

运输包装件低气压振动模拟试验方法

陈志强¹, 尹兴², 魏娜², 杨林³

(1.中包包装研究院有限公司, 天津 300457; 2.天津职业大学 包装与印刷工程学院, 天津 300410;
3.苏州中包包装测试技术有限公司, 江苏 苏州 215101)

摘要: **目的** 在常温下通过控制低气压和振动双危害因素, 研究一种模拟运输的试验方法, 用于评估物流包装对产品的保护性能。**方法** 研发一种低气压振动试验装置, 将其与振动系统相结合, 在实验室内模拟高原运输或飞机运输中的低气压环境条件。实现一种能够在特定的温湿度下控制低气压和振动综合环境因素的试验方法。**结果** 低气压振动试验系统能够满足 ISTA 3A 中的试验要求, 根据国内外低气压试验标准和随机振动试验标准, 制定了低气压振动综合试验方法。**结论** 对于评价高海拔卡车、铁路和航空运输包装件的模拟试验提供了可行性依据。

关键词: 包装件; 运输安全; 低气压振动; 高原运输; 飞机运输; 试验方法

中图分类号: TB485.3; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)05-0157-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.05.020

Simulation Test Method for Low Pressure Vibration of Transport Package

CHEN Zhi-qiang, YIN Xing², WEI Na², YANG Lin³

(1.China Packaging Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300457, China;
2.School of Packaging and Printing Engineering, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
3.Suzhou Zhongbao Packaging Testing Technology Co., Ltd., Suzhou 215101, China)

ABSTRACT: The work aims to study a transportation simulation test method by controlling the harmful factors of low air pressure and vibration at room temperature, to evaluate the protection performance of logistics package to products. Through the research and development of a low-pressure vibration test device, and combining it with the vibration system, the low-pressure environment conditions of plateau transportation or high-altitude transportation was simulated in the laboratory to realize a comprehensive simulation environment test method that can control the integrated environment factors of low-pressure and vibration at certain temperature and humidity. The low pressure vibration test system can meet the requirements of low pressure vibration test in ISTA 3A standard. A combined test method of low pressure and vibration was developed according to low pressure and random vibration test standards at home and abroad. It provides feasibility basis for the evaluation of the simulation test of high altitude truck transportation, railway transportation and air transportation.

KEY WORDS: packaged-product; transportation safety; low pressure vibration; plateau transportation; aircraft transport; test method

收稿日期: 2020-06-23

基金项目: 天津职业大学校企协同创新项目 (SSJ-JS2020061); 天津职业大学横向科研项目 (20200135)

作者简介: 陈志强 (1982—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为运输包装。

物流包装件作为生产的终点、物流的起点,是物流过程的重要组成部分,在很大程度上决定了现代物流的运作效率,其设计的合理性直接影响到物流过程中运输包装件的安全性和减损程度^[1]。文中研究低气压和振动双危害同时作用对运输包装件密封性的影响,主要可用于模拟货物在高海拔卡车、火车运输和飞机非增压仓运输的环境。我国作为多高原山地的国家,海拔2000 m以上的陆地面积约占全国陆地总面积的33%,3000 m以上的面积占16%。云贵、青藏、内蒙古和西北黄土这四大高原的海拔高度为2000~4500 m^[2]。云贵高原大致以乌蒙山为界,分为云南和贵州高原,海拔在400~3500 m之间。在青海省内,海拔高于3000 m的高原公路约占全省总公路里程的80%。青藏铁路的海拔为5072 m^[3]。内蒙古高原作为中国第二大高原,一般海拔在1100 m左右,南高北低,北部形成东西向低地,最低海拔降至600 m左右。黄土高原东西长度大于1000 km,南北宽度为750 km,位于中国第2级阶梯之上,海拔高度为800~3000 m。研究表明,快递在航空运输飞行中,高度在3000 m以上的时间大约占到总航程时间的1/3,最高海拔可达6100 m^[4]。对于需要进行高海拔运输和航空运输的包装件,为了更好地模拟实际运输情况,应进行低气压和振动双危害共同作用的测试。我国现有的测试标准没有对这种方法的规定,并且目前在这方面的研究也比较少。国内外对于低气压和振动模拟试验方法的研究主要集中在低气压单独模拟试验方法和车辆振动中随机振动的模拟试验方法。对于模拟运输包装件低气压和振动综合环境的研究较少。

