

PIJIUGONG
CHENG

啤酒工程原理及设备

YUANLI
JISHE
BEI



TB262.5
2/5

啤酒工程原理及设备

吴佩琮 编著

96 420

2 01 96

98 8 1

一九九八年五月二日

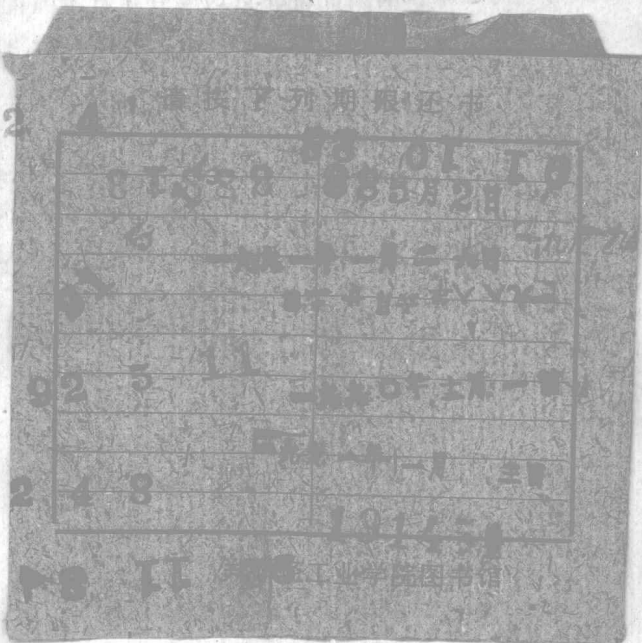
91 5 15

96 6 29

94 5 12

一九九五年三月廿一日

95 12



一九九六年二月二日

95年2月15日

一九九六年五月四日

一九九八年一月廿七日

99年1月31日

江西科学技术出版社

一九八七年·南昌

啤酒工程原理及设备

吴佩琮 编著

江西科学技术出版社出版

(南昌市新魏路)

江西省新华书店发行 江西省瑞昌县印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张21.5 插页1 字数50万

1987年1月第1版 1987年1月第1次印刷

印数1—3,660

统一书号, 15425·20

内 容 提 要

本书按啤酒生产工艺顺序介绍了啤酒工程原理及设备方面的知识。内容包括：啤酒谷物原料的输送与预处理；空气调节与麦芽生产设备；糖化煮沸设备及啤酒生产中的热交换问题；啤酒生产过程的液相非均一体系的分离原理及设备；啤酒发酵设备；啤酒的灌装设备。全书内容全面丰富，阐述深入浅出，既可作为大专院校有关专业的教材，也可供广大啤酒生产管理人员学习参考。

前 言

近年来，城乡人民生活水平迅速提高，对啤酒的需要量日益增多。在原料充足、市场供不应求的情况下，啤酒生产正以空前的速度向前发展，各种规模的啤酒厂如雨后春笋遍及全国。广大啤酒生产和管理人员都希望有一些啤酒专业书籍以供自学。有关啤酒的专业书籍我国曾先后出过不少，但大多是工艺方面的。有关啤酒工程和设备方面的专门书籍还是空白，资料也残缺不全，这对我国啤酒工业进一步发展，啤酒生产管理水平的进一步提高，啤酒生产设备的设计、维护、保养是有影响的。编者愿在此方面作一尝试。

本书是在原有大专教材的基础上进行修改以适应从事啤酒生产管理人员自学的读物。书中内容阐述深入浅出，使具有高中文化水平人员通过努力，能基本掌握。书中涉及了啤酒生产中的工程计算和专业设备工艺设计等方面的知识，对定型设备选型、啤酒生产设备工作原理也作了介绍，以便进行合理操作和维护保养。

本书要求读者在具备必要的数学和物理知识的基础上，基本了解啤酒的生产过程。全书始终把化工基础和啤酒生产过程紧密结合，以啤酒生产过程为编排顺序，分成为六章。第一章啤酒生产谷物原料的输送与处理以及必要的流体力学知识，第二章空气调节与麦芽生产设备，第三章啤酒糖化和煮沸设备并涉及生产过程的其他热交换问题，第四章啤酒生产过程中的过滤分离设备，第五章啤酒发酵设备以及啤酒厂有关的液体输送装置，第六章啤酒灌装设备。在附录中列入了啤酒生产常用的数据以及在一般手册中没有的资料，希望为从事啤酒生产者提供一些帮助。

