

出口锂电池危险品运输包装的安全设计与防护

潘生林¹, 童捷¹, 翟苏婉², 程晓澳¹, 樊仁杰¹, 张翔¹

(1. 南京出入境检验检疫局, 南京 210000; 2. 江苏出入境检验检疫局, 南京 210000)

摘要: **目的** 研究出口锂电池危险品运输包装的设计要素和防护措施。**方法** 针对出口锂电池危险品的特性, 系统总结国际技术法规对于锂电池运输包装的安全规范, 并比较分析国际海运危险货物运输规则(IMDG CODE)和国际航空运输协会危险品运输规则(IATA DGR)中的特定指引要求。依据跌落试验、堆码试验的物理性能指标的设计, 研究出口锂电池危险品运输包装的物理安全性能。**结果** 提出了保证出口锂电池危险品运输包装安全的建议, 同时基于此类危险品包装的整体安全设计和单元防护, 提出了锂电池组合包装、有效防短路保护、塑胶外壳防护等安全要素优化方案。**结论** 研究提出的安全设计要素和防护措施, 可以为锂电池危险品运输包装的安全防护提供重要的实践指导。

关键词: 锂电池; 危险品; 运输包装; 安全设计; 防护

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)03-0027-04

Safety Design and Protection of Transport Packaging for Exporting Lithium Batteries as Dangerous Goods

PAN Sheng-lin¹, TONG Jie¹, ZHAI Su-wan², CHENG Xiao-ao¹, FAN Ren-jie¹, ZHANG Xiang¹

(1. Nanjing Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Nanjing 210000, China;

2. Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Nanjing 210000, China)

ABSTRACT: To explore the design elements and protection measures of export packaging for lithium battery as a kind of dangerous goods. Based on the dangerous goods property of the export lithium batteries, the international regulations about the transport packaging of lithium batteries were systematically summarized. The specific guidance requirements in the International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG CODE) and the IATA DGR technical rules of air transport were analyzed. According to the design of physical performance parameters in drop tests and stacking tests, the physical properties about transport packaging of lithium batteries as dangerous goods were investigated. Some solutions to safety transport of export lithium batteries were proposed. Meanwhile, to improve the overall safety design and unit-based protection of such dangerous goods packaging, the optimization proposals based on safety factors like combination packaging of lithium batteries, effective protection against short circuits and plastic shell protection were studied. The research on safety design elements and protection measures could provide the important practical guidance for safe distribution protection of lithium battery as dangerous goods.

KEY WORDS: lithium batteries; dangerous goods; transport packaging; safety design; protection

国际运输中, 锂电池常见的运输方式包括空运、水运、陆运等。锂是一种特别容易发生化学反应的金属, 易延伸和燃烧, 锂电池在包装和运输过程中, 如果处理不当, 容易燃烧和爆炸, 因此, 对于锂电池运输包

装的安全设计和防护研究需要高度关注。

1 国际技术法规的特定要求

国际上许多机构如联合国(UN)、国际民航组织

收稿日期: 2014-10-09

基金项目: 南京出入境检验检疫局自主立项科研项目(2011NJ02)

作者简介: 潘生林(1980—), 男, 江苏盐城人, 硕士, 南京出入境检验检疫局工程师, 主要从事进出口危险品及其包装安全监管工作。

(ICAO)、国际航空运输协会(IATA)、国际海事组织(IMO)、欧洲陆运协会(ADR)等,均对此提出了明确要求。IATA新空运法规规定锂电池分为锂金属电池和锂离子电池。其中包括:UN编号3090——锂金属电池,UN编号3091——装载在设备中的锂金属电池及与设备一起包装运输的锂金属电池;UN编号3480——锂离子电池,UN编号3481——装载在设备中的锂离子电池及与设备一起包装运输的锂离子电池。IATA DGR要求所有锂电池在运输时必须做好防短路和防止意外启动的保护措施,避免发生与该物品有关的泄露、溢出、起火或其他事件/事故。《国际海运危险货物规则》明确了产品包装的一些技术要求。美国联邦航空管理局(FAA)要求锂电池应装载在等级为C级的飞机货舱内,货舱内须有烟雾探测系统、报警系统、灭火系统^[1-3]。锂离子电池能量每个电池芯高于20 W·h或每个电池组高于100 W·h,电池芯或电池组适用于海运包装导则P903(也适用ICAO/IATA包装导则965,第II部分),且同一包装不超过2个电池芯或电池组;与设备一起包装情况适用于海运包装导则P903(也适用于ICAO/IATA包装导则966,第II部分)。锂金属电池锂的质量每个电池芯高于1 g或每个电池组高于2 g,电池芯或电池组适用于海运包装导则P903(也适用ICAO/IATA包装导则968,第II部分),且同一包装不超过2个电池组或8个电池芯;与设备一起包装的电池芯或电池组适用于海运包装导则P903(也适用于ICAO/IATA包装导则969,第II部分)。

