

脉冲电晕对气调包装薄膜透气性能影响研究

段华伟¹, 余明光¹, 吴永飞¹, 王志伟²

(1. 广东壮丽彩印股份有限公司, 汕头 515064; 2. 产品包装与物流广东普通高校重点实验室, 珠海 519070)

摘要: 采用脉冲电晕对非极性的食品包装薄膜聚乙烯(PE)和聚丙烯(PP)进行表面处理, 研究了电晕处理时的4种因素(即放电功率、电极与薄膜间的距离、走膜速率和导辊温度)对薄膜透气率的影响, 探讨了电晕处理后薄膜的透气率和薄膜的表面张力值之间的关系, 建立了电晕处理对薄膜透气率的影响规律。结果表明, 电晕处理对薄膜的表面张力和薄膜的透气率有明显的影响, 为建立电晕处理与薄膜透气率之间的数学模型和气调包装设计提供了可靠的薄膜透气率数值计算。

关键词: 脉冲电晕处理; 气调包装; 薄膜透气率; 表面张力

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)21-0020-05

Influence of Pulse Corona on Air Permeability of Modified Atmosphere Packaging Film

DUAN Hua-wei¹, YU Ming-guang¹, WU Yong-fei¹, WANG Zhi-wei²

(1. Guangdong Zhuangli Color printing Co., Ltd., Shantou 515064, China; 2. Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, Zhuhai 519070, China)

Abstract: The surface of non-polar food packaging film of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) was treated by pulsed corona. The influence of four factors of the pulse corona treatment on air permeability of the film was studied, which were the discharge power, the distance between thin film and electrode, film moving speed, and the guide roll temperature. The relation between film surface tension and film air permeability after corona treatment was discussed. The influencing rule of corona treatment on film air permeability was established. The results showed that corona treatment has significant influence on surface tension and air permeability of the film. The purpose was to provide reference for establishing mathematical model between corona treatment and air permeability of film, and reliable numerical calculation of film air permeability for modified atmosphere packaging design.

Key words: pulsed corona treatment; modified atmosphere packaging; film permeability, surface tension

气调包装是一种成本较低且应用广泛的食品包装形式, 是利用薄膜的透气性能在气体分压差的作用下, 使气体从浓度高的一侧逐渐渗透到浓度低的一侧, 从而在包装空间内形成并保持具有理想浓度的低氧高碳的气调环境, 从而对新鲜果蔬产品、奶制品、烘焙食品等具有显著的保鲜效果^[1-4]。常用的气调包装薄膜为低表面能的非极性 PP 膜和 PE 膜, 为满足气调包装的实际生产需要, 改善薄膜的表面张力和透气率, 一般须对薄膜进行表面脉冲电晕处理^[5-6]。

目前国内外关于气调包装薄膜透气率的研究是基于未进行电晕处理的薄膜, 或者没有研究电晕处理因素与薄膜透气率之间的关系^[7-12], 而脉冲电晕式的表面处理改变了薄膜表面高分子的结构及形态, 改善了薄膜的表面性能, 同时也改变了被处理薄膜的透气性能, 使薄膜的透气率数值发生改变^[13]。由此可见, 原来测量得到的未经处理薄膜的透气率值显然不再适合用来设计经表面处理过的薄膜作包装材料时气调包装的规格参数。

收稿日期: 2013-08-20

基金项目: 产品包装与物流广东普通高校重点实验室开放基金资助(2011001)

作者简介: 段华伟(1977-), 男, 河南人, 工学博士, 博士后, 副研究员, 广东壮丽彩印股份有限公司技术总监, 主要从事印刷包装工艺与材料方面的研究。

笔者通过对 PP 和 PE 薄膜表面电晕处理后,采集了大量数据,详细研究了电晕处理各因素对薄膜的表面张力和透气率变化的影响,探讨了脉冲电晕处理对塑料薄膜透气性能影响的规律,为后续建立电晕处理与薄膜透气率之间的数学模型及气调包装的工程化实践奠定了基础。

1 实验

1.1 原料与设备

实验原料与设备:PE,PP 薄膜(厚度 25 μm),佛山市顺德区茂华塑料包装有限公司;EBE-DY0205 高频电晕表面电晕处理机,东莞恒晖彩印机械厂有限公司;SDH05 恒温恒湿箱,上海建恒仪器有限公司;Labthink OX2/231 氧气透过率测试仪,济南兰光机电技术有限公司;Labthink CHY-C2 薄膜测厚仪,济南兰光机电技术有限公司;英国舒曼达因笔,郑州维因纳科贸有限公司。