由于编者水平有限，对啤酒生产的实践不够，掌握资料不够全面，加之编写时间匆促，本书一定存在不少缺点和错误，欢迎读者提出批评，以便改正。

编 者

一九八四年十二月于无锡

目 录

绪论	(1)
(一) 物理量和单位制	(1)
(二) 能量衡算与物料衡算	(3)
(三) 啤酒工程基础	(4)
第一章 啤酒谷物原料的输送与预处理	(8)
第一节 固体物料气流输送	(8)
一、通风除尘和固体物料气流输送原理	(8)
二、固体物料气流输送流程	(11)
三、固体物料气流输送的主要设备	(13)
四、风机及压强、流速和流量的测定	(22)
五、固体物料气流输送系统的计算	(37)
第二节 固体物料的机械输送	(43)
一、带式输送机	(43)
二、斗式提升机	(47)
三、螺旋输送机	(50)
四、埋刮板输送机	(53)
第三节 啤酒谷物原料的预处理设备	(55)
一、大麦的粗选设备	(56)
二、原大麦的除芒和除铁设备	(63)
三、大麦的精选和分级设备	(64)
第四节 干麦芽的加工设备	(69)
一、干麦芽的除根机	(70)
二、干麦芽的刷麦打光机	(71)
三、干麦芽和辅料的粉碎设备	(72)
四、自动称	(77)
第二章 空气调节与麦芽生产设备	(81)
第一节 湿空气性质与 $I-x$ 图的应用	(81)
一、湿空气性质与湿空气的 $I-x$ 图	(82)
二、 $I-x$ 图在空气调节中的应用	(88)
第二节 气—液接触式空气处理装置及工作原理	(93)
一、空气与水接触时的传热和传质	(94)

二、气—液接触式空气处理装置	(100)
三、气—液接触式空气处理装置的计 算	(104)
第三节 表面式空气处理设备及工作 原理	(111)
一、表面式空气加热器	(111)
二、表面式空气冷却器	(116)
第四节 大麦浸渍设备	(124)
一、洗麦槽	(124)
二、浸麦槽的结构	(125)
三、浸麦槽的计 算	(126)
四、浸麦设备的发展	(129)
第五节 大麦发芽设备	(131)
一、地板发芽室结构要求及计 算	(131)
二、通风发芽	(133)
三、通风发芽的计 算	(144)
第六节 绿麦芽干燥设备及计 算	(146)
一、绿麦芽干燥设备	(146)
二、绿麦芽干燥机理与干燥静力学	(154)
三、绿麦芽干燥过程的计 算	(160)
第三章 糖化煮沸设备及啤酒生产中的热交换问题	(171)
第一节 啤酒生产过程中的热交 换	(171)
一、热辐射	(171)
二、热传导	(174)
三、对流传热	(177)
第二节 啤酒厂中热交换的计算及换热设备	(185)
一、对流—传导—对流方式的传热过程计 算	(185)
二、对流—辐射联合热交换的计算及啤酒发酵设备的绝热措施	(191)
三、啤酒厂中的热交换设备	(194)
第三节 糖化煮沸设备及计 算	(202)
一、糖化工段设备分析	(202)
二、典型糖化设备的介绍	(204)
三、糖化、糊化锅及麦芽汁煮沸锅的计 算	(207)
四、新型麦芽汁煮沸设备的介绍	(209)
五、啤酒厂管路布置及计 算	(210)
第四章 啤酒生产过程的液相非均一体系的分离原理及设备	(216)
第一节 液相非均一体系的分离原 理	(216)
一、沉降	(216)
二、过滤	(217)
三、离心分离	(221)