2 外包装的安全性能设计

2.1 一般性要求

一般情况下,锂电池必须遵守国际技术规则中对应的包装限制说明进行运输,必须依据说明装载在符合规定的UN规格包装里,单个包装质量小于35 kg。采取海运方式时,锂电池装载集装箱须进行加固,加固方式和强度应符合进口国要求。外包装(包括中型散货箱和大型容器)的结构和封闭状况在正常运输条件下,应能防止由于振动或出现温度、湿度、压力变化(如海拔不同产生的)造成的内装物损失,必要时这些部位应有适当的内涂层或经过适当处理。如果锂电池和电池组彼此会发生危险反应出现燃烧,或放出大量的热量,放出易燃、毒性或窒息性气体,产生腐蚀性

物质,产生不稳定物质^[4-5]时,锂电池和电池组不得与其他货物或其他危险货物放置在同一外包装或大宗包装中。上述细化要求,对于出口企业需要严格加以管控。

2.2 外包装材质选择和编码设计

对于外包装的材质和对应危险品的包装编码,可以采用的电池和电池组外包装种类包括桶、箱、罐。包装桶的材质有钢(1A2)、铝(1B2)、胶合板(1D)、纤维板(1G)、塑料(1H2),包装箱的材质有钢(4A)、铝(4B)、木(4C1或4C2)、胶合板(4D)、纤维板(4G)、再生木(4F)、塑料(4H1或4H2),包装罐的材质有钢(3A2)、铝(3B2)、塑料(3H2)。根据实际运输情况和管理实践,考虑便于运输、控制成本、防止静电等因素,建议优先选择箱类包装,优先选择胶合板和纤维板材质^[6-7]。

2.3 物理性能指标设计

无论是作为运输包装的外包装,还是装载电池或电池组的内包装,至少需要达到II类包装或者以上等级的要求,生产用于装载该类产品的包装需要符合联合国《关于危险货物运输的建议书 试验和标准手册》要求。设计某一具体规格指标时,根据安全监管经验,测试项目主要需要考虑跌落和堆码试验。

对于跌落试验,不同种类的包装至少承受1.2 m高度的试验。其中,有些材质还需进行特定条件的前处理,如塑料材质需要将样品温度降至-18℃,纤维材质需将样品置于温度为(23±2)℃、相对湿度为(50±2)%环境下处理24 h。

对于堆码试验,堆码载荷需要合理设计,以确保包装能够承受实际的重量而不发生物理损伤。建议堆码载荷 F 至少满足(进位取整):

$$F = mg \left(\frac{H-h}{h} \right) \quad (1)$$

式中: F 为堆码载荷(N); H 为堆码高度(建议不小于3 m); h 为单个包装件高度(m); m 为单个包装件质量(kg)。

3 锂电池安全性防护方案

3.1 内部防护

如果锂电池安装在设备中,则外包装应能够防

水,或者通过使用内衬(如塑料袋)达到防水,或者设备本身结构具备防水特性。对于总质量在12 kg或以上的设备,建议采用坚固、耐碰撞外壳的电池或电池组。为了防止电池意外移动,不得承载其他叠放物品。在同一包装内须预防锂电池与可引发短路的导电物质接触,防止短路^[8-10]。