1.2 PP 和 PE 薄膜的电晕处理

分别取 3 种厚度的 PE 膜和 PP 膜各 1 卷,采用 EBE-DY0205 高频电晕表面电晕处理机(东莞恒晖彩印机械厂有限公司)进行电晕处理。依次改变放电功率、电极与膜之间的距离、走膜速率、导辊温度等 4 个因素的设定值,对薄膜进行处理。处理后的薄膜不再复卷,立即裁成片材,作好标记后放恒温恒湿箱保存(温度为 25 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 75%)。

1.3 PP 和 PE 薄膜的透气率及表面张力的测试

将 PP 膜及 PE 膜分别在电晕处理后的 1,5,10,16,24,36,48,72 h,用 Labthink 透氧仪和达因笔测试薄膜的透气率和表面张力。

1.4 电晕处理后的 PP 和 PE 薄膜的耐候性测试

将电晕处理后的 PP 和 PE 薄膜放置于室温条件下,每隔 1 d 对薄膜进行透气率和表面张力的测定并记录。

2 结果与讨论

2.1 电晕处理对 PE 和 PP 薄膜透气率的影响

分别改变电晕机的放电功率(W)、电极和膜之间的距离(H)、走膜速率(v)和导辊温度(T)可以获得不同透气率的薄膜。图 1-4 分别为所对应的 PE 和 PP 薄膜透气率与 4 种影响因素的关系。

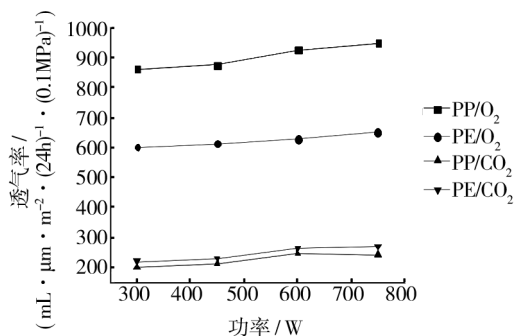


图 1 放电功率对 PP,PE 薄膜透气率的影响

Fig. 1 Effect of discharge power on the air permeability of PP and PE film

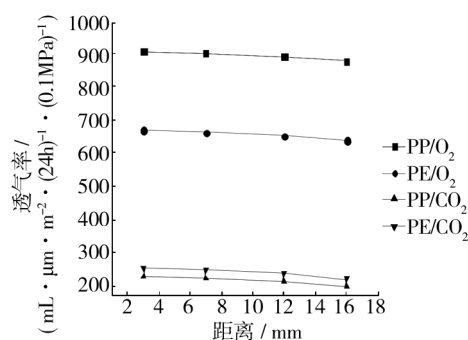


图 2 电极和薄膜之间的距离对 PP,PE 薄膜透气率的影响

Fig. 2 Effect of the distances between electrode and the film on air permeability of PP and PE film

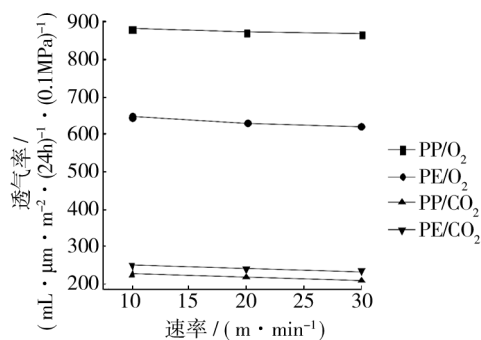


图 3 走膜速率对 PP,PE 薄膜透气率的影响

Fig. 3 Effect of film moving speed on the air permeability of PP and PE film

从图 1-4 中可以看出 PP 膜和 PE 膜的透气率受电晕处理 4 个因素的影响。PP 膜和 PE 膜的氧气透过率和二氧化碳透过率随着电晕处理放电功率和导辊温度的增加呈现增长的趋势,随着电极和薄膜之间的距离及走膜速率的增加而略有减小,表明电晕处理对 PP 膜和 PE 膜表面的化学结构产生了明显的变化,

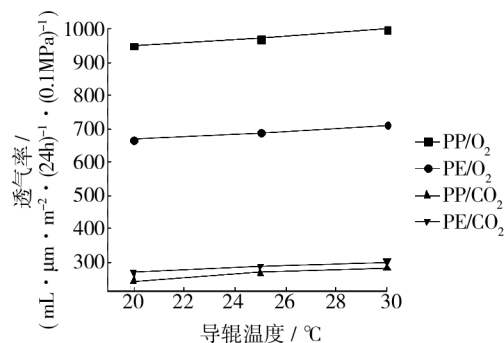


图4 导辊温度对 PP,PE 薄膜透气率的影响

Fig. 4 Effect of guide roll temperature on the air permeability of PP and PE film

