

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.05.038

液体饮料 PET 无菌灌装工艺与装备研发进展

Research and development of PET aseptic filling technology and equipment of beverage

陈金定 杨舒乔 高彦祥

CHEN Jin-ding YANG Shu-qiao GAO Yan-xiang

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

摘要:文章对目前液体饮料 PET 无菌灌装工艺与装备进行了归纳与总结,并对其研发趋势进行了展望,以期为液体饮料生产中 PET 无菌灌装技术的应用及优化提供相关依据。

关键词:液体饮料;PET;杀菌;无菌灌装;工艺;装备

Abstract: In this article, the process of the PET aseptic filling technology of beverage was summarized, and research progress of the PET aseptic filling process and equipment was analyzed. The aim of this article was to provide relevant basis for the application and optimization of the PET aseptic filling technology in the beverage industrial production.

Keywords: beverage; PET; sterilization; aseptic filling; process; equipment

聚对苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene terephthalate, PET) 是热塑性聚酯中最主要的品种^[1], PET 瓶是指以 PET 聚酯为原料,经注塑、吹制而成的塑料包装瓶。与玻璃瓶、金属易拉罐等包装形式相比, PET 瓶具有美观、轻便、韧性强、可塑性强、渗透率低、可回收等优点,被广泛应用于饮料包装行业^[2-3],并成为食品饮料领域发展速度最快的包装材料^[4]。近年来,全球饮料的年均消费量快速增长,与此同时,饮料市场的 PET 包装用量也在不断增长,且 2020 年前,年均增长率达到 8%^[5-6]。

PET 无菌灌装技术是集光机电一体化技术、现代化学、物理学、微生物学、自动控制、计算机通讯等多项高新技术为一体的现代化饮料灌装生产技术^[7-8]。2001 年北京汇源果汁集团将 PET 无菌灌装生产线引入中国,推动了中国饮料工业的快速发展,促使中国饮料的生产技术

及装备向国际先进水平发展。近年来, PET 无菌灌装技术不断创新、产业链不断完善,已经逐步发展成为茶、果汁、蛋白饮料等产品的主要生产方式^[5,9],目前中国饮料行业中进口无菌灌装生产线超过 260 条,且逐年增加。文章拟对 PET 无菌灌装技术进行概述,并对 PET 无菌灌装工艺及装备的研发进展进行分析,以期为饮料生产企业 PET 无菌灌装技术的应用及优化提供依据。

1 PET 无菌灌装技术

传统的非无菌灌装技术是将产品灌装至包装容器,密封后进行杀菌,使产品达到商业无菌状态,主要用于玻璃瓶及易拉罐包装产品的灭菌;无菌灌装技术诞生于 20 世纪 30 年代,是指将产品及包装容器分别进行灭菌后,在无菌环境下进行灌装,并完成密封,使产品免受微生物污染、延长产品货架期的生产加工技术^[7];二者区别如图 1 所示。

PET 无菌灌装技术对液体饮料采用超高温瞬时杀菌 (UHT), 热处理时间一般不超过 30 s, 能够最大程度地保留产品的风味和热敏性营养物质, 如维生素等; 在无菌的环境下进行灌装与密封, 产品中无需添加防腐剂即可达到延长产品货架期的目的, 保证产品的安全性^[10]; 无菌灌装温度为常温, 相对于传统热灌装方式, 更加节约能源, 生产成本更低^[11-14], 此外, PET 无菌灌装技术具有更广

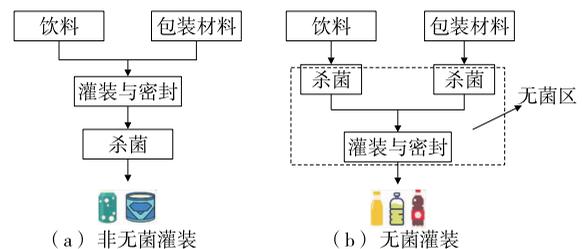


图 1 非无菌灌装与无菌灌装区别

Figure 1 Difference between non-aseptic and aseptic filling

基金项目:国家重点研发计划资助(编号:2018YFD0400900)

作者简介:陈金定,女,中国农业大学中级工程师,硕士。

通信作者:高彦祥(1961—),男,中国农业大学教授,博士生导师,博士。E-mail:gyxcau@126.com

收稿日期:2021-03-29

泛的产品适用性,且包装形式更加多样化^[15-16]。

2 PET 无菌灌装工艺与装备发展现状

随着科技水平发展,PET 无菌灌装生产线向更加智能、更高产能、更加灵活等方向发展,并趋于成熟。从产能来说,2000—2010 年,PET 无菌灌装生产线产能普遍为 36 000 瓶/h(500 mL);2010—2020 年,PET 无菌灌装生产线产能提高至 48 000 瓶/h,最高可达 72 000 瓶/h。

