

乘客安全气囊工厂包装件的改进探索

严春¹, 崔云霄², 黄承兴¹, 尤兰花¹, 肖焕新¹, 商杰¹

(1. 南宁海关危险品技术中心, 广西 北海 536000; 2. 西北核技术研究所, 西安 710000)

摘要: **目的** 采用改进包装的方式降低乘客安全气囊 (PAB) 工厂包装件的运输危险性。**方法** 依据乘客安全气囊在联合国外部火烧试验 (UN6c 试验) 的结果, 结合 LS-DYNA 动力有限元软件的分析, 先后采用网格式和条栅式金属丝网笼包装控制金属逆射物的产生。**结果** 条栅式金属丝网笼包装成功束缚了所有动能大于 8 J 和动能大于 20 J 的金属逆射物, 使乘客安全气囊工厂包装件成功通过了联合国外部火烧试验。**结论** 改进后的包装符合联合国关于危险货物运输的建议书 (TDG) 中对危险品包装的有关要求, 将原分类为第 1 类 (爆炸品) 的乘客安全气囊工厂包装件降低为第 9 类 (杂项危险品), 使乘客安全气囊 (PAB) 工厂包装件适合更多形式的运输。

关键词: 安全气囊; 运输包装件; 分类定级试验

中图分类号: TB485.3; TB487 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)23-0124-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.018

Improvement of the PAB Factory Package

YAN Chun¹, CUI Yun-xiao², HUANG Cheng-xing¹, YOU Lan-hua¹, XIAO Huan-xin¹, SHANG Jie¹

(1. Technology Center for Dangerous Goods of Nanning Customs, Beihai 536000, China;
2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710000, China)

ABSTRACT: The work aims to lower the transport hazard of the PAB factory package by packaging improvement. According to the results of the UN6c test of PAB, and combined with the analysis of LS-DYNA dynamic finite element software, the packaging in the forms of mesh-like cages and strip-like cages was successively used to control the metallic projections. The metallic projections with kinetic energy exceeding 8 J and 20 J were successfully restricted by the packaging with strip-like cages, so that the PAB factory package successfully passed the UN6c test. The improved packaging meets the relevant requirements of dangerous goods' packaging in recommendations on the transport of dangerous goods (TDG). The PAB factory package originally classified into Class 1 (explosives) is reduced to Class 9 (miscellaneous dangerous goods), and can be transported in more forms.

KEY WORDS: AB; transport packages; classification test

安全气囊是安全装置的一种, 然而其本身并不安全^[1]。安全气囊的工作原理为: ECU 接收到传感器信号并检测到速度变化超过预定值, 经过各方面综合分析判断后向 SRS 充气装置发出点火指令, 点火装置中产气药经点火后发生爆炸反应, 产生氮气迅速充满

张开气囊^[2-4]。新型的安全气囊还采用包含压缩气体的混合式气体发生器^[5]。

安全气囊可能具有爆炸和压缩气体等危险性, 其运输和包装方式必须满足桔皮书^[6] (联合国关于危险货物运输的建议书) 的有关要求, 并经小桔皮书^[7] (联

收稿日期: 2019-03-21

基金项目: 广西科技厅 2017 重点研发计划 (桂科 AB17195023)

作者简介: 严春 (1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为危险品检测。

联合国关于危险货物运输的建议书 标准和试验手册) 中 UN6c 试验——外部火烧(篝火)试验来确定危险类别。该试验通过研究被测物被卷入火中时的爆炸迹象、潜在的危险进射物和热效应来确定被测物是第 1 类(爆炸品)的哪一个项别,也可在一定程度上将被测物排除于第 1 类之外。安全气囊在桔皮书中一共有 2 个 UN 编号: UN0503 安全装置,烟火材料,第 1 类爆炸品第 1.4 项配装组 G; UN3268 安全装置,电启动,第 9 类杂项危险品^[8]。由于实际情况往往比较复杂,有些安全气囊只含产气药,有些只含压缩气体,有些既含产气药也含压缩气体,因此要根据安全气囊的结构特点和 UN6c 的试验结果来确定其 UN 编号和正式运输名称。某些含有大于 200 kPa 压缩气体的安全气囊还有可能被划为 UN3538 含有非易燃、非毒性气体的物品,未另做规定的,则被划为第 2 类气体第 2.2 项非易燃无毒气体。不同的 UN 编号在各种国际规则和条约中^[9-12]采用的包装、限量、运输方式、积载和隔离都有很大区别^[13],如在国际航空运输协会《危险品规则》中 UN3268 可以通过客机和货机运输^[14],而 UN0503 只能通过全货机运输,UN3538 既不能通过客机运输,也不能通过货机运输。在《国际海运危险货物运输规则》中,UN3268 可以用客船或货船运输^[15],而 UN0503 只能用货船运输,UN3538 可以用客船或货船运输。