第二节 糖化醪过滤设备	(222)
一、糖化醪过滤槽	(222)
二、糖化醪板框压滤机	(226)
三、快速糖化醪过滤设备	(233)
第三节 麦芽汁热凝固物的分离	(235)
一、麦芽汁冷却盘	(236)
二、麦芽汁冷却沉淀槽	(236)
三、麦芽汁回旋沉淀槽	(237)
第四节 啤酒过滤设备	(238)
一、棉饼啤酒过滤机	(238)
二、硅藻过滤机	(239)
三、薄板啤酒过滤机	(244)
四、啤酒薄膜过滤机	(245)
第五节 啤酒生产中的离心分离设备	(246)
一、啤酒离心澄清机构造和分离过程	(246)
二、转鼓的周向应力与转鼓直径和转速关系	(247)
三、离心机的临界转速与工作转速	(249)
四、啤酒生产中使用的其他几种离心澄清机	(251)
五、离心澄清机生产能力及功率消耗的计算	(253)
第五章 啤酒发酵设备	(257)
第一节 传统发酵设备	(257)
一、发酵间与贮酒室	(257)
二、发酵设备及其计算	(269)
第二节 啤酒连续发酵设备	(274)
一、啤酒连续发酵的生化工程基础	(274)
二、各种啤酒连续发酵流程和设备介绍	(279)
三、下面啤酒塔式连续发酵设备及计算	(283)
第三节 啤酒大容量发酵罐	(288)
一、各种啤酒大容量发酵罐的简介	(288)
二、圆柱锥底罐的结构及设计原则	(290)
第四节 发酵设备材料及薄壁容器的强度计算	(294)
一、发酵设备的材料	(291)
二、薄壁容器的强度计算	(291)
第五节 啤酒厂液体输送设备	(299)
一、离心泵	(299)
二、往复泵	(300)
三、啤酒泵	(302)
第六章 啤酒的灌装设备	(304)

第一节 洗瓶机	(304)
一、洗瓶机的作用与操作过程	(304)
二、洗瓶机的结构和计算	(305)
第二节 装瓶机和压盖机	(307)
一、装瓶机和压盖机的介绍	(307)
二、灌装阀	(309)
三、装瓶机的计算	(311)
第三节 巴斯德杀菌机	(313)
一、巴斯德杀菌设备介绍和计算	(313)
二、隧道式喷淋杀菌机及其展望	(315)
第四节 贴商标机及其他	(316)
一、贴商标机及装箱机	(316)
二、啤酒的罐装与桶装设备的简介	(318)
附录	(320)
附录1 国际单位与工程单位换算	(320)
附录2 水的重要物理性质	(321)
附录3 空气的重要物理性质	(321)
附录4 水的粘度 (0° 至 100°C)	(322)
附录5 水的饱和蒸汽压 (-20° 至 100°C)	(323)
附录6 饱和水蒸汽表 (以压强为准)	(324)
附录7 饱和水蒸汽表 (以温度为准)	(325)
附录8 麦芽汁和啤酒的热物理性质	(326)
附录9 麦芽汁和啤酒的粘度	(327)
附录10 不同温度下麦芽汁的粘度	(328)
附录11 麦芽汁的比重和比热	(328)
附录12 冷冻盐水氯化钙溶液的物理性质	(329)
附录13 冷冻盐水氯化钠溶液的物理性质	(329)
附录14 酒精水溶液冰点	(330)
附录15 冷冻剂的物理性质	(330)
附录16 流体常用流速范围	(331)
附录17 某些固体材料的导热系数	(332)
附录18 常用绝热材料的性能	(333)
附录19 啤酒厂某些传热过程传热系数K的经验值	(334)
附录20 常用对流传热给热系数计算式	(334)

绪 论

啤酒是用麦芽中的酶糖化淀粉制成麦芽汁，添加酒花煮沸，经酵母发酵后制得的一种含有酒精和二氧化碳的饮料。由于营养丰富、酒度低，一般认为常喝啤酒对健康有好处，据称对高血压、心脏病、青光眼有一定疗效。因此啤酒被列为营养食品之一，有液体面包的美称。

啤酒生产过程包括：

麦芽的制造：将原料大麦先行除杂、精选、分级，然后浸渍再进行发芽，经干燥焙燥制成。

发酵麦芽汁的制备：将麦芽和辅料进行粉化、过滤所得的澄清麦芽汁加酒花煮沸并浓缩到要求的浓度，分离酒花并冷却到发酵温度。

麦芽汁的发酵：将啤酒酵母接入麦芽汁，经过前酵和后酵（贮酒）两个阶段，除去成熟啤酒中的酵母得到鲜啤酒。

灌装：根据产品的规格与包装要求进行灌装、灭菌（对熟啤酒而言）以及贴标签等操作获得成品啤酒。

啤酒设备与其它酒的生产设备比较起来，要求较高，加工复杂。解放前啤酒厂的整套设备都是由国外制造的，解放后由于啤酒工业的发展，啤酒设备的生产也逐步发展起来，如秦皇岛轻机厂的制麦芽、发酵设备，长春轻机厂的糖化设备，河南新乡轻机厂的洗棉、压棉、过滤设备以及喷淋杀菌设备，广东轻机厂生产的瓶酒包装设备等。由于近年来啤酒生产的迅猛发展，啤酒设备的生产发展得也很快，完全突破了行业的限制，例如杭州制氧机厂24头灌装机就很受用户欢迎，这对我国啤酒工业的发展是一个促进。