目前国外生产 PET 无菌灌装线的厂家主要有意大利 GEA PROCOMAC 公司,产能 36 000 瓶/h,2002 年汇源集团引进该技术,在北京及上海工厂各有一条生产线,此外还有厦门银鹭集团食品有限公司、康师傅(西安)饮品有限公司等;德国 KRONES 公司,产能 48 000 瓶/h,中国使用的厂家有康师傅饮品有限公司、汇源集团等;法国 SIDEL 公司(2013 年被瑞典的利乐拉伐集团收购),中国使用厂家有今麦郎饮品股份有限公司(产能 60 000 瓶/h)、农夫山泉股份有限公司(产能 36 000~54 000 瓶/h)、统一集团、伊利集团等;德国 KHS 公司,中国使用的厂家有康师傅饮品有限公司(产能 72 000 瓶/h)、农夫山泉股份有限公司(48 000 瓶/h)等;日本 DNP 公司(大日本印刷株式会社与日本三菱重工业株式会社合作),中国使用厂家有农夫山泉股份有限公司^[17]。

中国 PET 无菌灌装生产线虽然与国外技术仍有一定差距,但随着中国科技创新水平的提升和国家“十三五”重点研发计划资助(编号:2018YFD0400900),现有国产 PET 无菌生产线的产能及技术指标已接近国际先进水平,并在中国多家饮料企业投入使用,如廊坊百冠包装机械有限公司,使用厂家有元气森林科技集团有限公司(含气饮料 30 000 瓶/h、茶饮料 36 000 瓶/h)等;此外还有广州达意隆包装机械股份有限公司、南京保利隆包装机械有限公司等。

2.1 PET 无菌灌装工艺

PET 无菌灌装工艺通常包括在线吹瓶、瓶子及瓶盖的杀菌、饮料杀菌及灌装、旋盖等,典型工艺流程如图 2 所示。

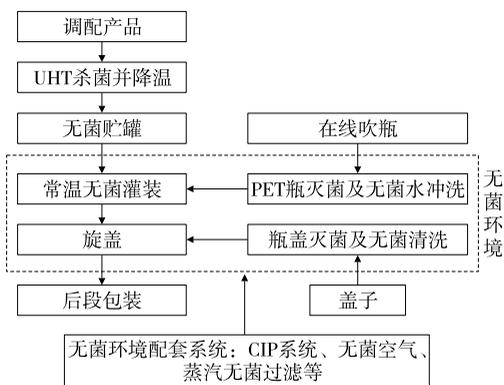


图 2 PET 无菌灌装典型工艺

Figure 2 Typical process of PET aseptic filling

PET 无菌灌装技术的关键是保证灌装旋盖后的产品达到商业无菌,保证其货架期内品质质量。为了确保无菌灌装的成功,必须满足 4 个基本条件:液体食品无菌、包装材料无菌、环境及介质无菌^[11-13],即液体食品调配后经 UHT 杀菌达到商业无菌状态;包装材料如 PET 瓶子及瓶盖经灭菌后采用无菌水清洗,达到无菌状态;将无菌的液体食品在无菌环境下灌装至无菌的 PET 瓶中,旋盖后即得到无菌产品。

2.1.1 饮料、介质与环境灭菌 饮料的杀菌方式有巴氏杀菌、高温短时杀菌、超高温瞬时杀菌等,其中超高温瞬时杀菌是 PET 无菌灌装工艺中最常用的方式,将饮料在瞬间加热至 120~150 °C,持续 4~30 s 使饮料达到商业无菌的状态。

PET 无菌灌装生产过程中无菌介质主要指无菌气体,包括无菌压缩空气、无菌蒸汽等,其无菌化主要通过无菌过滤系统实现^[12]。环境无菌主要指设备表面、管道等无菌,包括 CIP、COP 以及 SIP、SOP 系统,即对相关设备的外表面及管道进行清洗(CIP、COP)及消毒(SIP、SOP)。无菌灌装需建立无菌灌装生物洁净室,先通过 HEPA 高效过滤器过滤尘埃的方式去除空气中附着在尘埃表面的微生物,此外还需采取消毒的方式杀灭洁净室中的微生物^[12,18]。

2.1.2 包装材料灭菌 包装材料灭菌是 PET 无菌灌装工艺中最关键的一步,要求灭菌过程既要有效地杀灭包装材料上的微生物,清洗后无化学试剂残留,还要求灭菌过程对于包装材料的物理、化学性质无影响。