其表面的平整性遭到破坏,出现不规则隆起,表面变得粗糙,局部的厚度变薄,根据费克扩散定律,薄膜的透气率也随之增大。

2.2 电晕处理对 PE 和 PP 薄膜表面张力的影响

薄膜表面的电晕处理,实质上是改变薄膜的表面张力。PP 和 PE 2 种薄膜的表面张力与电晕处理放电功率、电极与膜之间的距离、走膜速率和导辊温度间的关系见图 5-8。

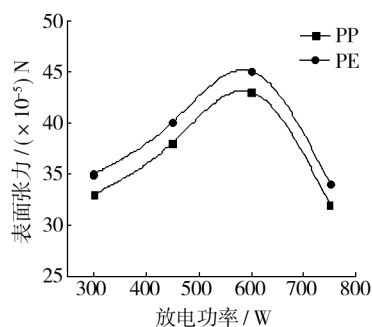


图5 放电功率对 PP,PE 薄膜表面张力的影响

Fig. 5 Effect of discharge power on surface tension of PP and PE film

从图 5 中可以看出,随着放电功率的增大,2 种薄膜的表面张力也随之增大,这是因为随着放电功率的增大,电晕放电所产生离子的能量逐渐增大至与薄膜表面分子的化学键能相接近,因此能诱发薄膜表面分子的化学键断裂而裂解,增大薄膜的表面粗糙度,同时放电产生的臭氧是一种强氧化剂,它使薄膜的表层分子氧化,产生羰基、羧基等极性基团,从而使薄膜表面具有极性,薄膜的表面张力增大^[14]。当放电功率增大到一定强度后,薄膜的表面结构破坏严重,同时电晕处理时产生的离子附着在薄膜表面,从而使薄

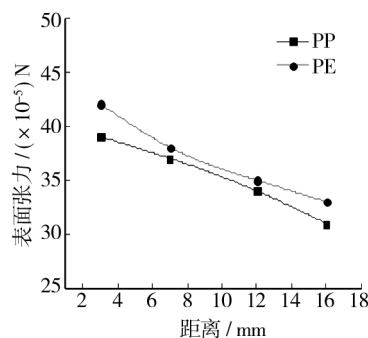


图6 电极和膜之间的距离对 PP,PE 薄膜表面张力的影响

Fig. 6 Effect of the distances between electrode and the film on surface tension of PP and PE film

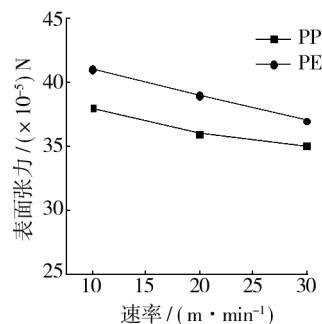


图7 走膜速率对 PP,PE 薄膜表面张力的影响

Fig. 7 Effect of film moving speed on surface tension of PP and PE film

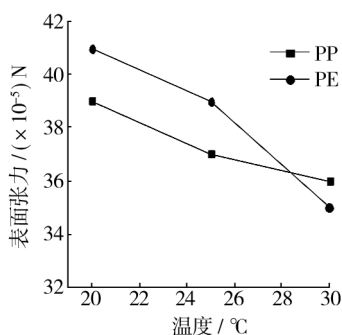


图8 导辊温度对 PP,PE 薄膜表面张力的影响

Fig. 8 Effect of guide roll temperature on surface tension of PP and PE film

膜的表面张力降低。

如图 6-8 所示,PP 和 PE 2 种薄膜的表面张力随着电极与薄膜之间距离的增大、走膜速率的加快和导辊温度的升高而出现下降的趋势。这是因为增大了电极与薄膜间的距离,电晕处理时高频率高电压放电所产生的离子到薄膜表面时,会出现能量的部分衰减,从而使薄膜表面的表面能下降,薄膜表面的表面

张力也随之降低;走膜速率的加快,使薄膜表面接受电晕处理的时间缩短,从而导致薄膜表面张力的降低。同时导辊温度的升高,薄膜表面的分子能量也随之增大,薄膜表面的极性基团在外界能量的作用下向内运动,而薄膜内低能量的非极性基团加速迁移到薄膜表面^[15],从而导致薄膜表面能下降,表面张力降低。

2.3 电晕处理后的 PP 和 PE 薄膜的耐候性

将 PP 和 PE 2 种薄膜分别在 450 W 和 750 W 放电功率的条件下电晕处理后,置于温度为 25 ℃,相对湿度为 75% 的恒温恒湿环境下测试其表面张力及透气率,表面张力和透气率随时间的变化见图 9-10。