在当前的啤酒行业中，有关工程方面的技术人员与工艺一样都很缺乏，甚至更缺。实际上只有既懂得啤酒工艺，又懂得啤酒工程的人，才能更好地管理生产和解决生产中的问题。本书定名为“啤酒工程原理及设备”，这里所指的设备并非机械，所涉及的计算问题也不是机械设计，而是具有工程的内容。如生产过程的物料衡算、热量衡算，专业设备的工艺尺寸的确定或对具体一个设备生产能力的计算，以及啤酒生产过程所涉及到的设备的选型和工作原理的一般了解。对在啤酒厂搞机械的人和轻机厂从事设备机械设计的人也需要这方面的知识，而且这些知识往往是搞好他们自己工作的前提。

（一）物理量和单位制

讨论啤酒工程问题，要涉及一系列的计算，培养工程计算能力首先必须掌握的是有关物理量和单位制的概念。凡是啤酒生产过程中的物质如水，蒸汽，原料，半成品，成品都有不同的物理性质，如重度、导热系数、粘度等，而且这些物理性质又受到参变数如温度、压强

等的影响。)这些物理量都具有单位,根据物质物理量之间的关系往往可以首先确定若干个彼此独立的基本量的单位(称为基本单位),然后再通过关系式的推导得到其它物理量的单位(称导出单位)。常用的基本单位是长度(L)、力(F)或质量(M)、时间(T)和温度(θ)。所谓单位制就是基本单位和导出单位的总称。在工程上通用公制(或称米制),在公制中又分物理单位制,工程单位制和国际单位制。

(1)物理单位制:又称厘米·克·秒制,这里长度单位是[厘米],质量单位是[克],时间单位是[秒],通过物理定律或关系式速度则为[厘米/秒],加速度则为[厘米/秒²],根据牛顿第二定律 $F=ma$ 得到力或重量的单位应为[克·厘米/秒²]被称为[达因],这些在物理学中早为我们所熟悉,由于我们经常要查找一些物质物理化学数据,在这些手册中大都使用该单位制,故我们必须继续掌握并学会以此出发来换算成其它单位制。

(2)工程单位制:即米·千克·秒制,其中[米]为长度的单位,[千克]为力或重量的单位,[秒]是时间的单位,这里关键在于[千克]表示力或重量的单位,因为在实际工程中经常要考虑物料的重量和物体所受的力,而且物料的质量往往都是通过其重量来测定的,故选择力作为基本单位就比较方便,这样质量就变为导出量,根据 $m=\frac{F}{a}$ 得到质量单位为[千克·秒²/米]。

(3)国际单位(简称SI):是一种米制发展到现代形式的一种新的计量制度,目的是为了消除米制单位实际存在的多种单位制并用的现象。如压强、功、功率都存在这种现象,在国际单位制中压强只用“帕斯卡”(牛顿/米²),功和热都用焦耳或千焦,功率一律用瓦或千瓦表示。国际单位与工程单位的主要差别是用[千克]表示质量,那么力或重量的单位就应该通过 $F=ma$ 得到,是[千克·米/秒²]称做[牛顿]。同时,不再使用卡或千卡这个热量单位。有一些单位如[℃]、[大气压]等暂时与国际单位同时使用。

目前国际单位在工程上,我国及一些国家正在被逐步推广采用,但是要改变单位制不是一个简单的事,要涉及到许多计算公式、数据、图集、测量仪器仪表的问题,所以目前在工程上仍大量使用工程单位,此外在传热学的计算中,由于水的比热是1[千卡/公斤℃],这给啤酒生产过程的热量衡算带来很大的方便,为此在这里我们仍采用工程单位制,为了适应工程单位制向国际单位制的转变必需首先了解工程单位与国际单位区别在于前者力或重量是基本单位,后者质量为基本单位。在同一单位制中对于某物体的重量数字不等于其质量数字,用不同单位制来表示某物体的重量或质量,数字亦不同。以工程单位制表示1公斤重的物体用国际单位制和物理单位制表示时可作下列换算:

$$\begin{aligned} 1[\text{公斤}] &= 1[\text{公斤(质)}] \times 9.81[\text{米/秒}^2] = 9.81[\text{牛顿}] \\ &= 1000[\text{克(质)}] \times 981[\text{厘米/秒}^2] = 981000[\text{达因}] \end{aligned}$$