乘客安全气囊在汽车用安全气囊中属于含药量较大的种类(质量约为 30~40 g),一般不含有压缩气体。乘客安全气囊的工厂包装件是将多个同型号的乘客安全气囊放在同一个运输件内,专门供应给 4S 店等维修部门使用,不在零售市场出现。目前乘客安全气囊工厂包装件将瓦楞纸箱作为危险品包装^[16],该包装在进行 UN6c 试验时往往因出现大量金属进射物和燃烧进射物而被划分到第 1 类(爆炸品),远远不能满足将其危险性控制在第 9 类范围内的要求。

基于以上分析,文中以 UN6c 试验为依据,以控制金属抛射危险和燃烧抛射危险为目标,对现有的乘客安全气囊工厂包装件危险品包装进行改进,以期改进后的乘客安全气囊工厂包装件可顺利按 UN6c 试验结果划入第 9 类危险品。

1 试验

1.1 仪器及材料

试验仪器主要有摄像机 SONY HDR-CX680,用于记录试验过程;红外温度计 CEM-DT9862,用于监测火焰温度;风速计 LUTRON-LM-81AM,用于监测风速,热通量计 Fourtec8-Daqpro 5300;传感器 Captec-HS-30,用于监测热辐射。

试验材料主要有 1100-0 型铝板,厚度为 2mm,用

作监测进射物动能的验证屏;木屑;柴油,用作燃料。试验样品为乘客安全气囊,见图 1。



图 1 乘客安全气囊
Fig.1 PAB

1.2 方法

将 3 个乘客安全气囊工厂包装件(单个体积为 0.08 836 m³,总体积>0.15 m³)呈品字形堆放在试验桌上,见图 2。用铁丝将其尽可能地扎紧固定,在距样品桌 0.5 m 的下方放置 4 个燃烧盆,盆中堆放木屑和柴油的混合物,燃烧温度约为 1000 °C。



图 2 UN6c 试验样品
Fig.2 Samples in the UN6c test

在距样品边缘 4 m 的 3 个方向分别竖立 2 m×2 m 的铝板作为验证屏,在距样品边缘 5 m 处设置围栏。

开启摄像机和热辐射计,从 2 个方向将燃烧物点燃,观察燃烧过程中的试验现象并做记录,见图 3。燃烧过程中风速始终<6 m/s。



图 3 UN6c 试验过程中
Fig.3 In the process of UN6c test

燃烧完毕后,清点残余样品,测量5 m以外燃烧进射物和金属抛射物的距离,称量金属抛射物质量,按小桔皮书(动能为20 J和8 J的金属进射物距离-质量关系

表)计算动能。收集所有证据,根据表1中UN6c试验的判定规则划分样品危险等级为第一类的第1.1项,第1.2项,第1.3项,第1.4项,第1.4S项。

表1 UN6c 试验结果评估方法
Tab.1 Method for assessing the results of UN6c test

试验结果	第 1.1 项	第 1.2 项	第 1.3 项	第 1.4 项	第 1.4s 项
整体爆炸	是	否	否	否	否
火球或火舌>4 m			是	否	否
火球或火舌>1 m				是	否
燃烧进射物>15 m			是	否	否
燃烧进射物>5 m				是	否
金属进射物动能>20 J		是	否	否	否
金属进射物动能>8 J				是	否
验证屏穿孔		是	否	否	否
验证屏有>4 mm 凹痕				是	否
15 m 处辐射热>4 kW/m ²			是	否	否
5 m 处辐射热>4 kW/m ²				是	否

