

基于喷淋热杀菌的PET瓶装饮料温度场模拟分析

余永涛¹, 卢立新^{1,2}, 姜权¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究喷淋热杀菌过程中杀菌初始温度对PET瓶装饮料温度场分布的影响。 **方法** 运用有限元分析软件Ansys构建喷淋热杀菌PET瓶装饮料热传导模型, 并以水为喷淋介质对其进行温度加载。 **结果** 喷淋热杀菌过程中, PET瓶装饮料的温度场分布受杀菌初始温度影响较大, 但其高温区域始终位于瓶肩中心处。杀菌初始温度越高, 其最终温度场分布中高温区域所占比例越大, 最高温度值有所提高, 达到相同温度所需的时间也越短。 **结论** 杀菌初始温度的适当提高可保证杀菌效果, 同时也可缩短杀菌时间。

关键词: 喷淋热杀菌; PET瓶; 温度场; 饮料

中图分类号: TB484.3; TB206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)13-0052-04

Simulation Analysis of Temperature Field of PET Bottled Drinks Based on Spray Heat Sterilization

YU Yong-tao¹, LU Li-xin^{1,2}, JIANG Quan¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: This paper studied the effect of different initial temperatures on the temperature field in the spray sterilization process. This paper designed the heat conduction model of PET bottled drinks in the spray sterilization process with finite element analysis software ANSYS, which was loaded with temperature, taking water as the spray medium. The temperature distribution of PET bottled drinks was greatly influenced by the initial temperature in the spray heat sterilization process, but the high-temperature region was always located at the center of the bottle shoulder. The higher the initial temperature of PET bottled drinks was, the larger the proportion of the high temperature region in the final temperature field was and the greater the value of the maximum temperature was, besides the shorter the time it needed to reach to the same temperature. An appropriate increase of the initial temperature could guarantee the sterilization effect and shorten the sterilization time.

KEY WORDS: pasteurization; PET bottles; temperature field; beverages

瓶级聚酯出现于20世纪60年代, 目前广泛应用于碳酸饮料的包装^[1]。碳酸饮料含有化合物、蛋白质、维生素等营养物质, 适合微生物生长繁殖, 为保证饮料的口感与风味在货架期内保持稳定, 饮料在出厂售卖前必须进行杀菌热处理^[2]。PET瓶涂层技术的应用, 使它能承受高温灭菌处理^[3], 而不同的高温杀菌方法对饮料的口感与风味影响不同, 其差别与加热强度的

差别一样明显^[4]。喷淋热杀菌过后的饮料, 有效地延长了其保质期^[5], 其工艺要求是: 首先提供足够的杀菌强度以保证被杀菌产品的生物稳定性; 其次杀菌冷却后的温度要达到一个比较低的水平, 以减少高温贮藏对饮料风味的严重影响。满足这2个要求需对喷淋热杀菌过程的温度控制做出科学的设定^[6]。

开展瓶装饮料喷淋热杀菌工艺的分析是工程界

收稿日期: 2014-12-14

作者简介: 余永涛(1990—), 男, 河南信阳人, 江南大学硕士生, 主攻食品包装技术安全。

通讯作者: 卢立新(1966—), 男, 江苏宜兴人, 博士, 江南大学教授、博导, 主要研究方向为食品包装技术与机械、包装材料。

关注的课题。由于该加工过程较为复杂,传统理论方法难以实现。为此,应用有限元技术成为行之有效的工程分析手段^[7],因为其基本概念是用较简单的问题代替复杂问题后再求解^[8]。文中构建PET塑料瓶装饮料在喷淋杀菌过程中的热传导模型,并研究塑料瓶装饮料温度场分布及其初始温度的影响。

1 PET 塑料空瓶的热分析

1.1 PET 空瓶模型

选用目前市场常用PET饮料瓶,瓶模型的壁厚1 mm,瓶身直径6 cm,瓶身高16 cm,肩高4 cm,瓶盖直径3 cm,瓶盖高2 cm,总高度22 cm。PET材料的相关热参数为:导热系数0.14 W/(m·℃),密度1400 kg/m³,比热容取1200 J/(kg·℃)。根据材料的热参数,运用Ansys构建PET空瓶模型(见图2)。

