乳制品成型包装透光检测装置的设计

柴春节，刘玉茹，王　岩，李欣怡，华晓巍

蒙牛乳业（齐齐哈尔）有限公司，黑龙江齐齐哈尔 161000

摘　要：[目的]包装直接影响乳制品保质期。为解决传统人工检测方法自动程度低、效率低、准确性差的问题，提升检测效率和准确性。[方法]设计一款成型包装透光检测装置。研究光源、磁吸模组、升降暗室、结果观察模块，借助3D打印技术实现包装与光源吻合性，利用螺杆升降原理实现暗室密闭性，利用内窥镜、软件互联方式实现检测结果追溯性。[结果]对装置进行试验的结果表明，手工法，透光检出率为62%，而仪器法检出率达到90%，检出率提升28%。[结论]该设备可测量乳制品成型包装透光性，实现自动化、提升准确性。本研究为乳制品成型包装透光检测装置的设计提供新思路。

关键词：乳制品；成型包装；透光检测；自动装置；自主研发

文章编号：1671–4393（2025）03–0100–05　　DOI:10.12377/1671–4393.25.03.16

0 引言

行业发展对包装材料要求越来越高，尤其对于包装保质期功能提出更高标准[1]。确保乳制品运输、储存过程品质稳定和延长保质期已成为一种趋势，长保质期的乳制品包装在我国液态奶市场应用广泛[2]。

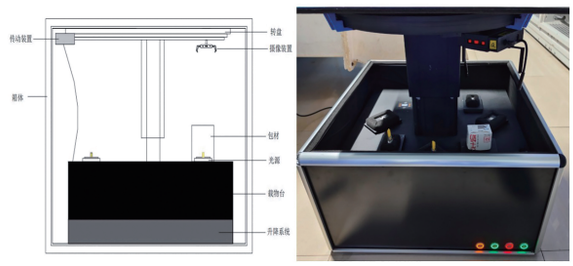
乳制品在强光照射下，营养成分被破坏，易发生光降解反应，从而产生异味，使营养质量下降[3, 4]。为解决乳制品在强光照射下的光降解问题，成型包装的透光性成为重要指标。然而，目前国内外对于成型包装透光性的检测研究还比较缺乏，主要为PVB膜的透光率检测装置[5]、望远镜镜片生产用透光检测装置[6]。现有检测设备不能满足市场需求。本文设计一种乳制品成型包装透光检测装置，解决传统检测方法自动程度低、效率低、准确性差的问题。通过引入先进技术和设备，可实现对成型包装透光性快速、准确检测，保证产品品质、提高市场竞争力，为推动乳制品行业发展，促进包装技术进步提供新技术支撑。

作者简介：柴春节（1986–），女，黑龙江绥化人，本科，助理工程师，研究方向为食品科学与工程；
刘玉茹（1982–），女，内蒙古赤峰人，本科，中级工程师，研究方向为生物科学；
王　岩（1985–），女，黑龙江齐齐哈尔人，本科，研究方向为食品安全管理；
李欣怡（2000–），女，黑龙江哈尔滨人，本科，研究方向为乳品工程；
华晓巍（1983–），男，吉林吉林人，本科，研究方向为食品加工与检验。

中国乳业线上阅读

1 总体结构及工作原理

成型包装透光检测装置主要由光源、磁吸模组、升降暗室、结果观察模块组成（图1）。



结构图　　实物图

图 1 成型包装透光检测装置

升降系统置于整个装置底座中间，其作用是带动箱体上盖上下移动，使暗室内无可见光。8 个磁吸模组吸附于载物台上，其作用是提供电源和光源。上盖下方增加自主供电的电动转盘，其作用是带动摄像头装置转动，使人眼360° 观察包材透光。