PET 无菌灌装生产过程中包装材料杀菌方式主要有化学杀菌方式(过氧乙酸湿法杀菌、过氧化氢杀菌)和物

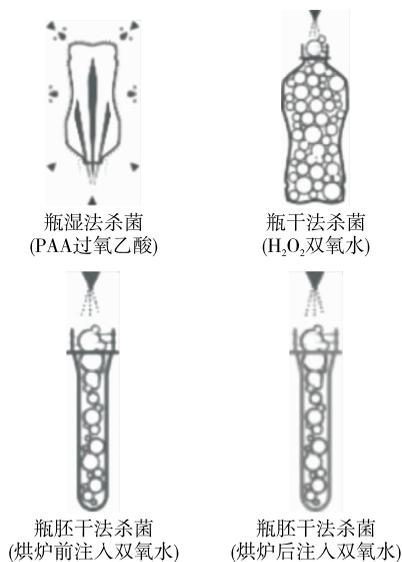


图 3 常见 PET 包装材料杀菌方式

Figure 3 Sterilization methods of PET packaging materials

理杀菌方式(高能电子束辐照杀菌、脉冲强光杀菌等)。

过氧乙酸湿法杀菌是指采用 1 800~2 200 mg/kg 过氧乙酸溶液对包装材料进行杀菌的方式,通常对 PET 空瓶进行喷淋灌注,内外持续喷射过氧乙酸溶液进行杀菌,HDPE 瓶盖则采用过氧乙酸溶液浸泡杀菌,杀菌后用无菌水将瓶子及瓶盖冲洗至过氧乙酸含量 0.5 mg/kg 以下,杀菌对数值内部可达到 6 log,外部达到 5 log。传统 PET 无菌灌装生产线多采用过氧乙酸湿法杀菌,该方法杀菌效率高,但容易造成溶剂残留,且需要用大量无菌水冲洗,能耗较高。

过氧化氢具有非常强的氧化性,可形成具有强氧化能力的自由羟基以及活性衍生物,通过破坏微生物外部结构,使微生物细胞渗透压改变而死亡,同时破坏微生物细胞内部 DNA 使其死亡而达到杀菌作用^[19]。作为一种绿色环保的杀菌剂,液态过氧化氢杀菌应用的研究已经有超过 100 年的历史,但液态过氧化氢需要较高的浓度和较长的接触时间才能杀死微生物,相比之下,气态过氧化氢具有更高的杀菌效率,在较低的浓度下就可以杀灭微生物。

PET 无菌灌装工艺中过氧化氢杀菌方式分为汽化过氧化氢干法(Vaporized Hydrogen Peroxide)杀菌和湿法过氧化氢蒸汽(Hydrogen Peroxide Vapour)杀菌。汽化过氧化氢干法杀菌工艺所需杀菌浓度低,但杀菌过程需要将环境条件控制在汽化过氧化氢冷凝点以上,以保证在气态下进行灭菌,湿法过氧化氢蒸汽杀菌所需的杀菌浓度较高,对环境条件无特殊限制,但杀菌过程中在物体表面形成微凝薄膜,从而延长排放时间,且有微量残留的风险^[20]。

汽化过氧化氢干法杀菌技术采用气态过氧化氢进行杀菌,不仅可以实现瓶子/瓶坯内外部同时杀菌,且无需无菌水清洗,几乎无废水产生,能耗降低。有关气态过氧化氢对 PET 瓶坯、PET 瓶杀菌效果的研究较多^[19-22],均证实其对 PET 瓶坯、PET 瓶子具有很好的杀菌效果。

过氧化氢干法杀菌包括瓶子干法杀菌及瓶坯干法杀菌,瓶子干法杀菌即将瓶坯加热吹瓶后,对瓶子采用气态过氧化氢进行杀菌^[23],如日本三得利公司发明了一种 PET 瓶杀菌的装置及方法,对 PET 瓶进行离子除尘后,注入气态过氧化氢进行杀菌,注入热空气促使气态过氧化氢排出及挥发,以温水清洗后进行无菌灌装^[24]。日本 DNP 发明了一种采用气态过氧化氢对饮料包装材料杀菌的方法及装置(见图 4)^[25-27]。瓶坯干法杀菌即对瓶坯进行过氧化氢干法杀菌,与瓶子杀菌方式相比,避免了瓶子收缩的风险,且在瓶坯杀菌过程中,杀菌效率远大于瓶子的,灭菌工艺更加可靠和稳定^[15]。