3.2 锂电池安全试验

国际运输中,锂电池需要满足特定的安全试验要求,试验时质量损失须在允许范围内、无渗漏、无漏气、无解体、无破裂和无燃烧,并且每个试验电池或电池组在试验后的开路电压不小于试验前电压的90%。有关电压的要求不适用于完全放电状态的试验电池和电池组。同时,跌落测试条件:环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$,从1.2 m处(电池最低点)跌落至18~20 mm厚的硬木板上(木板铺在水泥地面上)^[11-12]。

3.3 关键风险防护建议

根据分析锂电池发生爆炸危险的特点,防范重点放在防止过充电、防止外部短路和提升电芯安全性等方面。对于电池外壳设计,由于电芯的自身结构特殊,因此必须充分考虑电芯的装配空间,防止电芯受到挤压。电池外壳内腔必须平整、无毛刺,电池外壳内腔长度需要预留0.5 mm以上的余量,内腔高度需要预留0.2 mm以上的余量^[13]。

对于锂电池的保护机构,建议采取多重保护,一是采用特殊材料的开关元件,通过调节电阻控制其开关保护节点;二是选择使用适当的隔离板材,根据不同的温度有效控制板材所在部位的反应进程;三是设置有效的安全阀,当产品内部压力达到一定数值时,安全阀即可打开,以保证电池安全^[14]。

对于大容量电池组,不仅需要设置完善的保护功能,还应考虑2种电路基本模块:循环防护模块和智能电池保护阀模块^[15]。对于电池外壳结构,建议明确电池外壳的变形量,通过选择设计不同物理性能特性的材质,在一定条件下电池外壳的刺穿破坏,促使电池失效,达到防爆的目的。

内外组合包装的防护实例见图1,内包装选用Y等级的II类危险品包装,并显示有UN标识,且均有防水薄膜。锂电池本身设计有塑胶外壳作防护,并隔离活性电极达到防短路效果。该方案在实际运输中得到应用,效果良好^[16-17]。



图1 锂电池安全防护实例

Fig.1 Safety protection examples of lithium batteries

4 结语

文中系统阐述了锂电池危险品运输包装的国际技术法规要求,比较研究了海运和空运方式的主要技术要点。研究提出了锂电池组合包装、有效防短路保护、塑胶外壳防护等安全要素优化方案。研究提出的安全设计要素和结构防护措施,可以为锂电池危险品运输包装的安全防护提供重要的实践指导。

参考文献:

- [1] 联合国. 国际海运危险货物规则[M]. 海事局,译. 北京:海事局,2013.
United Nations. International Maritime Dangerous Goods Code [M]. China MSA, Translated. Beijing: China MSA, 2013.
- [2] 联合国. 空运危险货物安全运输技术规则[M]. 海事局,译. 北京:海事局,2013.
United Nations. Safe Transport of Dangerous Goods by Air Technical Rules[M]. China MSA, Translated. Beijing: China MSA, 2013.
- [3] 联合国. 全球化学品统一分类和标签制度[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
United Nations. Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [4] 周颖红,黄宇斌,刘怡,等. 锂离子电池或电池组危险货物运输包装属性评价方法的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 81—83.
ZHOU Ying-hong, HUANG Yu-bin, LIU Yi, et al. Research on Lithium Ion Battery or Group Evaluation Method for Dangerous Goods Transport[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 81—83.
- [5] 胡传跃,李新海,王志兴,等. 软包装锂电池有机电解液的