2 结果与讨论

2.1 样品 A 试验

将 6 个乘客安全气囊样品放入用塑料袋作为衬垫材料的瓦楞纸包装箱中形成样品 A, 见图 4。



图 4 打开包装的样品 A
Fig.4 Sample A with opened package

在试验过程中,乘客安全气囊在受热后爆炸,产生了强大冲击力。样品或翻滚掉于地面,或抛离样品桌,或垂直飞向天空。瓦楞纸包装箱在燃烧过程中迅速被破坏,无法对抛离的样品起到限制作用。而用于固定样品的铁丝,只能起到限制外包装活动的作用,在外包装烧损后,同样无法对样品起到限制作用。试验完毕,见图 5。样品桌上的样品所剩无几。经清点,此次试验产生了 5 个金属进射物,没有燃烧进射物产生,见图 6 和表 2。

由于金属进射物的动能大于 20 J,且此次试验没有出现第 1 类第 1.1 项的现象,依据联合国 UN6c 试验的判定准则,该次试验认定该产品为第 1 类第 1.2 项。



图 5 样品 A 试验结束后
Fig.5 Final evidence of test on sample A



a 金属物质量 b 金属物进射距离

图 6 样品 A 的金属进射物
Fig.6 Metallic projection of sample A

表 2 样品 A 的金属进射物的质量、距离和动能
Tab.2 Mass, distance and metallic projections of sample A

序号	质量/g	距离/m	动能/J
1	1017.5	11.7	>20
2	1018.0	21.65	>20
3	1018.5	29.04	>20
4	1034.5	35.62	>20
5	1025.0	36.30	>20

2.2 样品 B 试验

6 个乘客安全气囊装在作为衬垫材料的内纸箱中，并将内纸箱放入粗金属丝网箱中（117 cm×37 cm×27 cm，铁丝直径约为 3 mm，网格面积约为 12.25 cm²），再将整个金属丝网箱放在纸质包装件中，形成样品 B，见图 7。



图 7 打开包装的样品 B
Fig.7 Sample B with opened package

在试验过程中，金属丝网箱成功阻止了第 1 次和第 2 次样品爆炸后的进射，金属丝网箱局部变形虽不严重，但在连接处产生了开口，后续爆炸的样品由开口中飞出网箱。试验完毕见图 8，有 2 个金属丝网箱位于样品桌上，一个金属丝网箱掉落在附近。3 个网箱均有较大开口，且箱内剩余样品较少，其中一个上下开口后严重变形。乘客安全气囊大部分样品处于样品桌 5 m 范围以内。经清点，发现 2 个金属进射物，见图 9 和表 3。

由于金属进射物动能经大于 20 J，且此次试验没有出现第 1 类第 1.1 项的现象，依据联合国 UN6c 试验的判定准则，该次试验认定该产品为第 1 类第 1.2 项。

2.3 样品 C 试验

6 个乘客侧安全气囊用塑料袋作为衬垫材料放在粗金属丝网箱中（117 cm×37 cm×27 cm，铁丝直径约为 3 mm，条形格面积约为 37 cm²），再将整个金属丝

网箱放在纸质包装件中，形成样品 C，见图 10。



a 试验结束后现象



b 试验后样品残余清点

图 8 样品 B 试验结束后情况
Fig.8 Final evidence of test on sample B



a 金属物进射距离 b 金属物质量

图 9 样品 B 的金属进射物
Fig.9 Metallic projection of sample B

表 3 样品 B 的金属进射物的质量、距离和动能
Tab.3 Mass, distance and metallic projections of sample B

序号	质量/g	距离/m	动能/J
1	1028.5	12.13	>20
2	1017.5	27.55	>20

试验完毕后的情况见图 11，采用这种包装方式的样品，在试验完毕后金属网箱严重变形，有一个箱体有开口。有 2 个网箱剩余了全部 6 个样品，有开口的箱内剩余 4 个样品，有 2 个样品跌落在燃烧槽中，没有产生金属进射物。



图 10 打开包装的样品 C
Fig.10 Sample C with opened package



a 试验结束后现象



b 试验后样品残余清点

图 11 样品 C 试验结束后情况
Fig.11 Final evidence of test on sample C

由于此次试验没有燃烧物进射出超过标准规定的距离，也没有其他违反联合国 UN6c 试验判定准则的现象，因此可判定为第 1 类第 1.4s 项；又因为汽车安全气囊不是为了烟火效果而制作的产品，根据小桔皮书的规则，可排除第 1 类危险品，划入第 9 类杂项