瓶坯干法杀菌分预热前杀菌和预热后杀菌,如德国 KRONES 公司在瓶坯进入加热炉加热后,高温下采用气态过氧化氢进行杀菌,然后在无菌条件下吹瓶、灌装,避免了冷凝水的产生,同时加速气态过氧化氢的挥发,实现 PET 瓶坯无菌化处理,其杀菌过程如图 5 所示;法国 Sidel 公司在瓶坯进入加热炉加热前采用气态过氧化氢进行杀菌,杀菌后进入加热炉加热,节约了过氧化氢用量,且无需额外热源防止瓶坯温度降低,节约能源,其杀菌过程如图 6 所示^[28-29]。

高能电子束辐照杀菌及脉冲强光杀菌又称物理杀菌,已被广泛应用于食品包材杀菌方面^[30]。张国宏等^[31]

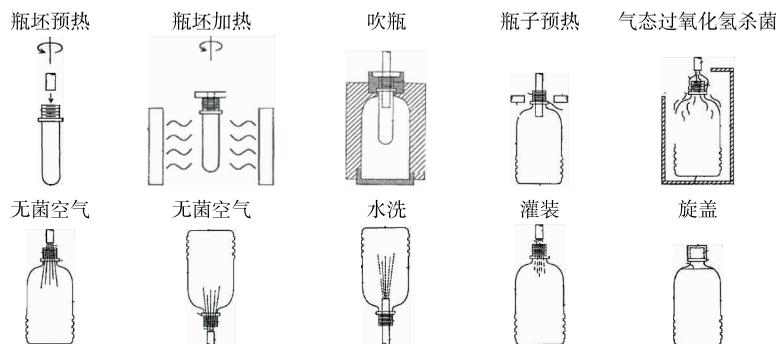


图 4 PET 瓶子过氧化氢干法杀菌

Figure 4 H₂O₂ Sterilization in bottle of PET

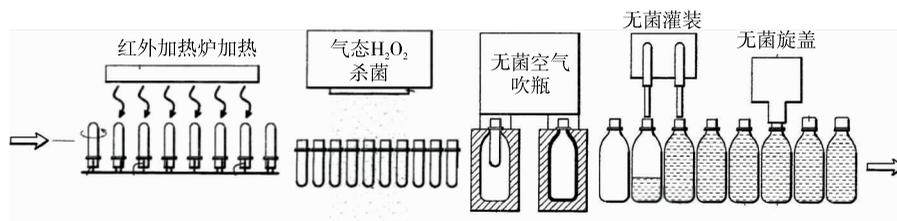


图 5 瓶坯干法杀菌(烘炉后注入过氧化氢)

Figure 5 Dry sterilization of preforms

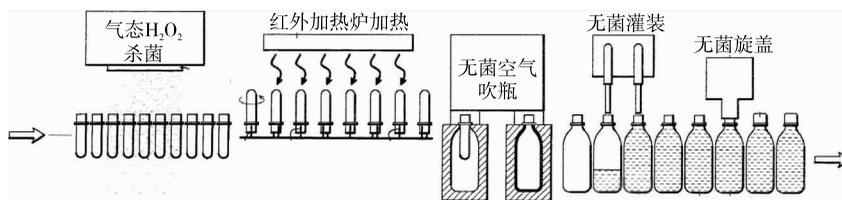


图 6 瓶坯干法杀菌(烘炉前注入过氧化氢)

Figure 6 Dry sterilization of preforms

研究了高能电子束对 PET 瓶子上枯草芽孢杆菌的杀菌效果,结果表明使用高能电子束对 PET 瓶进行杀菌,对指示菌芽胞的杀菌对数值可以达到 6 log;严杰能等^[32]研究发现,包装饮用水瓶盖最佳灭菌条件为脉冲电压 7 kV,照射距离 9 cm,闪烁间隔 0.8 s,闪烁次数 2 次,并通过重现性试验验证表明此条件稳定,可用于实际生产。

江苏新美星包装机械股份有限公司发明了将电子束杀菌应用于 PET 瓶坯^[33]、瓶子^[34]、瓶盖^[35]以及吹灌旋一体化装置^[36],通过电子束直接对传送星轮上的瓶坯进行照射,在瓶坯传送过程中完成对瓶坯内外表面的杀菌,同时通过设置翻转导轨对瓶盖进行翻转,用一台电子束发生机构实现对瓶盖的正反面进行杀菌,节省了电子束能耗并降低了使用成本。此外,江苏新美星包装机械股份有限公司还发明了一种 PET 空瓶的脉冲强光装置^[37],通过在传送星轮上方设置脉冲强光系统和反射系统,采用脉冲强光对 PET 空瓶进行灭菌,将脉冲强光灭菌方式应用于 PET 瓶杀菌。以上均为物理杀菌方式在 PET 包装材料杀菌中应用的实用新型专利,但未见该公司相关技术在商业化生产线上的实际应用。