1 低气压振动综合试验方法

1.1 试验原理

在运输过程中,运输包装件可能会经历卡车运输、铁路运输或航空运输等情况,运输工具的振动会对运输包装件产生一定的危害,进而对产品产生危害(如产品磨损、变形、破损等)。在途径高海拔地区或经历航空运输时,由于气压的变化,包装件不仅受到振动的影响,还会受到低气压的影响,当低气压和振动同时作用在包装件上时,不能单独用低气压试验或振动试验来模拟产生的危害,需要一种同时进行低气压试验和振动试验的综合装置来模拟包装件受到的危害。低气压和振动综合测试原理和样品放置方式见图1。

1.2 试验方法

将透明抗压仓与振动系统相组合,将试样按正常的运输状态放入抗压仓内,连接相关构件,用真空泵将气压值抽到试验标准,然后在控制系统中输入随机振动条件进行试验。低气压振动试验的主要参数包括

气压值、降压速率、随机振动强度和测试时间。试验样品为运输包装件,试验的目的为检测运输包装件和包装容器整体抵御运输过程中的振动和低气压双危害的能力。

在 GB/T 4857.13^[5]低气压试验方法和 ASTM D6653—01^[6]低气压试验方法中,规定了在海拔较高的地面运输和飞机运输的过程中运输包装件和单元货物耐低气压影响的能力和包装对内装物的保护能力,并规定了在试验过程中的降压速率不超过15 kPa/min。不同飞行高度对应的气压值见表1。

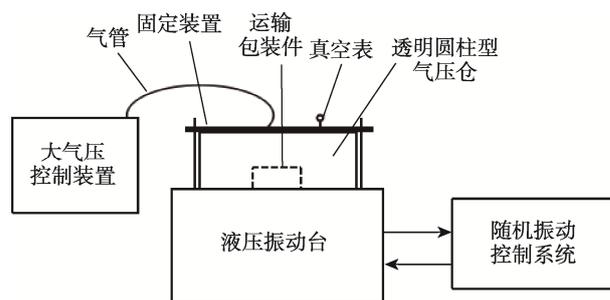


图1 运输包装件低气压振动综合试验测试系统
Fig.1 Low pressure and vibration test system for transport packaged product

表1 海拔高度与大气压力
Tab.1 Altitude and low pressure

高度/km	大气压力/kPa
3.5	65.0
4	61.5
6	47.0
8	35.5
10	26.5
12	19.0
15	12.0
18	7.5
20	5.5

根据 ISTA 3A—2018^[7],测试样品在卡车运输过程中,气压值选70 kPa(等效高度大约为3000 m)。如果测试样品由卡车和飞机运输,气压值选60 kPa(等效高度大约为4250 m)。为模拟实际的运输情况,可根据式(1)计算不同海拔高度对应的大气压力值。

$$p = 101.3 \times \left(1 - \frac{h}{44300}\right)^{5.26} \quad (1)$$

式中: p 为大气压力(kPa); h 为海拔高度(m)。

在 GB/T 4857.23^[8]随机振动试验方法中规定了我国钢簧减振卡车公路运输的随机振动强度,3种强度

的功率谱密度数据见表 2，图谱见图 2，一般情况下选择水平II作为测试强度。

表 2 公路运输中不同严酷水平的随机振动数据
Tab.2 Random vibration data of different severity levels in highway transportation

频率/Hz	功率谱密度/(g ² ·Hz ⁻¹)		
	水平I	水平II	水平III
1	0.000 036	0.000 018	0.000 009
3	0.06	0.03	0.015
4	0.06	0.03	0.015
8	0.007	0.0035	0.001 75
12	0.016	0.008	0.004
30	0.006	0.003	0.0015
40	0.015	0.0075	0.003 75
60	0.0014	0.0007	0.000 35
100	0.001	0.0005	0.000 25
200	0.000 05	0.000 025	0.000 0125
加速度均方根值(G _{rms})	0.82g	0.58g	0.41g

对于使用快递物流零担运输的情况，公路运输可以参考 ISTA 3A—2018 中规定的公路拖车随机振动强度（0.53g）和车辆配送运输模拟随机振动强度（0.46g），谱线见图 3。铁路运输和非增压气航空运输的随机振动强度见表 3。