危险品。编号为 UN3268，正式运输名称为“安全装置”，运输危险等级为第 9 类。

2.4 讨论

根据样品 A 的试验结果可以确定乘客安全气囊在 UN6c 试验过程中主要产生的是进射危险和燃烧危险。要对进射危险和燃烧危险进行控制，可采用金属网箱之类的包装方式。文中设计了 2 种粗金属丝网箱，一种为网格式（样品 B）；另一种为条栅式（样品 C）。将所设计的网箱模型用 LS-DYNA 动力有限元软件进行模拟计算。由于试验环境比较复杂，分析时采用简化条件，不考虑火烧对防护包装材料的软化，不考虑纸盒和塑料包装的作用，不考虑气囊模块的附属零件，不考虑多个防护包装堆垛间的相互作用，重点考察所有气囊同时展开对防护包装的冲击。气囊采用 NCAC 简单气囊模型，通过快速冲入的气体来模拟气囊内火药化学反应产生的气体，气囊外皮采用 Fabric 材料模型。经计算，不同的包装的变形位移见图 12。

软件模拟安全气囊展开后与包装产生撞击作用，不同形式包装的变形有所区别。在模拟气囊展开作用下，两种防护包装局部均出现了塑性变形，且气囊正对方向位移变形最为明显。直径为 3 mm 的网格式网箱顶部整体位移峰值达到 60 mm，塑性变形份额为 0.0036%，变形区域集中于两端面与侧面相交位置，峰值约为 4.4%；直径为 3 mm 的条栅式网箱同样在气囊正对方向发生塑性变形，顶部最大位移达到 46 mm，塑性变形份额为 0.129%，变形区域均匀分布于顶部与侧面相交位置，峰值达到 8.8%。条栅式网箱的最大顶部位移较小，而网格式网箱的塑性变形峰值较小。在整体变形统计中，条栅式网箱为网格式包装的 3 倍，条栅式网箱的变形区域分布均匀，网格式网箱的变形区域分布集中。

在网格式网箱样品 B 的试验中，网箱出现开口，进射物通过开口飞出造成危害。这可能与网格式网箱塑性变形区域集中，容易引起应力集聚有关，大部分能量作用于箱体顶部和侧壁相交的棱边焊接点处，造成焊接点断裂，网箱开口。在样品 C 的试验中，条栅式网箱严重变形，但开口不严重，这可能是由于较大的箱体变形消耗了部分能量，而塑性变形区域又较为分散，焊接点处受力较小，不容易开口。试验结果与软件模拟分析的较为吻合。

如果要进一步控制进射物的产生，根据软件模拟结果，可将条栅式包装的金属丝直径加强至 5 mm，此时其顶部最大位移约为 10 mm，塑性变形主要集中于顶部和侧壁相交的棱边，峰值可降低至 2.9%，变形区域也有相应减少。然而，此时整体包装重量会变为原来的 3 倍，造成运输费用增加。

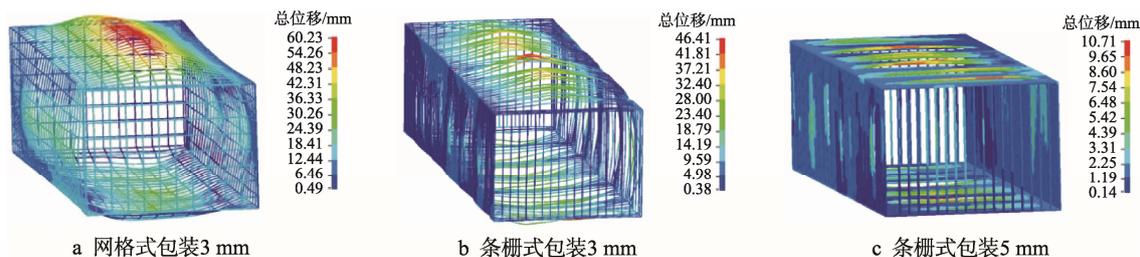


图12 包装的变形位移

Fig.12 Deformation and displacement of the packaging

3 结语

文中按照《联合国关于危险货物运输的建议书标准和试验手册》中的UN6c试验方法,以减小方法判定标准中的进射物指标为目的,用条栅式网箱成功的控制了金属进射物的产生,使乘客安全气囊工厂包装件的危险级别由原第1类爆炸品成功降低至第9类杂项危险品。文中提出的包装方法简单易行、成本不高,极大地节省了乘客安全气囊工厂包装件运输和相关环节的费用。