与常规无菌生产线相比,采用物理方式杀菌的生产线,水、化学品及蒸汽能源消耗量降至最低,且无废水产生,更加节能环保^[38]。但由于投资成本较高,在 PET 无菌灌装生产线中应用相对较少。目前,德国 KRONES 公司的瓶坯电子束杀菌无菌灌装机组将高能电子束杀菌技术应用于无菌灌装线,瓶坯外部采用 3.5 kW 平面发射的高能电子束处理,瓶坯内部采用 22 kW 浸入式指状发射电子束处理,适用于低酸及高酸饮料产品,灭菌对数值可达到 6 log,产能达 24 000 瓶/h^[39-40]。

2.2 PET 无菌灌装装备

PET 无菌灌装生产装备包括瓶坯储存、理坯及输送装置,瓶坯除尘装置,瓶坯加热装置,瓶坯(瓶子)杀菌装置、吹塑成形装置,瓶输送装置,灌装装置,瓶盖储存,理盖及输送装置,瓶盖清洗或杀菌装置,旋盖装置,灌装和旋盖区域空气净化处理装置以及 CIP、SIP 系统等。

第一代 PET 无菌灌装生产线中的装备主要是分体式吹瓶机及灌装机;第二代将吹瓶机及灌装机进行整合,实现了吹灌旋一体化,但吹瓶后需要通过化学药剂(过氧化乙酸等)对瓶子进行杀菌、清洗;第三代已将吹灌旋一体机实现无菌化,无菌吹灌旋一体机是指对无菌 PET 瓶坯

连续完成吹瓶、无菌灌装、旋盖等工序的设备^[41],可在计算机程序控制下完成所有饮料管线在线清洗(CIP)及在线灭菌(SIP),使吹瓶、灌装以及旋盖均在无菌环境中完成,目前已被广泛应用于 PET 无菌灌装生产线^[42-43]。无菌吹灌旋装备从无菌 PET 瓶坯直接吹瓶并在线无菌灌装,减少了包装物的运输和储存,使其在最大限度地避免细菌污染的同时进一步降低生产成本,并延长饮料产品的生产周期,第二代吹灌旋一体化对低酸产品生产周期最长为 48 h,高酸产品生产周期最长为 72 h,其中管道及设备的清洗消毒时间约为 4.5~5.0 h,第三代无菌吹灌旋一体机可将低酸产品生产周期延长至 96 h,高酸产品生产周期延长至 120 h,清洗时间缩短至 3 h。

PET 瓶无菌吹灌旋一体机将瓶坯的吹塑成形、杀菌一冲洗、灌装和旋盖设计成 3 台独立的旋转式机型,由星形转轮将其连接为组合机,并被包封在正压无菌室中,其中灌装—旋盖区的洁净度达 100 级,生产开始前及结束后通过 COP/SOP 及 CIP/SIP 系统进行清洗及消毒。PET 瓶无菌吹灌旋过程中,吹瓶机将经过红外加热炉加热至 90~120 °C 的瓶坯,通过拉伸吹塑,使瓶坯在压力和温度条件下吹制成合格瓶子^[1],吹瓶机根据其结构形式可分为旋转式和直线式^[44];瓶子经杀菌后(或瓶坯在吹瓶前进行杀菌)通过过渡星轮输送至灌装机,将经过杀菌的饮料灌注至瓶子中,灌装机采用重力灌装方式进行灌装;灌装饮料后瓶子再次通过过渡星轮输送至旋盖机,旋盖机上的止旋刀卡住瓶颈部位,保持瓶子直立并防止旋转,旋盖头在旋盖机上保持公转并自转,在凸轮作用下实现抓盖、套盖、旋盖、脱盖等动作,完成整个封盖过程,整个吹灌旋的流程为瓶坯→红外加热→杀菌→转盘模具→拉伸预吹→吹瓶→排气→成品瓶→过渡星轮→灌装→旋盖→产品,其中包装材料的杀菌工艺根据需求可在红外加热前、红外加热后或吹瓶后进行。