1.3 试验设备和方法的优缺点

该试验装置造价低，设计合理，完全满足标准要求，且结构简单，无需复杂的环境箱设备，与应用在电工电子产品和军用装备上的低气压振动四综合设备相比，优缺点见表 4。

从试验方法的角度，电工电子类产品的低温低气

压振动测试可以参考 GB/T 2423.42—1995^[9]进行，其中只规定了正弦振动试验方法，不适用于模拟卡车、火车和飞机等实际运输过程。文中采用了目前在国内外运输包装测试方面比较先进的试验方法，能够达到较好的模拟效果。

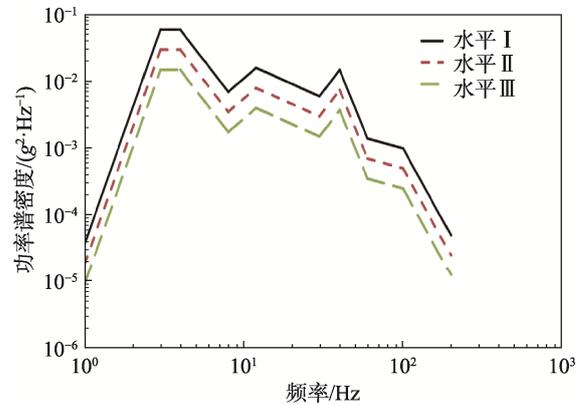


图 2 中国公路运输随机振动 PSD 谱线
Fig.2 PSD curve of random vibration in highway transportation in China

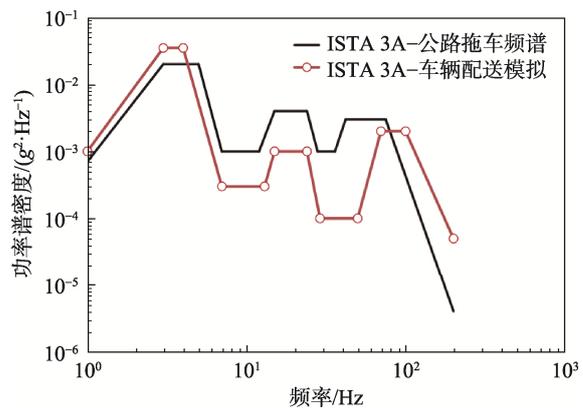


图 3 公路拖车随机振动和车辆配送运输模拟随机振动谱线
Fig.3 PSD curve of random vibration in highway trailer transportation and simulation of vehicle distribution and transportation

表 3 铁路和航空运输随机振动数据
Tab.3 Random vibration data of railway and air transportation

铁路运输		航空运输	
频率/Hz	功率谱密度/(g ² ·Hz ⁻¹)	频率/Hz	功率谱密度/(g ² ·Hz ⁻¹)
1	0.000 01	2	0.0002
2	0.001	12	0.01
50	0.001	100	0.01
90	0.0004	300	0.000 01
200	0.000 01	—	—
加速度均方根(G _{rms})	0.29g	加速度均方根(G _{rms})	1.05g

表4 低气压振动综合试验设备与四综合设备的优缺点
Tab.4 Advantages and disadvantages of low pressure and vibration combined test equipment and four-integrated equipment

项目	新方法	传统方法
制造成本	低	高
综合能耗	低	高
操作性	简单	复杂
过程可视性	可 360°观察	局部
控制参数	气压值、降压速率、振动强度	温度、相对湿度、气压值、振动强度

2 试验方法和应用

2.1 乳制品包装件试验验证

对于电商渠道销售的乳制品产品(纸箱包装件),文中仅模拟其在飞机运输过程中的情况。

2.1.1 试验参数

按照 ISTA 3A—2018《Packaged-products for Parcel Delivery System Shipment 70 kg(150 lb) or Less》中的低气压随机振动试验进行。乳制品纸箱包装件按正常的运输方式放置到低气压振动装置内,见图4。

低气压随机振动试验的参数见表5。

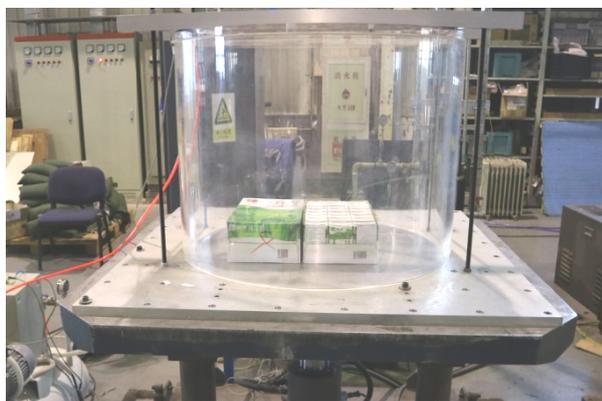


图4 包装件低气压随机振动试验
Fig.4 Random vibration test under low pressure of packaged products