1.2 喷淋介质的温度加载历程

在参考大量饮料类产品巴氏杀菌工艺基础上,选取喷淋介质(水)的温度加载历程见图1。根据生产经验取被杀菌产品的初始温度为10℃,加载热载荷为热对流,加载面积为瓶子的侧壁面积和瓶顶面积。研究中,选取瓶体上4个特征点,即液面中心点A、液面边缘点B、液底中心点C、液底边缘点D(见图2)。

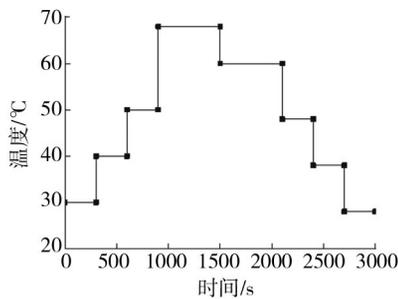


图1 喷淋介质温度加载历程

Fig.1 The temperature load history of spray medium

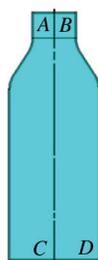


图2 PET空瓶模型

Fig.2 Model of empty PET bottle

1.3 PET 空瓶模型温度场分布

经过图1中的温度加载,PET空瓶模型的温度场变化见图3。结果表明,空瓶底部气体的温度变化较缓慢,其他部分的气体温度几乎和外载温度同时变化。在最终的温度场分布中(见图4),随着高度的增加,温度的数值逐渐减小。

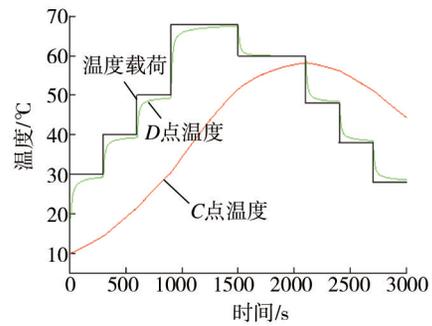


图3 PET空瓶特征点温度的变化

Fig.3 Temperature changes of feature point of empty PET bottle

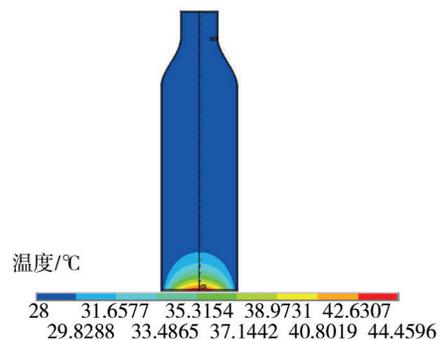


图4 PET空瓶最终温度场的分布

Fig.4 The distribution of final temperature field of empty PET bottle

2 PET 瓶装饮料的温度场分布及其影响因素

2.1 PET 瓶装饮料模型

液体饮料的热力学性能与水相近,因此文中用水代替液体饮料,研究其在喷淋热杀菌工艺过程中温度场分布的变化。其热力学性能参数为:导热系数0.6 W/(m·℃),密度1000 kg/m³,比热容4185 J/(kg·℃)。考虑到通常塑料瓶装饮料不能灌满,但较多的瓶颈空气会使瓶内总压升高^[9]。为此,取距离瓶顶2 cm,直径为3 cm的圆柱体作为瓶内空气的体积,构建塑料瓶装饮料有限元模型。

2.2 PET 瓶装饮料温度场的分布

PET瓶装饮料所加的热载荷见图1,其温度场的

变化见图5。结果表明,在瓶竖直方向上,B点温度变化率比D点大,A点温度变化速率比C点大,即饮料顶部温度的变化率大于底部;在瓶水平方向上,B点比A点更接近于外载温度,D点比C点更接近于外载温度,这是因为在喷淋热杀菌的升温与保温阶段物料表面温度比物料内部温度高^[10],即饮料外部温度的变化率大于内部。在最终温度场的分布中见图6,瓶肩中心处的饮料温度变化较为滞后,即高温区域位于瓶肩中心处。