吹灌旋一体机的关键技术在于灌装阀的灌装方式、与灌装容器的无缝连接、包装材料杀菌系统以及 CIP/SIP 系统等。近年来,随着需求的增加,关于灌装阀、灌装机及灌装线的专利技术研究逐渐增加,如反压灌装机系统^[45]、用于灌装碳酸饮料的灌装系统^[46-47]、可用于多种产品灌装的多路灌装装置^[48-51]、用于灌装单元的磁流变促动器/磁力驱动系统^[52-53]、灌装机中防洒装置^[54]、灌装机中反串气装置^[55]、非接触式灌装设备^[56]、无菌灌装装

置及净化方式^[57-61]等。

法国 SIDEL 公司磁力驱动灌装阀由外部非接触式磁力驱动,取消膜片或动态密封,将无菌与非无菌区域进行隔离,避免了由于产品管路经受高强度的化学药剂及高温处理导致膜片或波纹管破损而引发产品污染的风险。

性能优良的无菌灌装技术装备是现代制造和控制技术的集中体现,也是一个企业整体技术水平的综合表现。近年来,随着科技水平的进步,中国产 PET 无菌灌装装备产能提高,故障率及损耗降低,并得到迅速的推广及使用,同时改变了中国无菌灌装领域依靠进口装备的现状。

3 PET 无菌灌装技术相关执行标准

PET 无菌灌装生产线整线的标准主要有 2009 年发布并实施的 GB/T 24571—2209《PET 瓶无菌冷灌装生产线》,2011 年由中国轻工业联合会提出的 QB/T 4213—2011《饮料机械 聚酯(PET)瓶装饮料无菌冷灌装生产线》,前者规定了 PET 无菌冷灌装生产线中的术语、定义以及无菌工作条件等要求,后者对 PET 无菌冷灌装生产线组成、工作条件以及生产过程中技术要求进一步细化,对于 PET 无菌灌装生产的实施起到规范与指导作用。

PET 无菌灌装生产线中,PET 瓶吹瓶机标准在 2013 年发布并实施的 GB/T 29648—2013《全自动旋转式 PET 瓶吹瓶机》,规定了全自动旋转式 PET 瓶吹瓶机的术语、定义、基本参数及工作条件、技术要求等,该标准适用于采用二步法制瓶工艺吹制饮料、酒类、调味品、食品、日化、医药等行业包装用 PET 瓶的全自动旋转式 PET 瓶吹瓶机。此外,中国轻工机械协会,在相关标准的基础上发布了团体标准 T/CLIMA002—2021《无菌吹灌旋一体机验收标准》,规定了 PET 瓶无菌吹灌旋一体机的工作条件、技术要求以及试验方法、验收前准备、验收结果判定及处理,为无菌吹灌旋一体机的验收提供了指导作用。同时,2021 年由中国食品和包装机械工业协会发布的团体标准 T/CFPMA 0020—2021《PET 瓶无菌灌装生产线无菌性验证规范》以满足市场和创新发展为目标,进行试验论证,对 PET 瓶无菌灌装生产线的无菌性验证的方法、要求以及结果处理等进行了规定。

PET 无菌灌装生产线的产能、工艺及装备均处于飞速发展阶段,但 PET 无菌灌装生产线的标准相对较少,尤其是灌装线整线的标准仅有 2009 年发布实施的 GB/T 24571—2209《PET 瓶无菌冷灌装生产线》,较为滞后,故为了满足对现有技术的指导与规范,相关标准更新至关重要。

4 结论与展望

PET 无菌灌装技术已逐渐发展成为液体食品包装的主要趋势,为了满足日益增长的消费需求,必然要求更高的产能及更长的生产周期,降低饮料生产成本;其次设备的智能化及可追溯化是符合 PET 无菌灌装技术发展的

必然趋势,设备的智能化发展,实现智能化工厂,减少生产过程中人工参与对设备和无菌环境的污染风险,同时通过可追溯化实现数据监控、设备远程诊断以及程序维护等功能;消费者对于产品多样化需求日益增加,要求未来的 PET 无菌灌装生产线具有更好的灵活性,适应更广的产品范围、更多的瓶型以及更快更换瓶型的速度。此外,低能耗、无污染的新型物理杀菌技术,更加符合可持续发展,也必然是 PET 无菌灌装技术发展的重要方向。