任何其它物理量均可作相似换算,掌握这种换算方法是重要的。在附录中列出工程单位与国际单位的换算关系。

啤酒生产中主要物理量的两种单位制的单位和因次式

物理量名称	工 程 单 位			国 际 单 位		
	单 位	单位代号	因 次 式	单 位	单位代号	因 次 式
长度	·米	m	L	·米	m	L
质量	千克·秒 ² /米	kg·s ² /m	FT ² m ⁻¹	·千克	kg	M
时间	·秒	s	T	·秒	s	T
力	·千克	kg	F	牛顿	N	MLT ⁻²
速度	米/秒	m/s	LT ⁻¹	米/秒	m/s	LT ⁻¹
加速度	米/秒 ²	m/s ²	LT ⁻²	米/秒 ²	m/s ²	LT ⁻²
功	千克·米	kg·m	LF	焦耳	J	L ² MT ⁻²
功率	千克·米/秒	kg·m/s	LFT ⁻¹	瓦特	w	L ² MT ⁻³
压强	千克/米 ²	kg/m ²	FL ⁻²	帕斯卡	Pa	L ⁻¹ MT ⁻²
密度	千克·秒 ² /米 ³	kg·s ² /m ³	FT ² L ⁻³	千克/米 ³	kg/m ³	ML ⁻³
粘度	千克·秒/米 ²	kg·s/m ²	FTL ⁻²	帕斯卡·秒	Pa·s	ML ⁻¹ T ⁻¹
表面张力	千克/米	kg/m	FL ⁻¹	牛顿/米	N/m	MT ⁻²
扩散系数	米 ² /秒	kg/s	L ² T ⁻¹	米 ² /秒	m ² /s	L ² T ⁻¹
温度	·°C	/	θ	开尔文	K	θ
热量	千 卡	kCal	ALF	焦耳	J	L ² MT ⁻²
比热	千卡/千克·°C	kCal/kg·°C	ALθ ⁻¹	焦耳/千克·开尔文	J/kg·K	L ² T ⁻² θ ⁻¹
导热系数	千卡/米·秒·°C	kCal/m·s·°C	AFT ⁻¹ θ ⁻¹	瓦/米·开尔文	W/m·K	MT ⁻³ θ ⁻¹ L

·为基本单位，其余为导出单位， ··在国际单位通用， ···A为热功当量，A = 1/427(千卡/千克·米)。

(二) 能量衡算与物料衡算

学习啤酒工程原理和设备是为了解决根据所给定的生产规模计算啤酒生产过程原料、半成品的数量和每个生产环节所需要的能量，以及实现此过程需要设备的大小和规格。主要的手段是对整个生产过程或某生产环节进行能量和物料衡算。

物料衡算是以质量守恒定律为基础的，在生产过程中的任何设备，进入此设备进行操作的物料量，必须等于操作后所得的物料总量，不论其形式是如何变化，由于在实际生产过程中物料不可避免地有损失，因此物料衡算式可表示为

$$\Sigma G_1 = \Sigma G_2 + G_s \quad (I)$$

式中 ΣG_1 为进入设备物料总量， ΣG_2 为输出物料总量， G_s 为该过程物料损失量。此衡算式不仅适合生产过程的任何一步如糖化、煮沸、发酵……，也适用于整个啤酒生产过程。同时不但

适用于总物料量，也适用于混合物中的某一组分（只要该组分未发生化学变化）。物料衡算对于啤酒生产过程的正常进行具有十分重要的意义，在生产过程中，它可以揭示物料的浪费和设备操作存在的问题，从而可改进设备和操作。物料衡算还可反映出生产过程的完善程度，很难设想对过程一无所知或知道得不清楚能列出准确的物料衡算式。因此，物料衡算得愈完全、愈精确，该工艺过程也研究得越清楚、越细致。同样，物料损失和副产物越少，产品质量越高，则操作过程进行得愈为正确。在设计新的啤酒厂的过程中，物料衡算可以作为正确地选择流程，定出原料和半成品数量以及所需设备的大小，因此物料衡算无论是啤酒的生产过程还是啤酒的设计过程，不仅是目的，更重要的是手段，在学习过程中是贯穿始终的。