- 电化学行为[J]. 应用化学, 2005(2): 25—28.
- HU Chuan-yue, LI Xin-hai, WANG Zhi-xing, et al. Electrochemical Behavior of Organic Electrolytes for Flexible Packaging of Lithium Ion Batteries[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2005(2): 25—28.
- [6] 刘继福, 郭纯武, 刘嘉鑫, 等. 聚合物锂电池软包装材料的瓶颈突破[J]. 中国包装, 2012(7): 16—18.
- LIU Ji-fu, GUO Chun-wu, LIU Jia-xin, et al. The Breakthrough of Bottleneck As Flexible Packaging Materials for Polymer Lithium Battery[J]. China Packaging, 2012(7): 16—18.
- [7] 周亮, 徐梦漪, 叶孝兆, 等. 锂离子电池软包装铝塑复合膜的研究进展[J]. 轻工科技, 2013(2): 28—29.
- ZHOU Liang, XU Meng-yi, YE Xiao-zhao, et al. Research on Plastic Composite Soft Membrane of Lithium Ion Battery[J]. Light Industry Science and Technology, 2013(2): 28—29.
- [8] 姚永根, 陈满儒. 光伏电池包装箱结构设计与托盘强度分析[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 34—36.
- YAO Yong-gen, CHEN Man-ru. Structural Design of Packaging Box and Pallet Intensity Analysis of Photovoltaic Battery[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 34—36.
- [9] 沈训乐, 刘乘. 几种常见缓冲托盘的缓冲材料研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 11—13.
- SHEN Xun-le, LIU Cheng. Study of Cushion Materials of Several Common Cushioning Tray[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 11—13.
- [10] KRYSTAN M, ROBERT H, MARTIN B. Development of Near Hermetic Silicon/Glass Cavities for Packaging of Integrated Lithium Micro Batteries[J]. Microsystem Technologies, 2010(7): 1119—1129.
- [11] ZHANG Jian-bo, WU Bin, LI Zhe. Simultaneous Estimation of Thermal Parameters for Large-format Lithium Ion Batteries[J]. Journal of Power Sources, 2014(259): 106—116.
- [12] LUDGER M. Transport Von Lithium-und Lithium-ion-batterien[J]. Handbuch Lithium-ionen-batterien, 2013(12): 335—343.
- [13] 赵治国, 郭熙桃, 杨霄云, 等. 锂电池外壳专用料的改性及其应用[J]. 工程塑料应用, 2009(1): 12—13.
- ZHAO Zhi-guo, GUO Xi-tao, YANG Xiao-yun, et al. Modification and Application of Special Materials for the Lithium-ion Batteries Container[J]. Engineering Plastics Application, 2009(1): 12—13.
- [14] LEE Y W, SHIN W K, KIM D W. Cycling Performance of Lithium-ion Polymer Batteries Assembled Using In-situ Chemical Cross-linking without a Free Radical Initiator[J]. Solid State Ionics, 2014(255): 6—12.
- [15] JENNIFER L S, LU Y Y, SURYA S M. Electrolytes for High-energy Lithium Batteries[J]. Applied Nanoscience, 2012(2): 91—109.
- [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 of Common Problems with Quality[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 103—106.
- [17] 蔡军锋, 易建政. 新型危险品防爆运输箱设计及抗爆试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 33—35.
- CAI Jun-feng, YI Jian-zheng. An Experimental Study of Transport Box Design & Anti-explosion for a New Type of Dangerous Goods[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 33—35.
-
- (上接第 26 页)
- 27(2): 61—63.
- [13] 丁毅, 赵丽娟. 局部以纸代木包装箱的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 21—24.
- DING Yi, ZHAO Li-juan. Research on Partial Paper Wood Packing Case[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 21—24.
- [14] 张媛, 孟春玲, 曹利红. 蜂窝纸板箱的瞬态特性研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 24—26.
- ZHANG Yuan, MENG Chun-ling, CAO Li-hong. Research on Transient Performance of Honeycomb Paperboard Box[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 24—26.
- [15] 都学飞, 郭彦峰, 陶良毅, 等. 瓦楞蜂窝复合结构纸板强度性能的试验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(8): 41—43.
- DU Xue-fei, GUO Yan-feng, TAO Liang-yi, et al. Experimental Research on Strength Properties of Corrugated-honeycomb Composite Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 41—43.
- [16] 彭建林. 蜂窝纸板力学性能研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.
- PENG Jian-lin. Study on Mechanical Properties of Honeycomb Paperboard[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2008.
- [17] 孟超莹. 瓦楞形状对瓦楞纸板力学性能的影响分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- MENG Chao-ying. Study on Corrugated Shape Effects on the Mechanical Properties of Corrugated Paperboard[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.
- [18] 郝笑梦. 环保包装纸板强化技术及其性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- HAO Xiao-meng. Research on Environmental Protection Packaging Board Reinforcement Technology and the Performance[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.