参考文献

- [1] 呼春雪,冯志华,刘良先,等. PET 瓶吹塑成型研究进展[J]. 现代塑料加工应用, 2020, 32(1): 61-63.
- [2] 张健康,冯志华,陈岩松,等. PET 瓶吹塑成型再加热阶段的研究进展[J]. 现代塑料加工应用, 2020, 32(5): 60-63.
- [3] 刘良先,冯志华,呼春雪,等. 基于正交试验的 PET 瓶拉伸吹塑优化设计[J]. 中国塑料, 2020, 34(6): 73-79.
- [4] GHOSHAL G. Recent development in beverage packaging material and its adaptation strategy [M]. GRUMEZESCU A M, HOLBAN A M. Trends in beverage packaging. Chandigarh, India: Bhatnagar University Institute of Chemical Engineering & Technology, 2019: 21-50.
- [5] 西得乐. 西得乐 PET 无菌整线解决方案[J]. 酒·饮料技术装备, 2017(3): 70-72.
- [6] CHU Jian-wei, CAI Yan-peng, LI Chun-hui, et al. Dynamic flows of polyethylene terephthalate (PET) plastic in China[J]. Waste Management, 2021, 124: 273-282.
- [7] 孙奇,张国宏. 运动饮料 PET 瓶无菌灌装生产线工艺设计及其验证[J]. 饮料工业, 2007, 10(5): 30-35.
- [8] CHAVAN R S, ANSARI M I A, BHATT S. Packaging: Aseptic filling[M]. CABALLERO B, FINGLAS P M, TOLDRÁ F. Encyclopedia of food and health. Oxford: Academic Press, 2016: 191-198.
- [9] LIMBO S, PELLEGRINO L, D'INCECCO P, et al. Storage of pasteurized milk in clear PET bottles combined with light exposure on a retail display case: A possible strategy to define the shelf life and support a recyclable packaging[J]. Food Chemistry, 2020, 329: 87-92.
- [10] 艺康公司. 艺康在 PET 无菌冷灌装线清洗消毒方面的差异化解决方案[J]. 食品安全导刊, 2015(19): 57.
- [11] 郑斌. 关于无菌灌装技术的推广应用[J]. 酒·饮料技术装备, 2019(1): 76-78.
- [12] 马晓武. 无菌灌装与包装工艺[J]. 现代制造技术与装备, 2017(5): 112-113.
- [13] JILDEH Z B, KIRCHNER P, OBERLÄNDER J, et al. Development of a package-sterilization process for aseptic filling machines: A numerical approach and validation for surface treatment with hydrogen peroxide [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2020, 303: 111691.
- [14] 丛福滋. PET 瓶无菌冷灌装技术发展研究[J]. 农业科技与装备, 2010(1): 52-55.
- [15] 克朗斯. 无菌灌装的创新与飞跃[J]. 食品安全导刊, 2014(18): 44-46.
- [16] LEMOS W, AMARAL D, REIS P, et al. Reuse of refillable PET