表5 低气压随机振动试验条件
Tab.5 Random vibration under low pressure test conditions

模拟海拔高度/m	气压/kPa	加速度均方根	试验时间/min	备注
3000	70	1.05g	60	试验数据参考表3
4200	60	1.05g	60	

注:用加速度均方根(G_{rms})表示随机振动强度

2.1.2 试验过程

对每个试验阶段进行拍照记录,对比在不同气压和不同振动条件下包装件的变化情况,模拟3000~4200 m海拔高度和120 min飞机运输的低气压随机振动环境。

2.1.3 试验结果

乳制品包装件未出现泄漏和严重变形。

2.2 充气包装件

目前,充气包装大多应用在食品包装中,一些充气包装垫或包装柱用作缓冲和减振包装。在食品领域,充气包装用以延长食品货架寿命,其中充气包装的气体充填量与贮藏运输环境相关^[10]。随着缓冲包装充气量的增加,最小动态和静态缓冲系数增大,并且充气量与尺寸相关。在实际应用中,需要根据产品的质量和设计要求,选择合适的压力值给缓冲垫充气^[11]。充气袋的结构和参数对充气袋的承载力有一定影响,随着薄膜厚度、气室压力和充气压力的增加,充气袋的承载力均有所提高,其中充气压力的影响最为显著^[12]。在空气衬垫振动传递率的影响方面,巩桂芬等^[13]研究表明,当柱形空气衬垫的压差为50, 70, 90 kPa时,空气衬垫的隔振频率区间比较一致,对于高频率的隔振性能较好。当充气包装运到高海拔地区时,需要考虑气压变化对包装材料热封强度和对充气包装垫冲击缓冲和减振效果的影响,还需要考虑包装容器体积变形对运输过程中产品或包装表面的磨损情况。

2.2.1 试验方法和参数

通过低气压振动试验,可以准确地模拟充气包装所经历的物流环境,根据实际物流过程中海拔和运输工具的变化情况,可以从表1中选取不同试验参数、海拔高度对应的低气压参数,振动强度数据从表2—3中选择对应的振动强度谱,试验时间可以参考GB/T 4857.23中规定的计算方法。

2.2.2 试验结果评价

主要检查内装产品是否有不可接受的损坏,充

气包装是否有破损或功能性失效, 销售包装印刷是否有不可接受的磨损, 包装件的尺寸是否发生较大的变化。

2.3 医疗器械包装件

为加强对医疗器械产品注册工作的监督, 进一步提高注册审查的质量, 要求加强医疗器械的包装材料和容器与贮存运输过程的适应性。

2.3.1 试验方法和参数

建议参考 ASTM D4169—16^[14]进行包装件对贮藏运输环境适应性的研究, 对于高原地区和空运情况, 需要考虑运输过程中的气压和振动, 建议的模拟试验条件: 海拔高度为 4267 m, 测试时间为 60 min, 根据运输方式的不同, 选择对应的振动强度, 其中卡车运输的振动强度见表 6。

表 6 模拟试验条件
Tab.6 Simulation test conditions

模拟试验	海拔高度/ m	加速度均 方根	试验时间/ min
		0.70g	5
高海拔卡 车运输	4267	0.54g	15
		0.40g	40
高海拔铁 路运输	4267	0.29g	60
非增压舱 航空运输	4267	1.05g	60

注: 用加速度均方根 (G_{rms}) 表示随机振动强度

2.3.2 试验结果评价

医疗器械的包装密封应完好。

2.4 军品密封包装件

地理环境条件是编制技术规范时应考虑的重点因素之一, 一般情况下的军品包装应适应海拔 4570 m 以下的运输环境条件, 需要重点关注低气压和车辆振动对军品密封包装件的危害。

2.4.1 试验方法及参数

建议参考 GJB 150.2A—2009^[15]和 GJB 150.16A—2009^[16]中的方法进行试验。气压值按最大高度 (4570 m) 确定 (对应的大气压强为 57 kPa), 试验过程中的高度变化速度率不应超过 10 m/s, 卡车垂直方向的振动强度为 1.04g, 横向为 1.04g, 纵向为 0.74g。