能量衡算以能量守恒定律为依据的。物料的生产过程往往涉及到能量的消耗（热能，机械能和电能）。能量守恒定律意味着引入全生产过程或某设备的能量应等于过程结束所得到的能量即输入生产过程或某设备的能量应该等于生产过程或设备放出的能量，由于啤酒生产过程与一切其他过程一样不可避免地有能量损失，因此，生产过程大量出现的热过程的能量衡算式可表示为

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_x \quad (I)$$

式中 Q_1 ——原料带入某过程的热量，〔千卡〕；

Q_2 ——自外界引入某过程的热量，〔千卡〕；

Q_3 ——物料受热后部分水分汽化带走的热量，〔千卡〕；

Q_4 ——处理结束后物料带出的热量，〔千卡〕；

Q_x ——损失于外界的热量，〔千卡〕。

热量衡算式往往与物料衡算式联立，从已知项求得未知项。通常在计算时必须由此来求得外界引入的热量。此外热量衡算式还可作为鉴定啤酒生产过程能量是否合理使用的手段，热量衡算与物料衡算一样，也是这门课学习过程贯穿始终的手段，同样在设计和生产中也是必须掌握的方法。

（三）啤酒工程基础

在啤酒的生产过程中除了麦芽制造以外，其他的半成品、成品大多都是液态，为了使物料按工艺过程进行处理最终变为成品啤酒，就必须将这些液体从一个生产设备输送到另一个生产设备进行加工，因此液体的流动和输送是啤酒生产过程中常遇到的一个十分重要的问题。除了物料（正如上面提到的大多是液态的）输送外，生产过程还必须涉及到空气（如在麦芽制造过程中）加热蒸汽等的输送。流体是气体和液体的总称。

生产过程供流体流动，以及沟通设备之间的联系，往往是通过管路（包括管子本身和各种管件）来完成的。因此对管路的研究、计算、选用、布置对啤酒生产过程说来有特殊地位。此外，流体只有通过外力（如压力、重力等）的作用才会产生流动，例如位置较高的麦汁过滤槽（或麦汁压滤机）滤液能自动流入麦汁煮沸锅，有压啤酒贮罐能将啤酒压出。相反当不存在上述条件或需将液体由低压容器送往高压容器，或将液体自低位输送到高位时必须借助于被称为“泵”的液体输送装置，使它供给能量来克服位差、压差以及流动过程中摩擦阻

力的能量消耗。

因此研究流体流动和输送规律的流体力学是啤酒工程的基础之一。流体力学可以用流体静力学方程式和流体稳定流动的能量衡算方程式即柏努利方程式来概括。

流体静力学方程式就是巴斯卡定律的表达式

$$p = p_0 + H\gamma \quad (\text{III})$$

对液体来说其物理意义是：在重度为 γ 〔公斤/米³〕的液体内部，距液面为 H 〔米〕处的压强 p 〔公斤/米²〕应等于液面所受的外压强 p_0 〔公斤/米²〕与液体本身所引起的压强 $H\gamma$ 〔公斤/米²〕之和。

根据这个物理意义就可以得到：

- (1) 液体内部压强随液面的距离变化而变化。
- (2) 液面所受的外压强由液体本身以相同大小传递到其内部的任何地方。
- (3) 液体内部受力情况符合上述方程式，则液体保持静止，否则将产生流动。
- (4) 液体内部压强没有方向。

柏努利方程式是反映液体流动过程中位能、动能和静压能之间相互转化但总机械能不变这个规律的。考虑到液体流动过程的摩擦损失和“泵”一类输送机械对流体所做的功，柏努利方程式可表示为

$$Z_1 + \frac{\omega_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + H_s = Z_2 + \frac{\omega_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \sum h_f \quad [\text{米液柱}] \quad (\text{IV})$$