- packaging: Approaches to safety and quality in soft drink processing[J]. Food Control, 2019, 100: 329-341.
- [17] 金根升. PET 冷灌装酶解燕麦乳饮料的开发[D]. 厦门: 集美大学, 2017: 6-7.
- [18] 李慧丽. 浅谈 PET 瓶饮料的产品质量控制[J]. 轻工科技, 2015(7): 3-4.
- [19] 楚莉沙. 汽化过氧化氢 (HPV) 发生器的设计与杀菌研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 8-13.
- [20] 楚莉沙, 黄莉莉, 汪良峰, 等. 响应面优化汽化过氧化氢杀灭 PET 瓶内表面枯草芽孢杆菌工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(2): 8-14.
- [21] BOTTANI E, LONGO F, NICOLETTI L, et al. Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line[J]. Computers in Industry, 2021, 128: 103-109.
- [22] KIRCHNER P, LI B, SPELTHAHN H, et al. Thin-film calorimetric H₂O₂ gas sensor for the validation of germicidal effectivity in aseptic filling processes [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2011, 154(2): 257-263.
- [23] KHS-CORPOPLAST G. Method and device for sterilizing preforms: US9254343B2[P]. 2016-12-09.
- [24] LIMITED S. PET bottle sterilization apparatus and sterilization method: US9861717B2[P]. 2018-01-09.
- [25] Dai Nippon Printing Co Ltd. Method of sterilizing preform and method of sterilizing container made of resin: US9988170B2 [P]. 2018-01-05.
- [26] Dai Nippon Printing Co Ltd. Method and apparatus for sterilizing preform: US10137217B2[P]. 2018-11-27.
- [27] Dai Nippon Printing Co Ltd. Blow-molding machine and method of sterilizing the same: US20180001541A1[P]. 2018-01-04.
- [28] Participations Sidel. Method for sterilizing preforms and installation for producing sterile bodies from these preforms: US8092757B2[P]. 2012-01-10.
- [29] Participations Sidel. Installation for producing sterile bottles by blow molding sterilized preforms: US7806680B2[P]. 2010-10-05.
- [30] 张国宏. 塑料包装容器高能电子干法杀菌技术[J]. 酒·饮料技术装备, 2019(5): 50-52.
- [31] 张国宏, 陆健锋, 于丽坤, 等. 高能电子用于 PET 瓶杀菌的研究及其工业化实施[J]. 饮料工业, 2020, 23(5): 52-61.
- [32] 严杰能, 林晓吟, 孙乔润, 等. 包装饮用水瓶盖脉冲光杀菌工艺的条件优化[J]. 饮料工业, 2019, 22(3): 37-41.
- [33] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种电子束杀菌装置: CN109179302A[P]. 2019-01-11.
- [34] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种电子束空瓶杀菌装置: CN109896088A[P]. 2019-06-18.
- [35] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种电子束瓶盖杀菌装置: CN208995123U[P]. 2019-60-18.
- [36] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种使用电子束杀菌的吹灌旋一体装置: CN205115020U[P]. 2016-03-30.
- [37] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种 PET 空瓶的脉冲强光灭菌装置: CN205740330U[P]. 2016-11-30.
- [38] Gmbh KHS. Method of sterilizing bottles with electron radiation and a sterilizing arrangement therefor: US9302896B2[P]. 2016-04-05.
- [39] Ag Kronos. Method and apparatus for the sterilization of containers: US9155807B2[P]. 2015-10-13.
- [40] Ag Kronos. Apparatus for the sterilization of plastics material containers by means of medium-controlled electron beams: US8961871B2[P]. 2015-12-24.
- [41] 中国轻工机械协会. 无菌吹灌旋一体机验收规范: TCLI-MA002—2021[S]. 北京: 全国团体标准信息平台, 2021: 1-13.
- [42] 张洪飞. 吹、灌、封(三合一)设备及其无菌灌装工艺探讨[J]. 机电信息, 2013(14): 1-7.
- [43] 聂兰兰. 无菌灌装设备专利技术综述[J]. 科技创新与应用, 2017(9): 77.
- [44] 中国机械工业联合会. 食品包装用 PET 瓶吹瓶成型模具: GB/T 38461—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020: 1-3.
- [45] 克朗斯股份有限公司. 用于容器的反压灌装的方法以及反压灌装机的灌装系统: CN111170250A[P]. 2020-05-19.
- [46] KHS 科博普拉斯特有限责任公司. 用于以碳化灌装物灌装容器并接着封闭灌装后的容器的方法和装置: CN111491865A[P]. 2020-08-04.
- [47] Gmbh KHS-Coepoplast. Method and device for filling containers with carbonised filling material and subsequently closing the filled containers: WO2019197337A1[P]. 2019-10-17.
- [48] 西得乐股份公司. 用可灌注产品灌装多个制品的灌装单元的可旋转罐的歧管: CN105731337A[P]. 2015-10-29.
- [49] 克朗斯股份有限公司. 用于将饮料灌充到瓶内的方法和灌装机: CN111071972A[P]. 2020-04-28.
- [50] 克朗斯公司. 用于将填充产品灌装到容器中的填充构件和方法: CN110655025A[P]. 2020-01-07.
- [51] KHS 有限责任公司. 用于灌装系统或灌装机的多路灌装元件: CN104603046A[P]. 2015-05-06.
- [52] KHS 有限责任公司. 用于饮料灌装设备的灌装单元的磁流变促动器: CN111542488A[P]. 2020-08-14.
- [53] Gmbh KHS. Magentorhological actuator for a filling unit of a beverage filling system: EP3645449A1[P]. 2020-05-06.
- [54] 克朗斯股份有限公司. 成形灌装机中的防洒出装置: CN105383042A[P]. 2016-03-09.
- [55] 江苏新美星包装机械股份有限公司. 一种用于防止无菌灌装机中废气反串的装置: CN204454523U[P]. 2015-07-08.
- [56] 西得乐独资股份公司. 非接触式灌装设备及其控制方法: CN103183300A[P]. 2013-07-03.
- [57] 大日本印刷株式会社. 无菌灌装装置及其净化方法: CN110520380A[P]. 2019-11-29.
- [58] 大日本印刷株式会社. 无菌灌装机以及无菌灌装方法: CN110621609A[P]. 2019-12-27.
- [59] 克朗斯股份公司. 无菌灌装方法和装置: CN102530812A[P]. 2012-07-04.
- [60] Participations Sidel. Method for producing a marked container comprising a step for marking a preform: US10913197 B2 [P]. 2021-02-09.
- [61] Participations Sidel. Filling device for filling machine: US10370234B2[P]. 2019-08-06.