2.4.2 试验结果评价

军品密封包装件不应发生泄漏或磨损等缺陷。

3 结语

文中分析了国内外的低气压测试标准和振动试验标准, 研发了一种性价比高且易操作的低气压模拟试验装置, 并将其与振动系统相结合, 实现了在实验室内模拟高原运输或高空运输中低气压环境条件, 进而提高了模拟通过高海拔卡车、高海拔火车和航空运输包装件的试验方法的真实性。开发了一种双危害因素同时作用于运输包装件的模拟试验方法, 为制定低气压随机振动试验方法标准提供了依据。

使用低气压振动试验方法对乳制品包装件的运输安全性进行了测试, 表明该试验方法有一定的实际应用意义。针对充气包装件、医疗器械包装件和军品密封包装件等不同行业的包装件, 应用该方法对其进行运输试验, 给出了相应试验方法、参数和评价标准的建议。

参考文献:

- [1] GARC A-ARCA J, PRADO-PRADO J C. Packaging Design Model from a Supply Chain Approach[J]. Supply Chain Management, 2008, 13(5): 375—380.
- [2] 蔡建, 胡秉飞, 赵耀辉. 基于适应高原环境的武器装备防护包装设计方法探讨[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 54—58.
CAI Jian, HU Bing-fei, ZHAO Yao-hui. On Protective Packaging Design Method of Ordnance Used in Plateau[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 54—58.
- [3] 冉理. 青藏高原铁路的设计与研究[J]. 中国铁路科学, 2001, 22(1): 16—23.
RAN Li. Design and Research of Qinghai Tibet Plateau Railway[J]. China Railway Science, 2001, 22(1): 16—23.
- [4] 宋钊, 郑全成. 低气压、振动对包装件密封性的影响[J]. 中国包装, 2013, 33(11): 46—49.
SONG Zhao, Zheng Quan-cheng. The Effect of Low Pressure and Vibration on the Sealing of the Package[J]. China Packaging, 2013, 33(11): 46—49.
- [5] GB/T 4857.13—2005, 包装 运输包装件基本试验第 13 部分: 低气压试验方法[S].
GB/T 4857.13—2005, Packaging-basic Tests for Transport Packages-Part 13: Low Pressure Test [S].
- [6] ASTM D6653—01, Standard Test Methods for Determining the Effects of High Altitude on Packaging Systems by Vacuum Method[S].
- [7] ISTA 3A—2018, Packaged-products for Parcel Delivery System Shipment 70 kg(150 lb) or Less [S].
- [8] GB/T 4857.23—2012, 包装 运输包装件基本试验第 23 部分: 随机振动试验方法[S].
GB/T 4857.23—2012, Packaging-basic Tests for Transport Packages-Part 23: Random Vibration Test Method [S].

- [9] GB/T 2423.42—1995, 电工电子产品环境试验 低温/低气压/振动(正弦)综合试验方法[S].
GB/T 2423.42—1995, Basic Environment Testing Procedures for Electric and Electronic Products Combined Low Temperature/Low Air Pressure/Vibration (Sinusoidal) Test[S].
- [10] HARLANDER S K. Safety Assessments and Public Concern for Genetically Modified Food Products: the American View[J]. *Toxicologic Pathology*, 2002, 30(1): 132—134.
- [11] 吴美娟, 姜帅. 三种常见缓冲材料的动态压缩缓冲性能[J]. *中国水运*, 2006, 6(11): 62—64.
WU Mei-juan, JIANG Shuai. Dynamic Compression and Cushioning Properties of Three Common Cushioning Materials[J]. *China Water Transport*, 2006, 6(11): 62—64.
- [12] GUNAWAN F E. Numerical Modelling and Experimental Verification of Airbag for Packaging Material Application[J]. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 2012, 7(1): 64—68.
- [13] 巩桂芬, 李超. 柱形空气衬垫振动传递特性的试验研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(19): 92—96.
GONG Gui-fen, LI Chao. Experimental Study on Vibration Transmissibility Properties of Cylindrical Air Cushion[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(19): 92—96.
- [14] ASTM D4169—16, Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems[S].
- [15] GJB 150.2A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第2部分: 低气压(高度)试验[S].
GJB 150.2A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Material-Part 2: Low Pressure (Altitude) Test[S].
- [16] GJB 150.16A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第16部分: 振动试验[S].
GJB 150.2A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Material-Part 16: Vibration Test[S].