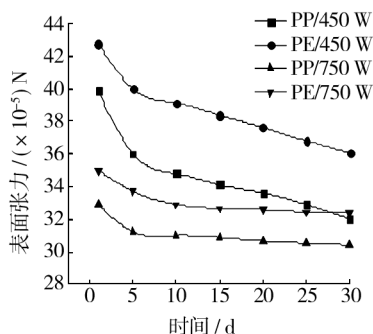


图9 分别在发电功率 450 W 和 750 W 电晕处理的

PP, PE 薄膜的表面张力与放置时间的关系

Fig. 9 Relationship between storage time and surface tension of PP and PE films treated by corona at the power of 450 W or 470 W

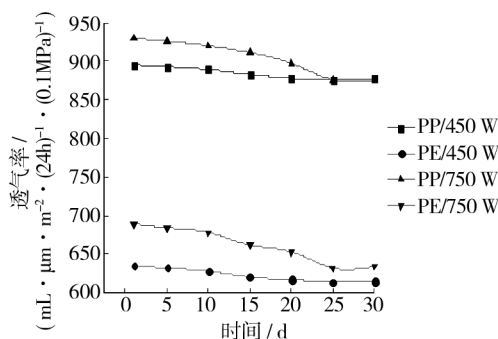


图10 分别在发电功率 450 W 和 750 W 电晕处理的

PP, PE 薄膜的透气率与放置时间的关系

Fig. 10 Relationship between storage time and air permeability of PP and PE films treated by corona at the power of 450 W or 470 W

从图 9 可以看出,4 种薄膜的表面张力随着放置时间的延长而逐渐降低。在最初的 5 d 时间内,薄膜

的电晕处理效果消失速度较快,表面张力下降幅度较大,随着放置时间的延长,薄膜表面张力的下降幅度逐渐平缓,放置 30 d 后,经过电晕处理的 4 种薄膜的表面张力仍然比未经过电晕处理的薄膜的表面张力大。引起薄膜电晕效果逐渐消失的原因主要是薄膜表面的高分子链在外界能量的作用下自由旋转,使表面的极性基团逐渐迁移到分子内部,而低能量的非极性基团裸露在高聚物外部,从而导致薄膜表面的能量降低,表面张力下降^[8],同时电晕处理得到的高能表面在长时间的放置过程中,易于吸附外界杂质而导致表面能下降,所以电晕处理后的薄膜的表面张力随着放置时间的延长而逐渐降低。从图 9 还可以看出,在 30 d 的放置时间内,在放电功率 450 W 条件下电晕处理的薄膜的表面张力比在放电功率 750 W 条件下电晕处理的薄膜的表面张力大,450 W 电晕处理的薄膜保持表面张力的能力相比较 750 W 电晕处理的薄膜好。这是因为 450 W 的电晕处理功率足以使薄膜的分子链断裂极化,而随着处理功率的增大,会使薄膜的表面被过度处理形成弱边界层,破坏薄膜的表层结构,使内部低能的非极性基团析出而加快表面张力的降低。

从图 10 可以看出,电晕处理后的 PP, PE 薄膜的透气率随着放置时间的延长而逐渐减小,在前 10 d 内薄膜的透气率变化很小。经过 30 d 的放置后,被电晕处理后的薄膜的透气率仍旧比未经处理的薄膜的透气率高。这是因为在电晕处理过程中,薄膜表面的高分子受高能离子的电子侵蚀而发生反应,使薄膜表面变粗糙,表面平整性被破坏,导致薄膜表面局部厚度减小,而引起透气率的提高。随着放置时间的延长,薄膜的高能表面逐渐降低,裸露在外部的极性基团逐渐往高分子链内部迁移,而内部的低能量非极性基团不断外迁,随着分子链的极性和非极性基团的内外迁移,高分子链自由旋转,使薄膜表面的局部不平整得到部分修复,从而降低了薄膜的透气率,但经过电晕处理后的薄膜表面的平整性依旧比未经电晕处理的薄膜粗糙,所以放置 30 d 后,薄膜的透气率依旧比未经处理的薄膜大 5% ~ 10%。

3 结语

通过对食品包装用 PP 膜和 PE 膜进行脉冲电晕处理,研究了薄膜的透氧率、透二氧化碳率、表面张力

与电晕处理 4 因素的关系,并建立了电晕处理后薄膜的透气率及表面张力的耐候性之间的关系。结果表明:PP 和 PE 薄膜的透气率随电晕时的电功率及导辊温度的提高有所增大,它们的透气率随电极与膜之间的距离和走膜速率的增大有所降低;经过电晕处理的薄膜的表面张力明显增大,且薄膜具有良好的耐候性。通过对电晕处理后薄膜透气率和表面张力的变化规律的研究,为气调包装设计提供可靠的薄膜透气率数值计算,为后续建立电晕处理与薄膜透气率之间的数学模型奠定基础。