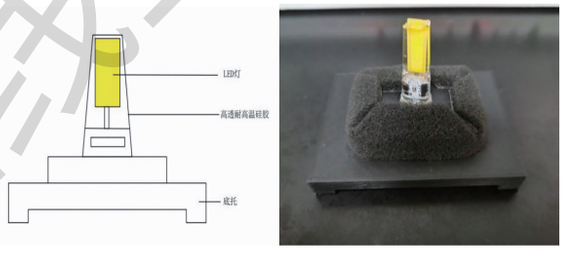
可见光波长范围为380～780 nm，是人眼可观察到的光。LED光源中，用紫外线激发荧光粉，得到白光（可见光），或用紫光激发荧光粉，得到黄光或红光等。这一规律是科学家斯托克斯发现的，因此称为斯托克斯定律[7]。基于可见光的透射、折射和反射原理，通过LED光源提供可见光，实现成型包装透光性的测量。

成型包装透光检测装置工作时，处理后的包材放置在磁吸模组上，LED光源提供的可见光通过成型包材时，发生透射、折射和反射。由于包材对可见光的阻光性，大多数可见光波无法通过包材投射到人的视网膜上，人眼观察不到光，表明包材不透光。相反，成型包材由于弯折、挤压等操作，局部阻光性差，人眼可直接观察到光，表明包材透光。

2 关键部件设计

2.1 光源

光源模块主要由LED灯、高透耐高温硅胶、底托构成。其中，光源作为检测过程核心部件，在光源选择和设计中，需综合考虑类型、形状、发热问题以及连续工作性能等多方面因素。在类型方面，LED、红外和紫外光源各具特点。鉴于设计需求，光源要体积小（6～12 cm^3），照射到包材表面的照度满足标准光源要求（1 500～2 500）。以上3 个类型的光源均可满足要求，但是基于成本限制，LED光源是最佳选择。形状设计主要包括条形光源、方形无影光源、环形光源。条形光源、缺陷包装纸的相关性最强，即条形光源对不同缺陷类型的包装纸影响最大[8]，因此将光源设计成条形。此外，小体积LED光源使用过程易发热，使用周期约为10 min，无法满足连续检测要求。为此，通过在光源表面压缩一层耐热性强的高透耐高温硅胶，可将使用周期延长至60 min，满足连续检测要求（图2）。



结构图　　实物图

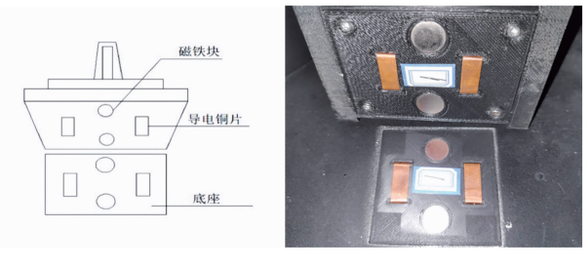
图 2 光源结构

2.2 磁吸模组

磁吸模组由光源底座、供电底座组成。光源底座由包材模具、底座组成，利用磁铁块强大吸附力，将光源吸附[9, 10]在底座上，使导电铜片直接接触，为光源提供稳定的电源，解决外接电源线缠绕问题。在装置工作过程中，人眼观察到的光是光经过包材产生的可见光，由于光源与包材不完全契合，导致光线从缝隙穿过被人眼观察到，影响检测结果准确性。为解决这一问题，采取封口和契合两种方式对比分析，采用封箱胶、封口器、封口膜等方式进行封口[11]。现场试验表明，人为封口工作效率低。因此，引入3D打印技术[12]快速制作包材模具，具有契合产品原型和人力成本低的优点。使用

中国乳业线上阅读

3D打印技术制作不同包材类型模具，形状、大小与包装横切面一致，再将成型包装人工从中间均匀分割，将分割后的包装人工放在模具上，包材完全契合，实现完全密闭要求（图3）。

