器）积垢非常严重，平均 4 天左右需要机械除垢一次。垢块厚度可达 1cm，坚硬无比，在设备壁上附着力相当强，积垢覆盖塔内全部表面，泡罩、溢流管等几乎全部堵死。动用车间全部力量和可能的机械，想尽各种可能奏效的办法（以至用火烧），要用整整两天才能完成一次除垢任务。工人劳动强度之大是不言而喻的。可想而知，一个榨季因除垢造成的人、财、物力的浪费是如何之巨。酒精生产是连续生产，发酵和蒸馏必须协调同步，但由于除垢，迫使连续生产中断，开机、停机造成半成品、成品损失，发酵醪一会儿成熟过头，一会儿不成熟，造成原材料的严重浪费。发酵生产不正常，势必导致异常发酵，使产品质量下降。更有甚者，一套设备经不起几次敲打，由于除垢造成的设备破损损失更大。

3.2 杂菌寄生发酵造成的危害

发酵污染是微生物发酵工程之大忌。在所有的甘蔗糖蜜酒精生产中，杂菌的污染也是普遍存在的，而且是不可避免的，只是程度上的差别而已。由于污染而造成异常发酵，只要找到根源，确定是污染所致，及时采取措施加以控制，一般来说不会造成太大损失。但有的厂由污染导致杂菌寄生发酵，使生产处于半瘫痪，甚至瘫痪状态，长期甚至几年如此，仍找不到根源，不知道被其所害的原因。昌宁柯街糖厂、保山罗明糖厂即是如此。连续多年酒精回收率低，万吨甘蔗产酒精仅 50 吨左右。实地考察发现，成熟醪含酒分平均只在 4% ~ 5%（容量）之间，低时只有