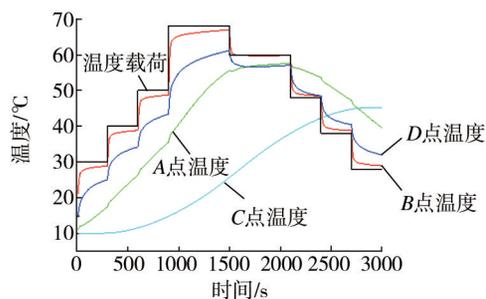


图5 PET瓶装饮料特征点温度的变化

Fig.5 Temperature changes of feature point of PET bottled drinks

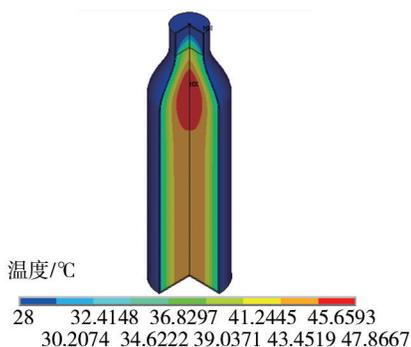


图6 PET瓶装饮料最终温度场的分布

Fig.6 The distribution of final temperature field of PET bottled drinks

2.3 饮料杀菌初始温度对其温度场分布的影响

巴氏杀菌工程实践中,杀菌强度可用PU值(在60℃下经历1min所引起的灭菌效应为一个巴氏杀菌单位,即一个PU值^[11])表示^[12],而且有研究表明初始温度对PU值影响较大。如果前期温度较低,饮料在升温阶段很难达到升温效果。按传统杀菌装备工艺要求,可知进口温度应保持在 (7 ± 2) ℃才能达到一个较好的升温效果,如果低于5℃应适当调高升温区温度,相反如果大于9℃应适当降低升温区的温度^[13],而现代化的巴氏杀菌机可自动将PU值的波动控制在一定

范围内,并且操作容易实现^[14]。为研究饮料杀菌初始温度对其温度场分布的影响,分别取杀菌初始温度为0,5,10,15℃,加载图1的温度载荷后其特征点A点和C点温度的变化见图7。

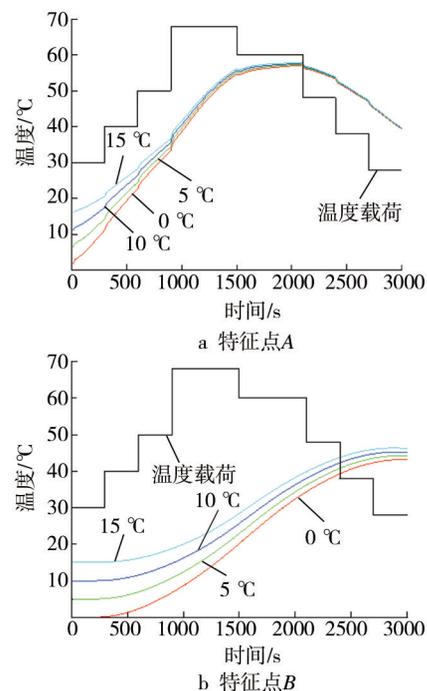


图7 杀菌初始温度对特征点温度的影响

Fig.7 Effect of initial temperature on the temperature at the feature point

在杀菌过程中,升温速度要快,有利于被杀菌产品的中心部位快速达到要求的杀菌温度,从而缩短整体的杀菌时间^[15]。模拟结果表明,C点的温度变化率显著小于A点的温度变化率,而且在保温阶段C点的温度远低于外载温度,即C点为瓶装饮料整个温度场中的危险点;在最终的温度场分布场中,高温区域的面积、最高温度随着饮料杀菌初始温度的增加而增加,同时初始温度越高,饮料达到相同温度的时间越短。初始温度为0,5,10,15℃时,对应的PET瓶装饮料最高温度分别为46.7,47.3,47.8,48.4℃,特征点C达到40℃所需的加载时间分别为2455.3,2330.8,2240.8,2100.0s。

3 结语

喷淋热杀菌工艺中瓶装饮料杀菌初始温度的升高会提高其温度场中危险点的温度,从而保证产品的杀菌效果,同时也提高了整个温度场的平均温度,使产品处于较高温度梯度的传热过程中,因此在保