上式也是在液体流动和输送过程中的能量衡方程式。

式中 Z_1 、 Z_2 ——液体原来的垂直高度和后来的垂直高度，称为压头*，〔米〕；

ω_1 、 ω_2 ——液体原来的流速和后来的流速，〔米/秒〕；则动压头可分别表示为 $\frac{\omega_1^2}{2g}$ 和

$$\frac{\omega_2^2}{2g}, [\text{米}];$$

p_1 、 p_2 ——液体原来的静压强和后来的静压强，〔公斤/米²〕；则静压头分别为 $\frac{p_1}{\gamma}$ 和

$$\frac{p_2}{\gamma}, [\text{米}];$$

γ ——液体的重度，〔公斤/米³〕；

H_s ——输送机械外加的压头，即对每公斤液体所做的功，〔米〕；

$\sum h_f$ ——液体流动过程中克服各种阻力的压头损失，〔米〕。

这两个方程式适用于不可压缩性流体，如任何液体，也可近似地适用于系统中压强变化不超过20%的气体，这时气体重度可用平均重度，在麦芽生产中的通风系统就是这种情况。

【例】在 $t=20$ 分钟内需要将沉淀槽内重度为 $\gamma=1040$ 〔公斤/米³〕的麦芽汁 $V=20$ 〔米³〕，用泵送往垂直距离为 10.2 〔米〕的薄板冷却器冷却。通过薄板冷却器需要压强 $p_2=0.4$ 〔公斤/厘米²〕（表压），不锈钢导管的规格为 100×4 〔毫米〕，给出输送管路内总压头损失为

* 压头是指每公斤流体所具有的能量。

$\Sigma h_f = 9.16$ [米液柱], 试求输送泵的压头。

解: 求麦芽汁在管道内流速

$$\omega_2 = \frac{V}{t \cdot \frac{\pi}{4} a^2} = \frac{20}{20 \times 60 \times \frac{\pi}{4} \times (0.100 - 2 \times 0.004)^2} = 2.5 \text{ [米/秒]}$$

根据柏努利方程在沉淀槽液面与薄板冷却器进口之间写出能量衡式得到

$$Z_2 - Z_1 = 10.2 \text{ [米]}$$

$$\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} = \frac{(0.4) \times (10000)}{1040} - 0 = 3.85 \text{ [米]}$$

$$\Sigma h_f = 9.16 \text{ [米]}$$

沉淀槽的截面积较输送管要大得多, 故输送过程液位下降速度 $\omega_1 \approx 0$

$$\frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{\omega_1^2}{2g} \approx \frac{2.5^2}{2g} = 0.127 \text{ [米]}$$

代入上式即可得

$$H_e = 10.2 + 3.85 + 9.16 + 0.127 = 23.3 \text{ [米液柱]}$$

传热学是啤酒工程的另一个基础, 因为, 啤酒生产过程的每一步几乎都与热交换有关。从糖化开始, 糖化醪的升温是依靠自糊化锅高温的糊化醪打入糖化锅与糖化醪混合后达到的, 因此糊化锅必须有加热装置。过滤得到的麦芽汁和洗槽水混合需在煮沸锅内加酒花蒸发, 故煮沸锅内传热过程就是它的关键, 强化热交换就能增加糖化车间的生产能力, 因为麦芽汁煮沸锅往往是整个糖化车间生产的限制因素。发酵需要在一定温度下进行, 故麦芽汁煮沸结束就要冷却。发酵过程需要将生化反应的热量及时移去, 这些都要依靠相应的热交换装置或设备来完成。此外大麦发芽过程的空气调节、发酵车间的冷冻都是与传热过程分不开的。以上这些都将促使我们遵循热交换的规律去强化。另外一种情况如高温设备象锅炉、煮沸锅以及蒸汽管道向四周的热散失。低温大罐发酵设备或发酵、贮酒等低温车间, 将会得到来自周围的热量 (或称冷耗), 这时需要尽量避免发生热交换, 如果不可避免也必须遵循热交换的理论做到减少热 (冷) 损失采取绝热措施。

生产上对传热的要求并不是单一的, 即不但要求传递一定数量的热量, 而且还要求在一定时间内将这些热量传过去。换句话说, 要同时考虑传热的速率问题, 即考虑单位时间内传递热量的多少。所谓强化热交换就是增加传热速率, 而设法减少热交换, 采取绝热措施则就是降低传热速率, 削弱传热过程。显然, 我们学习和掌握热量传递的知识和基本规律, 对于了解和管理啤酒生产过程有着极为重要的意义, 并为计算啤酒生产的传热过程和设计热交换装置或设备打下基础。

与水总是由高处往低处流一样, 热量总是从较高温度的物体“流向”较低温度的流体, 如果要想进行相反的流动就必须消耗机械功。例如制冷机就是具备这个功能, 否则热量从较高温度的物体自动地“流”向较低温度的物体这个方向不会变, 直到两物体的温度完全一致为止。因此物体的温度差是热量传递的必要条件, 没有温度差就没有传热现象。或者说温度差是传热过程得以进行的基本推动力。