参考文献:

- [1] JOTHEE S, SHAFIE M S, MOHD N F. Fatal Penetrating Neck Injury Due to Defective Airbag Inflator[J]. *Forensic Science International*, 2018, 291: 4—7.
- [2] 郭志刚. 汽车安全气囊折袋装置的研制与开发[D]. 长春: 长春工业大学, 2014: 5—10.
GUO Zhi-gang. Research of Automotive Airbag Automatic Folding Device[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2014: 5—10.
- [3] 徐志强. 安全气囊的发展与缺陷[J]. *产业与科技论坛*, 2016, 15(11): 61—62.
XU Zhi-qiang. Development and Defects of Airbag[J]. *Industrial & Science Tribune*, 2016, 15(11): 61—62.
- [4] DONG H P, SOJIN S, YEONG K. Kim, Module Packaging Effects on MEMS Airbag Sensor Performance for Automobiles, *Microelectronics Reliability*[J]. 2017, 79: 328—335.
- [5] 张银银, 冯涛, 姚俊. 烟火式安全气囊气体发生器发展概述[J]. *汽车技术*, 2015(11): 1—6.
ZHANG Yin-yin, FENG Tao, YAO Jun. Overview of the Development of Pyrotechnic Airbag Gas Generator[J]. *Automobile Technology*, 2015(11): 1—6.
- [6] United Nations. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods—Model Regulations, ST/SG/AC.10/1/Rev.20[M]. Newyork: United Nations Publication, 2017: 53—67.
- [7] United Nations. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods—Manual of Tests and Criteria, ST/SG/AC.10/1/ Rev.6[M]. Newyork: United Nations Publication, 2017: 165—169.
- [8] 王琛, 殷舒, 郭永华. TDG中分类为第9类的危险货物概述[J]. *中国水运*, 2013, 13(7): 44—49.
WANG Chen, YIN Shu, GUO Yong-hua. An Overview of Class 9 in TDG[J]. *China Water Transport*, 2013, 13(7): 44—49.
- [9] 沈肇圻. 国际海事公约的接轨与履约[J]. *中国船检*, 2018(2): 92—94.
SHEN Zhao-qi. Integration and Implementation of International Maritime Conventions[J]. *China Ship Survey*, 2018(2): 92—94.
- [10] The Contracting Governments. International Convention for the Safety of Life at Sea[M]. London: IMO Publication, 2016: 45—50.
- [11] 张戈. 危险品航空运输黑名单制度法律问题研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2017: 12—22.
ZHANG Ge. Study on Legal Issues of Dangerous Goods Air Transportation Blacklist System[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2017: 12—22.
- [12] 王永刚, 朱迪. 航空危险品运输作业风险管理[J]. *中国安全生产科学技术*, 2012, 8(7): 180—184.
WANG Yong-gang, ZHU Di. Risk Management of Dangerous Goods Transportation by Air[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2012, 8(7): 180—184.
- [13] 赵维新. 关于“有限数量国标”中危险品运输条件豁免性规定的研究[J]. *化工管理*, 2014(5): 51—52.
ZHAO Wei-xin. A Study on the Exemption of Dangerous Goods Transportation Conditions in "GB 28644.2-Limited Quantities and Packing Requires in Dangerous Goods"[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2014(5): 51—52.
- [14] The International Air Transport Association. Dangerous Goods Regulations 60th[M]. Geneva: IATA Publication, 2019: 353.
- [15] International Maritime Organization. International Maritime Dangerous Goods Code (Inc Amendment 39—18)[M]. London: IMO Publication, 2018: 172.
- [16] 万敏, 陶强, 崔鹏, 等. 危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J]. *包装工程*, 2011, 32(3): 103—106.
WAN Min, TAO Qiang, CUI Peng, et al. Development of Dangerous Goods Packaging and Discussion on Common Quality Problems[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(3): 103—106.