证杀菌强度的同时,可以适当缩短加热时间。所以在实际生产中可适当提高杀菌初始温度,并由此确定包装产品最佳的杀菌温度与时间,从而有效延长产品的货架期。

参考文献:

- [1] 朱玉强. 聚酯啤酒瓶研发现状及应用展望[J]. 行业导向, 2006, 9(8): 3—5.
ZHU Yu-qiang. R & D Status and Application Prospects of Polyester Beer Bottle[J]. Industry-oriented, 2006, 9(8): 3—5.
- [2] 张峰, 李志斌, 刘景兰, 等. 杀菌技术在饮料生产管理中的应用[J]. 现代营销, 2013(2): 125.
ZHANG Feng, LI Zhi-bin, LIU Jing-lan, et al. Sterilization Technology Used in the Production Management of Beverage [J]. Modern Marketing, 2013(2): 125.
- [3] 李娟, 张蕾. 啤酒塑料包装现状和研发趋势[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 195—196.
LI Juan, ZHANG Lei. Present Situation and Development Trend of Beer Plastic Packaging[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 195—196.
- [4] MOTTAR J, NAUDTS M. Quality of UHT Milk Compared with Pasteurized and In-bottle Sterilized Milks[J]. Dairy Science and Technology, 1979, 59(588): 476—488.
- [5] 晓星. 巴斯德与巴氏杀菌法[J]. 乳品与人类, 2002(3): 32—33.
XIAO Xing. Pasteur and Pasteurization[J]. Dairy and Humans, 2002(3): 32—33.
- [6] 马胜平. 依据能量守恒设定杀菌机运行参数[J]. 啤酒科技, 2009(2): 60—61.
MA Sheng-ping. The Settings of Operating Parameters in Sterilization Machine Based on Energy Conservation[J]. Beers Technology, 2009(2): 60—61.
- [7] 袁玮, 许文才. PET啤酒瓶有限元分析及其结构参数的确定[J]. 包装工程, 2009, 30(12): 24—26.
YUAN Wei, XU Wen-cai. Finite Element Analysis of PET Beer Bottle and Determination of Structural Parameters[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 24—26.
- [8] 焦俊婷, 刘立渠. 结构力学的有限元分析[J]. 嘉应大学学报, 2002(3): 74—76.
JIAO Jun-ting, LIU Li-qu. Finite Element Analysis of Structural Mechanics[J]. The Journal of Jiaying University, 2002(3): 74—76.
- [9] 王子栋, 王春丽. 巴氏杀菌引起爆瓶的原因分析[J]. 啤酒科技, 2010(6): 44—45.
WANG Zi-dong, WANG Chun-li. The Analysis of the Reasons for Exploded Bottles in Pasteurization[J]. Beers Technology, 2010(6): 44—45.
- [10] 樊军庆. 啤酒巴氏灭菌机温度控制系统的设计[D]. 海南: 海南大学, 2008.
FAN Jun-qing. The Design of Temperature Control System of Beer Pasteurization Machine[D]. Hainan: Hainan University, 2008.
- [11] 天华. 全新巴氏杀菌技术及设备发展[J]. 酒·饮料技术设备, 2003(3): 28—29.
TIAN Hua. The New Development of Pasteurized Technology and Equipment[J]. Wine Beverage Technology and Equipment, 2003(3): 28—29.
- [12] 王晓红, 吴贺标. 巴氏杀菌中的几个问题[J]. 啤酒科技, 2002(2): 40.
WANG Xiao-hong, WU He-biao. Several Issues in Pasteurization Machine[J]. Beer Technology, 2002(2): 40.
- [13] 丁懿. 浅谈杀菌机控制方案及PU值控制[J]. 啤酒科技, 2006(1): 47.
DING Yi. The Discussion of Sterilization Machine Control Solutions and PU Value Control[J]. Beers Technology, 2006(1): 47.
- [14] BLAND J. Influence of Lower Beer out Temperature on the Water Balance of Pasteurizer[J]. Brewers Digest, 2000, 75(3): 62—63.
- [15] 张德善. 试论食品杀菌工艺与新装备[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(3): 40—45.
ZHANG De-shan. Discussion about the Food Sterilization Technology and New Equipment[J]. Packaging and Food Machinery, 2010, 28(3): 40—45.