了解了传热过程得以进行的推动力之后, 接着应该探讨的是热量究竟以怎样的方式从高

温物体传给低温物体，或者从物体的高温部分传至低温部分的。热量传递有三种基本方式：

(1) 热辐射：

热辐射是以辐射能（电磁波）的形式来传递热量的。热辐射的最大特点是它不需要依靠任何中间物质作为媒介，可在相距很远甚至是在真空的情况下传递热量，而且在热量传递的同时还有能量形式的转换，即热能先转换为辐射能，以电磁波的形式向空间发射，当它到达某一物体上被吸收时，辐射能重新又转变为热能。

任何物体，只要温度在绝对零度以上，就可以发射辐射能。单位时间、单位面积上发射出的辐射能量的多少，除与物体的性质有关外还与物体之间的绝对温度四次方的差成正比。在生产中热辐射一般是高温设备如锅炉、煮沸锅的“热”损失，低温设备如露天发酵罐或发酵、贮酒车间“冷”损失的原因。因此，在这时采取适当措施如设置绝热保温层，设法降低或增加与四周接触表面的温度（本质上减小与周围的温度差）以减少相应的损失。

(2) 导热（又称热传导）：

导热可以发生在固体中，也可以发生在静止的或流动极慢的流体中。导热发生的原因是由于物体较热部分的分子，因振动与相邻的分子碰撞（分子与分子的相对位置不变），从而将其一部分动能传给邻近的分子，这样就发生了热量的转移，直至整个物体中的温度完全相同时为止。热传导的传热方式在生产中也常出现，通过间壁时的加热（如煮沸锅）、冷却（如麦芽汁的冷却设备）以及上面所提到的设备“热”损失或“冷”损失无不与热传导有关。

(3) 对流换热：

对流换热是指流体各部分的质点发生相对位移而引起的热量交换。故对流换热与导热不同，其热量的传递必与流体质点的位移有关。对流现象只可能出现在流体中。由于啤酒酿造过程所接触的成品、半成品以及加热冷却介质大多都是流体，因此对流换热在啤酒生产过程中有其特殊的地位。

由于热交换问题与啤酒生产过程关系十分密切，因此我们可以在以后各章中结合具体工程设备问题进一步讨论。

第一章 啤酒谷物原料的输送与预处理

啤酒酿造的主要原料是干麦芽。干麦芽是大麦经预处理、浸渍、发芽、烘干制成的。此外，啤酒酿造还要添加其它谷物，如大米、玉米、小麦、大麦等作为辅料。本章主要讨论在啤酒酿造和麦芽生产过程中谷物原料的输送与预处理的问题。

第一节 固体物料的气流输送

所谓固体物料的气流输送，就是利用高速流动的空气在管道中运送物料的过程。由于在谷物原料在输送或处理过程中经常产生灰尘，在加工过程中（例如粉碎）往往有大量热量产生，这样就有可能导致物料温度的不断上升而影响原料质量，并且由于温度升高造成水分的蒸发使设备内部水蒸汽的冷凝而影响生产的进行。因此，谷物原料的处理和加工过程需要进行通风除尘和冷却。此外，往往利用风力对谷物进行除去轻杂质和分级。这些过程与气流输送都是根据相同原理进行的。

一、通风除尘和固体物料气流输送原理

（一）颗粒的自由沉降速度与悬浮速度

当颗粒在空气中，将受到自身的重力 G ，空气的浮力 W 和空气的阻力 R 三种力的作用，重力和浮力对一定的颗粒和气体来说是固定的，而阻力却与颗粒和空气的相对速度有关。当颗粒在重力的作用下，降落的速度越来越快的同时，颗粒受到空气的阻力，也愈来愈大。最终必然会出现重力、浮力和空气阻力三者平衡，即： $R + W = G$ ，这时颗粒在空气中以不变的速度 u_1 作匀速降落， u_1 称为颗粒的自由沉降速度。相反当空气以沉降速度 u_1 自下向上运动时，根据相对运动的原理与上面的情况没有两样，颗粒将悬浮在空气中不动，这时空气的运动速度称颗粒的悬浮速度 u_s 。由此可知颗粒的自由沉降速度与颗粒的悬浮速度是相等的。由于固体颗粒与空气之间的重度相差很大，故颗粒在空气中所受到的浮力允许忽略不计，因此，当颗粒在垂直空气中运动时，则下式关系成立



图 1-1 颗粒在空气中沉降

$$ma = G - R$$

(1-1)

式中 m ——颗粒的质量，〔公斤·秒²/米〕；
 a ——颗粒的加速度，〔米/秒²〕，则 ma 为颗粒所受到的推动力；
 G ——颗粒的重量，〔公斤〕；