参考文献:

- [1] 段华伟. 鲜果气调包装的理论与试验研究[D]. 南京:江南大学,2010.
DUAN Hua-wei. Theoretical and Experimental Research on Modified Atmosphere Packaging for Fresh Fruits[D]. Nan-jing:Jiangnan University,2010.
- [2] DUAN Hua-wei, WANG Zhi-wei, HU Chang-ying. Development of a Simple Model Based on Chemical Kinetics Parameters for Predicting Respiration Rate of Carambola Fruit[J]. Int J Food Sci Technol,2009,44:2153-2160.
- [3] KADER A A, ZAGORY D, KERBEL E L. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables[J]. Crit Rev Food Sci Nutr,1989,28(1):1-30.
- [4] 段华伟,王志伟,胡长鹰. 面向工程应用的果蔬气调包装设计理论与方法[J]. 包装工程,2010,31(3):1-4.
DUAN Hua-wei, WANG Zhi-wei, HU Chang-ying. Engineering-oriented Theory and Method of Modified Atmosphere Packaging Design of Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering,2010,31(3):1-4.
- [5] 李强. 不干胶涂布机电晕部的改造[J]. 中华纸业,2010,31(22):85-86.
LI Qiang. The Transformation of Corona Department of Press Sensitive Glue Coating Machine[J]. Paper Industry,2010,31(22):85-86.
- [6] 焦明立. 洛阳石化 BOPP 薄膜电晕系统探讨[J]. 自动化博览,2009(5):100-104.
JIAO Ming-li. Study on the Corona System of BOPP Line [J]. Automation Panorama,2009(5):100-104.
- [7] 王北平. 聚丙烯薄膜的表面处理及应用技术[J]. 印刷技术,1993(4):7-8.
WANG Bei-ping. Surface Treatment Technology and Application of Polypropylene Film[J]. Printing Technique,1993(4):7-8.
- [8] 张和平. VMCP 薄膜表面张力影响因素研究[J]. 塑料包装,2008,18(4):28-33.
ZHANG He-ping. Study on the Influence Factors of Surface Tension of VMCP Film[J]. Plastic Packaging,2008,18(4):28-33.
- [9] 梁滨. 聚氟乙烯(PVF)薄膜的表面处理[J]. 材料工程,1994(11):13-14.
LIANG Bin. The Surface Treatment of Polyvinyl Fluoride [J]. Materials Engineering,1994(11):13-14.
- [10] 李焱,李常胜,黄献聪. 电晕处理对 UHMWPE 纤维的性能影响[J]. 合成纤维工业,2010,33(3):36-38.
LI Yan, LI Chang-sheng, HUANG Xian-cong. Effect of Corona Treatment on Properties of UHMWPE Fiber[J]. China Synthetic Fiber Industry,2010,33(3):36-38.
- [11] 刘俊清,郝永红. 关于 BOPP 薄膜表面张力变化的探讨[J]. 出口商品包装,2003(2):31-40.
LIU Jun-qing, HAO Yong-hong. Discussion on the Changes of Surface Tension of BOPP Film[J]. Export Packaging,2003(2):31-40.
- [12] WILHOIT D L, et al. Process of Corona Treating a Thermoplastic Tubular Film; United States, 5407611 [P]. 1995-04-18.
- [13] 周先进,赵燕,麦建国. BOPP 薄膜电晕处理及效果研究[J]. 现代塑料加工,2004,16(4):25-27.
ZHOU Xian-jin, ZHAO yan, MAI Jian-guo. Study on Corona Effect and Treatment of BOPP Film[J]. Modern Plastics Processing and Applications,2004,16(4):25-27.
- [14] 魏先福,黄蓓青,陆金桥. 电晕处理对塑料表面性能及印刷适性影响的研究[J]. 北京印刷学院学报,2007,15(4):1-4.
WEI Xian-fu, HUANG Bei-qing, LU Jin-qiao. Study of Corona Discharge Affecting Surface Properties and Print Abilities of Plastic[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication,2007,15(4):1-4.
- [15] 王莉,李瑞娟. 塑料薄膜印前电晕处理研究[J]. 印刷世界,2012(9):24-28.
WANG Li, LI Rui-juan. Study on Prepress Corona Treatment of Plastic Film[J]. Print World,2012(9):24-28.