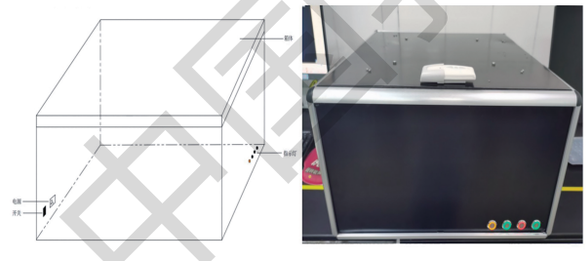


结构图　　实物图

图 3 磁吸模组结构

2.3 升降暗室

暗室提供黑暗环境是提升检测精准度的必要条件。需确保检测样品放入暗室后，能有效滤除所有线性光源，避免任何光线对检测结果产生影响。为达到这一目的，暗室采用阻光性强、使用寿命长的黑色亚克力板制作，亚克力板具有很高的阻光性，使线性光源无法进入暗室，从而提供无光检测环境。在暗室设计中，安装内旋螺杆升降系统[13]，通过螺旋杆带动上盖上下移动。将样品放在磁吸底座上待检测，保证暗室内无光线（图4）。



结构图　　实物图

图 4 箱体

2.4 结果观察模块

成型包装透光检测中，传统的人眼直接观察包材因存在光线干扰及人为疏忽，容易降低结果准确性。为消除光线干扰，装置增加了一种采用摄像头替代人眼观察的检测系统。

摄像头需体积小、分辨率高、无线连接等功能，研究对比多类摄像头，仅双摄像头（内窥镜）[14]满足观察要求。

设计制作1 个四摄像头wifi内窥镜装置，两两相对放置，便于电动转盘转动时360° 观察。设计内置充电电池，充电后可独立使用，待机时间可达60 min。四摄像头分别配备独立的“HO WiFi”APP观察软件，ISO设备和安卓设备均可下载使用，软件功能包括拍照、录像、照片和录像储存、分辨率设置、画面旋转、电池电量监控、调节灯光和分屏功能。检测过程中工作人员可操作摄像头观察，观察结果直接记录在APP中，可保证检测结果可追溯性。该设计不仅提高检测准确性，也大大提高工作效率（图5）。



实物图　　软件下载路径

图 5 结果观察模块

3 装置试验

3.1 试验方法对比

3.1.1 手工法

将成型包装从无拼接和棱角面开口，倒出内容物，用纯净水将包材冲洗干净待检，在一个黑暗房间里用手电筒照射包材外部，在包材内部观察有无透光，完成包材透光性检测。

3.1.2 仪器法

装置连接电源后，按遥控器“△”键上升上盖。将摄像头安装在电动转盘下方，开关调至“ON”。人工从中间均匀分割成型包装，倒出内容物，将分割后的包装人工放在磁吸模组上。按遥控器“▽”键下降上盖，闭合暗室。按“□”键开启

中国乳业 已阅读

表 1 自制阳性样品数据汇总

检测位点	样本数量（组）	不合格数量（组）
折痕线（底部）	20	10
折痕线（侧边）	20	10
折痕线（顶部）	20	10
吸管口	20	10
包材表面	20	10

表 2 手工法、仪器法数据对比　　单位：个

方法	折痕线（底部）	折痕线（侧边）	折痕线（顶部）	吸管口	包材表面	检出率（%）
手工法	3	5	3	10	10	62
仪器法	8	9	8	10	10	90

光源，按遥控器“O”键转动电动转盘，通过独立的“HO WiFi”APP观察软件，观察箱体内透光情况，同时用照片和录像功能记录结果。

3.1.3 阳性样品制作

抽取100 组样品，人工方式制作具有不同位置透光点的阳性样品，透光位置包括折痕线（底部、侧边、顶部）、吸管口、包材表面，人为制作阳性样品占比50%，对比使用手工法、仪器法进行试验，具体自制阳性样品数据汇总见表1。

3.2 试验结果分析

经过详尽的数据分析和对比测试，本文发现手工法在识别缺陷产品方面的效率为62%，而仪器法的检出率达到了90%，检出率显著提升28%。这一显著改善结果表明，设备可测量乳制品成型包装透光性，实现自动化、提升准确性（表2）。

4 结论

通过成型包装透光检测装置的设计，成功解决手工法自动程度低、效率低、准确性差的问题，实现自动化检测、准确性提升目标。研究结果验证装置设计方案的可行性。

该装置融合了自主研发的高亮度光源、3D打印技术的磁吸模组和无线连接APP的观察软件等先进技术。经过测试，该装置能够检测出包材透光位置，可广泛用于乳制品行业进行包装透光监控。该装置升级、完善对生产企业和供应商有重要意义[15]，将在成型包装质量风险监控和质量提升方面起关键作用。

参考文献

[1] 徐红斌，叶青，刘洋.我国现行乳制品分类体系比较[J].中国乳品工业，2023，51（10）：49–55.

[2] 郗燕梅，王娟，潘明慧，等.包材对常温奶感官及风味品质的影响研究[J].中国乳品工业，2023，51（2）：32–39.

[3] Mestdagh F，Meulenaer B D，Clippeleer J D，et al.Protective influence of several packaging materials on light oxidation of milk[J].Journal of Dairy Science，2005，88（2）：499–510.

[4] Smet K，Block J D，Campeneere S D，et al.Oxidative stability of UHT milk as influenced by fatty acid composition and packaging[J].International Dairy Journal，2009，19（6）：372–379.

[5] 何彩霞.一种PVB中间膜透光率检测装置[P].浙江省：CN2023220257108.1，2024–01–30.

[6] 朱发永，朱桂宇，朱帅年，等.一种望远镜镜片生产用透光检测装置[P].河南省：CN202321224483.4，2024–01–05.

[7] 施克孝.可见光、电磁波及原子的发光原理——LED知识（一）[J].演艺科技，2011（4）：14–16.

[8] 王天怡，王鑫，曹兴强，等.基于机器视觉的内层包装缺陷检测光源的优化[J].包装工程，2019，40（17）：174–181.

[9] 樊渊.一种基于磁吸原理的收集装置[P].江苏省：CN218080965U，2022–12–20.

[10] 梁璐，张文钢，王亚旭，等.基于可拆磁吸原理的合闸线圈快速拆装工具的设计及应用[J].中国新技术新产品，2023（18）：81–83.

[11] 郑秋璇，陈磊.兼有废弃收纳功能的坚果包装设计[J].绿色包装，2023（4）：72–76.

中国乳业线上阅读

[12] 2022年我国国内3D打印市场规模将近360 亿[J].中国包装，2020，40（12）：6.
[13] 谢荣宗.一种螺杆升降器[P].中国澳门：CN105621201B，2018-07-31.
[14] 卢军.双摄像头（内窥镜）[P].广东省：CN306079374S，2020-09-29.
[15] 郑日俊，张琳，王燕，等.一款基于易语言开发的乳品分析仪辅助工具[J].中国乳业，2025（2）：109-113.

Design of Transparent Detection Device for Dairy Product Forming Packaging

CHAI Chunjie，LIU Yuru，WANG Yan，LI Xinyi，HUA Xiaowei
Mengniu Dairy（Qiqihar）Co.，Ltd.，Qiqihar Heilongjiang 161000

Abstract：[Objective]Packaging directly impacts the shelf life of dairy products. To address the limitations of traditional manual methods, such as low automation, inefficiency, and poor accuracy, this study aimed to enhance detection efficiency and precision. [Method]A transparent detection device for dairy product forming packaging was designed. Key components, including the light source, magnetic adsorption modules, an adjustable light-proof chamber, and a result observation module, were optimized. 3D printing technology ensured precise alignment between packaging and the light source, while a screw-driven lifting mechanism improved chamber sealing. An integrated endoscope and software interconnection enabled traceable detection results. [Result]Comparative experiments demonstrated that the manual method achieved a transparent detection rate of 62%, whereas the instrument-based method reached 90%, marking a 28% improvement. [Conclusion]The device can measure the transparent detection for dairy product forming packaging, achieving automation and enhanced accuracy. This research provided innovative insights for the development of transparent detection systems in the dairy industry.

Keywords：dairy product；forming packaging；transparent detection；automatic device；independent research and development

中国乳业线上阅读